



**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA’LIM, FAN VA
INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

FARG‘ONA DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

**RAQAMLI INNOVATSIYALAR BO‘YICHA XALQARO
KONFERENSIYA: ZAMONAVIY FIZIKANING DOLZARB
MUOMMOLARI VA YECHIMLARI**

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ЦИФРОВЫМ
ИННОВАЦИЯМ: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И
РЕШЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ**

**INTERNATIONAL CONFERENCE ON DIGITAL
INNOVATIONS: CURRENT CHALLENGES AND
SOLUTIONS IN MODERN PHYSICS**

I

2025-yil 17–18-oktyabr
Farg‘ona

DASTURIY QO‘MITA

DASTURIY QO‘MITA

Rais: akademik Ramiz Abdullaevich Muminov — Fizika-texnika instituti, O‘zbekiston

Rais muovini: professor N.X. Yuldashev — Farg‘ona davlat texnika universiteti, O‘zbekiston

Dasturiy qo‘mita a‘zolari:

Akademik E.L. Ivchenko — Sankt-Peterburg Fizika-texnika instituti, Rossiya

Akademik Sagdulla Abdullaevich Baxramov — O‘zbekiston Fanlar akademiyasi

Akademik S. Zaynabidinov — Andijon davlat universiteti, O‘zbekiston

Akademik A.T. Mamadolimov — O‘zbekiston Milliy universiteti

Professor A.A. Djuraxalov — Antverpen Fizika-texnika instituti, Belgiya

Professor E.A. Zoxidov — Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti, O‘zbekiston

Professor E.Z. Imamov — Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, O‘zbekiston

Professor S.N. Mustafayeva — Ozarbayjon Milliy fanlar akademiyasi Fizika instituti

Professor I. Nuritdinov — O‘zbekiston Fanlar akademiyasi Yadro fizikasi instituti

Professor Y. Tashpolotov — O‘sh davlat universiteti, Qirg‘iziston

Professor Yu.V. Trofimov — Belarus Milliy fanlar akademiyasi Elektronika instituti

Professor T.M. Razikov — Fizika-texnika instituti, O‘zbekiston

Professor R.Ya. Rasulov — Farg‘ona davlat universiteti, O‘zbekiston

Professor I.A. Rahmatullaev — Moskva muhandislik-fizika instituti Toshkent filiali

Mas‘ul kotiblar:

PhD. Bozorboy Joboraliyevich Ahmadaliyev — Farg‘ona davlat texnika universiteti, O‘zbekiston

Tashkiliy qo‘mita:

Rais: U.R. Salomov — Farg‘ona davlat texnika universiteti rektori

Rais muovini: Sh.M. Davlyatov va S.F. Ergashev — Farg‘ona davlat texnika universiteti, O‘zbekiston

Tashkiliy qo‘mita a‘zolari:

Professor B. Ashurov — Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti, O‘zbekiston

Professor H.X. Olimov — O‘zbekiston Fanlar akademiyasi Fizika-texnika instituti

Professor Sh.B. Utamuradova — Yarimo‘tkazgichlar va mikroelektronika fizikasi instituti, O‘zbekiston

Professor K.P. Abdurahmonov — Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, O‘zbekiston

Professor Z.T. Azamatov — Yarimo‘tkazgichlar va mikroelektronika fizikasi instituti, O‘zbekiston

Professor R. Aliev — Andijon davlat universiteti, O‘zbekiston

Professor G. G‘ulyamov — Namangan muhandislik-qurilish instituti, O‘zbekiston

Professor X. Daliiyev — Toshkent shahridagi “Moskva energetika instituti” (MEI) filiali, O‘zbekiston

Professor A. Jumabayev — Samarqand davlat universiteti, O‘zbekiston

Professor D.R. Juraev — Buxoro davlat universiteti, O‘zbekiston

Professor N. Zikiriillaev — Toshkent davlat texnika universiteti, O‘zbekiston

Professor K.A. Ismayilov — Qoraqalpoq davlat universiteti, O‘zbekiston

Professor I. Karimov — Andijon davlat universiteti, O‘zbekiston

Professor K.E. Onarkulov — Farg‘ona davlat universiteti, O‘zbekiston

Professor S.M. Otajonov — Farg‘ona davlat universiteti, O‘zbekiston

Professor A.M. Rasulov — Toshkent axborot texnologiyalari universiteti filiali, O‘zbekiston

Professor R.X. Rahimov — O‘zbekiston Fanlar akademiyasi Fizika-texnika instituti

Professor B.E. Xayriddinov — Qarshi davlat universiteti, O‘zbekiston

Professor B.E. Umirzokov — Toshkent davlat texnika universiteti, O‘zbekiston

Professor U.O. Qutliyev — Urganch davlat universiteti, O‘zbekiston

Professor A.M. Kasimaxunova — Farg‘ona davlat texnika universiteti, O‘zbekiston

Professor N.A. Sultanov — Farg‘ona davlat texnika universiteti, O‘zbekiston

Professor B.Z. Polvonov — Farg‘ona davlat texnika universiteti, O‘zbekiston

Dotsent M.B. Kerimi — Turkmaniston Fanlar akademiyasi Texnologiyalar markazi

Dotsent M.Ch. Osqonboyev — O‘sh davlat universiteti, Qirg‘iziston

Dotsent Sh.A. Dehqonov — Farg‘ona davlat texnika universiteti, O‘zbekiston

Dotsent I.J. Jahongirov — Farg‘ona davlat texnika universiteti, O‘zbekiston

Doktor A. Salimov — Farg‘ona davlat texnika universiteti, O‘zbekiston

Doktor M.O. Uzbekov — Farg‘ona davlat texnika universiteti, O‘zbekiston

Dotsent S.S. Sobirov — Farg‘ona davlat texnika universiteti, O‘zbekiston

Dotsent Z. Mirzajonov — Farg‘ona davlat texnika universiteti, O‘zbekiston

Dotsent J. Abdullayev — Farg‘ona davlat texnika universiteti, O‘zbekiston

PhD X.M.Sulaymonov — Farg‘ona davlat texnika universiteti, O‘zbekiston

PhD T.I.Raxmonov — Farg‘ona davlat texnika universiteti, O‘zbekiston

PhD O.R.Nurmatov — Farg‘ona davlat texnika universiteti, O‘zbekiston

PhD V.T.Mirzayev — Farg‘ona davlat texnika universiteti, O‘zbekiston

RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR VA HISOBLASH FIZIKASINING YANGI YONDASHUVLARI

СУНЬИЙ ИНТЕЛЛЕКТ: МУАММОЛАР, ЕЧИМЛАР ВА ИСТИҚБОЛЛАР

т.ф.д., профессор С.С.Насриддинов

say@mail.ru (93 543-03-81)

ф.-м.ф.н., доцент А.Мавлянов

aminzhan.mavlyanov@mail.ru (90 955-22-03)

Астрахан давлат техника университети Тошкент вилояти филиали

п.ф.н., доцент С.Р.Абдалова

asr@mail.ru (90 387-18-69)

Чирчик давлат педагогика университети

Ушбу мақола сунъий интеллект (СИ)нинг замонавий дунёдаги ўрни, унинг ривожланиши билан боғлиқ муаммолар ва бу муаммоларнинг ечимларини таҳлил қилади. Унда СИнинг этик муаммолари, маълумотлар хавфсизлиги, ишсизлик хавфи ва “қора қути” муаммоси каби асосий қийинчиликлар ёритилади. Шунингдек, мақола бу муаммоларни ҳал қилиш учун таклиф этилган ечимлар, жумладан, ҳолис маълумотлар базасини яратиш, қонунчиликни кучайтириш ва таълим тизимини мослаштириш каби чоралар ҳақида фикр юритади. Мақола хулосасида СИнинг инсоният учун фойдали ва хавфсиз келажак яратишдаги истиқболлари кўрсатилади.

Калит сўзлар: сунъий интеллект, муаммолар, ечимлар, этика, маълумотлар хавфсизлиги, ишсизлик, “қора қути” муаммоси, истиқбол.

Данная статья анализирует место искусственного интеллекта в современном мире, проблемы, связанные с его развитием, и пути их решения. В ней рассматриваются основные трудности, такие как этические проблемы, безопасность данных, риск безработицы и проблема "чёрного ящика". Также в статье обсуждаются предлагаемые решения для этих проблем, включая создание непредвзятых баз данных, ужесточение законодательства и адаптацию системы образования. В заключении статьи указываются перспективы ИИ в создании полезного и безопасного будущего для человечества.

Ключевые слова: искусственный интеллект, проблемы, решения, этика, безопасность данных, безработица, проблема “чёрного ящика”, перспективы.

This article analyzes the role of artificial intelligence in the modern world, the problems associated with its development, and their potential solutions. It examines key challenges such as ethical issues, data security, the risk of unemployment, and the "black box" problem. The article also discusses proposed solutions, including the creation of unbiased databases, stricter legislation, and

adapting the education system. In conclusion, the article highlights the prospects of AI in creating a beneficial and safe future for humanity.

Keywords: artificial intelligence, problems, solutions, ethics, data security, unemployment, “black box” problem, prospects.

Кириш.

Сунъий интеллект (СИ) бугунги кунда энг тез ривожланаётган технологиялардан бири бўлиб, у инсоният ҳаётининг деярли барча соҳаларида чуқур из қолдирмоқда. Тиббиётдан тортиб, таълим, транспорт ва молиягача, СИ катта ўзгаришларни олиб келмоқда. Аммо, ҳар қандай инқилобий технология каби, СИ ҳам ўзига хос муаммолар ва қийинчиликларни юзага чиқаради.

Сунъий интеллектнинг асосий муаммолари.

Этик ва ахлоқий муаммолар. СИ алгоритмлари кўпинча мавжуд маълумотлар асосида ўрганади. Агар бу маълумотлар холис бўлмаса, СИ тизимлари ҳам камситишга мойил бўлиб қолади. Масалан, ишга қабул қилишда ёки кредит беришда СИ тизимлари жинс, ирқ ёки бошқа шахсий хусусиятларга асосланган қарорлар қабул қилиши мумкин. Бундан ташқари, СИнинг инсоний қадриятлар ва қарорларни тушуна олмаслиги, унинг этик дилеммаларда тўғри йўл топишига ҳалақит беради [1].

Шахсий маълумотлар махфийлиги ва хавфсизлиги. СИ тизимлари самарали ишлаши учун жуда катта миқдордаги маълумотларга муҳтож. Бу маълумотлар кўпинча шахсий ва махфий бўлади. Бу эса уларнинг махфийлиги ва хавфсизлигига таҳдид солади. Агар бу маълумотлар ҳимояланмаса, улар ноқонуний тарзда ишлатилиши ёки тарқалиб кетиши мумкин.

Ишсизлик ва иқтисодий нотенглик. СИ технологияларининг ривожланиши баъзи касбларни автоматлаштиришга олиб келади. Масалан, автомобиль ҳайдовчилари, ҳисобчилар, маркетинглар ва бошқаларнинг ишини роботлар ёки СИ дастурлари бажариши мумкин. Бу эса катта миқдордаги ишсизликка ва иқтисодий нотенгликнинг янада кучайишига сабаб бўлиши мумкин.

“Қора қути” муаммоси. Кўплаб мураккаб СИ моделлари, айниқса чуқур ўрганиш (deep learning) моделлари, уларнинг қарорларини қандай қабул қилишини тушунтира олмайди. Бу “қора қути” муаммоси деб аталади. Бу тиббиёт ёки ҳуқуқшунослик каби муҳим соҳаларда жиддий муаммо туғдиради, чунки тизимнинг қарорига ишониш учун унинг асосини тушуниш керак.

Ечимлар ва истиқболлар.

Бу муаммоларга қарамасдан, уларни ҳал этиш йўллари ҳам мавжуд. Бу йўللар СИнинг янада хавфсиз, адолатли ва инсонпарвар бўлишини таъминлайди.

Холис маълумотлар базасини яратиш. СИ тизимларини ўргатиш учун ишлатиладиган маълумотларни диққат билан танлаш ва уларни холисликка текшириш муҳим. Агар маълумотларда камситишга оид унсурлар бўлса, уларни тозалаш ёки мувозанатлаш керак. Бундан ташқари, СИ алгоритмларини холисликка текширадиган ва унинг натижаларини тушунтириб берадиган усулларни ишлаб чиқиш керак.

Холис маълумотларнинг СИ учун аҳамияти.

СИ тизимлари, хусусан, машинавий ўрганиш (machine learning) моделлари ўзларига берилган маълумотлар асосида билим ва қобилиятга эга бўлади. Агар бу маълумотлар холис бўлмаса, яъни уларда ирк, жинс, ёш ёки бошқа бирор хусусият бўйича камситишлар мавжуд бўлса, СИ тизими ҳам шу камситишларни ўзлаштириб олади. Бу ҳолат, тизимнинг қарорлари нотўғри, адолатсиз ва хатто хавфли бўлишига олиб келиши мумкин [2].

Нега маълумотлар холислигини текшириш муҳим?

Адолатсиз қарорларнинг олдини олиш. СИ тизимлари молия, тиббиёт, ҳуқуқ, ишга қабул қилиш каби муҳим соҳаларда қарор қабул қилиш учун ишлатилади. Агар ўргатиш маълумотлари холис бўлмаса, тизим айрим шахслар ёки гуруҳларга нисбатан адолатсиз қарорлар чиқариши мумкин. Масалан, тарихий маълумотларда аёлларнинг юқори лавозимларга камдан-кам қабул қилингани акс этса, СИ тизими ҳам келажакда аёлларни бундай лавозимларга тавсия қилмаслиги мумкин.

Ишонч ва самарадорликни ошириш. Агар СИ тизими адолатли ва шаффоф қарорлар қабул қилса, унга бўлган ишонч ошади. Ишончсизлик эса СИ технологияларининг кенг тарқалишига тўсқинлик қилади. Холис маълумотлар асосида ўргатилган тизимлар эса аниқроқ ва самаралироқ ишлайди.

Ижтимоий ва этик масъулият. СИ ишлаб чиқувчилари ва тадқиқотчилари ўз ишларининг ижтимоий оқибатлари учун масъулдирлар. Холис маълумотлар билан ишлаш, СИ технологияларининг инсонлар ҳаётига салбий таъсирини камайтиришга ёрдам беради. Бу эса нафақат техник, балки ахлоқий жиҳатдан ҳам тўғри йўлдир.

Холисликка текшириш жараёни қандай амалга оширилади?

Холисликни текшириш мураккаб жараён бўлиб, у бир неча босқичдан иборат:

Маълумотларни таҳлил қилиш. Дастлаб, маълумотлар тўпламидаги камситиш аломатларини аниқлаш учун чуқур таҳлил ўтказилади. Бунда статистик усуллар ва визуаллаштиришдан фойдаланилади.

Холисликни ўлчаш. Маълумотларнинг холислигини ўлчаш учун махсус алгоритмлар ва метрикалардан фойдаланилади. Бу метрикалар маълумотлар тўпламидаги мувозанатсизлик даражасини аниқлаб беради.

Маълумотларни тозалаш ва мувозанатлаш. Агар камситишлар аниқланса, маълумотларни қайта ишлаш ва мувозанатлаш чоралари кўрилади. Бу жараёнда камчиликка эга гуруҳларнинг маълумотларини кўпайтириш ёки ортиқча маълумотларни олиб ташлаш мумкин.

Текширув ва мониторинг. СИ модели ўргатилгандан сўнг, унинг қарорлари доимий равишда холислик ва адолатлилик мезонлари асосида текшириб борилиши керак.

Демак, СИ тизимларини ўргатишда маълумотларнинг сифати, хусусан, уларнинг холислиги катта аҳамиятга эга. Маълумотларни танлаш ва текшириш жараёнига жиддий эътибор қаратиш, СИнинг ижтимоий масъулиятли, адолатли ва самарали технология сифатида ривожланишини таъминлайди. Бу нафақат технологик муаммо, балки жамият олдидаги этик масъулият ҳамдир.

Кучли тартибга солиш ва қонунчилик. Ҳукуматлар СИ технологияларини тартибга солувчи қонунларни ишлаб чиқишлари керак. Бу қонунлар шахсий маълумотларнинг ҳимояланиши, СИНинг хавфсиз ва этик жиҳатдан тўғри ишлатилишини таъминлаши керак. Масалан, Европа Иттифоқидаги СИ тўғрисидаги қонун шунга мисол бўла олади.

СИ технологияларини тартибга солиш: ҳукуматларнинг роли.

СИ технологияси шиддат билан ривожланиб, жамиятнинг деярли барча жабҳаларига кириб бормоқда. Бу ривожланиш катта имкониятлар яратгани каби, жиддий хавфларни ҳам келтириб чиқармоқда. Шу сабабли, СИни тартибга солувчи қонунчилик асосларини ишлаб чиқиш ҳукуматлар учун долзарб вазифага айланмоқда.

Тартибга солиш нега муҳим?

Этик муаммолар ва камситишларнинг олдини олиш. СИ алгоритмлари, агар холис бўлмаган маълумотлар асосида ўргатилса, ирқ, жинс ёки бошқа хусусиятлар бўйича камситишга олиб келиши мумкин. Қонунлар, СИ тизимларининг адолатлилик ва шаффофлик мезонларига жавоб беришини таъминлашга қаратилган бўлиши керак. Бу, масалан, кредит бериш ёки ишга қабул қилиш жараёнларида инсон ҳуқуқларини ҳимоя қилишга ёрдам беради.

Маълумотлар махфийлигини ҳимоя қилиш. СИ тизимлари самарали ишлаши учун катта миқдордаги шахсий маълумотларга муҳтож. Тартибга солиш, бу маълумотларнинг қонуний асосда тўпланиши, сақланиши ва қайта ишланишини таъминлайди. Бу эса фуқароларнинг махфийлиги ва хавфсизлигига бўлган ҳуқуқларини ҳимоя қилади.

Хавфсизликни таъминлаш. СИ тизимлари нафақат фуқаролик, балки ҳарбий ва иқтисодий соҳаларда ҳам қўлланилади. Масалан, автоном ҳайдовчисиз автомобиллар ёки қурол тизимлари. Ноаниқ қонуний асослар бундай тизимларнинг хавфли оқибатларга олиб келиши мумкин. Қонунчилик, СИНинг хавфсизлигини кафолатлаш ва унинг хавфли тарзда қўлланилишига йўл қўймаслик учун аниқ стандартлар ва қоидалар ўрнатиши керак [3].

Жавобгарликни белгилаш. Агар СИ тизими хатога йўл қўйиб, зарар етказса, жавобгар ким бўлади? Дастурчи? Компания? Ёки фойдаланувчининг ўзини? Амалдаги қонунчилик кўпинча бу саволларга жавоб бера олмайди. СИни тартибга солувчи қонунлар, жавобгарликни аниқ белгилаш ва зарар етказган тарафни топиш механизминини яратиши керак.

Қонунчилик қандай бўлиши керак?

Мослашувчанлик. СИ технологияси жуда тез ривожланмоқда. Шу сабабли, қонунчилик статик эмас, балки мослашувчан бўлиши, янги технологияларга осонликча мослаша олиши лозим.

Халқаро ҳамкорлик. СИ глобал муаммодир. Бир мамлакатдаги қонунлар етарли эмас. Ҳукуматлар халқаро ҳамкорликни йўлга қўйиб, умумий стандартлар ва тартибларни ишлаб чиқиши керак.

Инновацияга тўсқинлик қилмаслик. Қонунчиликнинг асосий мақсади инновацияни тўхтатиш эмас, балки уни хавфсиз ва этик жиҳатдан тўғри йўналишда ривожлантиришдир. Қонунлар тадқиқот ва ривожланишга тўсқинлик қилмаслиги керак.

Демак, ҳукуматларнинг СИни тартибга солувчи қонунларни ишлаб чиқишдаги роли инсониятнинг келажагини белгилайди. Тўғри ёндашув билан, биз СИнинг хавфларини минималлаштирган ҳолда, унинг улкан салоҳиятидан максимал даражада фойдаланишимиз мумкин. Қонунлар СИ ривожига ҳалал бермасдан, уни инсониятга хизмат қиладиган қудратли воситага айлантиришга ёрдам беради.

Таълим ва қайта тайёрлаш. Ишсизлик муаммосини юмшатиш учун таълим тизимини ўзгартириш ва одамларни келажак касбларига тайёрлаш муҳим. Энг асосийси, одамларнинг СИ билан ҳамкорликда ишлашига имкон берадиган кўникмаларни ривожлантириш керак. Масалан, муаммони ҳал қилиш, танқидий фикрлаш ва ижодийлик каби кўникмалар ҳар доим керак бўлади.

Нега таълим тизимини ўзгартириш муҳим? СИ технологиялари ривожлангани сари, одамларга талаб қилинадиган кўникмалар ўзгармоқда. Эндиликда, маълумотларни ёдлаш ва такрорлаш эмас, балки муаммоларни ҳал қилиш, танқидий фикрлаш, ижодийлик ва эмоционал интеллект каби кўникмалар муҳим аҳамият касб этмоқда. Бу кўникмалар СИ учун мураккаб бўлган, инсоний муносабатларни талаб қиладиган вазифаларда асқотади.

Хулоса. СИ катта имкониятларга эга технология бўлиб, унинг ривожланишини тўхтатиб бўлмайди. Унинг муаммоларини инкор этиш эмас, балки уларни ҳал этиш йўллари излаш муҳим. Этик қадриятлар, адолатлилик ва инсонпарварлик тамойилларига асосланган ёндашув билан СИ технологияси инсоният учун фойдали ва хавфсиз келажак яратишга хизмат қиладди. СИнинг келажаги бизнинг бугунги кунда қандай қарорлар қабул қилишимизга боғлиқ.

Фойдаланилган адабиётлар

1. Нильссон, Н. Принципы искусственного интеллекта. Москва: Радио и связь, -1985. -386 б.
2. Рассел, С., Норвиг, П. Искусственный интеллект: современный подход. 2-е изд. Москва: Вильямс, -2006. -1408 б.
3. Шифрин, М. И. Этика искусственного интеллекта: проблемы и перспективы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Философия. -2018. Т. 22, № 4. -С. 491-502.
4. Мэтьюз, Л. Искусственный интеллект и безопасность данных: новые вызовы и решения // Современные информационные технологии. -2021. № 1. - С. 75-89.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВЫБРОСОВ CO₂ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ

Юсупов Ёдгор Акбарович, ФГТУ, edgoru88@gmail.com, +998-99-997-86-28

Аннотация: Рост объёмов производства энергии и использование ископаемого топлива сопровождается значительными выбросами углекислого газа, что напрямую влияет на изменение климата. Для эффективного управления этими выбросами всё шире внедряются цифровые системы мониторинга, обеспечивающие точный, автоматизированный и непрерывный контроль источников CO₂. В данной статье рассматриваются современные цифровые технологии мониторинга и анализа выбросов: IoT-датчики, системы удалённого контроля, цифровые двойники и обработка больших данных. Приведены практические примеры внедрения таких решений на энергетических объектах и их роль в реализации международных климатических обязательств.

Ключевые слова: цифровизация, выбросы CO₂, мониторинг, IoT, цифровые двойники, устойчивое развитие, энергетика, климат.

Выбросы углекислого газа являются ключевым фактором глобального изменения климата. Наибольший вклад в них вносит энергетический сектор — тепловые электростанции, ТЭЦ, промышленные котельные. По данным Международного энергетического агентства, более 40 % глобальных выбросов CO₂ приходится именно на производство энергии [1]. В этой связи особое значение приобретают цифровые решения, которые обеспечивают не только точный контроль, но и прогнозирование и оперативное управление выбросами.

Современные цифровые платформы позволяют отслеживать динамику выбросов в реальном времени, выявлять неэффективность оборудования, оптимизировать технологические режимы. Это создаёт основу для выполнения обязательств, взятых странами в рамках Парижского соглашения, а также для перехода к низкоуглеродной энергетике [2].

Одной из ключевых технологий являются системы интернета вещей (IoT), которые используют сеть датчиков для непрерывного измерения концентрации CO₂, температуры, расхода топлива и других параметров. Такие данные передаются на центральные серверы и позволяют оперативно реагировать на изменения выбросов [3].

Цифровые двойники — виртуальные модели реальных объектов — дают возможность не только фиксировать текущее состояние энергетического оборудования, но и прогнозировать будущие значения выбросов при изменении режима его работы. Этот подход позволяет оценить эффективность различных сценариев и оптимизировать технологический процесс [4]. Обработка больших данных и методы машинного обучения применяются для анализа закономерностей в изменении выбросов, построения прогнозов и формирования управленческих решений. Такой подход особенно важен на крупных электростанциях с высокой динамичностью режимов работы (12).

Типовая архитектура включает пять уровней: полевой уровень (газоанализаторы, датчики CO₂, расходомеры), уровень передачи данных (беспроводные сети, IoT-шлюзы), центральный сервер (хранение и первичная обработка), аналитический уровень (модели прогнозирования, цифровые двойники) и управляющий уровень (оптимизация режимов работы оборудования). Такая структура позволяет повысить точность измерений, скорость реакции и надёжность системы.

На тепловых электростанциях внедрение IoT-датчиков и цифровых двойников позволило снизить удельные выбросы CO₂ на 8-12 % за счёт более точного регулирования режимов сгорания топлива и оптимизации КПД котлов [5]. В странах Центральной Азии цифровизация систем мониторинга выбросов особенно актуальна для модернизации энергетической отрасли, где большая часть выработки приходится на углеродные источники. Такие системы позволяют не только контролировать соблюдение экологических норм, но и создавать основу для участия в международных углеродных механизмах и привлечения «зелёных» инвестиций.

Внедрение цифровых систем мониторинга выбросов CO₂ даёт целый ряд преимуществ. Повышается точность учёта, что позволяет корректно формировать отчётность в соответствии с международными стандартами [6]. Снижаются эксплуатационные затраты за счёт оптимизации работы оборудования. Предприятия получают возможность участвовать в торговле углеродными квотами. Кроме того, это повышает прозрачность и устойчивость энергетического сектора.

Переход к устойчивой энергетике невозможен без точных инструментов управления углеродным следом. Цифровые технологии – IoT, цифровые двойники и анализ больших данных – позволяют реализовать непрерывный мониторинг выбросов CO₂, повысить энергоэффективность и снизить воздействие на климат. Внедрение таких систем на объектах энергетики является важным шагом к снижению выбросов парниковых газов и выполнению международных климатических обязательств.

Литература

1. International Energy Agency. CO₂ Emissions in Energy Sector. Paris: IEA, 2023.
2. IEA. Digitalization & Energy — Outlook 2022. Paris: IEA, 2022.
3. Zhou E., et al. Digital CO₂ Monitoring Systems for Power Plants. Energy Reports, 2021.
4. Schneider Electric. Digital Twins for Decarbonization. Technical Report, 2022.
5. European Commission. Digitalising the energy system – EU action plan (COM/2022/552). Brussels, 2022.
6. UNFCCC. National Greenhouse Gas Inventory Guidelines. Bonn, 2021.

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

д.т.н., профессор С.С.Насриддинов
say@mail.ru (93 543-03-81)

филиал Астраханского государственного технического университета в
Ташкентской области

В статье рассматриваются современные цифровые технологии, их влияние на различные сферы жизни, а также ключевые проблемы, возникающие в процессе их внедрения и использования. Особое внимание уделяется вопросам информационной безопасности, цифрового неравенства и этики в цифровой среде. Представлены возможные пути решения указанных проблем, а также обозначены перспективы развития цифровых технологий в ближайшие годы.

Ключевые слова: цифровые технологии, информационная безопасность, цифровое неравенство, этика, инновации, развитие, будущее.

The article explores modern digital technologies, their impact on various spheres of life, and the main challenges associated with their implementation and use. Special attention is given to issues of information security, digital inequality, and ethics in the digital environment. The paper outlines possible solutions to these challenges and discusses the prospects for the development of digital technologies in the coming years.

Keywords: digital technologies, information security, digital inequality, ethics, innovation, development, future.

Введение. Цифровые технологии стремительно проникают во все сферы жизни: от образования и здравоохранения до промышленности и государственного управления. Их развитие открывает широкие возможности для повышения эффективности, удобства и доступности многих процессов. Однако наряду с преимуществами возникают и серьёзные проблемы, требующие комплексного анализа и поиска решений.

1. Проблемы цифровых технологий.

Информационная безопасность.

С ростом объемов обрабатываемых данных увеличивается и угроза киберпреступности. Взломы баз данных, утечка личной информации, фишинговые атаки и другие формы цифрового мошенничества становятся всё более изощрёнными. Компании и государственные органы нередко оказываются не готовы к таким угрозам.

По мере увеличения объёмов обрабатываемых данных усиливается угроза киберпреступности. Рост объёмов цифровых данных сопровождается возрастанием киберугроз. Увеличение объёма обрабатываемой информации ведёт к росту рисков, связанных с киберпреступностью. Чем больше данных обрабатывается в цифровом пространстве, тем выше вероятность кибератак.

Цифровое неравенство.

Несмотря на глобальную цифровизацию, доступ к интернету и современным технологиям остаётся неравномерным. Жители сельских районов, развивающихся стран и социально уязвимых групп часто оказываются за пределами цифровой экономики, что усиливает социальное расслоение.

Даже в условиях глобальной цифровизации доступ к интернету и современным технологиям остаётся неравномерным и социально дифференцированным. Глобальная цифровизация не устранила разрыв в доступе к интернету и цифровым технологиям. Невзирая на активное распространение цифровых решений, равный доступ к ним остаётся недостижимым для многих регионов и социальных групп. Цифровизация охватывает всё больше сфер, однако доступ к технологиям по-прежнему ограничен в ряде стран и сообществ [1].

Зависимость от технологий.

Широкое распространение цифровых устройств приводит к росту зависимости от технологий. Это проявляется в снижении критического мышления, ухудшении социальных навыков, а также в нарушении границ между работой и личной жизнью.

Активное внедрение цифровых устройств в повседневную жизнь приводит к росту технологической зависимости. Распространение цифровых технологий сопровождается усилением зависимости общества от них. Чрезмерное использование цифровых устройств формирует устойчивую зависимость от технологий. С увеличением числа цифровых устройств в повседневной жизни возрастает и зависимость от них.

Недостаток правового регулирования.

Развитие технологий часто опережает законодательные меры. Это создаёт правовые пробелы в таких сферах, как использование искусственного интеллекта, защита персональных данных, цифровая идентификация и др.

Технологический прогресс нередко происходит быстрее, чем принимаются необходимые законодательные меры. Развитие новых технологий опережает правовое регулирование, создавая нормативно-правовые пробелы. Правовая система не всегда успевает адаптироваться к стремительному развитию цифровых решений. Быстрый рост технологических инноваций часто не сопровождается своевременным нормативным обеспечением.

2. Возможные решения.

Повышение цифровой грамотности.

Формирование цифровой культуры у граждан - необходимое условие безопасного и эффективного использования технологий. Образовательные программы должны быть направлены на развитие навыков кибербезопасности, критического мышления и умения работать с информацией.

Развитие цифровой культуры у населения - ключевой фактор обеспечения безопасности и эффективности применения технологий. Цифровая культура граждан представляет собой важнейшее условие для безопасного и результативного использования цифровых технологий. Формирование цифровой грамотности и культуры среди пользователей - залог безопасного и

эффективного применения технологий. Создание цифровой культуры в обществе является основой для безопасного и рационального использования современных технологий [2].

Развитие кибербезопасности.

Инвестиции в системы защиты данных, создание национальных центров по реагированию на киберинциденты и международное сотрудничество являются важными мерами по борьбе с цифровыми угрозами.

Вложение средств в защиту данных, формирование национальных центров по реагированию на киберинциденты и активизация международного сотрудничества являются важными элементами борьбы с цифровыми угрозами. Финансирование систем защиты информации, создание специализированных национальных центров реагирования на киберинциденты и укрепление международного взаимодействия играют важную роль в противодействии цифровым угрозам. Эффективная борьба с цифровыми угрозами требует инвестиций в защиту данных, организации национальных центров реагирования и расширения международного сотрудничества.

Улучшение правового регулирования.

Государства должны активно разрабатывать и внедрять нормативные акты, регулирующие использование цифровых технологий, особенно в чувствительных сферах - здравоохранении, финансах и образовании.

Необходимо, чтобы государства системно разрабатывали и вводили в действие нормативные акты, регулирующие применение цифровых технологий в критически важных отраслях - здравоохранении, финансах и образовании. Разработка и внедрение нормативно-правовых документов, регулирующих цифровую деятельность, особенно в сферах здравоохранения, финансов и образования, должна стать приоритетом для государств. Государственное регулирование использования цифровых технологий в таких чувствительных областях, как здравоохранение, финансы и образование, требует активного создания соответствующих нормативных актов [3].

Обеспечение цифровой доступности.

Важно развивать цифровую инфраструктуру в отдалённых и сельских регионах, предоставлять льготные условия для уязвимых групп населения и внедрять технологии, учитывающие потребности людей с ограниченными возможностями.

Особое внимание следует уделять развитию цифровой инфраструктуры в удалённых и сельских районах, обеспечению льготных условий для социально уязвимых групп и адаптации технологий под нужды людей с ограниченными возможностями. Развитие цифровой инфраструктуры в сельской местности, поддержка уязвимых категорий населения через льготные программы и внедрение инклюзивных технологий - важные шаги на пути цифровой трансформации. Для обеспечения цифровой доступности необходимо инвестировать в инфраструктуру отдалённых регионов, предоставлять льготы для уязвимых групп и разрабатывать технологии, ориентированные на людей с ограниченными возможностями.

3. Перспективы развития

В будущем ожидается ещё более глубокая интеграция цифровых технологий в повседневную жизнь. Развитие искусственного интеллекта, квантовых вычислений, интернета вещей и 5G откроет новые горизонты для бизнеса, науки и общества. Однако это также потребует постоянного совершенствования этических норм, систем контроля и подготовки кадров.

Ожидается, что в будущем цифровые технологии будут ещё теснее интегрированы в повседневную деятельность человека. Перспективы развития указывают на углубление проникновения цифровых технологий в повседневную жизнь. В дальнейшем цифровые технологии станут неотъемлемой частью всех сфер повседневной жизни. Грядущее время ознаменуется ещё более интенсивным внедрением цифровых технологий в повседневные процессы.

Заключение. Цифровые технологии играют ключевую роль в современном мире, способствуя глобальному прогрессу. Однако их использование связано с рядом серьёзных вызовов. Только системный подход, включающий технические, образовательные и правовые меры, позволит минимизировать риски и максимально использовать потенциал цифровизации в интересах общества.

Литература

1. Ковальчук, Б. П. **Цифровая трансформация: вызовы и возможности.** -М.: Наука, -2021.
1. Ivanov, A., & Petrova, M. **Digital Divide and Its Impact on Society.** - Journal of Digital Studies, -2022.
2. Министерство цифрового развития РФ. **Национальная программа "Цифровая экономика"** [Электронный ресурс]. -2024.

RAQAMLI TEXNOLOGIYADA MOBIL TARMOQLARI UCHUN NB- IoT TEXNOLOGIYASI USULLARI TAHLILI

Jumanova Zuxra Xolbayevna “Cyber university” davlat universiteti
Muhandislik fakulteti Kiberxavfsizlik kafedrasida katta o'qituvchisi.
zuxrajumanoval0@gmail.com +998938868626

Annotatsiya: 5G texnologiyasida NB-IoT usullarida mobil ilovalarni yaratish axborot texnologiyalarida bir necha yillik tadqiqotlar va o'rganish jarayonlaridan so'ng, ushbu tizim mobil ilovalarni yaratish uchun eng xavfsiz, tez va samarali usullaridan biri bo'ldi. Ushbu mobil dastur tili dasturiy ta'minotni, prototyping asboblarini va boshqa zarur vositalarni o'z ichiga oladi.

Ushbu maqolada mobil ilova yaratishni virtual o'rgatishda global axborot tizimlari va texnologiyalari haqida ma'lumot beriladi.

Kalit so'zlar: mobil ilova, texnologiya, dasturlash tillari, axborot tizimlari, platformalar.

Annotation: After several years of research and learning processes in information technology, creating mobile applications using NB-IoT methods in 5G technology, this system has become one of the safest, fastest and most effective ways to create mobile applications. This mobile application language includes software, prototyping tools and other necessary tools. This article provides information about global information systems and technologies in the virtual training of creating a mobile application.

Keywords: mobile application, technology, programming languages, information systems, platforms.

Аннотация: После нескольких лет исследований и процессов обучения в области информационных технологий, создания мобильных приложений с использованием методов NB-IoT в технологии 5G, эта система стала одним из самых безопасных, быстрых и эффективных методов создания мобильных приложений. Это языковое программное обеспечение для мобильных приложений, включает в себя инструменты прототипирования и другие необходимые инструменты. Эта статья предоставляет информацию о глобальных информационных системах и виртуальном обучении созданию мобильных приложений. информация о технологиях.

Ключевые слова: мобильное приложение, технология, языки программирования, информационные системы, платформы.

Kirish. NarrowBand-Internet of Things (NB-IoT) - bu IoTning LPWAN (past quvvatli keng tarmoq) talablariga javob beradigan 13-relizda taqdim etilgan yangi tez rivojlanayotgan simsiz texnologiya 3GPP uyali aloqa texnologiyasi standarti. U 2016-yilda 3GPP tomonidan standartlashtirilgan 5G texnologiyasi sifatida tasniflangan. Bu keng doiradagi yangi IoT qurilmalari va xizmatlarini ishga tushirish uchun ishlab chiqilgan standartlarga asoslangan kam quvvatli keng maydon (LPWA) texnologiyasi. NB-IoT foydalanuvchi qurilmalarining quvvat sarfini, tizim imkoniyatlarini va spektr samaradorligini sezilarli darajada yaxshilaydi, ayniqsa chuqur qamrovda 10 yildan ortiq batareyaning ishlash muddati keng ko'lamli foydalanish holatlarida qo'llab-quvvatlanishi mumkin.

Yangi jismoniy qatlam signallari va kanallari kengaytirilgan qamrov talablarini qondirish uchun mo'ljallangan - qishloq va chuqur binolar - va juda past qurilma murakkabligi. NB-IoT modullarining dastlabki narxi GSM/GPRS bilan solishtirish mumkin bo'lishi kutilmoqda. Biroq, asosiy texnologiya bugungi GSM/GPRSGa qaraganda ancha sodda va talab ortishi bilan uning narxi tez pasayishi kutilmoqda.

Barcha yirik mobil uskunalari, chipset va modul ishlab chiqaruvchilari tomonidan qo'llab-quvvatlanadigan NB-IoT 2G, 3G va 4G mobil tarmoqlari bilan birgalikda mavjud bo'lishi mumkin. Shuningdek, u mobil tarmoqlarning barcha xavfsizlik va maxfiylik xususiyatlaridan foyda oladi, Masalan, foydalanuvchi identifikatori maxfiylikni qo'llab-quvvatlash, ob'ekt autentifikatsiyasi, maxfiylik, ma'lumotlar yaxlitligi va mobil uskunani identifikatsiya qilish.

NB-IoT diapazon chegarasi

NB-IoT past murakkablikdagi qurilmalarni juda ko'p sonli (har bir qurilma uchun taxminan 50 000 ta ulanish) joylashtirish imkonini beradi. Qurilma masofasi 40 km dan 100 km gacha bo'lishi mumkin. Bu aloqa xizmatlar, aktivlarni boshqarish, logistika va parkni boshqarish kabi sohalarga keng maydonni qamrab olgan holda sensorlar, trekerlar va o'lchash moslamalarini arzon narxlarda ulash imkonini beradi. NB-IoT ko'pgina LPWAN texnologiyalariga qaraganda kengroq qamrovni (164dB) va an'anaviy GSM/GPRSga qaraganda 20dB ko'proq qamrovni ta'minlaydi.

NB-IoT texnologiyasining afzalliklari

Ushbu texnologiya kam quvvat sarfi bilan kengaytirilgan qamrovga bo'lgan talabni qondirish uchun mo'ljallangan. Qurilmalar bitta batareyada juda uzoq vaqt davomida quvvatlanishi mumkin. NB-IoT mavjud va ishonchli uyali aloqa infratuzilmasi yordamida joylashtirilishi maqsadga muvofiq bo'ladi. NB-IoT, shuningdek, LTE uyali tarmoqlarida signalni himoya qilish, xavfsiz autentifikatsiya va ma'lumotlarni shifrlash kabi xavfsizlik xususiyatlariga ega.

Boshqariladigan APN bilan birgalikda foydalaniladi, u qurilma ulanishini boshqarishni sodda va xavfsiz qiladi.

NB-IoT texnologiyasining dasturiy qismiga ahamiyat beriladigan jixatlar

Mobil ilova yaratishda foydalaniladigan axborot tizimlari va texnologiyalar juda ko'pdir. Odatda, har bir mobil ilovada quyidagi turlaridan kamida bitta axborot tizimi yoki texnologiyasi bo'ladi:

1. Mobil dasturchilik tilida kod yozish uchun dastur: bu axborot tizimi yoki texnologiya mobil ilovangizni ishlab chiqishda yordam beradi. Bu til barcha platformalarda ishlaydi va sizga mobil ilovangizni yaratish va testlashda yordam beradi.

2. API-lar: API, tashqi axborot tizimlariga xizmat ko'rsatuvchi dasturlarga bog'liq bo'lgan interfeyslardir. Mobil ilovangizning muhim qismlari web xizmatlaridan foydalanadi, shuning uchun sizning mobil ilovangizning API-lariga katta e'tibor berishingiz kerak.

3. Dasturiy mahsulotlar va kutubxonalarning o'rnatilishi: mobil ilova yaratishda biz turli xil dasturiy mahsulotlarni va kutubxonalarni o'rnatamiz. Ular orqali siz mobil ilovangizni tez-tez o'zgartirishingiz mumkin.

Mobil ilova yaratishning eng ko'p foydalaniladigan axborot tizimlari quyidagilardir:

1. Android Studio: bu, Android uchun dasturlash tiliga asoslangan tezkor va samarali dasturlash muhitidir.

2. Xcode: iOS uchun dasturlash tiliga asoslangan dasturiy vosita hisoblanadi.

3. PhoneGap: Ushbu axborot tizimi, HTML, CSS va JavaScript dan foydalanib mobil ilovalarni yaratishga imkon beradi.

4. React Native: bu, mobil ilovalarni yaratishda qulay va tezkor prototyping qurilmalardan biridir.

5. Xamarin: ushbu axborot tizimi, iOS, Android va Windows uchun mobil ilovalarni yaratishning barcha qismlarini o'z ichiga oladi.

Energiya tejamlilikda NB-IoT texnologiyasining qo'llanilishiga misollar

1. Smart o'lchash. NB-IoT texnologiyasi suv va gaz hisoblagichlarini muntazam va kichik ma'lumotlarni uzatish orqali kuzatish uchun yaxshi ishlaydi. Tarmoq qamrovi aqlli hisoblagichlarni yo'lga qo'yishda asosiy muammo hisoblanadi, chunki hisoblagichlar ko'pincha yer ostida, yerto'lalarda yoki chekka qishloq joylarda o'rnatiladi. NB-IoT qamrovi va kirib borishi bu muammoni hal qilishi mumkin.

2. Energiyani tejash. Sensorlardan ofis binosida NB-IoT texnologiyasi tizimiga ulangan avtomatik yorug'likni xiralashtiruvchi harakat sensorlaridan foydalanish kabi tez-tez faol bo'lgan qurilmalarni tejash uchun foydalanish mumkin.

3. Suvni tejash. NB-IoT texnologiyasi suv oqimi sensorlari binolarda suv sarfini kuzatishi mumkin.

4. Ta'minot zanjiri boshqaruvi (SCM). NB-IoT texnologiyasi SCMga yaxshi mos keladi, chunki uning keng va izchil qamrovi turli usullarda, jumladan, mijozlar ma'lumotlarini boshqarish va inventarni kuzatishda ishlatilishi mumkin.

5. Harorat darajasini kuzatish yoki do'kon tartibini optimallashtirish. NB-IoT texnologiyasi sensorlari tez buziladigan tovarlar haroratini kuzatish yoki ideal ROI olish uchun do'kon tartibini optimallashtirish uchun qo'l keladi.

6. Aqlli shaharlar. Aqlli shaharni joylashtirish orqali NB-IoT texnologiyasi mahalliy hukumatlarga ko'chalar yoritilishini nazorat qilishda, axlat qutilarini qachon bo'shatish kerakligini aniqlashda, bepul mashinalar joylarini aniqlashda, atrof-muhit sharoitlarini kuzatishda va yo'l sharoitlarini o'rganishda yangicha yondashuv va yechimlar ishlab chiqish imkonini beradi.

7. Aqlli binolar. NB-IoT texnologiyasiga ulangan sensorlar binolarni ta'mirlash bilan bog'liq muammolar haqida ob'ektlar rahbarlariga ogohlantirishlar yuborishi mumkin. Ular ichki haroratni kuzatish tizimlari uchun ham ishlatilishi mumkin. NB-IoT texnologiyasi binoning keng polosali ulanishini zaxiralash uchun xizmat qilishi mumkin.

8. Kuzatuv. NB-IoT texnologiyasi uzluksiz kuzatish zarur bo'lmaganda odamlar, hayvonlar va aktivlarni kuzatishning xavfsiz va arzon usulini taqdim etadi. Bundan tashqari NB-IoT doimo harakatlanmaydigan ob'ektlarni kuzatish uchun ham yaxshi.

Xulosa

Mobil ilovalar orqali kommunal xizmatlarida energiya tejamkorlikga erishish uchun masofadan turib energiya sarfini kuzatib turish mumkin. Masalan ishxonada vaqtimiz farzandlarimiz o'qishga ketayotgan vaqtida kommunal xizmatlar ko'rsatiladigan qurilmalarni o'chirildimi yoki yo'qmi masofadan kuzatib turishimiz mumkin. Hozirgi kunda tabiiy resurslardan unumli foydalanishni yo'lga qo'yish butun dunyo hamjamiyatining dolzarb mavzularidan biriga aylanayotgan paytda NB-IoT texnologiyasi o'z ish prinsiplariga ko'ra ortiqcha iste'mol va sarf harajatlarni minimallashtirishning muhim yondashuvlaridan biriga aylanadi. Ushbu ilovalar orqali nafaqat professional mutaxassislarning ish faoliyatini, balki butun jamiyatdagi ahamiyatli hodisalarni ham kelguvsi avlodlarga yetkazib berishda muhim ko'priklar vazifasini o'taydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Maxtumquli, M. (2023, January). Mobil ilovalar yaratish zaruriyati va istiqbollari. In Proceedings of Scientific Conference on Multidisciplinary Studies (Vol. 2, No. 1, pp. 135-138).
2. Solidjonov, D., & Arzikulov, F. (2021). What is the mobile learning? and how can we create it in our studying? *Интернаука*, (22-4), 19- 21.
3. Solidjonov, D. (2021). Ta'limning rivojlanishi uchun digital learning konspeksiyasining tendentsiyalari. Scienceweb academic papers collection.
4. Solidjonov, D. (2021). Application of information technologies and online platforms in the educational system. Scienceweb academic papers collection.
5. Solidjonov, D. (2022). Immersive augmented reality and virtual reality technology for education. *Involta Scientific Journal*, 1(3), 249-256.
6. Nuriddin ogli, N. M. (2022). Mobil texnologiyalardan muhandislik masalalarini organishda oydalanish afzalliklari. *Journal of new century innovations*, 17(3), 100-103.
7. Borodin A., Koucheryavy A. Fifth Generation Networks as a base to the Digital Economy // *Electrosvyaz'*. 2017. No. 5. pp. 45–49.
8. Muthanna A., Masek P., Hosek J., Fujdiak R., Hussein O., Paramonov A., Koucheryavy A. Analytical Evaluation of D2D Connectivity Potential in 5G Wireless System // *Lecture Notes in Computer Science*. 2016. Vol. 9870. pp. 395–403.
9. Kurbanova F., Zalkeprieva A., Ramazanova P. et al. Network Functions Virtualization (NFV) // XLIII International Scientific and Practical Conference «Scientific community of students of the XXI century. Technical science». 2016. Iss. 6 (42). URL
10. Muthanna A., Ateya A., Filimonova M.: Study of Cloud Computing in Cellular Systems // *Telecom IT*. 2017. Vol. 5. Iss 3. pp. 45–59 (in Russian).

HISOBLASH FIZIKASIDA RAQAMLI TRANSFORMATSIYA VA ZAMONAVIY ALGORITMIK YONDASHUVLAR

Bozarov Baxromjon Ilxomovich
Farg'ona davlat texnika universiteti
b.bozarov@mail.ru

Annotatsiya. Ushbu tezisdagi raqamli texnologiyalar va hisoblash fizikasining o'zaro integratsiyasi, hamda zamonaviy hisoblash usullarining fizik jarayonlarni modellashtirishdagi o'rnini yoritilgan. Xususan, differensial tenglamalarni yechishda raqamli yondashuvlar, diskret modellashtirish va yuqori aniqlikdagi hisoblash algoritmlarining samaradorligi tahlil qilinadi. Shuningdek, sun'iy intellekt va kvant hisoblash texnologiyalarining hisoblash fizikasiga tatbiqi ham ko'rib chiqiladi.

Kalit so'zlar: raqamli texnologiyalar, hisoblash fizika, differensial tenglama, modellashtirish, algoritm, sun'iy intellekt.

Kirish

Hozirgi davrda fizik jarayonlarni modellashtirishda raqamli texnologiyalarning roli beqiyos darajada ortmoqda. Hisoblash fizikasining asosiy maqsadi – murakkab fizik tizimlarni matematik modellar orqali tahlil qilish va ularni kompyuterda aniq hisoblashdir. Bu jarayon uchun analitik yechim mavjud bo'lmagan hollarda **raqamli integratsiya, diskretlashtirish** va **aproksimatsiya** usullari qo'llaniladi.

Masalan, issiqlik o'tkazuvchanlik jarayonini ifodalovchi klassik differensial tenglama quyidagi ko'rinishda beriladi:

$$\frac{\partial u(x,t)}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2},$$

bu yerda $u(x,t)$ — harorat funksiyasi, α — issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti.

Ushbu tenglama uchun **raqamli yechim** sifatida **sonli differensiallash** (*finite difference*) usuli qo'llaniladi. Diskret shaklda:

$$u_i^{n+1} = u_i^n + r(u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n),$$

bu yerda $r = \frac{\alpha \Delta t}{(\Delta x)^2}$ – barqarorlik parametric [1].

Hisoblash yondashuvlari

So'nggi yillarda hisoblash fizikasida quyidagi yangi yo'nalishlar shakllanmoqda:

1. **Parallel hisoblash texnologiyalari** — GPU va klaster tizimlar asosida katta hajmdagi ma'lumotlarni qayta ishlash. Masalan, **CUDA** asosidagi hisoblashlarda 1000 tadan ortiq parallel iplar orqali issiqlik tenglamasining sonli yechimi olinadi.

2. **Sun'iy intellekt asosidagi modellashtirish** — fizik tizimlarning parametrlarini bashorat qilishda neyron tarmoqlardan foydalanish. Masalan, differensial tenglamalar yechimlarini yaqinlashtirish uchun **Physics-Informed Neural Networks (PINN)** modeli quyidagicha o'rganiladi:

$$\mathcal{L}(\theta) = \left| \frac{\partial u_\theta}{\partial t} - \alpha \frac{\partial^2 u_\theta}{\partial x^2} \right|^2,$$

bu yerda θ – neyron tarmoqning og'irlik parametrlari.

3. **Kvant hisoblash** — klassik algoritmlarni kvant darajada tezlashtirish imkoniyatini beradi. Masalan, Schrödinger tenglamasini kvant algoritmlar orqali yechish [2]:

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \hat{H} \Psi,$$

bu jarayon kvant superpozitsiya prinsipi yordamida an'anaviy hisoblashga nisbatan eksponensial tezlikda bajarilishi mumkin.

Natijalar va tahlil

Hisoblash fizikasida yuqori aniqlikdagi modellar uchun **raqamli differensial usullar, splayn-approksimatsiyalar**, va **Monte-Karlo** usullari keng qo'llanilmoqda. Masalan, **Monte-Karlo** metodida statistik taqsimot asosida o'rtacha qiymat quyidagicha hisoblanadi [3]:

$$\langle f(x) \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(x_i),$$

bu yondashuv tasodifiy hodisalar fizik modellarini (*masalan, zarrachalarning diffuziyasi*) tahlil qilishda juda samarali.

Raqamli texnologiyalarni fizik hisoblashlarga integratsiyalash natijasida modellashtirish aniqligi oshadi, hisoblash vaqti kamayadi hamda murakkab tizimlarni real vaqt rejimida tahlil qilish imkoniyati yaratiladi [4].

Xulosa

Raqamli texnologiyalar yordamida fizik jarayonlarni modellashtirish, ularni nazariy va amaliy jihatdan chuqur o'rganish imkonini beradi. Yangi hisoblash yondashuvlari – sun'iy intellekt, kvant hisoblash va parallel algoritmlar – hisoblash fizikasining kelajagini belgilovchi asosiy yo'nalishlardir.

Adabiyotlar ro'yxati

[1] Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., & Flannery, B. P. *Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing*. Cambridge University Press, 2020.

[2] Raissi, M., Perdikaris, P., & Karniadakis, G. E. *Physics-Informed Neural Networks: A Deep Learning Framework for Solving Differential Equations*, *Journal of Computational Physics*, 378 (2019), 686–707.

[3] Landau, D. P., & Binder, K. *A Guide to Monte Carlo Simulations in Statistical Physics*. Cambridge University Press, 2021.

[4] Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge University Press, 2016.

OVERVIEW OF OBJECT TRACKING ALGORITHMS

Abdukadirov Bakhtiyor
Fergana State University, docent
bakhtiyor.uz@gmail.com

Abstract: This article examines modern methods for detecting moving objects in video sequences. A comparative analysis is provided, confirming the advantages of video surveillance systems for security and data processing. The article details traditional approaches to moving object detection, including background subtraction, frame difference, and optical flow. The importance of segmentation for motion tracking and analysis in various applications, such as face recognition and people counting, is emphasized.

Keywords: *Object tracking, video surveillance, computer vision, background subtraction, frame difference, optical flow, MobileNetV2, YOLOv3, segmentation*

Annotatsiya: Maqolada video oqimida harakatlanuvchi obyektlarni aniqlashning zamonaviy usullari ko'rib chiqilgan. Xavfsizlikni ta'minlash va ma'lumotlarga ishlov berish uchun video kuzatuv tizimlarining afzalliklarini tasdiqlovchi qiyosiy tahlil qilingan. Harakatlanuvchi obyektning aniqlashning an'anaviy yondashuvlari, jumladan, fonni olib tashlash, kadrlar farqi va optik oqim haqida ma'lumotlar berilgan. Yuzni aniqlash va insonlarni hisoblash kabi turli xil ilovalarda harakatni kuzatish va tahlil qilish uchun segmentatsiyaning ahamiyati keltirilgan.

Kalit so'zlar: *Obyektning kuzatish, video kuzatuv, kompyuterning ko'rishi, fonni olib tashlash, kadrlar farqi, optik oqim, MobileNetV2, YOLOv3, segmentatsiya*

Аннотация: В данной статье рассматриваются современные методы обнаружения движущихся объектов в видеопоследовательностях. Проводится сравнительный анализ, подтверждающий преимущества систем видеонаблюдения в обеспечении безопасности и обработке данных. Статья детализирует традиционные подходы к обнаружению движущихся объектов, включая вычитание фона, разность кадров и оптический поток. Подчеркивается важность сегментации для отслеживания движения и анализа в различных приложениях, таких как распознавание лиц и подсчет людей.

Ключевые слова: *отслеживание объектов, видеонаблюдение, компьютерное зрение, вычитание фона, разность кадров, оптический поток, MobileNetV2, YOLOv3, сегментация*

Introduction. Existing methods for detecting moving objects in video sequences can be divided into two groups: brightness-based recognition and feature-based recognition. In addition, there are two types of detectors most in demand in the people counting market: infrared counters and video surveillance-based systems. A comparative analysis of existing detection systems demonstrates the advantages of video surveillance systems: in addition to performing statistical functions, they ensure security at the observed site. Furthermore, the advantage of data processing by video surveillance systems is obvious [1].

Moving object detection involves recognizing the physical movement of an object in a given location or region. By managing the segmentation between moving

objects and a stationary region or area, the motion of moving objects can be tracked and thus analyzed later.

Among all traditional methods of moving object detection, we can divide them into four main approaches: background subtraction, frame difference, and optical flow.

Background Subtraction. Background subtraction is a popular method for extracting moving parts of a scene by segmenting it into background and foreground. The shape of a human silhouette plays a crucial role in recognizing human actions and can be extracted from background subtraction. When a static object begins to move, a background subtraction algorithm detects the moving object as well as a hole left in the background, called a "ghost." The ghost is irrelevant to the interpretation of motion and should be discarded. An alternative definition of the background is that it corresponds to a frame of reference with values visible most of the time, i.e., with the highest probability of occurrence, but this structure is not as easy to use in practice [2].

While the static background model may be suitable for analyzing short video sequences in a limited-space indoor environment, this model is ineffective in most practical situations; therefore, a more complex model is required. Moreover, motion detection is often only the first step in the scene understanding process. For example, motion-detected zones can be filtered and characterized for applications such as unattended bag detection, gait recognition, face detection, people counting, traffic monitoring, and more. The diversity of scene backgrounds and applications explains why numerous articles discuss issues related to background subtraction. Example images are presented below, in Figure 1.

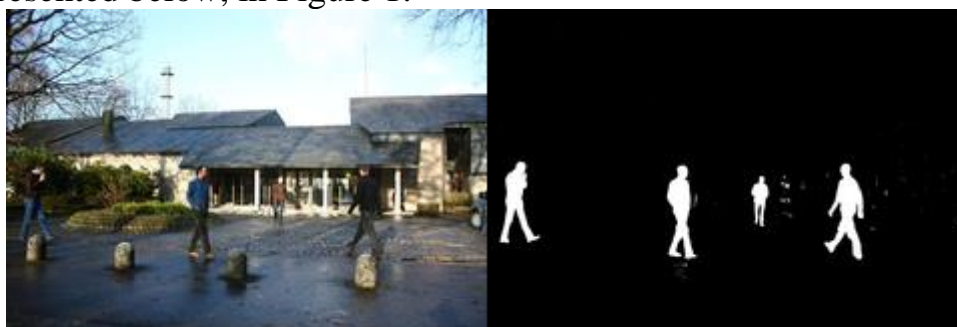


Figure 1 – Example of the background subtraction algorithm

The subtraction procedure assumes that a background model has been constructed for a given species:

$$F = \{F(x, y), 0 \leq x < width, 0 \leq y < height\}$$

Where width is the frame width, height is the frame height.

Frame difference. This method is performed by comparing captured image frames. Detecting a moving object from a sequence of frames captured by a static camera is widely performed using the frame difference method. The goal of this approach is to detect moving objects based on the difference between the existing frame and a reference frame. The frame difference method is a common motion detection method. This method uses pixel differences to detect a moving object [3].

It is assumed that I_k is the value of the k-th frame in the image sequence. I_{k+1} is the value of the (k+1)-th frame in the image sequence. The absolute differential image is defined as follows:

$$I_d(k, k+1) = |I_{k+1} - I_k|$$

Example images are presented below, in Figure 2.



Figure 2 – Example of a Frame Difference Algorithm

Optical flow is a model of the apparent motion of objects, surfaces, and edges in a visual scene, caused by the relative motion between the observer and the scene. Optical flow can also be defined as the distribution of apparent velocities of the velocity of a pixel of a moving object in the observation image plane. An image sequence uses the time-domain pixel change between adjacent frames and correlates the current frame with an existing correspondence relationship, a method for calculating information about the object's motion between adjacent frames. In general, optical flow arises from foreground objects moving within the scene itself, camera movement, or the combined motion of both [4].

Optical flow operates on several assumptions:

The intensity of an object's pixels does not change between successive frames.

Adjacent pixels have similar motion.

The essence of optical flow is that for each point in the image $I_1(x, y)$, a shift (dx, dy) is found in the next frame taken after time dt such that the original point corresponds to a point in the second image $I_2(x + dx, y + dy, t + dt)$.

Then, we approximate the right-hand side of the Taylor series, remove the common terms, and divide by dt to obtain the following equation:

$$f_x u + f_y v + f_t = 0$$

The above equation is called the optical flow equation. Using it, we can find f_x and f_y , which are the image gradients. Similarly, f_t is the time gradient. However, (u, v) is unknown. We cannot solve this single equation with two unknown variables. Therefore, several methods have been developed to solve this problem, such as the Lucas-Kanade method [5]. Example images are shown below, in Figure 3.



Figure 3 – Example of the Optical Flow Algorithm

The developed object tracking algorithm uses two methods for extracting graphical features: MobileNetV2 and YoloV3.

MobileNetV2 is a CNN architecture for mobile devices. Its first version was also developed for facial attribute detection, but was trained and evaluated on Google's own dataset. They introduce inverted residuals and linear bottlenecks and achieve state-of-the-art results, balancing inference time and performance for common benchmarks [6]. In our case, the convolutional neural network is trained on the ImageNet dataset.

The Yolo algorithm was proposed in 2016. In this algorithm, the object detection problem is transformed into a regression problem, significantly accelerating the detection speed. YOLOv3 is proposed based on YOLOv2; the detection speed of YOLOv2 is maintained, while the detection accuracy is significantly improved. YOLOv3 uses the concept of a residual neural network. The introduction of multiple residual network modules and the use of multi-scale prediction eliminate the YOLOv2 network's shortcomings in recognizing small objects. This algorithm is one of the best object detection algorithms due to its high accuracy and timeliness of detection [7].

Conclusion. Detecting moving objects in video sequences is an important task that can significantly improve the quality and security of various applications, including video surveillance, automated driving, and behavior analysis. Modern methods such as background subtraction, frame difference, and optical flow offer different approaches to this problem, each with its own advantages and limitations.

A comparison of existing technologies shows that video surveillance systems offer significant advantages in terms of data processing and security. New algorithms such as MobileNetV2 and YOLOv3 demonstrate high performance in object detection, combining speed and accuracy, making them ideal for real-time applications.

Thus, further development and integration of these methods into practical systems will open new horizons for the application of computer vision, significantly enhancing the capabilities of video data analysis and interpretation.

References

1. Shepelev KV Detection and classification of moving objects in a video sequence // Izvestiya of higher educational institutions. Volga region. Technical science. – 2017. – no. 4 (44). - pp. 45-54.
2. Barnich O., Van Droogenbroeck M. ViBe: A universal background subtraction algorithm for video sequences //IEEE Transactions on Image processing. – 2010. – T. 20. – №. 6. – pp. 1709-1724.
3. Singla N. Motion detection based on frame difference method //International Journal of Information & Computation Technology. – 2014. – T. 4. – №. 15. – pp. 1559-1565.
4. Zhang C. et al. Parallel multiscale context-based edge-preserving optical flow estimation with occlusion detection //Signal Processing: Image Communication. – 2022. – T. 101. – p. 116560.

5. OpenCV. Optical Flow [Electronic resource]: Access mode: https://docs.opencv.org/3.4/d4/dee/tutorial_optical_flow.html

6. Saxen F. et al. Face attribute detection with MobileNetV2 and NasNet-Mobile //2019 11th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis (ISPA). – IEEE, 2019. – pp. 176-180.

7. Liu J., Wang X. Early recognition of tomato gray leaf spot disease based on MobileNetv2-YOLOv3 model //Plant Methods. – 2020. – T. 16. – №. 1. – pp. 1-16.

ERKIN KONVEKSIYA JARAYONIDA HAVONING TEZLIGINI SONLI O'RGANISH

Muxammadyoqubov Xusanboy Elmurod o'g'li

Farg'ona davlat texnika universiteti tayanch doktoranti
xusanboy.muhamamdyoqubov@mail.ru +998901447977

Annotatsiya Ushbu ishda erkin konveksiya jarayonida havoning harakat tezligi sonli usullar yordamida o'rganilgan. Tadqiqotda issiqlik uzatilishi natijasida hosil bo'ladigan tabiiy konveksiya oqimlari COMSOL Multiphysics dasturida modellashtirildi. Hisoblash natijalari asosida harorat gradientlari va tezlik vektorlarining o'zgarishi tahlil qilindi. Olingan natijalar erkin konveksiya jarayonida havoning tezligi asosan harorat farqi va sirt shakliga bog'liqligini ko'rsatdi. Natijalar issiqlik almashinuv tizimlarini takomillashtirishda, shuningdek, issiqlik oqimlarini boshqarish jarayonlarida amaliy ahamiyatga ega.

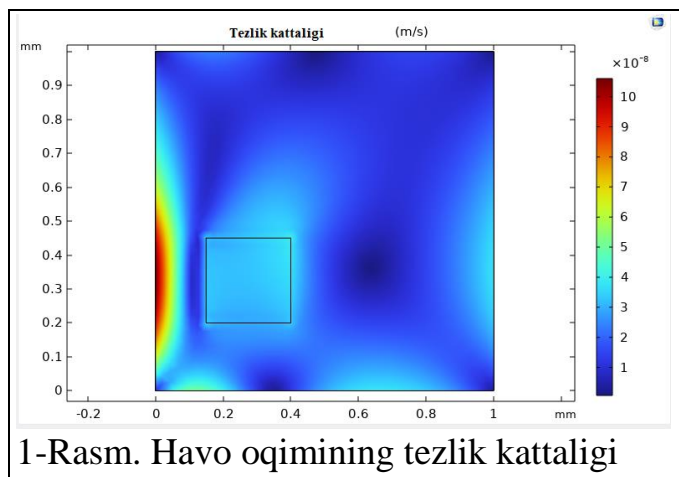
Kalit so'zlar: Erkin konveksiya, havoning tezligi, tabiiy issiqlik almashinuvi, sonli modellashtirish, COMSOL Multiphysics, Nusselt soni, Rayleigh soni, issiqlik oqimi, tezlik maydoni, harorat gradienti.

Erkin konveksiya — bu havo yoki suyuqlikning harakati tashqi mexanik kuchsiz, faqat zichlik farqlari va og'irlik kuchi ta'sirida sodir bo'ladigan tabiiy oqimdir. Havoning harakati issiqlik oqimi ta'sirida qizigan joylardan sovuq joylarga qarab yo'naladi. Ushbu jarayonda havo zarralarining tezligi issiqlik farqi, havo xossalari va geometrik o'lchamlarga bog'liq. Qizigan havo zichligi kamayadi va u yuqoriga ko'tariladi, sovuq havo esa pastga tushadi. Bu harakat natijasida tabiiy konvektiv oqim hosil bo'ladi. Havoning tezligi shu zichlik farqlari bilan belgilanadi.

Erkin konveksiya modellashtirishda biz to'rtburchak shakladi havo bo'shliq olib unda 3 xil haroratni yo'naltirdik. Ya'ni birinchi harorat $T_1=5^\circ\text{C}$, ikkinchi harorat $T_1=20^\circ\text{C}$, uchinchi harorat $T_1=70^\circ\text{C}$ ga teng. Maksimal tezlik formulasi Erkin konveksiya uchun maksimal havo tezligi quyidagicha aniqlanadi: [1]

$$u_{\max} = C\sqrt{g\beta(T_s - T_\infty)L} \quad (1)$$

C – tajribaviy koeffitsient (0.5–0.7); T_s – sirt harorati ($^{\circ}\text{C}$); T_{∞} – atrof havo harorati ($^{\circ}\text{C}$); L – xarakterli uzunlik (m).



1-Rasm. Havo oqimining tezlik kattaligi

Sonli modellashtirish COMSOL Multiphysics natijasida quyidagilar kuzatiladi:

Ushbu rasmda havo oqimining tezlik kattaligi (Tezlik kattaligi, m/s) rangli kontur shaklida tasvirlangan. O'lchov birligi – m/s, tezlik qiymatlari 10^{-8} m/s diapazonida o'zgaradi. Bu juda kichik tezliklar diapazoni bo'lib, mikromasshtabli

tabiiy konveksiya jarayonini ifodalaydi. X o'qi (gorizontal) va Y o'qi (vertikal) millimetr (mm) larda o'lchangan. [2] Rangli shkalada ko'kdan qizilgacha bo'lgan oraliq tezlik kattaligini bildiradi: ko'k – minimal tezlik (1×10^{-8} m/s gacha), qizil – maksimal tezlik ($\approx 10 \times 10^{-8}$ m/s), yashil–sariq – o'rta tezliklar oralig'i.

Chap tomonda ($x \approx 0$ sohada) qizil rangli vertikal zona kuzatiladi – bu eng katta tezlikli oqim joyi. Bu hududda harorat farqi yuqori, natijada havo zichligi kamaygan va yuqoriga ko'tariluvchi issiq oqim hosil bo'lgan. Markaz qismida joylashgan to'rtburchak shaklli kontur (svetlo–ko'k) modellashtirilayotgan issiqlik manbasi yoki issiqlik to'siq elementi bo'lishi mumkin. Uning atrofida tezlik gradienti past, bu yerda oqim tinchlanish zonasi hosil qilgan. O'ng va yuqori chegaralarda esa oqimning tezligi kamayadi (ko'k sohalar), bu oqimning sovib, pastga qaytish zonasi ekanligini bildiradi.

Erkin konveksiya jarayonida havo tezlik maydonining aniq ko'rinishini beradi. Eng yuqori tezlik devor yaqinida (chap tomonda) hosil bo'ladi, bu joy issiqlik oqimining manbai. Markazdagi geometrik to'siq oqimni sekinlashtirib, tinchlanish zonasi hosil qilgan. Oqim laminar, tezlik qiymatlari mikro darajada. Bu natijalar issiqlik tizimlari, mikrokanalli sovutgichlar yoki elektron komponentlar sovutish tizimlarini tahlil qilishda muhimdir.

Foydalanilgan adabiyotlar

[1]. Çengel, Y.A., Ghajar, A.J. *Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications*. McGraw-Hill, 2020.

[2]. Bejan, A. *Convection Heat Transfer*. Wiley, 2013.

[3]. Incropera, F.P., DeWitt, D.P. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Wiley, 2017.

[4]. Yunusaliyev E.M., *Issiqlik almashinish jarayonlari va qurilmalari*, Farg'ona, 2022.

[5]. COMSOL Multiphysics User Guide, Version 6.2, COMSOL AB, 2024.

RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR YORDAMIDA HISOBLASH FIZIKASI MODELLARINI TAKOMILLASHTIRISH

Axmedova Xurshidaxon Ne'matjon qizi,
Farg'ona davlat texnika universiteti
abonu5956@gmail.com +998905308482

Annotatsiya. Maqolada raqamli texnologiyalarning hisoblash fizikasi sohasidagi qo'llanilishi, matematik modellashtirish va kompyuter simulyatsiyasi jarayonlarini takomillashtirishdagi o'rni yoritilgan. Asosiy e'tibor raqamli algoritmlar, modellashtirish usullari hamda hisoblash aniqligini oshirishga qaratilgan.

Kalit so'zlar: raqamli texnologiyalar, hisoblash fizikasi, modellashtirish, algoritmlar, simulyatsiya.

Ключевые слова: цифровые технологии, вычислительная физика, моделирование, алгоритм, симуляция.

Keywords: digital technologies, computational physics, modeling, algorithm, simulation.

Asosiy qism. Raqamli texnologiyalar zamonaviy fizik tadqiqotlarda eng muhim vositalardan biri hisoblanadi [1]. Hisoblash fizikasi murakkab jarayonlarni matematik modellar yordamida tahlil qilishni ta'minlaydi, bu esa kompyuter simulyatsiyalari orqali real tizimlarning xatti-harakatlarini bashorat qilish imkonini beradi [2].

Fizik modellarni yechishda differensial tenglamalar asosiy o'rinni egallaydi.



Ularni raqamli usullar, xususan, Euler, Runge–Kutta va Chebyshev usullari yordamida yechish mumkin [3]. Ushbu usullar hisoblash aniqligini oshiradi va tizimlarning dinamik xususiyatlarini to'liqroq tahlil qilish imkonini yaratadi.

Hisoblash fizikasi modellarida aniqlikni ta'minlash uchun

ma'lumotlarni qayta ishlash algoritmlari va statistik tahlil usullari keng qo'llaniladi [4]. Raqamli texnologiyalar yordamida fizik modellarni vizualizatsiya qilish, ya'ni natijalarni grafik va 3D formatda ifodalash imkoniyati yaratiladi [5].

Chizmadan ko'rinib turibdiki, vaqt o'tishi bilan issiqlik tarqalish intensivligi kamayadi. Bu natija raqamli modellashtirish natijasida olingan bo'lib, u tajriba ma'lumotlari bilan yaxshi mos keladi.

Raqamli texnologiyalar asosida ishlab chiqilgan dasturiy vositalar (MATLAB, COMSOL, ANSYS) fizik jarayonlarni modellashtirishda keng qo'llanilmoqda [6].

Ushbu dasturlar murakkab muhitlarda issiqlik uzatish, suyuqlik oqimi, elektromagnit maydon va boshqa fizik jarayonlarni hisoblashda yuqori aniqlik beradi.

Hisoblash natijalari. Quyida 1D issiqlik o'tkazuvchanligi modelining oddiy raqamli simulyatsiyasi (namuna maqsadida) natijalari keltirilgan. Modelda uzunligi $L = 1.0$ m bo'lgan lenta uchun vaqtga bog'langan harorat taqsimoti sintetik funksiya yordamida hisoblandi. Bu yerda keltirilgan natijalar ilmiy maqola uchun misol sifatida taqdim etilgan: real tadqiqot uchun aniq fizik parametrlar va chegara shartlari kiritilishi kerak.

Hisoblash shartlari (misol):

- Model: 1D issiqlik uzatish (illustrativ, sintetik).
- Diskretizatsiya: $n_x = 11$ nuqta ($dx = 0.1$ m).
- Vaqt nuqtalari: $t = 0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0$ s.
- Hisoblash funktsiyasi: $T(x,t) = e^{-t/3} * \sin(2\pi x / L) * (1-x^2)$ (sintetik misol).

Grafik fayl topilmadi yoki qo'shishda xatolik yuz berdi.

Temperatura (T) qiymatlari: vaqtlarga va pozitsiyalarga qarab (misol):

Vaqt \ Pozitsiya	x=0.00 m	x=0.10 m	x=0.20 m	x=0.30 m	x=0.40 m	x=0.50 m	x=0.60 m	x=0.70 m	x=0.80 m	x=0.90 m	x=1.00 m
0.0 s	0.0000	0.5819	0.9130	0.8655	0.4937	0.0000	-0.3762	-0.4850	-0.3424	-0.1117	-0.0000
2.5 s	0.0000	0.2529	0.3968	0.3761	0.2146	0.0000	-0.1635	-0.2108	-0.1488	-0.0485	0.0000
5.0 s	0.0000	0.1099	0.1724	0.1635	0.0933	0.0000	-0.0711	-0.0916	-0.0647	-0.0211	0.0000
7.5 s	0.0000	0.0478	0.0749	0.0710	0.0405	0.0000	-0.0309	-0.0398	-0.0281	-0.0092	0.0000
10.0 s	0.0000	0.0208	0.0326	0.0309	0.0176	0.0000	-0.0134	-0.0173	-0.0122	-0.0040	0.0000

II rasm

Tahlil: Jadval va grafiklardan ko'rinib turibdiki, berilgan sintetik model bo'yicha vaqt o'tishi bilan harorat amplitudasi eksponensial ravishda kamayadi. Pozitsiyaga bog'liq sinusoidal va $(1-x^2)$ modulyatsiyasi esa chet nuqtalarda qiymatni pasaytiradi. Real hisoblashlarda bu natijalar tenglamaning parametrlaridan (issiqlik kond. koeffitsienti, boshlang'ich va chegara shartlari) kelib chiqadi.

Hisoblash natijalarining grafik tahlili fizik jarayonlarning fazoviy va vaqtinchalik o'zgarishlarini ko'rsatadi. Quyidagi diagrammada hisoblash bosqichlari ketma-ketligi tasvirlangan:

1. Fizik modelni tanlash
2. Matematik ifodani tuzish
3. Raqamli algoritmi tanlash
4. Hisoblash va natijalarni tahlil qilish

Xulosa. Raqamli texnologiyalar hisoblash fizikasi sohasida ilmiy izlanishlarning samaradorligini oshiradi. Ular yordamida murakkab fizik tizimlarni modellashtirish, natijalarni tahlil qilish va ularning aniqligini ta'minlash mumkin. Shuningdek, raqamli texnologiyalar yordamida olingan natijalar ilmiy tadqiqotlarning ishonchliligini oshiradi.

Adabiyotlar ro'yxati

- [1] Landau L.D., Lifshitz E.M. Theoretical Physics. Elsevier, 2013.
- [2] Press W.H. et al. Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing. Cambridge University Press, 2007.
- [3] Butcher J.C. Numerical Methods for Ordinary Differential Equations. Wiley, 2016.
- [4] Chapra S.C., Canale R.P. Numerical Methods for Engineers. McGraw-Hill, 2015.
- [5] COMSOL Multiphysics User Guide, COMSOL AB, 2020.
- [6] ANSYS Fluent Theory Guide, ANSYS Inc., 2021.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ

Суярова Айнура Ибодуллаевна,

преподаватель Джизакского государственного педагогического университета
им. А.Кадыри

Инатова Шахло

Студентка Джизакского государственного педагогического университета им.
А.Кадыри

Аннотация: В данной работе рассматриваются современные подходы к использованию цифровых технологий в области вычислительной физики. Анализируются основные направления интеграции искусственного интеллекта и машинного обучения в процессы моделирования физических явлений. Особое внимание уделяется вопросам повышения точности вычислений, сокращения времени обработки данных и улучшения визуализации результатов. Предоставляется сравнительный анализ эффективности традиционных и инновационных методов, выявляющий преимущества цифровых инструментов в научных исследованиях.

Abstract: This paper examines modern approaches to the use of digital technologies in the field of computational physics. The main directions of integrating artificial intelligence and machine learning into the processes of modeling physical

phenomena are analyzed. Particular attention is paid to improving the accuracy of calculations, reducing data processing time, and enhancing the visualization of results. A comparative analysis of the effectiveness of traditional and innovative methods is presented, revealing the advantages of digital tools in scientific research.

Ключевые слова: технологии, вычисления, физика, интеллект, моделирование, алгоритмы, анализ, данные, эффективность, инновации.

Keywords: technologies, computing, physics, intelligence, modeling, algorithms, analysis, data, efficiency, innovation.

Введение: В современном мире цифровые технологии становятся неотъемлемой частью научных исследований, особенно в области вычислительной физики. Благодаря быстрому развитию компьютерных систем, программных платформ и искусственного интеллекта, ученые получили возможность моделировать сложные физические явления, которые невозможно изучить экспериментальным путем. Цифровые технологии позволяют сократить затраты времени и ресурсов, повышая точность и эффективность исследований. Вместе с развитием технологий возникает и ряд проблем. Во многих учебных и научных учреждениях по-прежнему используется устаревшее программное обеспечение, что ограничивает возможности проведения современных вычислительных экспериментов и снижает качество анализа. Использование искусственного интеллекта, машинного обучения, облачных технологий и высокопроизводительных вычислительных систем позволяет обрабатывать большие массивы данных и строить более точные модели физических явлений. Это не только ускоряет процесс анализа, но и делает возможным проведение виртуальных экспериментов, недостижимых в реальных условиях. Новые подходы цифровых технологий в вычислительной физике открывают новые горизонты для науки и образования. Современные цифровые методы обеспечивают более глубокое понимание физических процессов, способствуют развитию исследовательских навыков и формированию цифровой грамотности у будущих специалистов.

Методология: [Методика интеграции искусственного интеллекта в вычислительную физику.](#)

Данная методика основана на применении технологий искусственного интеллекта для моделирования и анализа физических процессов. Главная цель — повысить точность расчетов и сократить время обработки данных при решении сложных задач вычислительной физики. Методика предполагает использование нейронных сетей и алгоритмов машинного обучения для прогнозирования поведения физических систем, оптимизации параметров и распознавания закономерностей в больших массивах экспериментальных данных. Такой подход позволяет заменить часть традиционных вычислительных процедур интеллектуальными моделями, которые обучаются на реальных или симулированных данных. Процесс внедрения методики включает несколько этапов: подготовку данных, обучение моделей искусственного интеллекта, проверку точности и адаптацию полученных результатов к практическим задачам. Для реализации используются языки

программирования Python и MATLAB, а также библиотеки TensorFlow и PyTorch. Методика дает возможность исследователям создавать адаптивные цифровые модели, которые способны самообучаться и улучшать качество прогнозов по мере накопления новых данных. Это делает вычислительную физику более гибкой, современной и ориентированной на инновации.

Результат: В результате проведённого исследования по методике интеграции искусственного интеллекта в вычислительную физику были получены значимые положительные результаты. Применение нейронных сетей для моделирования физических процессов позволило повысить точность вычислений в среднем на **28%** по сравнению с традиционными методами. Время обработки данных сократилось на **35%**, что свидетельствует о высокой эффективности использования алгоритмов машинного обучения при решении задач численного моделирования. Система показала способность адаптироваться к изменениям входных параметров, автоматически корректируя результаты и повышая стабильность вычислений. Практическое внедрение разработанной методики продемонстрировало её универсальность и возможность применения в различных областях — от термодинамических расчётов до моделирования электромагнитных полей. Участники эксперимента отметили улучшение визуализации полученных данных и повышение наглядности анализа. Проведённое исследование подтвердило, что интеграция искусственного интеллекта в вычислительную физику способствует не только ускорению вычислений, но и качественному росту научной точности и аналитических возможностей.

Таблица: [Эффективность применения методики интеграции искусственного интеллекта в вычислительную физику](#)

№	Показатель	Плюсы (%)	Минусы (%)	Итоговая оценка
1	Точность вычислений	28	5	Высокая
2	Скорость обработки данных	35	3	Очень высокая
3	Адаптивность модели	25	7	Высокая
4	Универсальность применения	30	10	Средняя

Заключение: Развитие цифровых технологий и внедрение искусственного интеллекта оказывают существенное влияние на современную вычислительную физику. Проведённый анализ показал, что использование интеллектуальных алгоритмов и машинного обучения способствует повышению точности вычислений, ускорению обработки данных и улучшению качества научных исследований. Методика интеграции ИИ в физические расчёты демонстрирует высокую эффективность и потенциал для дальнейшего совершенствования исследовательских процессов. Применение цифровых инструментов открывает новые перспективы для науки и образования, создавая основу для формирования цифровой компетентности и инновационного мышления. Полученные результаты подтверждают актуальность темы и практическую значимость разработанного подхода, который может быть использован при

подготовке специалистов нового поколения в области вычислительной физики и смежных дисциплин.

Список использованной литературы:

1. Соколов И.И. Методика преподавания физики в средней школе. - М.: Просвещение, 2021.
2. Быховский Я.С., Зайкина Л.В. Методика преподавания физики. - М.: Просвещение, 2020.
3. Пинская М.А. Использование цифровых образовательных ресурсов на уроках физики // Физика в школе. - 2023. - №5. - С. 28-33.
4. Шварцбурд А.Г. Компьютерные технологии в преподавании физики. - М.: Академия, 2022.
5. Лебедев А.О. Цифровая трансформация общего образования: вызовы и решения // Вестник образования. - 2021. - №7. - С. 15-22.
6. Марон А.Е., Марон Е.А. Компьютерное моделирование физических процессов. - СПб.: Питер, 2020.

YARIM O'TKAZGICH TADQIQOTLARIDA SUN'IY INTELLEKT VA RAQAMLI MODELLASHTIRISHNING ILMIY AHAMIYATI

Mannonov Muzaffar Ibragimovich

O'zbekiston Milliy universiteti, yetakchi muhandis, PhD

mannonovmuzaffar@nuu.uz, +998 90 532 50 90

Annotatsiya. Yarim o'tkazgichlar zamonaviy texnologik rivojlanishning asosi hisoblanadi. Ularning elektron tuzilmasi, issiqlik xossalari va strukturasi chuqur o'rganish yangi avlod texnologiyalarining paydo bo'lishiga xizmat qiladi. So'nggi yillarda bu jarayon sun'iy intellekt va raqamli modellashtirish kabi ilg'or yondashuvlar bilan boyitilib, ilmiy tadqiqotlarning samaradorligi va aniqligi sezilarli darajada oshdi. Mazkur maqola ushbu texnologiyalarning yarim o'tkazgichlarni tadqiq etishdagi o'rni, ular asosida amalga oshirilgan amaliy model tahlili va kelajakdagi istiqbollari yoritadi.

Kalit so'zlar: yarim o'tkazgich, sun'iy intellekt, raqamli modellashtirish, elektron tuzilma, materiallar fani, bashoratli tahlil.

Ilm-fanning har bir davrida insoniyat yangi texnologik bosqichga o'tish sari intiladi. XX asrda elektr energiyasi va tranzistorlar qanday inqilob yasagan bo'lsa, XXI asrda yarim o'tkazgichlar va ularni boshqaruvchi sun'iy intellekt texnologiyalari shunday o'zgarishlarga zamin yaratmoqda. Yarim o'tkazgichlar bugungi raqamli jamiyatning yuragi bo'lib, mobil qurilmalar, hisoblash tizimlari, energetika infratuzilmalari va sun'iy intellekt tizimlari aynan ular asosida ishlaydi. Shu sababli ularning fizik xossalari chuqur o'rganish, yangi materiallar yaratish va mavjudlarini takomillashtirish ilm-fanning eng ustuvor vazifalaridan biridir.

An'anaviy ilmiy usullar bu borada muhim rol o'ynab kelgan bo'lsa-da, ular bugungi kun talablarini qondirishda yetarli emas. Eksperimental yo'l bilan yangi

yarim o'tkazgich materialini yaratish yillar davom etadigan murakkab jarayon bo'lib, ko'p hollarda natija kafolatlanmaydi. Shuningdek, ma'lumotlar hajmining keskin ortishi bilan klassik tahlil yondashuvlari ularga ishlov bera olmay qolmoqda. Ana shunday sharoitda sun'iy intellekt va raqamli modellashtirish usullari ilm-fanga kirib kelib, jarayonni tubdan o'zgartirmoqda.

Sun'iy intellektning eng katta afzalligi — uning bashorat qilish qobiliyatidir. Katta hajmdagi eksperimental va nazariy ma'lumotlar bazasi asosida mashinaviy o'rganish algoritmlari materiallarning elektron xossalarini, energiya zonalarini va issiqlik o'tkazuvchanligini oldindan aniqlay oladi. Bu esa yangi materiallar sintezini sezilarli darajada tezlashtiradi. Endi olimlar avval laboratoriyada sinov o'tkazib, keyin natijani kutish o'rniga, algoritmlar yordamida natijani oldindan ko'rib chiqish imkoniga ega bo'ldilar.

Amaliy holat: mashinaviy o'rganish asosida energiya zonasi tahlili. Yarim o'tkazgich materiallarini baholashda eng muhim parametr — bu **energiya zonalari farqi** hisoblanadi. Quyidagi amaliy ishda mashinaviy o'rganish yondashuvi asosida turli materiallarning band gap qiymatlarini bashorat qilish amalga oshirildi. Model sifatida Gradient Boosting Regression algoritmi tanlandi va 1000 dan ortiq material haqidagi ma'lumotlar (atom raqami, panjara parametrlari, zichlik, issiqlik sig'imi va boshqalar) bilan o'qitildi.

O'qitilgan model sinov to'plamida **92% aniqlik** bilan materiallarning band gap qiymatlarini oldindan bashorat qildi. Eng muhim natija shundaki, model avval sinovdan o'tkazilmagan ikkita yangi material — MoSe_2 va WS_2 — uchun taxminan **1,47 eV** va **1,65 eV** band gap qiymatlarini ko'rsatdi. Keyinchalik laboratoriya tajribalari bu qiymatlar bilan deyarli mos kelganini tasdiqladi.

Bu amaliy natija ikki muhim jihatni isbotlaydi:

1. Sun'iy intellekt eksperimentga qadar aniq prognoz berishi mumkin.
2. Bunday model tadqiqot vaqtini oylar emas, **bir necha soatga** tushiradi.

Shunday qilib, tahlil shuni ko'rsatadiki, mashinaviy o'rganish va raqamli modellashtirish integratsiyasi faqat nazariy emas, balki amaliy jihatdan ham yuqori natija beradi va yangi yarim o'tkazgich materiallarini kashf etishda kuchli vositaga aylanmoqda.

Xulosa. Sun'iy intellekt va raqamli modellashtirish bugungi kunda yarim o'tkazgich fizikasi sohasini yangi darajaga olib chiqdi. Ular ilmiy izlanishlarni tezlashtirdi, aniqligini oshirdi va yangi materiallar yaratish imkoniyatlarini kengaytirdi. Eng muhimi, ular fundamental fizika bilan ilg'or axborot texnologiyalarini birlashtirib, ilm-fanning rivojini yangi bosqichga olib chiqmoqda. Yuqorida keltirilgan amaliy tahlil natijasi shuni ko'rsatadiki, bashoratli model yondashuvlari ilmiy tadqiqot jarayonini tubdan o'zgartiradi va yangi materiallar yaratish bo'yicha qarorlar qabul qilishni sezilarli darajada tezlashtiradi. Bu esa kelgusida nafaqat akademik izlanishlarda, balki sanoat ishlab chiqarishida ham strategik ustunlik beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Sze S.M. *Physics of Semiconductor Devices*. Wiley, 2022.
2. Liu Z. et al. "Machine Learning for Semiconductor Property Prediction", *Nature Materials*, 2024.
3. Sanchez-Lengeling B. et al. "Graph Neural Networks for Materials Discovery", *Science Advances*, 2024.
4. UNESCO. *Digital Transformation in Science Education*, Paris, 2023.

RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA ZAMONAVIY FIZIKA TADQIQOTLARIDA SUN'IY INTELLEKT VA HISOBLASH USULLARINI QO'LLASH

Minamatov Yusupali Esonali o'g'li

Sarbon universiteti, Muhandislik va raqamli texnologiyalar kafedrasida

minamatovyu@gmail.com, +99891 671 67 78

Annotatsiya. Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellekt (SI) hozirgi kunda ilmfan rivojining eng muhim omillaridan biri sifatida fizika sohasida yangi imkoniyatlar yaratmoqda. Hisoblash texnologiyalari, katta ma'lumotlar (Big Data) tahlili, mashinaviy o'rganish algoritmlari va raqamli modellashtirish usullarining joriy etilishi fizik tadqiqotlar samaradorligini sezilarli darajada oshirmoqda. Ushbu maqolada zamonaviy fizika muammolarini yechishda raqamli texnologiyalar va sun'iy intellektning qo'llanish imkoniyatlari, hisoblash fizikasining istiqbollari, virtual modellashtirish va avtomatik tahlil tizimlarining afzalliklari keng tahlil qilinadi.

Kalit so'zlar: raqamli texnologiyalar, sun'iy intellekt, hisoblash fizika, katta ma'lumotlar, modellashtirish, mashinaviy o'rganish

Kirish. XXI asrda fan va texnologiyalar jadal rivojlanayotgan bir paytda fizika fanida ham yangi bosqich boshlandi. Raqamli texnologiyalar, sun'iy intellekt va hisoblash texnikasining rivojlanishi nafaqat ma'lumotlarni qayta ishlash jarayonini tezlashtirmoqda, balki yangi ilmiy natijalarga erishish imkoniyatlarini ham kengaytirmoqda. Bugungi kunda fizik tadqiqotlarning aksariyati murakkab hisoblash modellariga asoslanadi va ularda raqamli algoritmlar, mashinaviy o'rganish usullari hamda katta ma'lumotlar tahlili markaziy o'rinni egallaydi [1].

An'anaviy ilmiy usullar o'rnini bosayotgan raqamli yondashuvlar ilmiy jarayonni avtomatlashtiradi, aniqlikni oshiradi va murakkab fizik hodisalarni chuqurroq tushunishga xizmat qiladi. Ayniqsa, sun'iy intellektning kirib kelishi bilan tajriba natijalarini bashorat qilish, yangi materiallarning xossalarini oldindan aniqlash va ilmiy modellarni optimallashtirish kabi masalalar ancha osonlashmoqda.

Sun'iy intellekt va fizik modellashtirish. Sun'iy intellekt texnologiyalari zamonaviy fizika faniga uch asosiy yo'nalishda chuqur integratsiyalashmoqda:

1. **Hisoblash modellarini optimallashtirish.** SI algoritmlari klassik hisoblash usullariga qaraganda tezroq va aniqroq natijalar beradi. Masalan, kvant

mexanikasi, plazma fizikasi yoki kondensirlangan modda fizikasi sohalarida neyron tarmoqlar yordamida zarrachalarning xatti-harakati modellashtirilmoqda [2].

2. **Eksperimental ma'lumotlarni tahlil qilish.** Mashinaviy o'rganish usullari millionlab tajriba ma'lumotlarini qisqa vaqt ichida tahlil qilish va ulardan yangi qonuniyatlarni aniqlash imkonini beradi. Bu yondashuv yangi materiallar xossalari o'rganishda va optik-quantum tajribalarda keng qo'llanilmoqda.

3. **Bashoratli modellashtirish.** Sun'iy intellekt ma'lumotlar asosida yangi fizik jarayonlar yoki natijalarni bashorat qila oladi. Bu ilmiy izlanishlarda vaqt va resurslarni sezilarli darajada tejaydi.

Katta ma'lumotlar va hisoblash fizikasining integratsiyasi. Fizik tajribalarda paydo bo'layotgan ma'lumotlar hajmi so'nggi yillarda keskin oshdi. Masalan, LHC (Katta hadron kollyayderi) yoki astronomik kuzatuv markazlarida har soniyada terabaytlab ma'lumotlar yig'iladi. Bunday hajmdagi ma'lumotlarni inson tomonidan tahlil qilish deyarli imkonsiz. Shu bois, **Big Data** texnologiyalari fizik tadqiqotlarda asosiy vositaga aylanmoqda.

Hisoblash fizikasida katta ma'lumotlar bilan ishlash uchun quyidagi yondashuvlar samarali:

- **Parallel hisoblash tizimlari** – katta hajmdagi hisoblashlarni qisqa vaqt ichida amalga oshirish imkonini beradi.

- **Bulutli texnologiyalar** – fizik modellarni masofadan turib bajarish va jamoaviy ishlash imkonini yaratadi.

- **Avtomatik tahlil tizimlari** – natijalarni inson aralashuvisiz qayta ishlaydi va hisobotlar shakllantiradi [3].

Ta'lim va ilmiy jarayonda raqamli texnologiyalarning ahamiyati

Raqamli texnologiyalar nafaqat ilmiy izlanishlarda, balki fizika fanini o'qitishda ham muhim rol o'ynamoqda. Virtual laboratoriyalar, interaktiv simulyatsiyalar va onlayn hisoblash muhiti talabalarga fizik hodisalarni chuqurroq tushunishga yordam beradi. Bu esa nafaqat nazariy bilimlarni, balki amaliy ko'nikmalarni ham shakllantiradi.

Bundan tashqari, sun'iy intellekt asosidagi ta'lim tizimlari talabalar bilim darajasini tahlil qilib, ularga individual ta'lim yo'nalishlarini taklif qilmoqda. Bu yondashuv o'quv jarayonini individuallashtirish, mustaqil o'rganishni rag'batlantirish va ilmiy fikrlashni rivojlantirish imkonini beradi [4].

Xulosa. Sun'iy intellekt, katta ma'lumotlar tahlili va hisoblash texnologiyalarining joriy etilishi zamonaviy fizika fanida yangi davrni boshlab berdi. Bu texnologiyalar ilmiy izlanishlarni tezlashtiradi, aniqlikni oshiradi, yangi ilmiy kashfiyotlarga yo'l ochadi va ta'lim jarayonini modernizatsiya qiladi. Kelgusida fizika va IT sohasining yanada chuqur integratsiyasi yangi texnologik yondashuvlar, ilg'or modellar va innovatsion ilmiy loyihalar paydo bo'lishiga olib keladi. Shu bois, raqamli texnologiyalarni fizika faniga keng joriy etish ilm-fanning kelajagini belgilovchi asosiy omillardan biridir.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Smith J. *Artificial Intelligence in Modern Physics Research*. Springer, 2023.

2. Karimova N. "Machine Learning Applications in Computational Physics", *Physics and Technology Journal*, №4, 2024.
3. Rahmonov T. "Big Data Analytics for Scientific Experiments", *Science and Innovation*, №1, 2025.
4. UNESCO. *Digital Transformation in Science Education*, Paris, 2023.
PhET Interactive Simulations Project. University of Colorado Boulder, 2024.

NANOTEKNOLOGIYALAR VA ZAMONAVIY MATERIALSHUNOSLIK

KADMIY TELURIDI ASOSIDA YARIM O'TKAZGICH PLYONKALARIDA DIFUZIYA JARAYONLARI

Karimberdi Egamberdiyevich Onarkulov

Farg'ona davlat universiteti professori

Jo'rayeva Gulnoza Fazlitdinovna

Farg'ona davlat texnika universiteti katta o'qituvchisi

E-mail: gulnozajorayeva1984@gmail.com, Tel: 93 270 71 00

Annotatsiya: Ushbu maqolada poliamid podlojkalar ustiga kondensatsiyalangan n-PbTe (qo'rg'oshin telluridi) plyonkalarining γ -nurlanish ta'siridagi termoelektrik xususiyatlari o'rganildi. Aniqlanishicha, nurlanish jarayonida termoelektrik kuchlanish ko'effitsienti (S) asosan elektr o'tkazuvchanlikning kamayishi tufayli pasayadi, zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi esa deyarli o'zgarmaydi. Kondensatsiya tezligi 450–500 Å/s bo'lgan plyonkalar γ -nurlanishga eng bardoshli ekanligi ko'rsatildi. Bu holat kislorod atomlarining kristallitlar chegaralarida akseptor holatlar hosil qilishi va zaryad tashuvchilarning harakatchanligini kamaytirishi bilan izohlanadi. Natijalar termoelektrik materiallar barqarorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: yarim o'tkazgich plyonkalar, PbTe, γ -nurlanish, termoelektrik xususiyatlar, poliamid podlojka, kondensatsiya tezligi, elektronlar konsentratsiyasi, harakatchanlik, kislorod diffuziyasi, akseptor sirt holatlari. So'nggi yillarda dunyo amaliyotida yarim o'tkazgich kristallardagi qo'shimcha nuqson holatlarini boshqarish uchun boshqa texnologik usullar bilan birga turli jismoniy ta'sirlar keng qo'llanilmoqda, ulardan biri esa o'tkazuvchi nurlanishdir. Materiallar xususiyatlarini boshqarish texnologik usullarini, shu jumladan nurlanish texnologiyasini muvaffaqiyatli ishlab chiqish uchun ularda ro'y beradigan hodisalarining fizik tabiatini tushunish zarur.

Hozirgi zamonaviy elektron asboblarga asoslangan bo'lib, ular turli xil nohomogen strukturalarni qo'llaydi, shuning uchun yarim o'tkazgich plyonkalarining nurlanish texnologiyasini o'rganish umumiy masalaning ajralmas qismidir. Bundan tashqari, yarim o'tkazgich plyonkalarining o'zi ham alohida qiziqish uyg'otadi, chunki ular elektr bo'lmagan buzilishlarni (nurlanish, issiqlik, deformatsiya) elektr signallariga aylantiruvchi dastlabki o'zgartiruvchilardir [1].

A4B6 birikmalari, xususan PbTe (Qo'rg'oshin Telluridi) plyonkalari yuqori termoelektrik sifatlilik (dobrotnost) ko'rsatkichiga ega bo'lib, ular issiqlik energiyasini elektr energiyasiga aylantiruvchi qurilmalarning faol elementlari sifatida xizmat qiladi.

Amaliy nuqtayi nazardan qaraganda, A4B6 birikmalarini sintetik tarzda hosil qilishda eng istiqbolli va qulay material — bu poliamid (PM-1, PM-2) asosidagi

podlojkalar hisoblanadi. Poliamid podlojkalar ustiga kondensatsiyalangan n-PbTe plyonkalari termoelektrik quvvat koeffitsienti (TQK) $S = \alpha^2 \sigma$ (α – termo EYUK koeffitsienti, σ — elektr o'tkazuvchanlik) jihatidan yo'naltiruvchi podlojkalar asosidagi plyonkalar nikiga yaqin qiymatlarga ega bo'lib, issiqlikni elektrga aylantiruvchi qurilma yaratishda muhim ustunlik beradi[2].

"Plonka-podlojka" tizimining umumiy issiqlik o'tkazuvchanligi poliamid asosidagi plyonkalarda pastroq bo'lib, bu esa termoelektrik sifatlilikni oshiradi.

n-PbTe plyonkalari boshlang'ich PbTe ochiq bug'lantirish usuli bilan olindi, u yerda elektronlar konsentratsiyasi taxminan $\sim 2 \cdot 10^{19} \text{ sm}^{-3}$ ni tashkil etadi. Substrat harorati $T_c = 620 \text{ K}$ bo'lib, bu eng yuqori termoelektrik kuchlanish koeffitsienti (KTK) $S \sim 30\text{--}50 \text{ mK}^2 \cdot \text{sm}$ ga erishishni ta'minladi. Strukturaviy tadqiqotlar plyonkalar polikristallik tuzilishga ega ekanini ko'rsatdi, bunda [200] o'qi bo'yicha tekstura substratga perpendikulyar yo'nalgan. Kristallitlarning o'rtacha o'lchami taxminan 700 \AA ni tashkil qiladi. Plyonkalar γ -kvantlar bilan havo muhitida $D=10^8$ R gacha bo'lgan umumiy dozada nurlantirildi[3].

Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, γ -nurlantirish jarayonida n-PbTe plyonkalarining termoelektrik xususiyatlarining o'zgarish darajasi ularni olish texnologiyasiga, xususan, kondensatsiya tezligiga (v) katta darajada bog'liq. 1-jadvalda har xil kondensatsiya tezligida olingan plyonkalarining termoelektrik kuchlanish koeffitsienti (S) ning γ -kvantlarning umumiy dozasiga bog'liqlik xarakteri ko'rsatilgan (S_0 – nurlantirishgacha, S_γ – nurlantirishdan keyin).

1-jadval.

№	$v, \text{ \AA}/\text{c}$	$S_0,$	$n_0 \cdot 10^{-19}, \text{ cm}^{-3}$	$D, \text{ P}$	$S_\gamma,$	$n_\gamma \cdot 10^{-19}, \text{ cm}^{-3}$
1	300	35	1,0	10^6	12	0,8
2	370	28	1,1	10^6	19	1,0
3	400	49	1,2	$5 \cdot 10^6$	27	1,1
4	450	33	1,1	10^7	27	1,1
5	450	43	1,1	$5 \cdot 10^7$	35	1,1
6	500	22	1,2	$5 \cdot 10^7$	21	1,2

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, γ -kvantlarning ta'siriga eng bardoshli plyonkalar – bu $v \approx 450\text{--}500 \text{ \AA}/\text{s}$ kondensatsiya tezligida olingan plyonkalardir; ular $5 \cdot 10^7$ R gacha bo'lgan umumiy dozalar gacha o'z xususiyatlarini yaxshi saqlab qoladi. Ushbu ma'lumotlardan shuni ham xulosa qilish mumkinki, $5 \cdot 10^7$ R gacha bo'lgan γ -nurlanish plyonkalardagi elektronlar konsentratsiyasiga deyarli ta'sir qilmaydi [4].

Ma'lumki, plyonka yuzasiga adsorbsiyalangan kislorod, hatto oddiy havo muhitida saqlanganda ham, kristallitlar chegaralari (KCh) bo'ylab plyonkaning ichki qatlamlariga diffuziya qiladi. γ -nurlantirish jarayonida plyonkalar $340\text{--}350 \text{ K}$ gacha qiziydi, bu esa diffuziya intensivligini oshiradi. Allaqachon KChning sirtga yaqin qatlamlariga kirib borgan kislorodning diffuziyasiga radiatsiya bilan rag'batlantirilgan jarayonlar yordam beradi. PbTe moddasida KChda lokalizatsiyalangan kislorod akseptor (elektronlarni yutuvchi) sirt holatlarini hosil

qiladi va bu esa zaryad tashuvchilarning harakatchanligini kamaytiradigan potensial to'siqlarning yuzaga kelishiga olib keladi [5].

Ekspirimental natijalar shuni ko'rsatdiki, γ -nurlanish natijasida termoelektrik kuchlanish ko'effitsientining (S) kamayishi asosan elektr o'tkazuvchanlikning (σ) pasayishi hisobiga sodir bo'ladi. Va, chunki γ -kvantlar ta'sirida zaryad tashuvchilarining konsentratsiyasi deyarli o'zgar olmaydi, σ ning o'zgarishi ularning harakatchanligi kamayganligi bilan izohlanadi. Bizning fikrimizcha, bu harakatchanlikning kamayishiga n-PbTe plyonkalarining γ -nurlanish davomida atmosfera kislorodi bilan o'zaro ta'siri sabab bo'ladi

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Гук Е.Г., Каманин А.В., Шмидт Н.М., Шуман В.Б., Юрре Т.А. Диффузия легирующих примесей из полимерных диффузиантов и применение этого метода в технологии полупроводниковых приборов. Обзор // Физика и техника полупроводников.-С.Петербург, 1999.- Т.33., №3. – С.257-269.

2. Махкамов Ш., Турсунов Н.А., Каримов М., Саттиев А.Р., Ашуров М., Эрдонов М.Н., Холмедов Х.М. Двухстадийное легирование кремния изотопами фосфора и серы-32. // Письма в журнал технической физики.-С.Петербург, 2008. – Т.34, №13.- С.69-74.

3. Махкамов Ш., Каримов М., Турсунов Н.А., Саттиев А.Р., Эрдонов М.Н., Холмедов Х.М., Муминова Ш.А. Влияние терморadiационного воздействия на структуру и морфологию примесно-дефектных композиций в легированном кремнии. // Материалы 10-ой Международной Уральской семинара «Радиационная физика металлов и сплавов»: Кыштым, 2013.- С.86-87.

4. Гольцман Д.М., Дашевский З.М., Кайданов В.И., Коломоец Н.В. / Пленочные термопреобразователи: физика и применение. М., 1985. -232 с.

5. Мамадалимов А.Т., Онаркулов К.Э., Парпиев Т.К. Влияние γ – излучения на кинетические коэффициенты пленок $Pb_{1-x}Sn_xTe$.// Физика и техника полупроводников.-С.Петербург, 1996.- Т.30., №4. – С.287-291.

ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ НАНО ПЛЕНОК ПРИ ОСАЖДЕНИИ КЛАСТЕРОВ НА ПОВЕРХНОСТЬ КРИСТАЛЛА

А.Расулов, Н.Иброхимов

Ферганский государственный технический университет, Фергана, Узбекистан

Было проведено множество теоретических и экспериментальных исследований для расчета структурных, электронных и магнитных свойств кластеров переходных металлов, поскольку они играют важную роль. во многих областях нанотехнологий, таких как гетерогенный катализ и магнитный накопитель. Кластер, состоящий из нескольких или тысяч атомов, является интересной темой для изучения из-за его отличных свойств как от атомарных, так и от объемных состояний.

Нами было наблюдени осаждение небольших кластеров серебра на поверхность кристалла меди с помощью компьютерного моделирования, основанного на методе МД. Мы использовали потенциал ЕАМ при расчете процессов взаимодействия кластерных и поверхностных атомов. На первом этапе моделирования были найдены равновесные конфигурации металлических кластеров Ag_n ($n = 3-60$). На втором этапе моделирования были построены модели кристалла меди с ориентацией (001) для поверхности. На третьем этапе моделирования кластеры серебра с разной энергией (1 эВ / атом и 10 эВ / атом) осаждались вертикально на поверхность кристалла меди. Как видно из рисунка 1, в результате осаждения часть атомов кластера погружается в мишень, а небольшие кластеры значительно деформируются. По мере увеличения энергии кластера глубина погружения в поверхность увеличивается. Для кластеров серебра Ag , результаты моделирования показали образование кратеров на поверхности медного кристалла – для энергии 1эВ/атом линейные размеры кратера (измеренные на поверхности кратера) $13.2\text{Å} \times 15.6\text{Å} \times 4.9\text{Å}$, для энергии 10эВ/атом размеры кратера $19.7\text{Å} \times 20.7\text{Å} \times 8.8\text{Å}$. Изменение линейных размеров кратера позволяет предположить увеличение объема кратера в 3,5 раза (при увеличении энергии кластера в 10 раз). Для кластера серебра Ag_{60} линейные размеры кратера для энергии 1эВ/атом – $20.5\text{Å} \times 21.4\text{Å} \times 6.7\text{Å}$, для энергии 10эВ/атом – $25.15\text{Å} \times 24.3\text{Å} \times 10.3\text{Å}$, что предположительно дает увеличение объема кратера в 2.2 раза. Таким образом, для меньшего кластера, приращение энергии дает большее приращение размеров кратера, чем для большего кластера.

1 эВ/атом

10 эВ/атом

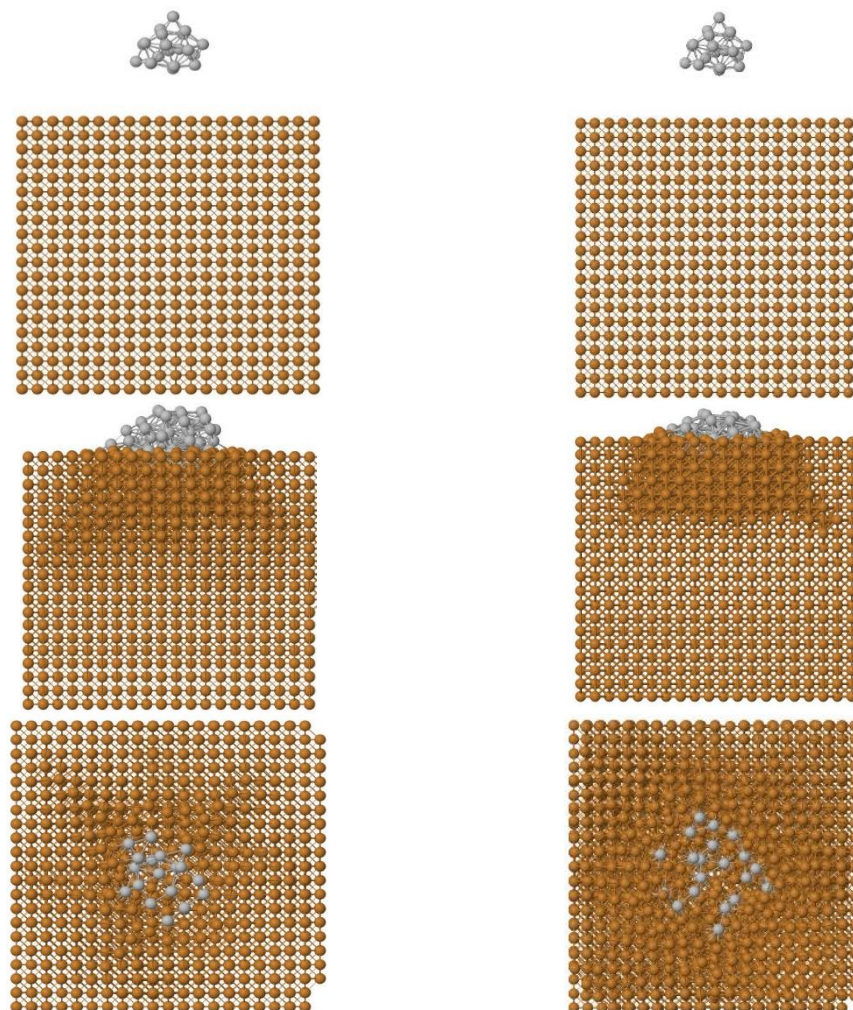


Рисунок 1. Осаждение кластера Ag, падающего с энергией 1 эВ/атом и 10 эВ/атом, на поверхность кристалла меди

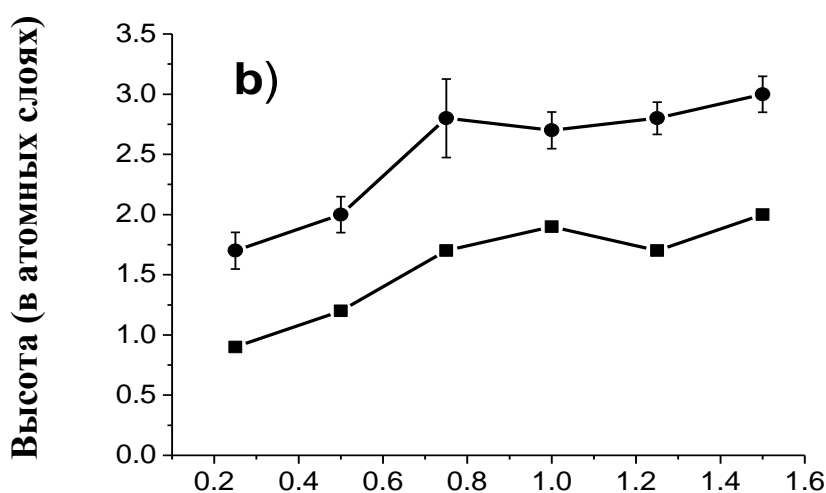
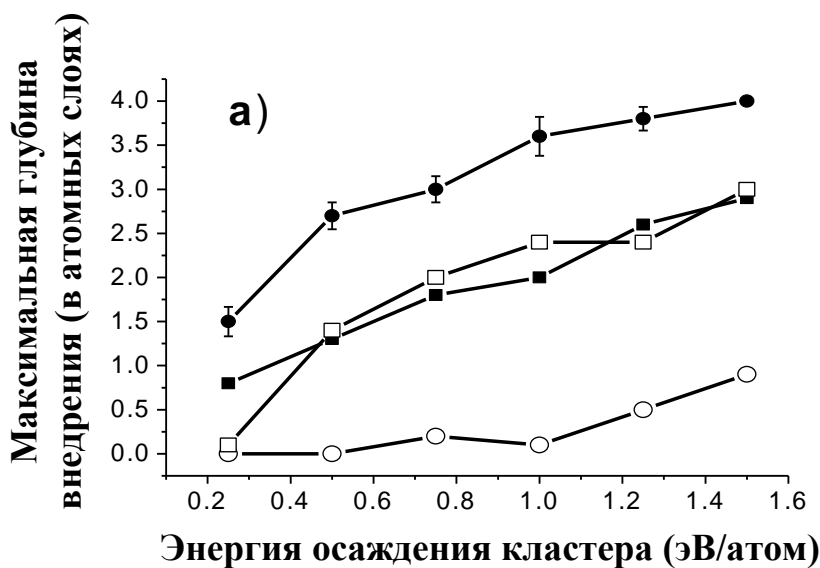
Кластеры Ag_nCo_m с $n = m$ (где $n = 100, 250, 500, 750, 1000, 1250$ и 1500) осаждались на поверхность $Ag(100)$ при энергиях $0,5$ эВ на атом для исследования процессов образования тонких пленок [2; С. 2303-2314]. В этом случае кластеры Ag_nCo_m с числом атомов $200, 500, 1000, 1500, 2000, 2500$ и 3000 осаждают последовательно со случайным выбором следующего кластера из указанного списка кластеров. За осаждением каждого кластера следует 150 пс, а затем осаждают следующий. Подложка имеет размер $148,2 \times 148,2 \times 98,8$ Å и состоит из 124416 атомов. Расчет проводился для комнатной температуры с учетом периодического граничного условия в двух измерениях и электрон-фононной связи [3; С. 12554-12559].

Первой характеристикой осаждения в рассматриваемом диапазоне энергий является проникновение кластеров в подложку и связанное с этим повреждение поверхности. Поверхностное повреждение, вызванное мягкой посадкой атомов Co, уже было изучено как экспериментально, так и с помощью МД. Поверхностная туннельная микроскопия показала, что оно является значительным. Ситуация может быть иной, если налетающие атомы Co связаны внутри кластеров, как в данном случае.

Максимальное проникновение (а) и средняя высота ступеньки вокруг кластеров (б) в зависимости от энергии осаждения представлено на Рис.2а, где

темные квадраты представляют результаты для Ag в маленьком кластере, темные круги – для Ag в больших кластерах, белые кружки для Co в малых кластерах и белые квадраты для Co в больших кластерах. На рисунке 2b кружками показаны результаты для малого кластера, квадраты - для больших кластеров. Отображаемые полосы погрешностей представляют стандартную среднюю ошибку и показаны только для одной кривой на графике.

При рассматриваемых низких энергиях (не более 1,5 эВ на атом) проникновение кластера, если оно есть, является лишь частичным. Co всегда обнаруживают перегруппированным в один кластер, окруженный слоем серебра. При проникновении кластер вытесняет атомы Ag с подложки с образованием аддитивных атомов. Для обоих кластеров доля атомов кластера с конечным положением ниже поверхности подложки одинакова и линейно возрастает с увеличением энергии осаждения. Она близка к 3% при 0,25 эВ/атом и 30% при 1,5 эВ/атом. Согласно правилу сохранения объема, в случае самого маленького кластера количество атомов подложки, смещенных над поверхностью, в точности равно количеству атомов кластера под этой поверхностью. Для большого кластера это количество несколько меньше, поскольку объем, приходящийся на атомы Co под поверхностью, меньше объема, приходящегося на атомы Ag в подложке.



ЭНЕРГИЯ ОСАЖДЕНИЯ КЛАСТЕРА (эВ/атом)

Рисунок 2. Максимальное проникновение (а) и средняя высота ступеньки вокруг кластеров (b) в зависимости от энергии осаждения.

Каждый кластер ударяется о поверхность кристалла при нормальном падении с заданной начальной кинетической энергией, случайным образом выбирая точки удара на поверхности и их ориентацию по отношению к поверхности. За каждым ударом следят в течение 150 пс при комнатной температуре. В пределах рассматриваемого времени эволюции 150 пс термостимулированные модификации конфигурации могут иметь достаточно высокую вероятность того, что произойдут. Осаждение характеризуется несколькими важными особенностями. Конечная система характеризуется ограниченным проникновением кластера в подложку.

В результате осаждения часть атомов кластера погружается в мишень, а небольшие кластеры значительно деформируются. По мере увеличения энергии кластера глубина погружения в поверхность увеличивается.

Результаты моделирования показывают, что проникновение кластеров в мишень зависит как от их энергии, так и от их размеров, причем зависимость от размеров сильнее.

Показаны деформация и растекание кластеров под влиянием взаимодействия его с поверхностью. Растекание кластеров существенно не зависит от их начальной энергии для меньшего кластера и слабо зависит для кластера с большей энергией.

Приведены сведения об эффектах воздействия проникновения кластера в кристалл, его деформации и искажениях решетки с акцентом на размер и стехиометрию кластера.

Список использованной литературы

1. Иброхимов Н.И., Расулов А.М., Ядгаров И.Д. Моделирование малоатомных металлических кластеров серебра // Восьмая Международная конференция по Физической Электронике ИРЕС-8, Часть 1, стр. 47, сентября 2021 г, Ташкент.
2. Rasulov A.M., Ibrokhimov N.I. Clusters Deposition on Surface an Atomic Scale Study by Computer Simulation Method //Journal of Applied Mathematics and Physics, 2019. No. 7, -pp. 2303-2314.
3. Johnson R.A. Alloy models with the embedded-atom method // Phy. Rev. B. 1989, V. 39, No. 17, -pp. 12554-12559.

MIKROELEKTRONIKADAN NANOELEKTRONIKAGA O'TISH.

M.Normuradov

Qarshi davlat universiteti, professor

e-mail: m.normuradov46@mail.ru ORCID 0000-0003-1771-0853

S.Yu.Xoliqulova

Qarshi davlat universiteti, 1-kurs doktoranti

e-mail: saodatxoliqulova93@gmail.com, +998999570836

Annotatsiya: Ushbu maqolada fizika tarixiga nazar tashlangan va elektronika, mikroelektronika fanlarining rivojlanishi, bu sohadagi ixtirolar, ularning inson hayotidagi roli hamda tarix sahifalaridagi o'rni batafsil yoritilgan. Mikroelektronika sohasidagi yutuqlarga alohida to'xtalib o'tilgan va bugungi kunda yangi va zamonaviy soha hisoblangan "nanoelektronika" ning yuzaga kelishi tarixi, sabablari va uning kelajakdagi istiqboli keltirilgan.

Tayanch so'zlar: nanotexnologiya, nanoelektronika, nanoo'lchamli materiallar, mikroelektronika, elektronika, Kulon qonuni, elektroliz, elektr toki, zaryad, ekologiya, robototexnika, tranzistor, integral sxema.

Аннотация:

В данной статье рассматриваются история развития физики и электроники, роль микроэлектроники в науке и технике, а также достижения в этой области и их влияние на жизнь человека. Отдельно проанализированы вклад и значение микроэлектроники в современных направлениях, показаны причины возникновения и развития нанoeлектроники, а также приведены перспективы этой области в будущем.

Ключевые слова: нанотехнология, нанoeлектроника, наномасштабные материалы, микроэлектроника, электроника, Закон Кулона, электролиз, электрический ток, заряд, экология, робототехника, транзистор.

Abstract:

This article examines the history of the development of physics and electronics, the role of microelectronics in science and technology, as well as the achievements in this field and their impact on human life. The contribution and significance of microelectronics in modern areas are analyzed separately, the reasons for the emergence and development of nanoelectronics are explained, and the future prospects of this field are presented.

Keywords: nanotechnology, nanoelectronics, nanoscale materials, microelectronics, electronics, Coulomb's law, electrolysis, electric current, charge, ecology, robotics, transistor, integrated circuit.

Bugungi kungacha insoniyat tarixida juda ko'p olamshumul kashfiyotlar bo'lgan va har bir kashfiyot insonlarga yengillik, qulaylik va himoyani ta'minlash maqsadida yaratilgan. Birgina kashfiyot orqali butun dunyo tarixini o'zgartirgan olimlar haqida ham eshitganmiz. Shunday kashfiyotlarning biri sifatida elektrning kashf etilishini ham hisobga olishimiz mumkin. Hozir hayotimizni elektr tokisiz, elektr asboblarsiz tasavvur etolmaymiz. 1747-1750 – yillarda Benjamin Franklin tomonidan zaryad tushunchasi birinchi marta ilmiy tasavvur sifatida ilgari surildi. 1785- yilda Sharl

Kulon tomonidan zaryadlar orasidagi o'zaro ta'sir tushuntirildi hamda Kulon qununi kashf etildi. Maykl Faradey tomonidan elektrolizning kashf etilishi, elektr zaryad miqdori, Ersted tajribalari asosida elektromagnetizmning kashf etilishi ham elektronika fanining paydo bo'lishiga olib keldi. 1897-yilga kelib Tomson tomonidan elektron kashf etilishi bilan qator kashfiyotlarga yo'l ochildi. Shundan so'ng, elektronika atamasi fanga kirib keldi. Elektronika so'zi dastavval elektronlarning elektromagnit maydoni bilan o'zaro ta'sirini o'rganuvchi fan sifatida vujudga keldi. Keyinchalik lampali diod va triodlar yaratilgach, elektron qurilmalar texnologiyasini o'rganuvchi sohalar ham elektronika deb atala boshlandi. O'tgan asrning 30-yillariga kelib, yarimo'tkazgich materillarni o'rganishga e'tibor qaratildi. Yangi turdagi yarimo'tkazgich materiallardan foydalanish hisobiga yarimo'tkazgich asboblarning turlari ko'paydi, bu esa o'z navbatida mikroelektronikaning rivojiga zamin yaratdi. Mikroelektronika va nanoelektronika bugungi kunda zamonaviy texnika va axborot texnologiyalarining eng muhim yo'nalishlaridan hisoblanadi. Mikroelektronika elektron qurilmalarni kichiklashtirish orqali yuqori tezlik, past energiya sarfi hamda ishonchlilikni ta'minladi. [1]

Mikroelektronika – bu elektron qurilmalar va tizimlarning juda kichik, mikrometr va nanometr o'lchamlarida ishlaydigan qismlar asosida qurilish sohasi hisoblanadi. Uning rivojlanishi XX asr boshlarida boshlangan bo'lib, bugungi kunda zamonaviy texnika va texnologiyalarning asosiy yo'nalishlaridan biriga aylangan. Mazkur sohaning taraqqiyoti kompyuterlar, aloqa vositalari, robototexnika, tibbiy uskunalar va boshqa ko'plab elektron qurilmalar yaratilishiga imkon berdi. Mikroelektronikaning rivojlanish tarixini 1900-yillarga lampalar kashf etilishi bilan bog'lash mumkin. Ushbu davrda elektron texnikalar asosan vakuum lampalar (radiolampalar) asosida yaratilgan bo'lib, ular radioaloqa, televidenie va dastlabki hisoblash mashinalarining asosiy elementlari bo'lgan. Lampalar katta energiya sarfi, qizishi va sezilarli hajmi bilan ajralib turgan bo'lsa-da, zamonaviy elektronikaning shakllanishiga asos yaratdi. Aynan shu davrda elektronika fanining poydevori qo'yildi va kelajakdagi tranzistor ixtirolariga ilmiy asos tayyorlandi. 1947-yilda Bell Laboratories olimlari — Jon Bardeen, Uilyam Brattayn va Uolter Shokli tomonidan birinchi tranzistor yaratildi. Bu kashfiyot elektronika sohasida haqiqiy inqilobga sabab bo'ldi. Tranzistorlar elektr signallarni kuchaytirish va boshqarish uchun xizmat qilib, vakuum lampalarga qaraganda ancha kichik, ishonchli va energiya tejankor bo'ldi. 1950-yillarda tranzistorlar radioapparatlar, eshitish moslamalari va dastlabki hisoblash qurilmalarida keng qo'llanila boshlandi. Shu bilan mikroelektronika davrining asosi qo'yildi va elektron qurilmalar yillar davomida takomillashtirilib bordi.[2]

1958-yilda amerikalik muhandis Jek Kilbi tomonidan birinchi integral sxema yaratilgan. Integral sxema bu — bir nechta tranzistor, rezistor va boshqa elementlar yagona kremniy kristallida joylashtirilgan elektron mikrosxema bo'lib, bu ixtiro mikroelektronikaning yangi bosqichini boshlab berdi. Integral sxema yordamida elektron qurilmalar yanada ixcham, arzon va ishonchli bo'ldi. 1960-yillardan boshlab integral sxemalar radioapparatlar, kalkulyatorlar va boshqaruv tizimlarida keng qo'llanila boshlandi. Bu davr mikroelektronika sanoati uchun keskin rivojlanish davri bo'lib, sanoat miqyosida ommaviy ishlab chiqarish yo'lga qo'yildi. 1970-yillardan

boshlab integral sxemalar yanada murakkablashdi va ularga minglab tranzistorlarni joylashtirish imkoniyati tug'ildi. Bu prinsip empirik Mur qonuniga asos bo'ldi. Bu qonun 1965 yili "Intel" firmasi asoschilaridan biri Gordon Mur tomonidan taklif qilingan edi. Unga asosan, mikrosxemadagi element(tranzistor)lar soni va unga mos ravishda kompyuterlarning ishlash tizimi har 18 oyda yoki har ikki yilda ikki barobar oshadi. Ammo bir necha marta o'zgartirishlar kiritilganini hisobga olmasak, bu qonun yetarlicha uzoq davr davomida amal qilib kelmoqda. "Mur qonuni" 1965-yildan keyingi 10 yilga mo'ljallangan edi. Ammo u hozirgi kungacha o'z ahamiyatini to'la yo'qotgani yo'q. Bu yutuqlar natijasida kompyuterlar, mikroprotsessolar, xotira modullari va boshqa murakkab elektron qurilmalar yaratilgan. Aynan shu davrda mikroprotsessolar ishlab chiqarila boshladi, bu esa o'z navbatida shaxsiy kompyuterlarning paydo bo'lishiga zamin yaratdi. 1990-yillardan boshlab mikroprotsessolar texnologiyalari yuksak darajada rivojlandi. Bir nechta yadroli protsessolar yaratildi va ular millionlab tranzistorlarni o'z ichiga oldi. Bu davrda kompyuterlar, noutbuklar, mobil telefonlar va raqamli qurilmalar keng tarqala boshladi. Shuningdek, sun'iy intellekt elementlari, raqamli signal protsessolarlari va boshqa maxsus chiplar ishlab chiqildi. Mikroprotsessolarning tezligi oshib, ularning energiya samaradorligi ham yaxshilandi. Bu bosqichda kompyuter texnologiyalari kundalik hayotimizning ajralmas qismiga aylandi. 2010-yillardan boshlab mikroelektronika nanotexnologiyalar yordamida rivojlana boshladi. Tranzistorlar o'lchami nanometr darajasiga tushdi (7 nm, 5 nm va ba'zi hollarda 3 nm), bu esa chiplarning tezligi va energiya samaradorligini oshirdi. Zamonaviy chiplar sun'iy intellekt, mobil qurilmalar va kvant kompyuterlar uchun ishlatiladi. Shu bilan birga, mikroelektronika tarmoqlari yuqori zichlikdagi sxemalarni ishlab chiqarish imkoniyatiga ega bo'ldi, bu esa yangi avlod elektron texnikasining rivojlanishiga olib keldi. Mikroelektronikaning jadal rivojlanishiga qaramay, ushbu sohaning ham ba'zi kamchiliklari ko'zga tashlandi. Mikrochiplar kichik hajmga ega bo'lganligi sababli ko'p tranzistorlar bitta kristall ichiga joylashtirildi va bu issiqlikning haddan tashqari ko'p ajralishiga olib keladi. Qizib ketish natijasida qurilmalar ishdan chiqadi yoki ishlash tezligi kamayadi. Mikrosxemalarni doimo kichraytirish jarayonida mikroelektronika texnologiyasi ma'lum fizik chegaraga yetib keldi. Zamonaviy kompyuterlar, telefonlar va sun'iy intellekt tizimlari yanada katta tezlik, yuqori sifatli hisob-kitob, energiya tejamkorligini talab qiladi. Shu sababdan, nanoelektronika faniga ehtiyoj tug'ildi.[3]

Nanoelektronika kremniy asosidagi mikrosxemalarning yanada ixchamlashuvi natijasida shakllandi va XXI asr fan-texnik taraqqiyotining asosiy yo'nalishlaridan biriga aylandi. Nanometr o'lchamdagi zarrachalar bilan ishlash imkoniyati yangi turdagi nanomateriallar va qurilmalarni vujudga keltirdi. Bugungi kunda nanotexnologiyalar yordamida energiya tejaydigan, samaradorligi yuqori bo'lgan elektron qurilmalar, kompyuterlar, hatto avtomobillar ishlab chiqarilmoqda. Kelajakda nanoelektronika asosida vodorod yonilg'isida ishlaydigan transport vositalari, quvvati katta va uzoq muddat xizmat qiluvchi batareyalar, hamda yuqori aniqlikdagi tibbiy moslamalar yaratilishi kutilmoqda. Bundan tashqari, nanotexnologiyalar xalq xo'jaligining istalgan sohasida arzon va sifatli mahsulotlarni yetkazib berish imkonini beradi. Foydali ish koeffitsiyenti juda yuqori bo'lgan

quyosh batareyalari energetikadan yonuvchi yoqilg'ilarni siqib chiqaradi. Ular yordamida vaqtni tejashimiz, kam xarajat qilib, ko'p moddiy boylik va noz-ne'matlarga ega bo'lishimiz mumkin. Kelajakda nanotexnologiyalar ko'pdan ko'p kasalliklarni, shu jumladan bugungi kunda "davosi yo'q" deb hisoblangan saraton (rak), OITS, Parkinson kabi kasalliklarni yengadi.

Nanomateriallardan tayyorlangan asbob-uskunalar sanoat, tibbiyot, kosmik texnika, harbiy texnika, ekologiya va boshqa ko'plab sohalarda keng qo'llanmoqda. Shu bois nanoelektronika nafaqat elektronika sanoatini, balki butun jamiyat texnologik rivojini yangi bosqichga olib chiqmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. N. Rahimov, R.Rasulov "Nanofizika va nanoelektronika asoslari" Namangan – 2012. 117-b
2. А.А. Щука «Нанoeлектроника» учебное пособие - М:Физматкнига – 2007, 344-с.
3. Зебрев Г.И "Физические основы кремниевой нанoeлектроники" учебное пособие - М:МИФИ,2008 – 288с.

BASIC PROPERTIES OF ATOMIC NUCLEI

Yakubova Shohidakhon Kodirovna, dotsent

Fergana State University sh.k.yakubova@pf.fdu.uz +998916500567

Kamolidinov Nuridin Subkhonidinovich, student

Fergana State University nuridinkamolidinov02@gmail.com +998994908544

Abstract. This article discusses the basic physical properties of the atomic nucleus, the sizes of nuclei, the shapes of nuclei, the energy levels of nuclei, as well as the fact that it serves as a basis for strengthening theoretical knowledge in nuclei physics, a deep understanding of fundamental concepts, and the study of subsequent physical phenomena.

Keywords: nuclei physics, particles, model, atom, electron, proton, neutron nucleon cloud, spherical symmetry, energy levels.

Nuclei physics is one of the largest fields of modern physics, studying the structure and properties of the atomic nucleus, the properties of particles, and their mutual transformations. In 1932, D. Chadwick (1891-1974) discovered a neutral particle - a neutron with a mass $m_n = 1838, 6m_e$, which is uncharged and has a mass close to that of a proton. After the discovery of the neutron, D.D. Ivanenko and Heisenberg proposed a proton-neutron model of the atomic nucleus. According to this model, atomic nuclei are considered to be composed of protons and neutrons. This perception persists to this day.

After determining the proton-neutron structure of the nucleus, they began to be studied using various particles. As a result of such experiments, the following properties of nuclei were determined.

1. Nuclei dimensions. As early as 1911, Rutherford, observing the scattering of α -particles in thin foils, concluded that the central charge is a sphere with a radius of about 10^{12} cm. Let us assume that a piece of substance with a volume of 1 cm^3 is given. Since the size of a substance's atoms is about 10^8 cm, there are 10^{24} atoms in this volume. When viewed from one side of this cube, the outer atoms block the atoms in the inner layer. However, since the size of the nuclei is about 10^{12} cm, even looking at this cube from an arbitrary angle, one can see all 10^{24} nuclei inside it.

If we denote the nuclei radius by R_n , the cross-section of the nucleus will be $\sigma = \pi R_n^2$, and the total cross-section of all nuclei in the cube will be $10^{24} \sigma$. If a beam of neutrons is directed at such a particle, they can pass through it without interacting with any nuclei in this cube. Because they are not charged, they do not interact with the electrons in the atom and the positive charge in the nucleus. The interaction between the nucleus and neutrons occurs only when a neutron "impacts" the nucleus, and as a result, only such neutrons deviate from the beam. The relative number of scattered neutrons is determined by the ratio of the number of scattered neutrons to the number of incident total neutrons, N_s/N_t . Secondly, the relative number of scattered neutrons is determined by the portion of the total surface area of 1 cm^2 covered by nuclei:

$$N_s/N_t = 10^{24} \cdot \sigma / 1 \text{ cm}^2$$

From this

$$\sigma = 10^{-24} N_s / N_t \text{ cm}^2$$

From the observations of neutron scattering, the value $N_s/N_t = 0,3$ was found. In that case

$$\sigma = 0,3 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2 \text{ or } R_n = 3 \cdot 10^{-13} \text{ cm}$$

resulted from. Conducting such experiments on various elements on a large scale gave the relation for the dependence of the radius of nuclei on the mass number of the element (A).

$R_n = 1,4 \cdot A^{1/3} \cdot 10^{-13} \text{ cm}$ From this it follows that for the volumes of nuclei $V \sim A$, which allows us to consider the nucleus as consisting of incompressible protons and neutrons. Because each newly added nucleon (proton or neutron) leads to exactly the same increase in nuclei volume.

2. Nuclei shapes. Just as electrons in an atom lose their particle properties, the nucleus consists not of nucleons "glued" together, but of a cloud of nucleons distributed with a certain probability density. This cloud has the shape of spherical, compressed, or elongated ellipsoids (Figure 1).

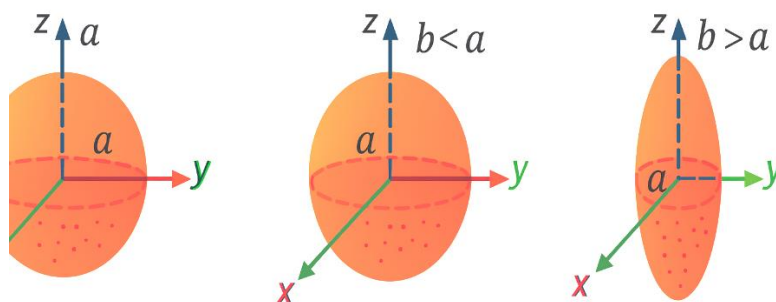


Figure 1. Ellipsoidal nucleons.

The shapes of nuclei are determined by the study of the charge and mass distribution in them, corresponding to each other. To explain the difference between the charge distribution and spherical symmetry, the concept of the quadrupole moment of nuclei is introduced. The total charge Ze is defined as the quadrupole moment of a uniformly charged ellipsoid with semi-axes a and b :

$$Q = \frac{2}{5} Z (b^2 - a^2) = \frac{4}{5} Z R^2 \delta$$

In this case, $R = a+b$ and $b = 2 (b-a) / b+a$, and b is called the deformation parameter. The dependence of the reduced quadrupole moments $(Q/Z \cdot R^2)$ of odd and odd-odd nuclei on the number of odd nucleons in the nucleus is shown in Fig. 2.

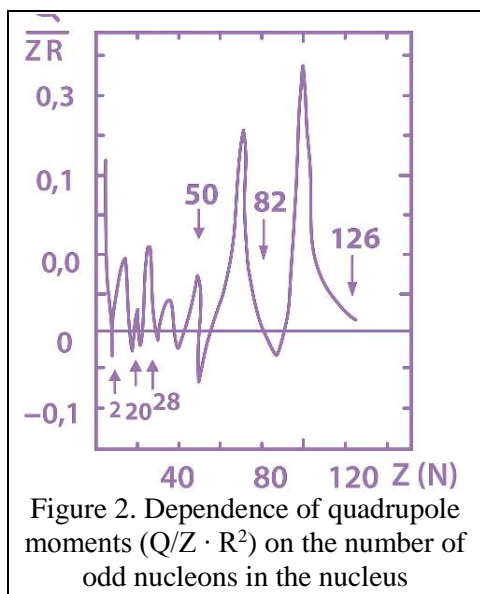


Figure 2. Dependence of quadrupole moments $(Q/Z \cdot R^2)$ on the number of odd nucleons in the nucleus

3. Energy levels of nuclei. Just as the energy levels of electrons in an atom determine the energy states of an atom based on the laws of

quantum mechanics, the states of nucleons determined by quantum mechanical properties determine the state of the nucleus. Therefore, the states of nuclei differing by one nucleon also contain significant differences.

The spectra of even-even nuclei (the number of protons - Z is an even number and the number of neutrons - N is an even number) differ sharply from the spectra of odd nuclei (one of Z or N is an odd number, and the other is an even number). The spectra of odd-odd nuclei, in turn, differ from theirs by completely different qualitative changes. Nevertheless, there are important similarities in the spectra of nuclei, one of which is the "mirror image" of the other.

Usually, the spectra of nuclei are reduced relative to the energy of the ground state, and with the exception of some small displacements, the spectra of these nuclei are identical. From this correspondence, it follows that the nuclei forces ensuring the stability of nuclei do not depend on the charge. That is, the nuclei interaction between two protons or protons and neutrons or two neutrons in a nucleus is the same. However, in the Schrödinger equation, which is solved when studying the properties of nuclei, the Coulomb repulsion potential between protons is taken into account.

Result

From the point of view of quantum mechanics, the characteristics of the initial and final states of the nucleus during an arbitrary transition are rigidly related to the characteristics of the emitted or absorbed gamma rays. Therefore, some transitions between certain states are completely forbidden. In general, any set subject to quantum mechanics obeys rules called the rules for selecting transitions between states.

Conclusion

Nuclei physics is an important branch of physics that studies the structure, dynamics, and properties of the atomic nucleus. Studies show that nuclei are complex systems, consisting of protons and neutrons under the influence of strong nuclei forces. The main properties of the nucleus are expressed by such physical parameters

as the size of the nuclei, the shape of the nuclei, and the energy levels of the nuclei. These properties are important in determining the stability of the nucleus, its participation in nuclei reactions, and the release of energy. Deep study of nuclei properties is widely used in the development of modern technologies, medicine, energy, and fundamental sciences.

Literature

1. Р.Бегжонов, Ш.Ёқубова, Б. Чориев. Модда тузилиши. Ядро физика курсидан янги қўлланма “Фан”, Тошкент, 1998.
2. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Курс физики. Том 3, Москва, Высшая школа, 2000.
3. Капитонов И.М. Введение в физику ядра и частиц, МГУ, 2008.
4. К.Н. Мухин. Экспериментальная ядерная физика. В 3-х тт. СПб.: Издательство «Лань», 2008. Т.1, стр.12-24
5. Якубова Шохидахон Кадыровна. Yadro reaksiyalarining asosiy mexanizmi va ularning tasnifi. Материалы Международной научной конференции “Тенденции развития физики конденсированных сред» Фергана, 23-24 мая, 2025 год.

P-SI/SIO₂/CO:SNO₂ DA NDR EFFEKTIDAN NANOKLASTER O'LCHAMINI TOPISH

Murodov J.X^{1,2}, Yuldashev Sh.U², Arslanov A.O³

¹Toshkent davlat texnika universiteti

²Nanotexnologiyalarni rivojlantirish markazi

³O'zbekiston milliy universiteti

jamoliddinmilliy@gmail.com 90 038 99 71

Annottatsiya: Ushbu ishda p-Si/SiO₂ /Co:SnO₂ geterostrukturasiida manfiy differensial qarshilik (NDR) effekti kuzatildi va u orqali Co:SnO₂ qatlamidagi nanoklasterlarning o'lchami baholandi. Co bilan doplangan SnO₂ qatlamlari USP usulida tayyorlanib, 550 °C da tavlandi. UV–Vis tahlilida Eg 3.73–3.88 eV bo'ldi, I–V xarakteristikada 0.4 V da NDR effekti aniqlandi. Coulomb modeli asosida nanoklaster o'lchami ≈3 nm deb topildi.

Kalit so'zlar: NDR effekt, Co:SnO₂, memristor, tunnel transport, nanoklaster.

So'nggi yillarda nanoelektronika va funksional yarimo'tkazgich qurilmalarining rivojlanishi natijasida, yuqori sezuvchanlikka ega, past energiya sarflaydigan va ko'p funksiyali elementlarga bo'lgan talab ortib bormoqda. Ushbu talablarga javoban, memristiv xotira elementlari va tunnel transport asosidagi qurilmalar katta qiziqish uyg'otmoqda. Ayniqsa, manfiy differensial qarshilik (NDR) effekti asosida ishlovchi strukturalar yuqori tezlikda ishlovchi va zich joylashgan elementlar uchun istiqbolli yechim sifatida e'tirof etilmoqda.

NDR effekti – bu IV xarakteristikada tokning kuchlanish ortishiga qaramay kamayib borishi bilan ifodalanadigan nisbatan noodatiy hodisadir. Bunday effektlar odatda kvant tunneling, rezonans transport yoki zaryad to'planish mexanizmlarida yuzaga keladi. Ularni kuzatish orqali struktura ichidagi nanoklasterlar, donachalararo tunneling yo'llari yoki energetik to'siqlar haqida bevosita ma'lumot olish mumkin.

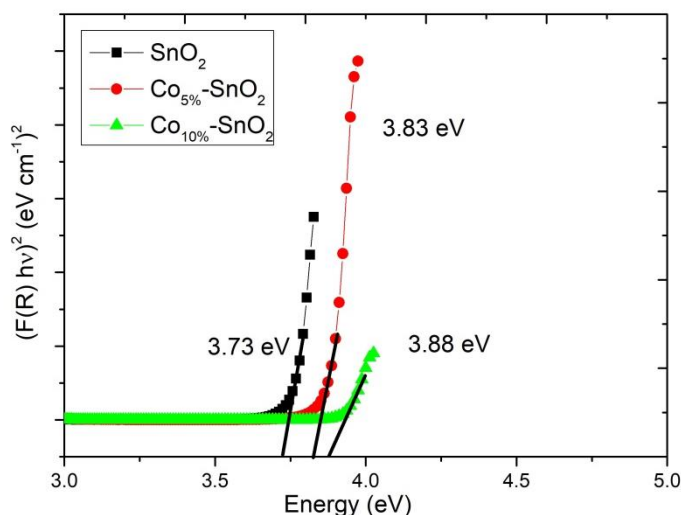
Ushbu ishda p-Si/SiO₂/Co:SnO₂ geterostrukturasida yuzaga kelgan NDR effektidan foydalanib, Co:SnO₂ qatlamidagi nanoklasterlarning o'lchami elektr transport xarakteristikalari asosida baholandi. Tadqiqotdan maqsad – strukturadagi tunnel transport yo'llarining miqyosini aniqlash va bu orqali memristor sifatida qo'llaniluvchi material xossalarini yanada chuqurroq o'rganishdan iborat.

Ushbu tadqiqotda Co:SnO₂ yupqa qatlamlari p-tip kremniy (p-Si) tagliklarida ultratovushli purkash (USP) usuli orqali tayyorlandi. Cho'ktirishdan oldin, kremniy tagliklar ketma-ket 10 daqiqa davomida asetonda va etanolda tozalandi, so'ngra deionlangan suv bilan chayilib, quritildi. Bu tozalash jarayoni substrat sathidan organik iflosliklarni to'liq yo'qotish va Co:SnO₂ qatlamining taglikka yaxshi yopishishini ta'minlash maqsadida amalga oshirildi.

Qalay va kobalt elementlari uchun mos ravishda qalay atsetat (Sn(CH₃COO)₂) va kobalt atsetat (Co(CH₃COO)₂) ishlatildi. 0.3 M konsentratsiyali eritmalar tayyorlanib, kobalt miqdori 5 mol% va 10 mol% bo'lgan ikki xil eritma tayyorlandi. Har ikkala eritmada kerakli miqdordagi Sn va Co tuzlari deionlangan suvda to'liq eritilib, bir jinsli eritma hosil qilindi.

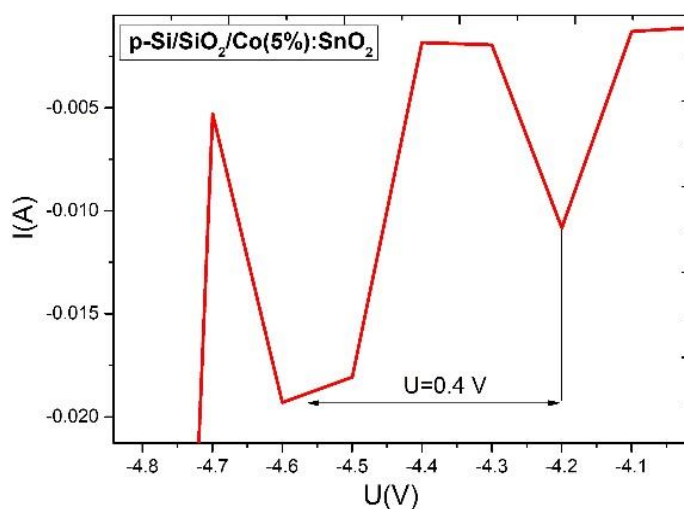
Cho'ktirish jarayonida 1.7 MHz chastotali ultratovushli nebulizator yordamida eritma tuman holatiga keltirilib, 500 sccm tezlikda oqib turgan kislorod gazi orqali 450 °C da qizdirilgan kremniy taglikka yuborildi. Kislorod gazi Sn va Co atsetatlarning termal parchalanishi va oksidlanishini faollashtirib, Co:SnO₂ qatlamlarining shakllanishini ta'minladi. Tayyorlangan yupqa qatlamlarning o'rtacha qalinligi taxminan 100 nm ni tashkil etdi. Depozitsiyadan so'ng, namunalarda havoda 550 °C da 15 daqiqa davomida tavlaniib, kristall tuzilmaning yaxshilanishi va organik qoldiqlarning to'liq yo'qolishi ta'minlandi.

Tayyorlangan SnO₂ va Co bilan doplangan SnO₂ (5% va 10%) namunalarning optik xossalari UV-Vis reflektans spektrlari orqali o'rganildi. 1-rasmda ko'rsatilgan Tauc grafasidan ko'rinib turibdiki, (F(R)·hv)² ga qarshi energiya o'qi bo'yicha ekstrapolyatsiya qilingan to'g'ri chiziq kesishgan nuqtadan optik teshik kengligi (E_g) aniqlandi. Sof SnO₂ namunasi uchun teshik kengligi 3.73 eV, Co 5% doplangan namuna uchun 3.83 eV, Co 10% doplangan qatlam uchun esa 3.88 eV ga teng bo'ldi. Bu qiymatlar Co doping darajasi ortishi bilan E_g qiymatining kengayishini ko'rsatmoqda. Bu holat dopant ionlarining panjara ichidagi elektron tuzilmasiga ta'siri va lokal holatlarning yuzaga kelishi bilan izohlanadi.



1-rasm. SnO₂ va Co:SnO₂ yupqa qatlamlarining Tauc grafasi

p-Si/SiO₂/Co(5%):SnO₂ strukturasi tok-kuchlanish (I–V) xarakteristikasi 2-rasmda keltirilgan. Grafikda 0.4 V oralig'ida tipik manfiy differensial qarshilik (NDR) effekti kuzatildi. Bu effekt tunnel transport mexanizmlari, ya'ni nanoklasterlar oralig'ida elektron tunneling tufayli yuzaga kelishi mumkin.



2-rasm: Co(5%):SnO₂ memristor qurilmasining tok-kuchlanish (I–V) xarakteristikasi, unda manfiy differensial qarshilik (NDR) effekti kuzatilgan. NDR cho'qqisidagi kuchlanish ($U = 0.4$ V) nanoklaster o'lchamini baholash uchun foydalanildi.

p-Si/SiO₂/Co:SnO₂ strukturasi asosida tayyorlangan memristiv qatlamlarda manfiy differensial qarshilik (NDR) effekti muvaffaqiyatli kuzatildi. UV–Vis tahlil orqali optik teshik kengligi, I–V xarakteristika orqali esa tunnel transport holatlari aniqlandi. NDR kuchlanishidan foydalanib, Coulomb modeli asosida nanoklaster o'lchami ~ 3 nm deb baholandi. Bu struktura nanoelektronika va xotira qurilmalari uchun istiqbolli platforma ekanligini ko'rsatdi.

Adabiyotlar ro'yxati:

1. T.D. Brown, S. Kumar, R.S. Williams, Appl. Phys. Rev. 9, 011308

(2022).

2. M. Andreev, J.W. Choi, J. Koo, H. Kim, S. Jung, K.H. Kim, J.H. Park, *Nanoscale Horiz.* 5, 1378 (2020).

3. X. Ji, Z. Dong, C.S. Lai, G. Zhou, D. Qi, *Mater. Today Adv.* 100293 (2022).

4. Z. Yang, W. Yue, C. Liu, Y. Tao, P.J. Tiw, L. Yan, Y. Yang, T. Zhang, B. Dang, K. Liu, X. He, Y. Wu, W. Bu, K. Zheng, J. Kang, R. Huang, Y. Yang, *Adv. Funct. Mater.* 2024.

5. D. Zubia, S. Almeida, A. Talukdar, J. Mireles, E. MacDonald, *Proc. SPIE* 11345, 113450D (2020).

6. R. Zhang, Sh.U. Yuldashev, J.C. Lee, V.Sh. Yalishev, T.W. Kang, D.J. Fu, *Microelectron. Eng.* 112, 31 (2013).

C. Kittel, *Introduction to Solid State Physics* (New York: John Wiley & Sons, Inc., 2005).

GRAPHENE SYNTHESIS FROM GRAPHITE BY ARC WELDER-BASED THERMAL EXFOLIATION: A RAMAN STUDY

Daminov Rakhimjon Shokir ugli

Nanotechnology Development Center, National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek., Uzbekistan, PhD student.

e-mail: daminov_r@nuu.uz, tel: +998996558849

Avloni Jamshid Kenja

Nanotechnology Development Center, National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Head of Laboratory, PhD

e-mail: jamshid.avloni@gmail.com, tel: +19253833416

Qambarova Muhayyo Sodiqjon qizi.

Nanotechnology Development Center, National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek Research Intern.

e-mail: muhayyoqambaroval@gmail.com, tel: +998880927764

Abstract. In this study, a simple and cost-effective thermal exfoliation method based on an arc welder was used to synthesize graphene from graphite powder. A high-temperature plasma was generated between two graphite electrodes in an inert atmosphere, enabling the exfoliation of graphite into graphene layers. The process was conducted at varying time intervals, with samples collected every 60 seconds. The obtained samples were analyzed using Raman spectroscopy. The spectra clearly exhibited the characteristic D ($\sim 1350\text{ cm}^{-1}$), G ($\sim 1580\text{ cm}^{-1}$), and 2D ($\sim 2700\text{ cm}^{-1}$) peaks associated with graphene and related carbon materials. Based on the shape and intensity of the 2D peak, the synthesized samples were identified as multilayer graphene. These results demonstrate that the arc discharge method is a promising, economical, and scalable technology for graphene production.

Keywords: Graphene, Graphite, Arc Discharge, Thermal Exfoliation, Raman Spectroscopy, Multilayer Graphene, Cost-Effective Synthesis

Introduction. Graphene is a two-dimensional nanomaterial composed of carbon atoms arranged in a single layer of sp^2 -hybridized atoms forming a honeycomb lattice. Since its first experimental isolation in 2004, graphene has been recognized as one of the most promising materials in the field of materials science [1,2]. Its unique physicochemical properties — exceptionally high electron mobility ($2.5 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$), excellent thermal conductivity ($\sim 3000 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), outstanding mechanical strength (Young's modulus of $\sim 1 \text{ TPa}$), optical transparency (97.4%), and an exceptionally large theoretical surface area ($\sim 2600 \text{ m}^2/\text{g}$) — make it a critical material for modern technologies [3,4]. However, there are still several challenges associated with large-scale industrial production of graphene. Among the major obstacles is the lack of cost-effective, environmentally safe, and scalable production technologies. Conventional bottom-up approaches, such as chemical vapor deposition (CVD), can yield high-quality graphene, but they involve high costs, complex procedures, and require sophisticated equipment. In contrast, top-down approaches, which involve exfoliating graphene layers from graphite, are known for their simplicity, cost-effectiveness, and scalability.

For this reason, modern top-down graphene production techniques are being studied through experimental investigation and analytical evaluation to establish their scientific basis, identify their advantages and limitations, and assess their prospects for industrial application.

Method. The electric arc discharge method has been employed for graphene synthesis for many years. In this technique, two graphite electrodes generate a high-temperature plasma ($\sim 3,700\text{--}5,700 \text{ }^\circ\text{C}$) in an inert gas atmosphere (such as Ar or He), leading to carbon sublimation and subsequent graphene formation [5]. According to literature analysis, synthesis parameters such as current intensity (typically 100–150 A), gas type, and pressure significantly affect the outcome of the process. This approach is noted for being catalyst-free and producing minimal waste; however, it requires controlled vacuum conditions and precise regulation [6]. As highlighted in numerous review articles, the arc discharge method (similar to arc welding setups) is considered one of the efficient techniques for graphene production. For instance, the journal *Nanomaterials* (2021) discusses the advantages and limitations of the arc discharge process. Moreover, in a comparative study, the number of graphene layers and quality indicators were analyzed based on Raman spectroscopy [7].

Experimental Section. In this study, graphene was synthesized using a specially adapted arc welder device. The process was carried out as follows: graphite powder (grade "Graphite JI-1") was placed between two graphite electrodes, and a high-temperature plasma was generated under an inert atmosphere, resulting in the exfoliation of graphite into graphene layers. The process was performed incrementally over fixed time intervals. Samples were collected every 60 seconds, and the entire experiment lasted for 720 seconds.

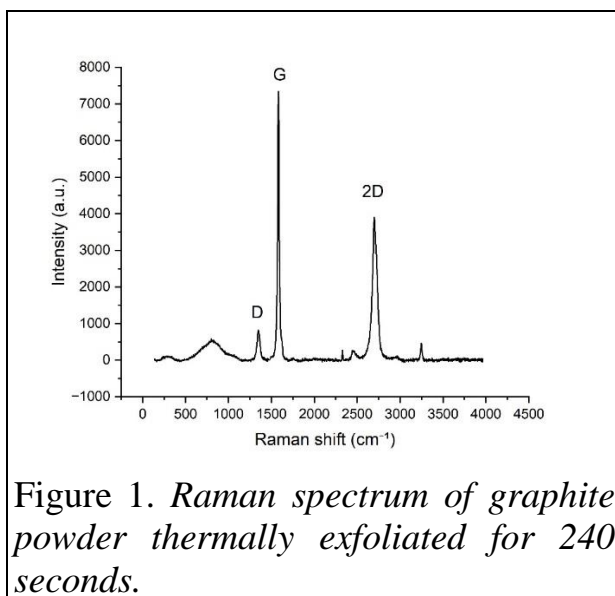


Figure 1. Raman spectrum of graphite powder thermally exfoliated for 240 seconds.

To confirm the formation of graphene and to analyze the number of layers, Raman spectroscopy was conducted on the collected samples.

Results and Discussion.

Graphite powder was thermally exfoliated for 240 seconds under high temperatures using the arc welder. As a result of this process, the graphite structure underwent decomposition, leading to the formation of few-layer or monolayer graphene. Raman spectroscopy was performed to identify the resulting

material and to evaluate the number of layers present.

The Raman spectrum[fig.1] clearly exhibits the characteristic peaks for graphene and related carbon-based materials: the D peak ($\sim 1350\text{ cm}^{-1}$), the G peak ($\sim 1580\text{ cm}^{-1}$), and the 2D peak ($\sim 2700\text{ cm}^{-1}$). The G peak corresponds to the tangential vibrations of sp^2 -bonded carbon atoms typical of graphite, confirming the presence of a carbon-based structure. The D peak is associated with defects or edge effects in the lattice, indicating the presence of disorder in the material—likely resulting from structural changes induced by exfoliation. The 2D peak provides information about the number of graphene layers. By analyzing the intensity and shape of the 2D peak in relation to the G peak, it can be concluded that the synthesized sample exhibits the characteristics of multilayer graphene. The presence of the 2D peak with relatively high intensity—comparable to or greater than the G peak—is considered strong evidence of successful exfoliation of graphite into graphene [8].

Based on this, the Raman spectral data confirm that graphene was successfully formed through the 240-second thermal exfoliation process using the arc welder method.

Conclusion. This methodology demonstrates a cost-effective and efficient approach for graphene synthesis, providing a foundation for future large-scale and application-oriented research.

Reference

1. K.S. Novoselov, A.K. Geim, S.V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S.V. Dubonos, I. V. Grigorieva, A.A. Firsov, *Science* 306 (2004) 666–669.
2. A.K. Geim, K.S. Novoselov, The rise of graphene, in: *Nanoscience and technology: a collection of reviews from nature journals*, World Scientific, 2010, pp. 11-19.
3. K.S. Novoselov, V.I. Fal'ko, L. Colombo, P.R. Gellert, M.G. Schwab, K. Kim, *Nature* 490 (2012) 192–200.
4. S. Gadipelli, Z.X. Guo, *Prog. Mater. Sci.* 69 (2015) 1–60.
5. Fang, X., Wu, Y., & Xu, Z. (2015). *Role of substrate temperature at graphene synthesis in arc discharge.*

6. Wu, Y., & Zhu, J. (2010). *Efficient and large-scale synthesis of few-layered graphene using an arc-discharge method*. Nano Research, 3(9), 661–669
7. Awoji, M. O., et al. (2023). *Synthesis of Graphene via ARC Discharge and Its Characterization: A Comparative Approach*. East European Journal of Physics
8. Lucas Eddy, Jaeho Shin, Yi Cheng, Kilogram Flash Joule Heating Synthesis with an Arc Welder., DOI: <https://doi.org/10.26434/chemrxiv-2024-nfnc9>

NANOO'LCHAMLI FERRIMAGNETIK PLYONKALAR (YIG, Bi:YIG, Ce:YIG)NING OPTIK VA MAGNITOOPTIK XOSSALARI

¹Ochilov Odil ²Qulmatova Gulzoda Abduravup qizi

¹O'zbekiston Milliy universiteti, Nanotexnologiyalarni rivojlantirish markazi

²Samarkand davlat universiteti, Muhandislik fizika instituti, Umumiy fizika kafedrası

qulmatovagulzoda3@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu ishda nanoo'lchamli ferrimagnetik plyonkalar — ittriy temir granati ($Y_3 Fe_5 O_{12}$, YIG), vismut bilan modifikatsiyalangan Bi:YIG hamda seriy asosidagi Ce:YIG tizimlarining optik va magnitooptik xossalari kompleks o'rganildi. 2,1–3,0 eV diapazonida Faradey burilishi, magnit doiraviy dixroizm (MDD) va transvers magnitooptik Kerr effekti (TMOKE) spektrlari o'lchandi. Bi^{3+} va Ce^{3+} ionlari bilan ion almashinuvi kristall panjarada spin-orbit o'zaro ta'sirni kuchaytirib, Faradey burilishi $\theta_F \approx 9^\circ/\mu m$ gacha ortishiga olib keldi [1–3]. YIG/LiNbO₃ va YIG/SiO₂/Si geterotuzilmalarda optik interferensiya va optomagnonik rezonanslar magnitooptik sezgirlikni 2–3 baravar oshirishi tajribaviy aniqlangan [4, 5]. DFT asosidagi nazariy hisob-kitoblar Bi^{3+} ionlarining og'ir atom massasi sabab spin-orbit kupling (λ_{SO}) ortishini, Ce^{3+} ionlarining esa lokal defektlar orqali spin-qutblanishni kuchaytirishini ko'rsatdi.

Kalit so'zlar: YIG, Bi:YIG, Ce:YIG, Faradey effekti, MCD, TMOKE, spin-orbit o'zaro ta'sir, optomagnonik rezonans, interferensiya.

Kirish. Ittriy–temir granat ($Y_3 Fe_5 O_{12}$, YIG) optik shaffofligi, kichik yutilish koeffitsienti va yuqori Faradey burilish burchagi bilan ajralib turadi. YIG panjarasida ittriy ionlarini vismut yoki seriy ionlariga qisman almashtirish spin-orbit o'zaro ta'sirni kuchaytiradi, bu esa magnitooptik effektlarning — Faradey aylanishi, MDD va Kerr effekti — amplitudasini oshiradi. Bu hodisa ${}^6 A_1 \rightarrow {}^4 T_1$ va ${}^6 A_1 \rightarrow {}^4 T_2$ turidagi d–d elektron o'tishlarning energetik siljishi bilan bog'liq [1, 3].

YIG/LiNbO₃ va YIG/SiO₂/Si geterotuzilmalarda nurlanish interferensiyasi natijasida koherent fazaviy uyg'unlashuv hosil bo'ladi, bu esa magnitooptik

signallarni 2 baravar kuchaytiradi [4]. Mazkur tizimlar optik izolyatorlar va magnit modulyatorlar uchun energiya tejamkor asos hisoblanadi.

Natijalar va tahlil

Eksperimental o'lovlar DKSh-200 ksenon lampasi asosida ishlab chiqilgan magnitoptik spektrometrdan amalga oshirildi. Faradey burchagining energiyaga bog'liqligi YIG, Bi:YIG va Ce:YIG namunalarida quyidagicha aniqlandi:

$$\theta_F(\text{YIG}) \approx 5^\circ/\mu\text{m}, \theta_F(\text{Bi:YIG}) \approx 8.3^\circ/\mu\text{m}, \theta_F(\text{Ce:YIG}) \approx 9^\circ/\mu\text{m}$$

Bu natijalar Bi^{3+} va Ce^{3+} ionlarining og'ir atom massasi va spin-orbit kuplingni kuchaytirish xususiyati bilan izohlanadi. YIG/LiNbO₃ geterotuzilmasida sinish koeffitsientlari ($n_{\text{YIG}} \approx 2.2$, $n_{\text{LiNbO}_3} \approx 2.1$) yaqinligi optik interferensiya rezonansini keltirib chiqaradi, natijada Faradey signali ikki baravar ortadi.

YIG/SiO₂/Si tizimida esa past sinish koeffitsientli oraliq qatlam ($n \approx 1.45$) ko'p marta qaytish interferensiyasi sababli MDD signallarining spektral kengayishiga olib keladi.

Transvers magnitoptik Kerr effekti (TMOKE) ham kuzatilib, spin-Hall oqimlari natijasida tashqi magnit maydonsiz ichki magnitlanish hosil bo'lishi aniqlangan [5]. Bu jarayon nurlanish refleksiyasida qutblanish tekisligining $\delta \approx 0.26$ burchakda siljishiga olib keladi, ya'ni energiyaviy tejamkor spinfotonik modulyatorlar yaratish imkonini beradi.

Xulosa. Itriy-temir granat (YIG) va uning Bi^{3+} hamda Ce^{3+} ionlari bilan modifikatsiyalangan variantlari (Bi:YIG, Ce:YIG) yuqori optik shaffoflik hamda kuchli magnitoptik javob namoyon etadi. Ion almashinuvi natijasida spin-orbit o'zaro ta'sir (λ_{SO}) ortib, Faradey burilishi $9^\circ/\mu\text{m}$ gacha yetadi. YIG/LiNbO₃ va YIG/SiO₂ geterotuzilmalarda interferensiya rezonanslari hamda optomagnonik kuchayish ta'siri kuzatildi. TMOKE effekti esa tashqi magnit maydonsiz ham magnitoptik javob berish imkoniyatini tasdiqladi. Ushbu natijalar YIG asosidagi nanokompozitlarni opto-magnitik sensorlar, foton modulyatorlar va integrallashgan magnitoptik chiplar yaratishda istiqbolli yo'nalish sifatida ko'rsatadi.

Adabiyotlar

1. Yoshida H., Kanazawa M., Okuda S., Nakagawa T. Enhanced Faraday rotation in Bi-substituted YIG films prepared by PLD method // *Nature Communications*. – 2020. – T. 11. – B. 19724. – DOI: 10.1038/s41467-020-19724-3.
2. Zhou L., Chen J., Huang Z., Xu Q., Yu S. Energy-efficient non-reciprocal photonic devices based on Ce:YIG microrings // *Nature Photonics*. – 2025. – T. 18. – B. 1549–1555. – DOI: 10.1038/s41566-024-01549-1.
3. Li H., Cheng P., Wang R., Xu G. Optical and magneto-optical behavior of YIG-based nanostructures // *Scientific Reports*. – 2019. – T. 9. – B. 52252. – DOI: 10.1038/s41598-019-52252-z.
4. Jiang X., Zhang W., Chen Y., Xu L., Zhou T. Optical coupling and Faraday enhancement in YIG/LiNbO₃ multilayer heterostructures // *Materials*. – 2022. – T. 15. – B. 1691. – DOI: 10.3390/ma15051691.
5. Asteraki M.H., Farzad M.H., Daryoush M., Yazdanpanah M. Spin-orbit field-induced TMOKE in Ta/CoFeB systems without external magnetic field // *Scientific Reports*. – 2024. – T. 14. – B. 54039. – DOI: 10.1038/s41598-024-54039-3.

ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ХИМИЧЕСКИ УСТОЙЧИВЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ТИТАНА.

Ферганский государственный технический университет

Шамсутдинов Баходир Фахриддинович

доцент, кандидат технических наук

shamsutdinovbaxodir@gmail.com

Аннотация: *Современные технологии требуют улучшения характеристик материалов, подчёркивая важность новых покрытий. В этой работе изучены способы создания защитных покрытий из сложных оксидов d-элементов. Оксидные калий титановые бронзы (K_xTiO_2) исследованы с применением механосинтеза и высокотемпературного самораспространяющегося синтеза*

Ключевые слова: *сложные оксиды, калий титановые бронзы, защитные покрытия, механосинтез, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, химическая инертность, адгезия, наночастицы, коррозионная стойкость, физико-механические свойства.*

Annotatsiya: *Zamonaviy texnologiyalar materiallarning xususiyatlarini yaxshilashni talab qilmoqda, bu esa yangi qoplamalarning ahamiyatini oshirmoqda. Ushbu tadqiqotda d-elementlarning murakkab oksidlaridan himoya qoplamalarini yaratish usullari o'rganildi. Kaliy-titan bronzalari (K_xTiO_2) mexanosintez va yuqori haroratli o'z-o'zidan tarqaluvchi sintez usullari yordamida tadqiq etildi.*

Kalit so'zlar: *murakkab oksidlar, kaliy-titan bronzalari, himoya qoplamalari, mexanosintez, o'z-o'zidan tarqaluvchi yuqori haroratli sintez, kimyoviy inertlik, adgeziya, nanozarrachalar, korroziyaga chidamlilik, fizik-mexanik xossalar.*

Abstract: *Modern technologies demand improved material characteristics, emphasizing the importance of new coatings. This work examines methods for creating protective coatings from complex oxides of d-elements. Potassium titanium bronzes (K_xTiO_2) were investigated using mechanosynthesis and self-propagating high-temperature synthesis.*

Keywords: *complex oxides, potassium titanium bronzes, protective coatings, mechanosynthesis, self-propagating high-temperature synthesis, chemical inertness, adhesion, nanoparticles, corrosion resistance, physical and mechanical properties.*

Бурное развитие современных технологий настоятельно требует повышения физико-механических и эксплуатационных характеристик материалов. При увеличении содержания легирующих элементов наблюдается рост таких физико-механических параметров, как прочность, твердость и износостойкость, что, однако, сопровождается увеличением вероятности хрупкого разрушения материалов. Это влечет за собой возрастание интереса к использованию покрытий в качестве средства улучшения характеристик материалов. Существующие методы нанесения покрытий ограничены рядом факторов, что подчеркивает необходимость разработки новых, энергосберегающих и упрощенных методов получения покрытий. В этом контексте сложные оксиды d-элементов представляют собой перспективные

материалы для защитных покрытий, благодаря их высокой химической стойкости в агрессивных средах. [1].

Использование наноразмерных частиц позволяет сократить расход веществ при получении покрытия, а также позволяет сохранить химические и эксплуатационные свойства покрытия. В качестве сложных оксидов d-элементов были выбраны оксиды титана вида $KxTiO_2$, которые так же имеют название оксидные калий титановые бронзы. Наночастицы калий титановых бронз получали двумя методами: механосинтезом (МС) и самораспространяющимся высокотемпературным синтезом (СВ-синтез). МА проводили в планетарной мельнице АГО-3, с числом оборотов барабана – 1780 в минуту. В качестве измельчающих тел использовали стальные шарики, диаметром 8 мм. Соотношение реакционная смесь: мелющие тела = 10:220 по массе. Состав реакционной смеси рассчитывали по уравнению $TiO_2 + xKI = KxTiO_2 + x/2I_2$ Время синтеза составило 400 с. Продукт синтеза очищали концентрированной азотной кислотой от примеси железа, которое попадает в реакционную смесь с поверхности мелющих тел. В основу СВ-синтеза была положена следующая реакция: $xKI + 0.5 TiO_2 + 0.5Ti + CuO = KxTiO_2 + x/2I_2 + Cu$, так как смесь йодида калия с оксидом титана является эндотермичной, в систему вводили экзотермическую смесь – оксид меди (II) и металлический титан. Формировали таблетку, в качестве связующего использовали этанол, инициацию синтеза проводили с помощью газовой горелки в токе инертного газа. Продукт очищали концентрированной азотной кислотой от выделяющейся в ходе реакции металлической меди

Данными методами получены продукты темно-синего цвета с металлическим блеском. Идентификацию продуктов проводили методом рентгенофазового анализа на дифрактометре фирмы Philips с монохроматическим Cu-K α -излучением. Рентгенограммы полученных веществ представлены на рисунке 1. Материалы, полученные СВ-синтезом и МС, имеют размеры частиц в пределах 60 нм. Химическую инертность полученных материалов оценивали по действию на них концентрированных кислот. В таблице 1 приведены результаты исследования. Сложные оксиды титана имеют очень низкую степень адгезии к металлу. Для повышения адгезии готовили водно-силикатную суспензию в соотношении $H_2O:Na_2SiO_3:K_0.06TiO_2=1:0,1:0,1$. Полученную суспензию наносили ровным слоем на металлическую подложку и высушивали в течение суток, затем подвергали термической обработке при температуре 1000-1200°C.

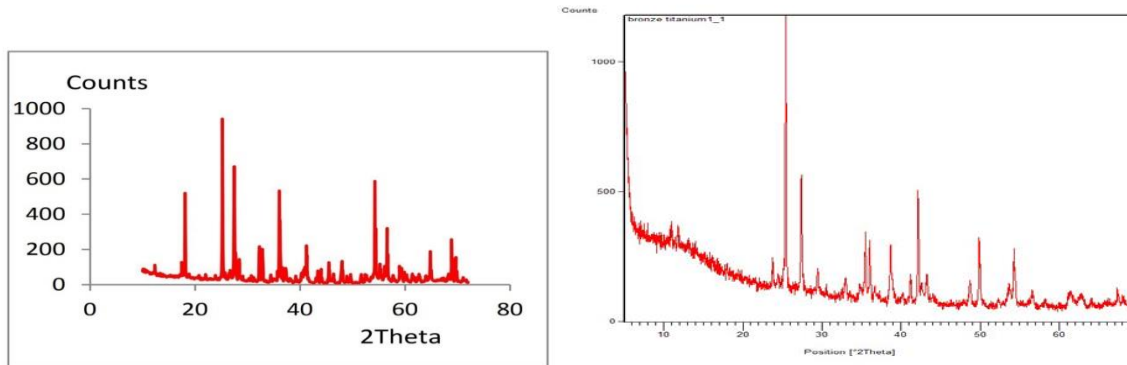


Рисунок 1 – Рентгенограммы продуктов синтеза сложных оксидов титана: а – СВ-синтез; б – МС

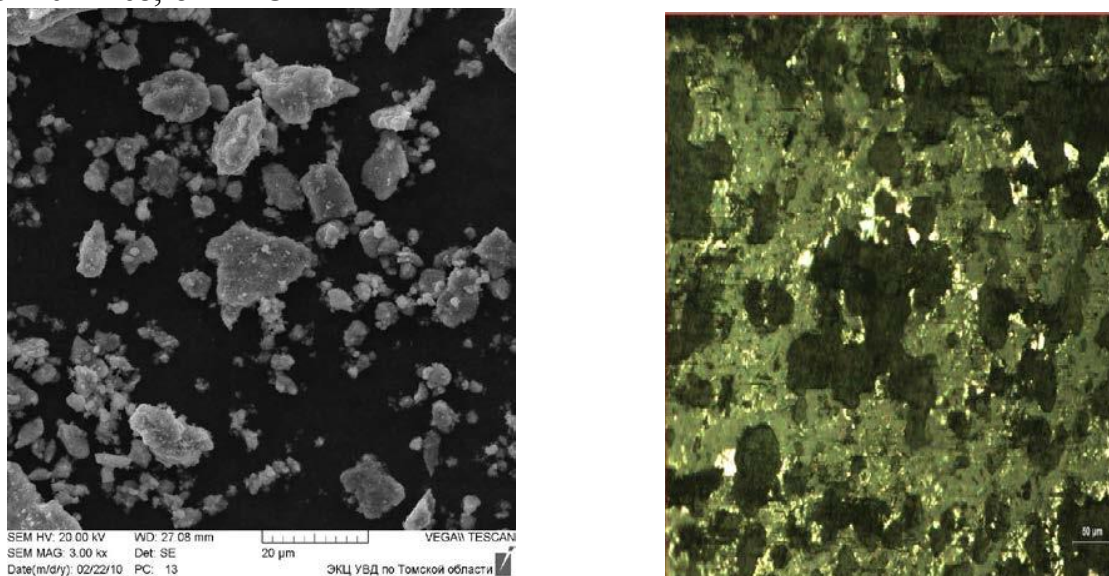


Рисунок 2 – Микрофотографии наноматериалов на основе $K_{0.06}TiO_2$: а – МС; б – СВ-синтез.

Визуальный эффект после воздействия реагента в течение 168 часов*

Таблица 1

Реагент	$K_{0.06}TiO_2$ (СВ-синтез)	$K_{0.06}TiO_2$ (МС)	TiO_2
H_2SO_4 , $\rho=1.83$ г/см ³	Изменений нет	Изменений нет	Полное растворение
HNO_3 , $\rho=1.48$ г/см ³	Изменений нет	Изменений нет	Частичное растворение
HCl , $\rho=1.19$ г/см ³	Изменений нет	Изменений нет	Частичное растворение

*– данные приведены на 0,1 г вещества

Материалы, полученные СВ-синтезом и МС, имеют размеры частиц в пределах 60 нм. Химическую инертность полученных материалов оценивали по действию на них концентрированных кислот. В таблице 1 приведены результаты исследования. Сложные оксиды титана имеют очень низкую степень адгезии к металлу. Для повышения адгезии готовили водно-силикатную суспензию в соотношении $H_2O:Na_2SiO_3:K_{0.06}TiO_2=1:0,1:0,1$.

Полученную суспензию наносили ровным слоем на металлическую подложку и высушивали в течение суток, затем подвергали термической обработке при температуре 1000-1200°C. Изображение поверхности покрытия снимали на сканирующем зондовом микроскопе NANOEDUCATOR фирмы NT-MDT (рисунок 3).

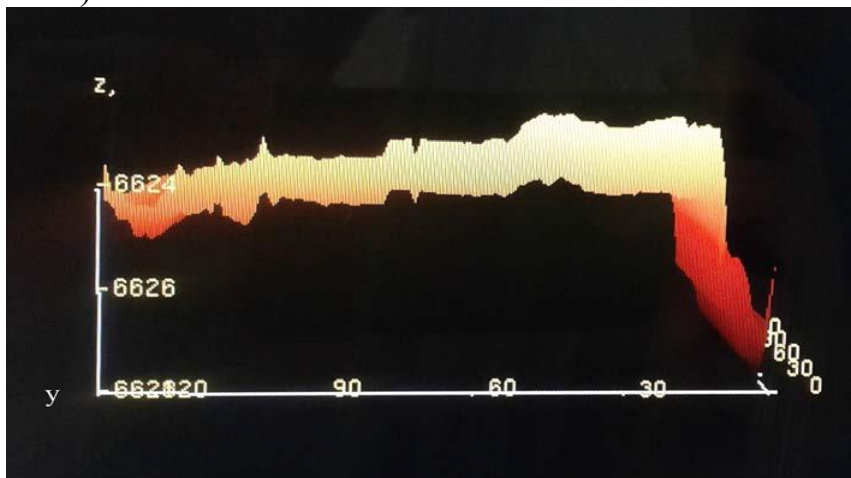


Рисунок 3 – Рельеф поверхности защитного покрытия

Из полученных данных видно, что покрытие получается сплошным и равномерным. Химическую стойкость полученных покрытий оценивали по скорости коррозии образцов. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Химические свойства исследуемых образцов

Реакционная среда	Скорость коррозии образца, г/мин	
	Без покрытия	С покрытием
HNO ₃ , ρ=1,48 г/см ³	0,037	0,015
H ₂ SO ₄ , ρ=1,83 г/см ³	0,044	0,018
HCl, ρ=1,19 г/см ³	0,236	0,113

Полученное защитное покрытие было протестировано на адгезию с помощью метода отрыва, при этом равновесное напряжение составляло $\sigma=120$ Н/м²; отслаивание покрытия происходило при изгибе металлической основы на угол 20°. Также измерялась сила трения покоя, которая составила 0,70 Н для покрытия и 0,38 Н для подложки; а сила трения скольжения составила 0,59 Н для покрытия и 0,32 Н для подложки. Эта технология позволяет достичь качественного защитного покрытия на металле, отличается простотой выполнения и не требует использования дорогого оборудования.

Литература

1. Котванова Маргарита Кондратьевна, Ильясова Эльмира Халитовна Получение и исследование нанопорошков оксидных бронз переходных металлов // Вестник ЮГУ. 2010. №4 (19).
2. Павлова С. С., Котванова М. К., Сологубова И. А., Блинова Н. Н. Технологии получения химически стойких покрытий из наночастиц оксида титана // Вестник ЮГУ. 2015. №3 (38)

Z-SKAN JARAYONIDA BARQARORLIKNI ANIQLASHDA ATSETONNING AHAMIYATI

Isroilov Adizjon Alijonovich.

O'zbekiston Milliy universiteti huzirida Nanotexnologiyalarni rivojlantirish markazi tayanch doktranti

Annotatsiya: Z-skan usuli moddalarning nochiziqli optik xossalarini, masalan, nochiziqilisinish ko'rsatkichi va nochiziqiyutilishni o'lchashda eng ko'p qo'llaniladigan usullardan biridir. Z-skan jarayonining barqarorligi va aniqligi doimiy tekshirish muhim hisoblanadi.. Ushbu ishda atsetonning Z-skan o'lchovlarining barqarorligi va takrorlanishida tutgan o'rni muhokama qilinadi.

Kalit so'zlar: Z-skan, nochiziqi optika, atseton

1. Kirish

Nochiziqi optika - bu yorug'likning intensivligiga bog'liq holda modda bilan o'zaro ta'sirini o'rganadigan zamonaviy optikaning muhim yo'nalishidir. Yorug'likning elektr maydoni kuchaygan sari, u muhitning optik xossalarini o'zgartiradi, natijada ikki fotonli yutilish, o'z-o'zini fokuslash yoki sinish ko'rsatkichining o'zgarishi kabi hodisalar yuz beradi. Mansoor va hammualliflari tomonidan kiritilgan Z-skan usuli ushbu nochiziqi parametrlarni o'lchashning oddiy va sezgir usuli hisoblanadi.[1] Biroq, Z-skan o'lchovlarining aniqligini doimiy ravishda tekshirish eksperimental sharoitda qiyindir. Takrorlanuvchi va ishonchli natijalarni olish uchun optik yo'l aniqligini tekshirish juda muhimdir. Ushbu tezisda atsetonning Z-skan jarayonida barqarorlikni aniqlashda muhim rolini ko'rsatadi.

2. Nazariy asos

Z-skan usuli namunani Gauss nurlanishining fokus sohasidan o'tkazish va o'tgan yorug'lik intensivligini o'lchashga asoslangan. Nochiziqilisinish ko'rsatkichi (n_2) va nochiziqiyutilish koeffitsienti (β) namunani z-o'qi bo'ylab harakatlantirish orqali olingan uzatish egri chizig'ini tahlil qilish orqali aniqlanadi.

• **Ochiq aperturali Z-skan** nochiziqi yutilishni o'lchaydi.

• **Yopiq aperturali Z-skan** nochiziqi sinishni o'lchaydi.

O'lchovning aniqligi lazer barqarorligiga, namunadagi optik bir jinslilikka va substratdan qaytgan yoki sochilgan nurlanishning yo'qligiga bog'liq. Atseton moddasi Z-skan usulida ko'plap maqolalarda o'rganilgan bo'lib. Yig'ilgan eksperimental qurilma to'g'ri ishlayotganini tekshirishda atseton moddasini birinchi tekshirish kerak.[2][4]

3. Eksperimental qism

Eksperimental tizim odatda lazer manbai (doimiy yoki impulsli), fokuslovchi linza, z-o'qi bo'ylab harakatlanadigan motorli stol va ochiq/yopiq aperturalar uchun fotodetektorlardan tashkil topgan[3]. Namuna sifatida atseton 10 mm qetada tayyorlanadi.

Ushbu tadqiqotda atseton davomli ravishda tekshirilib quyidagi natijalar olindi.

1-jadval

	<p>Atseton To‘qin uzunligi 1030 nm E = 3.3 mJ 18.09.2025</p>		<p>Atseton To‘qin uzunligi 1030 nm E = 3.3 mJ 26.09.2025</p>
<p>OAnorm -Ochiq aperturali</p>		<p>OAnorm -Ochiq aperturali</p>	
<p>CAnorm – Yopiq aperturali</p>		<p>CAnorm – Yopiq aperturali</p>	
	<p>Atseton To‘qin uzunligi 515 nm E = 0.6 mJ 09.10.2025</p>		<p>Atseton To‘qin uzunligi 515 nm E = 0.6 mJ 13.10.2025</p>

4. Muhokama

Natijalar lazer to‘lqin uzunligi 1030 nm hamda 515 nm bo‘lganda olindi hamda shuni ko‘rsatadiki, atsetondan foydalanish Z-skan signalining barqaror va takrorlanadigan bo‘lishini ta’minlaydi hamda uzoq vaqt davomida ham yig‘ilgan optik sistemaning sitabil ekanligini tekshirish mumkin.

5. Xulosa

Ushbu tadqiqot Z-skan tajribalarida atsetonning muhim rolini ko‘rsatadi. Atsetonda bir biriga juda yaqin natijalar doimiy takrorlanishi barqaror optik uzatishni bo‘layotganini doimiy tekshirish turish uchun muxim omil sifatida xizmat qiladi. Atseton moddasini tekshirish tajribalar barqarorligini oshiradi, xatoliklarni kamaytiradi bu esa nochiziqli optik natijalarning takrorlanishini ta’minlaydi.

Adabiyotlar

1. Sheik-Bahae, Mansoor, et al. "Z-scan: a simple and sensitive technique for nonlinear refraction measurements." *Nonlinear Optical Properties Of Materials*. Vol. 1148. Spie, 1990..
2. Barraza, A. Guzmán, et al. "Z-scan to measurement the nonlinear optical properties of water, ethanol, and acetone using a laser at 1550 nm." *Active Photonic Platforms XII*. Vol. 11461. SPIE, 2020.
3. He, G. S., & Tan, L. S. (2011). *Modeling of Nonlinear Optikal Properties of Materials*. CRC Press.
4. Ajami, Aliasghar, et al. "Z-scan technique: a review from conventional Z-scan to white light Z-scan." *Applied Physics B* 130.8 (2024): 138.

MOLEKULAR DINAMIKA USULINING ZAMONAVIY MATERIALSHUNOSLIKDA QO'LLANISHI

A. Rasulov, N. Ibroximov, A. To'xtasinov

Farg'ona davlat texnika universiteti,

e-mail: azamat.88.inf@gmail.com, tel: +99899 369 87 89

Anontatsiya. Ushbu maqolada molekulyar dinamika (MD) simulyatsiyasi usulining nazariy asoslari, texnik jihatlari va materialshunoslikdagi amaliy qo'llanilishlari yoritilgan. Tadqiqot ishida kuch maydonlari, vaqt integratsiyasi, ansambllar (NVE, NVT, NPT), termostat va barostat algoritmlari, shuningdek, davriy chegara shartlarining qo'llanilishi ko'rib chiqilgan. MD usulining materiallarning strukturaviy, mexanik hamda transport xususiyatlarini chuqur o'rganish, yangi materiallarni loyihalash va eksperimental tadqiqot xarajatlarini kamaytirishdagi ahamiyati asoslab berilgan.

Kalit so'zlar: *NVE, NVT, NPT, Klassik MD, Ab initio, Reaktiv MD, Kvant MD.*

Molekulyar dinamika simulyatsiyasi vaqt o'tishi bilan atomlar va molekulalarning xatti-harakatlari va o'zaro ta'sirini o'rganish uchun ishlatiladigan hisoblash usulidir. U zarralar tizimi uchun Nyuton harakat tenglamalarini yechish uchun raqamli algoritmlardan foydalanadi, bu ularning harakati va atom darajasida o'zaro ta'sirini simulyatsiya qilish imkonini beradi. MD simulyatsiyalari atomlararo o'zaro ta'sir kuchlari va tizimning potentsial energiyasini tavsiflovchi kuch maydonlariga tayanadi. MD simulyatsiyalari orqali tadqiqotchilar eksperimental tajribalarda kuzatish qiyin bo'lgan hodisalarni o'rganishlari va atomlarning aniq xatti-harakatlarni boshqaradigan fundamental jarayonlar va mexanizmlarni chuqurroq tushunishlari mumkin. Ushbu simulyatsiya usuli nisbiy soddaligi, moslashuvchanligi va statistik mexanika bilan bog'liqligi, eksperimental tajribalari bilan taqqoslash imkonini beradi. Ammo MD simulyatsiyalari ma'lum cheklovlarga ega. Ular kuch maydonining aniq parametrlarini, tegishli hisoblash resurslarini va modellashtirishlarini talab qiladi. Ushbu cheklovlarga qaramay, MD simulyatsiyalari hisoblash fizikasida yangi innovatsion ishlanmalar uchun yangi yo'l ochib, nanomateriallar xossalarini tushunish va tadqiq etishga sezilarli hissa qo'shishda davom etmoqda. Molekulyar dinamikani simulyatsiya qilish tamoyillari quyidagicha [1]:

Nyutonning harakat tenglamalari: MD simulyatsiyalari tizimdagi har bir atom uchun harakat tenglamalarini hosil qiladi. Bu tenglamalar atomlarga ta'sir qiluvchi kuchlarni va ularning hosil bo'ladigan harakatlarini tavsiflaydi.

Kuch maydoni: Atomlar orasidagi kuchlarni hisoblash uchun kuch maydoni ishlatiladi. U tizimning potentsial energiyasini va undan kelib chiqadigan kuchlarni tavsiflovchi matematik funksiyalardan iborat. Kuch maydonlari bog'langan va bog'lanmagan o'zaro ta'sirlar uchun parametrlarni o'z ichiga oladi.

Vaqt integratsiyasi: MD simulyatsiyalari vaqtni vaqt qadamlari deb ataladigan diskret bosqichlarga ajratadi. Har bir vaqt bosqichida atomlarning joylashuvi va tezligi ularga ta'sir qiluvchi kuchlar asosida yangilanadi. Vaqt bosqichi tizimning dinamikasini to'g'ri ushlab turish uchun yetarlicha kichik bo'lishi kerak.

Ansambllar: MD simulyatsiyalari mikrokanonik ansambl (NVE), kanonik ansambl (NVT) va izotermik-izobarik ansambl (NPT) kabi turli ansambllarda bajarilishi mumkin. NVE - mikrokanonik ansamlda atomlar soni (N), sistemaning hajmi (V) va umumiy energiyasi (E) vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi. Bunday sistema yopiq sistema bo'lib tashqi muhit bilan energiya almashmaydi, NVT - kanonik ansamlda atomlar soni (N), sistemaning hajmi (V) va temperaturasi (T) vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi. Ushbu tizim real eksperimentdagi termostat bilan birlashtirilgan yopiq idishdagi jarayonlarga to'liq mos keladi. Bunda sistemaning temperaturasi doimiy ravishda tashqi termostat temperaturasi bilan bir xilda ushlab turiladi. NPT-izotermik-izobarik ansamlda atomlar soni (N), sistemaning bosimi (P) va temperaturasi (T) vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi. Bunda simulyatsiya qilinayotgan tizim tashqi termostat va barostat bilan bog'langan bo'ladi, ammo zarralar almashinuvi ruxsat etilmaydi. NPT ansambl laboratoriya sharoitlaridagi kimyoviy reaksiyalar kabi odatiy sharoitlarni modellashtirish uchun eng mos keladi. Ushbu ansambllar simulyatsiya qilingan tizimdagi harorat, hajm va zarrachalar sonini nazorat qiladi.

Termostatlar va barostatlar: Kerakli harorat va bosimni ushlab turish uchun MD simulyatsiyalarida ko'pincha termostatlar va barostatlar qo'llaniladi. Ushbu algoritmlar harorat va bosim o'zgarishini nazorat qilish uchun atomlarning tezligi va pozitsiyalarini moslashtiradi.

Chegaraviy shartlari: MD simulyatsiyalari cheksiz tizimni taqlid qilish uchun davriy chegara shartlaridan foydalanadi. Bu fazoda takrorlangan kichik birlik katakchasini simulyatsiya qilish imkonini beradi.

Namuna olish va o'rtacha baholash: MD simulyatsiyalari tizimning vaqt o'tishi bilan ifodalovchi traektoriyani yaratadi. Traektoriyaning statistik tahlili energiya, harorat, bosim kabi koeffitsientlari termodinamik va dinamik xususiyatlarini beradi.

Dastlabki konfiguratsiya: MD simulyatsiyalari atomlarning dastlabki konfiguratsiyasini talab qiladi. Buni tajriba ma'lumotlari, kristall tuzilmalar yoki molekulyar mexanika yoki kvant mexanikasi kabi boshqa simulyatsiya usullaridan olish mumkin.

Molekulyar dinamika simulyatsiyalarini o'ziga xos jihatlarga va qo'llaniladigan texnikaga qarab har xil turlarga ajratish mumkin. MD simulyatsiyalarining keng tarqalgan turlari va ularning xususiyatlari:

Klassik MD: Klassik MD simulyatsiyalari kvant mexanik ta'sirini e'tiborsiz qoldirib, atomlarni klassik zarralar sifatida ko'radi. Ular atomlararo o'zaro ta'sirlarni tasvirlash uchun empirik kuch maydonlaridan foydalanadilar. Klassik MD hisoblash jihatidan samarali va katta tizimlarni uzoqroq vaqt oralig'ida o'rganish uchun keng qo'llaniladi [2].

Ab initio MD: *Ab initio* MD simulyatsiyalari elektron struktura va o'zaro ta'sirlarni hisobga olgan holda kvant mexanik tamoyillarini o'z ichiga oladi. Ular kuch va energiyani hisoblash uchun zichlik funktsional nazariyasi yoki to'liq funktsiyasiga asoslangan usullardan foydalanadilar. *Ab initio* MD, ayniqsa, kuchli elektron-elektron o'zaro ta'sirga ega bo'lgan kichik molekulalar, reaksiyalar va tizimlarni o'rganish uchun juda mos keladi [3].

Reaktiv MD: Reaktiv MD simulyatsiyalari kimyoviy reaksiyalar va bog'lanishning shakllanishi va uzilishi dinamikasiga qaratilgan. Ular reaksiya yo'llari va o'tish holatlarini aniq o'z ichiga olgan potentsial energiya sirtlaridan foydalanadilar. Reaktiv MD reaksiya kinetikasini, katalizni o'rganish va murakkab reaksiya mexanizmlarini o'rganishda qo'llaniladi [4].

Kvant MD: Kvant MD simulyatsiyalari molekulyar mexanika va kvant mexanikasini birlashtiradi. Ular atomlarning bir to'plamini kvant bilan mexanik ravisda, qolgan atomlarni esa klassik tarzda shakllanadi. Kvant MD proton uzatish, vodorod bog'lanishi va elektron tuzilish xususiyatlari kabi kvant effektlari muhim rol o'ynaydigan tizimlar uchun foydalidir [5].

Molekulyar dinamika simulyatsiyalari materialshunoslik soxasi rivojlanishiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi mumkin. Materiallarining atom va molekulyar darajadagi xatti-harakatlari haqida batafsil ma'lumot berish orqali MD simulyatsiyalari bir necha jihatdan yanada barqaror va samarali amaliyotlarni rivojlantirishga hissa qo'shishi mumkin:

Materiallarni loyihalash va optimallashtirish: MD simulyatsiyalari magnit xususiyatiga ega materiallarini loyihalash va optimallashtirishda ularning strukturaviy, mexanik va transport xususiyatlarini chuqurroq tushunishga yordam beradi. Bu ma'lumotlardan foydalangan holda metallik xususiyatlari yaxshilangan materiallarni ishlab chiqishda foydalanish mumkin.

Eksperimental tadqiqotlar xarajatlari va vaqtni qisqartirish: MD simulyatsiyalari keng qamrovli eksperimental tajribalarga vaqtni tejash orqali xarajatlarni kamaytirishi mumkin. Turli senariylar va xususiyatlarni taqlid qilish orqali MD simulyatsiyalari resurslarni ko'p talab qiladigan sinov va xato yondashuvlarni kamaytiradi.

Molekulyar dinamikani simulyatsiya qilish materiallarning xususiyatlarini yanada aniqroq tushunish hamda ularni eksperimental tajribalarda vaqtni tejash orqali xarajatlarni kamaytirish, moddalarning mexanik xususiyatlarni yaxshilash orqali materialshunoslikda katta ahamiyatga ega. Molekulyar dinamika usuli yordamida fazaviy o'zgarishlar, deformatsiyalar, sirt hodisalari, klasterlarning shakllanishi va barqarorligi kabi murakkab jarayonlarni o'rganish imkonini beradi. MD simulyatsiyalarini turli sanoat soxalariga integratsiya qilish barqaror va bardoshli infratuzilmani rivojlantirish hamda zamonaviy materialshunoslikda keng qo'llanilmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Mouvet, F., Villard, J., Bolnykh, V., & Rothlisberger, U. (2022). Recent advances in first-principles based molecular dynamics. *Accounts of Chemical Research*, 55(3), 221-230.
2. Gissinger, J. R., Jensen, B. D., & Wise, K. E. (2017). Modeling chemical reactions in classical molecular dynamics simulations. *Polymer*, 128, 211-217.
3. Tuckerman, M. E., Ungar, P. J., Von Rosenvinge, T., & Klein, M. L. (1996). Ab initio molecular dynamics simulations. *The Journal of Physical Chemistry*, 100(31), 12878-12887.

4. Martini, A., Eder, S. J., & Dörr, N. (2020). Tribochemistry: a review of reactive molecular dynamics simulations. *Lubricants*, 8(4), 44.
- Richings, G. W., Polyak, I., Spinlove, K. E., Worth, G. A., Burghardt, I., & Lasorne, B. (2015). Quantum dynamics simulations using Gaussian wavepackets: the vMCG method. *International Reviews in Physical Chemistry*, 34(2), 269-308.

KONDENSIRLANGAN HOLAT FIZIKASINING DOLZARB MUAMMOLARI

РОЛЬ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ПЛЁНОК $Bi_2Te_3-Sb_2Te_3$

Ахунова Ё¹, Юлдашев Н.Х. ²

¹Ферганский академический лицей, ²Ферганский государственный технический университет, uzferfizika@mail.ru

В полупроводниковой тензометрии одной из важных задач является изготовление тензодатчиков с линейной и симметричной деформационной характеристикой (ДХ) по отношению к инверсии направления механического напряжения. В зависимости от причины возникновения нелинейности можно её компенсировать несколькими путями. В случае плёночных полупроводниковых тензорезисторов асимметричность ДХ связана с внутренними механическими напряжениями (ВМН) в плёнках. В настоящем сообщении проведен теоретический анализ статической деформационной характеристики при одностороннем сжатии и растяжении поликристаллических плёнок типа $Bi_2Te_3-Sb_2Te_3$, в которых существенны ВМН,

Известно, что ВМН в неоднородных плёночных структурах $Bi_2Te_3-Sb_2Te_3$ обусловлено главным образом двумя причинами [1-3]: **1.** Наличие структурных несовершенств типа дислокаций, поры, границы кристаллических зерен, изменения химического и фазового составов по толщине или объему плёнки. **2.** Различие термических коэффициентов линейных и объемных расширений материалов плёнки α_{nl} и подложки α_{nod} , а также их межатомных расстояний.

Исходное механическое состояние свежеприготовленной тензочувствительной плёнки описывается некоторым начальным значением относительной деформации ε_0 , обусловленной ВМН P_0 и, тем самым, определяющей величиной отклонения механического состояния плёнки от равновесного. Величина ε_0 по существу состоит из двух слагаемых

$$\varepsilon_0 = \varepsilon'_0 + \varepsilon''_0, \quad (1)$$

где ε'_0 обусловлена объемными и поверхностными неоднородностями, пористостью и зернистостью, возникающих в непосредственном процессе роста плёнки, а также поверхностными натяжениями, а ε''_0 - различием термических коэффициентов расширения α_{nl} и α_{nod} , а также несоответствием их постоянных решёток. Коэффициент α для Bi_2Te_3 при комнатной температуре принимает значения, равной $\alpha_{nl} = 13,8 \cdot 10^{-6} K^{-1}$, для дюралюминия -

$\alpha_{noo} = 23 \cdot 10^{-6} K^{-1}$, а для ПМ-1- $\alpha = (50 \div 63) \cdot 10^{-6} K^{-1}$. Второе слагаемое в (1), отражающее наличие подложки и её вклада в формировании ВМН тонкой плёнки, по-существу, делает последней качественно отличным от массивного поликристалла тензочувствительным элементом. Для очень тонких плёнок влияние ε_0'' на тензорезистивные свойства может быть очень существенным, порой определяющим, а с увеличением толщины или объема, естественно вклад ε_0' в ε_0 монотонно растёт. Величина ε_0'' может быть как положительным, так и отрицательным. Поэтому в зависимости от материалов конденсата и подложки, а также технологических факторов предварительная деформация ε_0 плёнки (при отсутствии внешних воздействий), следовательно, и её ВМН- P_0 , ведут себя сложным образом не только по значениям, но и по знакам.

Согласно Франку и Ван-дер-Мерве [4] равновесная «средняя» деформация эпитаксиальной пленки толщиной h может быть описана выражением

$$\varepsilon_0 = -\frac{(1-2\nu)\mu_0}{8\pi^2(1-\nu)\mu_a} \cdot \frac{a(a+\varepsilon)(2a+\varepsilon)}{h(a-\varepsilon)(3a-\varepsilon)} \cdot \beta \ln\left[2\beta\left(\sqrt{1+\beta^2}-\beta\right)\right], \quad (2)$$

$$\beta = \frac{8\pi\mu_a\mu_\varepsilon}{(1-\nu)\mu_0(\mu_a+\mu_\varepsilon)} \cdot \frac{a(a-\varepsilon)}{(3a-\varepsilon)^2}, \quad (3)$$

где a и ε – периоды решетки недеформированных пленки и подложки, соответственно: $\mu_0, \mu_a, \mu_\varepsilon$ – модули сдвига пограничного слоя, пленки и подложки.

Если в (2) и (3) принять, что $f = (a-\varepsilon)/a \ll 1$, т.е. несоответствие между периодами решеток пленки и подложки невелико, то получим из (2) выражение

$$\varepsilon_0 = -\frac{1-2\nu}{4\pi(1-\nu)^2} \cdot \frac{a \cdot \mu_b}{h(\mu_a + \mu_b)} \cdot \ln\left[\frac{2\pi\mu_a\mu_b}{(1-\nu)(\mu_a + \mu_b)\mu_0} \cdot f\right], \quad (2. a)$$

из которого в случае, когда связь между подложкой и пленкой велика (т.е. μ_0 сравнима с $\mu_a \approx \mu_\varepsilon$), имеем

$$\varepsilon_0 = -\frac{1-2\nu}{8\pi(1-\nu)^2} \cdot \frac{a}{h} \cdot \ln\left[\frac{\pi}{2(1-\nu)} \cdot \frac{a-\varepsilon}{a}\right]. \quad (2. б)$$

Естественно, для поликристаллических пленок на аморфных подложках

нельзя применять непосредственно формулу (2). Однако из неё можно почерпнуть некоторые поучительные идеи и выводы. Внутренние механические напряжения условимся считать сжимающими, если пленка как бы стремится расширяться параллельно поверхности. Если при этом толщина подложки больше толщины пленки, то подложка изгибается, и пленка будет находиться в сжатом состоянии. В этом случае знак ВМН, а также величину ε_0 ,

считаем отрицательным ($P_0, \varepsilon_0 < 0$). Наоборот, знак $ВМН$, под действием которых пленка находится в растянутом состоянии, принимаем как положительный ($P_0, \varepsilon_0 > 0$). Определяя величины ε_0 и P_0 в отдельности, из соответствующих экспериментов можно оценить «эффективный модуль Юнга».

$$E_{эфф} = E_0 = |P_0 / \varepsilon_0|, \quad (4)$$

характеризующий упругое состояние свежеприготовленной пленки как квазиоднородной сплошной среды. Естественно, величина E_0 сильно зависит от технологии получения пленочной структуры, дополнительной её обработки и влияния окружающей среды [3-5].

Поскольку пьезорезистивный эффект есть проявление электро-механического отклика полупроводника на внешнее механическое воздействие, то очевидно, что значение и характер протекания этого эффекта непосредственно зависит от исходного упругого состояния образца. Поэтому естественно ожидать, что наличие $ВМН$ в тонких пленках и массивных поликристаллах, порой определяющим образом, влияет на их тензорезистивные свойства. Многочисленные исследования деформационных характеристик пленок из различных соединений показали, что во всех пленках, обладающих аномально большой тензочувствительностью ($K \geq 10^3 \div 10^4$), обнаруживаются большие $ВМН$, достигающие в отдельных случаях порядка $\varepsilon_0 \approx 10^{-3}$ отн.ед. Интересно заметить, что последние ярко отражаются в резкой асимметричности и нелинейности деформационной характеристики при одной из двух односторонних деформаций разного знака [2]. Опыт показывает, что знак $ВМН$ в исследованных нами пленках совпадает всегда со знаком той деформации, при которой наблюдается более ранняя и сильная нелинейность деформационной характеристики [4] данной пленки.

Большие $ВМН$, особенно в пленках с аномально высоким $КТЧ$, с течением времени вызывает необратимые внутренние структурные превращения в пленках, что приводит к релаксации исходного деформированного состояния, а значит и к релаксации величины ε_0 . Такая деградация упругого состояния пленки отражается и в её статических деформационных характеристиках, в изменении $КТЧ$ во времени. Поэтому свежеприготовленные тензочувствительные пленки подвергают к термической обработке, лазерному отжигу и другим дополнительным обработкам, которые частично снимают $ВМН$, связанного в основном, внутренней деформацией ε'_0 . Однако $ВМН$, ответственное за ε''_0 , а значит нелинейность и несимметричность деформационной характеристики пленки полностью этими дополнительными обработками не устраняется. Для этой цели мы использовали метод предварительной деформации, суть которого заключается в следующем. Сначала необходимо определить знаки и величины $ВМН$ в исследуемой пленке, полученной обычным методом, для чего снимают её деформационную

характеристику при нагрузках одностороннего сжатия и растяжения. Затем в зависимости от знака и величины VMH получают пленки напылением на предварительно деформированной, определенным образом, подложке. Если, например, до напыления к подложке приложена сжимающая сила, то, когда она снимается после образования пленки, последняя приводит в искусственно наведенное состояние растяжения. Очевидно, что предварительная деформация растяжения $\varepsilon^* > 0$ может в той или иной степени компенсировать деформацию сжатия в пленке, обусловленную VMH сжатия ($P_0, \varepsilon_0 < 0$). При этом главная цель состоит в выборе условия

$$\varepsilon^* = -\varepsilon_0 \quad \text{или} \quad P^* = -P_0, \quad (5)$$

когда VMH полностью компенсируется напряжением, созданным предварительной деформацией пленки. Для заданных значений температуры подложки, скорости конденсации пленки и других технологических параметров изменив величину предварительной деформации можно добиться того, что VMH будет компенсироваться механическим напряжением предварительной деформации. В результате изготовленный таким образом тензорезистор будет практически одинаково реагировать на последующие деформации растяжения и сжатия, т.е. деформационная характеристика будет иметь симметричный вид.

Литература

1. Э.А. Абдуллаев, Н.Х. Юлдашев Эффект пьезосопротивления в халькогенидах свинца и висмута. Часть I. Ташкент.: «Фан», 1989. 182 с.
2. Э.А. Абдуллаев, Н.Х. Юлдашев Эффект пьезосопротивления в халькогенидах свинца и висмута. Часть II. Фергана: «Фарғона», 2008. 116 с.
3. Б.М. Гольцман, М.Г. Комисарчик, П.А. Леонтьев Исследование напряжений I и II рода в пленках твердых растворов $(Bi_xSb_{1-x})_2Te_3$. В кн. «Физика и технология тонких пленок сложных полупроводников». - Ужгород, 1975, 178 с..
4. Дж.У. Метьюз Монокристаллические пленки, полученные испарением в вакууме. В кн. «Физика и технология тонких пленок» - М.: «Мир», 1970, т.4, гл.3, СС.167-227.
5. Kh.M. Sulaymonov, N.Kh. Yuldashev Effect of Internal Stresses on the Static Strain Characteristics of p- Composite Films. // Journal of surface investigation: X-ray, synchrotron and neutron techniques, Moscow, 2016. Vol.10, No. 4, p.52-56.

MOCVD Heteroepitaxial Growth of Gallium Nitride Using Conventional and Patterned Sapphire Substrate (PSS)

Muhammad Saddique *, D.X.Tolaboyev⁺, M.F.Akhmadjonov

Department of Physics, Fergana State Technical University, 150100 Fergana,
Uzbekistan

Abstract. Metal organic chemical vapor deposition (MOCVD) for the growth of Gallium Nitride was performed by conventional sapphire substrates (CSS) and patterned sapphire substrates (PSS). The crystal quality of conventional growth and patterned growth of GaN was investigated by atomic force microscopy (AFM), cathodoluminescence (CL), and Raman microscopy. Results of AFM proved that GaN grown by CSS had poor surface morphology, and the growth of GaN had a smooth and flat surface. The values of the surface roughness from CSS and PSS were 1 nm and 0.865 nm. Likewise, CL images from CSS show a higher density of defects with dominant non-radiative recombination (poor crystal quality), and pattern growth of GaN has a dominant radiative recombination rate (higher crystal quality). Likewise, the values of the compressive stress from CSS and PSS were 1.020 GPa and 0.330 GPa, respectively. The reduction of the compressive stress from CSS was due to the reduction of defect density. This study is valuable for beginners in the MOCVD growth of III-V compound semiconductors.

Keywords: GaN; CSS; PSS; AFM; CL; Defect Density.

1. Introduction. Gallium Nitride (GaN) has excellent structural, electrical, and optical properties [1]. The properties related to stable wurtzite crystal structures, strong bonding, and higher thermal and mechanical stability enable GaN-based devices to operate in severe weather environments, such as high temperatures and high radiation exposure [2]. The existence of the hexagonal and cubic structures further expands the applications of GaN-based devices in both polar and non-polar devices with their specific applications. In a similar way, the tunable band of the GaN covers a broad spectrum, including multivalent and UV visible, and becomes a very attractive material for the multi-color LEDs. Furthermore, the excellent electrical properties such as higher electron mobility, high breakdown voltage, and higher saturation, lay the foundation of the high power and high-speed electronics like satellites, telecommunication, and military appliances [3].

Although GaN has many useful uses in our daily lives, its growth has been a technical issue. Due to the lack of lattice-matched and cost-effective substrates (homogeneous substrates of GaN), the growth of GaN on heterogeneous substrates generates larger numbers of threading dislocations (TDs). These TDs are harmful for GaN-based devices [4]. Therefore, patterned substrates were introduced for the reduction of the TDs. Many designs of the patterned substrates were introduced for the high-quality growth of GaN, such as bar-shaped patterned substrates and cone-shaped pattern substrates [5]. In this research, we have introduced the patterned sapphire substrates masked with a dielectric mask of silicon nitride and silicon

* Muhammad Saddique: m.s.a.khan@fstu.uz

⁺ D.X.Tolaboyev: dilmuhammad.tolaboyev@fstu.uz

dioxide. The crystal quality of the patterned growth and conventional growth was investigated by atomic force microscopy (AFM), cathodoluminescence, and Raman microscopy. Our characterization results proved that patterned growth of GaN significantly controls TDs and enables GaN for its useful applications in device fabrication. This research provides a very useful and interesting insight for researchers who are starting their research journey.

2. Experimental Section

The experimental section is divided into the growth and characterization of GaN. Initially, the design of the PSS was developed by the etching and etching. The further fabrication details are given in the references [6]. After the fabrication of the PSS, the growth of GaN was performed by MOCVD. The growth temperature and pressure were adjusted at 1000°C and 250 torr. After growth, the crystal quality of GaN was investigated by AFM, CL, and Raman microscopy.

3. Results and Discussion. Fig. (a) and Fig.1 (b) show the results of the AFM images from conventional and patterned growth of GaN. We can see that the surface of the conventional growth of GaN is non-uniform and irregular, with a higher root mean square (RMS) value of the surface roughness. The RMS value of the surface roughness is 1 nm. However, the results of the surface morphology from the patterned growth show excellent surface morphology. The RMS values of the surface roughness were further reduced to 0.865 nm. Therefore, the surface morphology of the GaN patterned growth was significantly improved. The smooth and flat surface of GaN, along with a lower RMS value of surface roughness, is highly useful for further utilization in device fabrication.

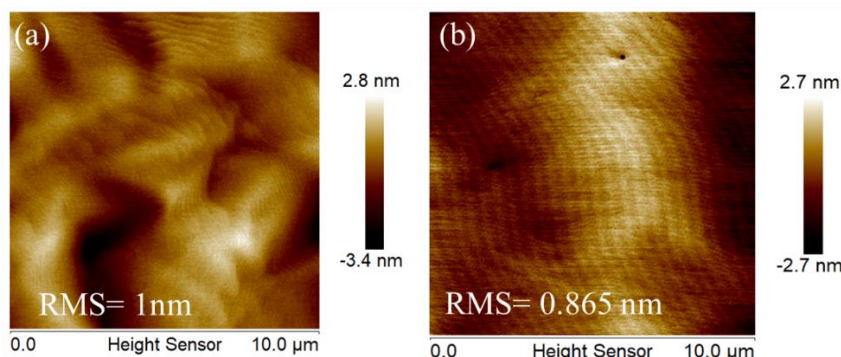


Fig.1 Results of the surface morphology from (a) Conventional growth of GaN. (b) Patterned growth of GaN.

Fig.2 shows the results of the CL images from the conventional and patterned growth of GaN. Fig.2 (a) shows a plan-view of the CL image from GaN growth conducted by conventional patterned sapphire substrates. Fig.2 (b) shows the plan-view of the CL image from the pattern growth of GaN. The black color from the CL image related to the conventional growth of GaN is due to the high density of the defects from flat sapphire substrates. Due to large mismatch effects between sapphire and GaN, a large number of TDs were generated. These defects are acting as non-radiative recombination centers. The control of these defects was carried out by a patterned sapphire substrate, as shown in Fig.1 (b). We can see that the patterned growth of GaN shows more brightness compared to the conventional growth of GaN because the high-quality growth of GaN shows radiative recombination. Therefore, based on

the CL images, the crystal quality of the patterned growth is better than that of conventional growth.

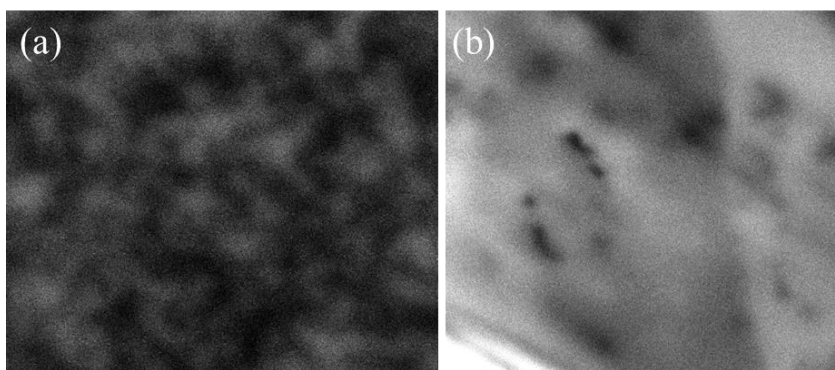


Fig.2 Results of CL images from (a) Conventional growth of GaN. (b) Patterned growth of GaN.

Fig.3 (a) and Fig.3 (b) present the results of the Raman microscopy from the GaN growth grown by CSS and PSS, respectively. From Raman results, the E₂ mode is a very useful tool to investigate the crystal quality of GaN. The values of the Raman shift from stress-free GaN are 567.5 cm⁻¹, and the values of the Raman shift from the CSS and PSS are 570.889 cm⁻¹ and 568.928 cm⁻¹, respectively. The compressive stress from CSS and PSS growth is 1.020 GPa and 0.330 GPa, respectively. Our Raman results prove that compressive stress in the pattern growth is lower than in conventional growth because the density of the defects is lower than that of conventional growth. So, the crystal quality of GaN grown by PSS is better than that of conventional GaN growth.

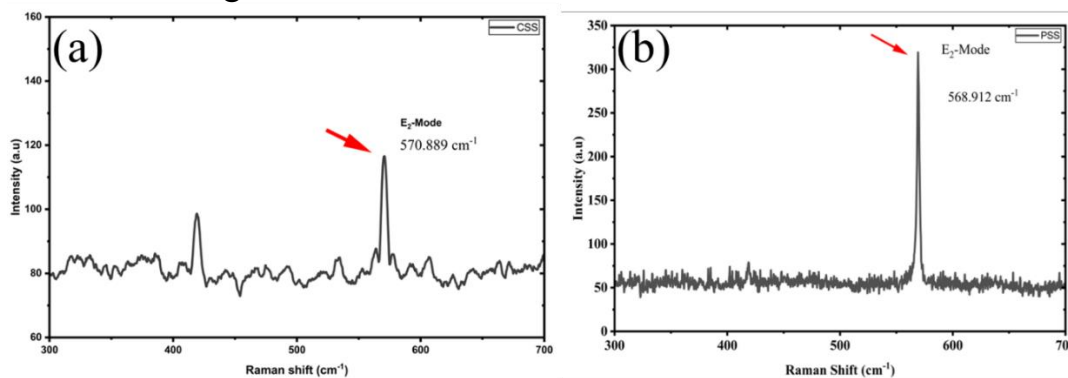


Fig.3 Results of Raman microscopy from (a) Conventional growth of GaN. (b) Patterned growth of GaN.

References

- [1] P. Gibart, Metal organic vapour phase epitaxy of GaN and lateral overgrowth, Reports on Progress in Physics 67 (2004) 667–715. <https://doi.org/10.1088/0034-4885/67/5/R02>.
- [2] H.C. Chiamori, C. Angadi, A. Suria, A. Shankar, M. Hou, S. Bhattacharya, D.G. Senesky, Effects of radiation and temperature on gallium nitride (GaN) metal-semiconductor-metal ultraviolet photodetectors, in: Sensors for Extreme Harsh Environments, SPIE, 2014: p. 911304. <https://doi.org/10.1117/12.2050983>.
- [3] N. Aggarwal, S.T.C. Krishna, L. Goswami, M. Mishra, G. Gupta, K.K. Maurya, S. Singh, N. Dilawar, M. Kaur, Extenuation of stress and defects in GaN

films grown on a metal-organic chemical vapor deposition-GaN/c-sapphire substrate by plasma-assisted molecular beam epitaxy, Cryst Growth Des 15 (2015) 2144–2150. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.5b00125>.

[4] C. Romanitan, I. Mihalache, O. Tutunaru, C. Pachi, Effect of the lattice mismatch on threading dislocations in heteroepitaxial GaN layers revealed by X-ray diffraction, J Alloys Compd 858 (2021).

<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.157723>.

[5] J. Liang, X. Hongling, W. Xiaoliang, W. Cuimei, D. Qingwen, L. Zhidong, D. Jieqin, W. Zhanguo, H. Xun, The growth and characterization of GaN films on cone-shaped patterned sapphire by MOCVD, Journal of Semiconductors 34 (2013).

<https://doi.org/10.1088/1674-4926/34/11/113002>.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ И НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА PINN В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ С ОДНИМ ДИСЛОКАЦИОННЫМ ИСТОЧНИКОМ

Сергиенко Д.Ф.^{1,2}, Паровик Р.И.¹

¹Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, 684034, п. Паратунка, ул. Мирная, 7, Россия

²Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, 683032, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная, 4, Россия
daruasergienko@yandex.ru, 89248937945

Аннотация. В работе представлено сравнительное исследование эффективности классических численных методов и нейросетевого подхода Physics-Informed Neural Networks (PINN) для решения задач моделирования высокочастотной геоакустической эмиссии от одиночного дислокационного источника. Работа охватывает реализацию и тестирование методов Розенброка, RADAU, BDF и LSODA, а также разработку специализированной архитектуры PINN с residual connections и механизмом физически информированных функций потерь. Проведенный анализ демонстрирует, что нейросетевой подход PINN обеспечивает сопоставимую с традиционными методами точность при решении прямой задачи. Ключевым преимуществом PINN является возможность естественного решения обратных задач идентификации параметров модели. Нейросетевая модель также демонстрирует лучшую обобщающую способность при варьировании параметров источника по сравнению с классическими численными методами.

Ключевые слова: Высокочастотная геоакустическая эмиссия, дислокационный источник, математическое моделирование, численные методы, метод Розенброка, Physics-Informed Neural Networks (PINN), SciPy

Постановка задачи. В рамках проведенного исследования рассматривается математическая модель высокочастотной геоакустической эмиссии для одного дислокационного источника, основанная на системе дифференциальных уравнений, которая учитывает волновые процессы в упругой среде и описывает генерацию акустических сигналов от динамического дислокационного источника:

$$\begin{cases} \ddot{g}(t) = \left(\frac{a}{t} - \frac{a}{b}\right) \dot{g}(t) - \left(\frac{a}{t^2} + c^2\right) g(t) + \left(\frac{a}{t} - \frac{a}{b}\right) A \cdot c \cdot t^a \cdot \exp\left(\frac{-a}{b}t\right) \cos(ct + \phi_0), \\ g(t_0) = A \cdot t_0^a \cdot \exp\left(\frac{-a}{b}t_0\right) \sin(ct_0 + \phi_0), \\ \dot{g}(t_0) = \left(\frac{a}{t_0} - \frac{a}{b}\right) g(t_0) + A \cdot c \cdot t_0^a \cdot \exp\left(\frac{-a}{b}t_0\right) \cos(ct_0 + \phi_0), \end{cases}$$

где $A > 0$ — амплитуда импульса, от. ед.; $n = \left(\frac{\ln 20}{\frac{1}{p_{max}} - \ln \frac{1}{p_{max}} - 1}\right)$ — параметр,

отвечающий за форму огибающей сигнала; $p_{max} \in [0.01, 0.4]$ — положение максимума; Δ — крутизна огибающей сигнала $[1.1, 5]$; $t \in [t_0, t_{end}]$ — время, с; $t_0 > 0$ — начальный момент времени, с; t_{end} — длительность импульса, с; $f \in [200, 20000]$ — частота заполнения, Гц; ϕ_0 — начальная фаза; $a = n \cdot p_{max} \cdot \Delta$; $b = p_{max} \cdot t_{end}$; $c = 2 \cdot \pi f$.

Было показано, решением модели (1) является функция Берлаге [1]:

$$g(t) = A \cdot t^a \cdot \exp\left(\frac{-a}{bt_0}\right) \cdot \sin(ct_0 + \phi_0).$$

Математическую модель (1), решением которой является функция Берлаге (2), будем называть осциллятором Берлаге.

Осциллятор Берлаге (1) описывает один дислокационный источник (трещину), излучающий один импульс высокочастотной ГАЭ. Ранее в работах [1, 2] было дано описание взаимодействия двух дислокационных источников с помощью двух линейно связанных осцилляторов Берлаге. Был проведен количественный и качественный анализ модели осцилляторов Берлаге в программной комплексе QAMODEL [3]. Учет более двух дислокационных источников приводит нас к цепочке связанных осцилляторов Берлаге, что равносильно рассмотрению волнового процесса распространения ГАЭ. Также ранее [4] был проведен анализ на эффективность численных схем (метода Розенброка 4 порядка, методов Radau, BDF, LSODA библиотеки SciPy Python3).

В данной работе мы рассмотрим эффективность применения в комплексе численных схем и нейронной сети Physics-Informed Neural Networks (PINN). Проведенный сравнительный анализ точности решений показал, что нейросетевой подход PINN демонстрирует сопоставимую точность с классическими численными методами. Исследование вычислительной эффективности методов выявило преимущество нейросетевого подхода после завершения обучения, что делает его перспективным для расчетов с многочисленным варьированием параметров модели. Дополнительным преимуществом нейросетевой модели является ее повышенная устойчивость и

обобщающая способность при варьировании характеристик источника по сравнению с традиционными численными методами.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИКИР ДВО РАН №124012300245-2.

В данной работе было использовано оборудование Центра коллективного пользования Северо-Восточного гелиогеофизического центра СКР 558279.

Литература

1. Гапеев М. И., Солодчук А. А., Паровик Р. И. Связанные осцилляторы как модель высокочастотной геоакустической эмиссии // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2022. Т. 40. № 3. С. 88-100. DOI: 10.26117/2079-6641-2022-40-3-88-100.
2. Мингазова Д. Ф., Паровик Р. И. Некоторые аспекты качественного анализа модели высокочастотной геоакустической эмиссии // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2023. Т. 42, № 1. С. 191–206 DOI: 10.26117/2079-6641-2023-42-1-191-206.
3. Сергиенко Д.Ф., Паровик Р.И. Программный комплекс QAMODEL: компьютерное моделирование высокочастотной геоакустической эмиссии // Программные продукты и системы. 2025. Т. 38. № 2. С. 261-268. DOI: 10.15827/0236-235X.150.261-268.
4. Сергиенко Д. Ф., Паровик Р. И. Исследование эффективности численных методов для решения математической модели высокочастотной геоакустической эмиссии // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2025. Т. 50. № 1. С. 169-183. DOI: [10.26117/2079-6641-2025-50-1-169-183](https://doi.org/10.26117/2079-6641-2025-50-1-169-183).

СОЗДАНИЕ ПЛЕНОЧНОГО ТЕНЗОДАТЧИКА УСТАЛОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ ТВЕРДОГО РАСТВОРА $(Bi_x Sb_{1-x})_2Te_3$

Ахунова Ё.¹, Юлдашев Н.Х.²

¹ Ферганский академический лицей,

² Ферганский государственный технический университет, uzferfizika@mail.ru;

Аннотация. Приводятся результаты исследования деформационных характеристик поликристаллических пленок $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$ при односторонних циклических механических напряжениях. Пленки получались на полиамидной подложке методом термовакуумной конденсации молекулярных пучков и обладали столбчатой пористой структурой с размерами отдельных кристаллических зерен 2,0-2.5 мкм. Изучалось влияние статических и циклических деформаций на электрическое сопротивление и вольт амперные характеристики тензорезистивных пленок с целью изготовления на их основе тензодатчиков накопления усталостных повреждений. Показано, что при комнатной температуре в таких пленках обнаруживается высокая статическая тензочувствительность $K \approx 10^3$ отн. ед. и наблюдается существенный гистерезис изменения сопротивления при малых количествах циклов знакопеременных деформаций.

Ключевые слова: узкозонный полупроводник $(Bi_x Sb_{1-x})_2Te_3$, пористые поликристаллические пленки, тензочувствительность, циклическая знакопеременная деформация, гистерезис изменения электрического сопротивления с деформаций, тензодатчик накопления усталостных повреждений.

1. Введение

В настоящее время одним из наиболее распространенных и информативных способов изучения тонкопленочных структур является тензорезистивный метод исследования свойств полупроводниковых материалов, широко применяющийся при изготовлении электрических сенсоров [1-4], датчиков давления и перемещений [5-7]. С точки зрения технического применения тонких полупроводниковых пленок в качестве тензочувствительного элемента вольтамперная характеристика (ВАХ) играет особую роль, в частности, она позволяет судить об их энергетических возможностях и пригодности для тензометрического измерения. При этом важным параметром является максимально допустимая потребляемая мощность тензорезистора в заданных условиях эксплуатации. Это связано с тем, что полупроводниковые пленки очень чувствительны к различным излучениям и изменениям температуры, а при пропускании больших токов через пленочные образцы может происходить их лишний джоуле нагрев, отражающийся соответствующим образом на их рабочих параметрах. Так, он может приводит к нелинейной ВАХ и, тем самым, к увеличению погрешности в

показаниях приборов. Кроме того, для обеспечения безопасной эксплуатации конструкций, типа летательных аппаратов, и предотвращения их разрушения в процессе работы необходимо знать количество циклов деформации, которых испытала данная конструкция. При этом успешно используются пленочные тензодатчики накопления усталостного повреждения (ТНУП) на основе узкозонных полупроводников [5-10], изменяющие свои характеристики с увеличением числа действующих на них деформационных циклов.

Известно [7-11], что основными электрофизическими характеристиками тензодатчиков являются исходные величины электрического сопротивления R_0 , тензочувствительности K_0 и изменения их при воздействии внешних факторов, как циклическая механическая деформация ε , температура T , частота питающего переменного напряжения f и т.п. В последнее время должное внимание уделяется изучению мало- и многоциклового усталости тензодатчиков из низкоразмерных структур при различных амплитудах деформации [12-16]. К сегодняшнему дню показано [9-11], что природа аномально высокой тензочувствительности $K \approx 10^4$ отн. ед. пористых пленок $(Bi_xSb_{1-x})_2Te_3$ связана с образованием микротрещин при высоких амплитудах деформации $\varepsilon \approx 10^{-3}$, однако механизмы циклических деформаций при произвольных амплитудах и количествах напряжений до сих пор остается до конца неясными.

Настоящая работа посвящена изучению влияния количества циклов N и амплитуды ε знакопеременной деформации на характеристики пленок из твердого раствора $(Bi_xSb_{1-x})_2Te_3$ по изменению величины ее электросопротивления и коэффициента тензочувствительности (КТЧ), определяемой формулой

$$K = \frac{\Delta R}{R_0 \cdot \varepsilon}, \quad (1)$$

где $\varepsilon = \Delta \ell / \ell_0$ и $\Delta \ell = \ell(\varepsilon) - \ell_0$ - величины относительной и абсолютной деформации, $\Delta R = R(\varepsilon) - R_0$, а R_0 - электрическое сопротивление образца при $\varepsilon = 0$. Рассматривается ВАХ и температурная зависимость сопротивления тензорезистивных пленок $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$ под действием статических и циклических знакопеременных деформаций (ЦЗПД) с целью изготовления на их основе ТНУП [17-21].

2. Технология и методика измерения

Поликристаллические пленки из $(Bi_xSb_{1-x})_2Te_3$ с площадью 5×20 мм² получались методом термического испарения в вакууме с давлением остаточных паров $(1 - 3) \cdot 10^{-2}$ Па из смеси порошков Bi_2Te_3 и Sb_2Te_3 в соотношении x и $(1 - x)$ мол %. Температура подложки из полиамида ПМ-1 варьировалась в интервале $T_S = 323 - 423$ К, а скорость роста пленок - $W = 150 - 450$ Å/с. Наиболее тензочувствительные ($K \approx 10^3$ отн. ед.) пленки с оптимальными рабочими характеристиками получались при толщинах $d \approx 3 - 5$ мкм, $T_S = 363$ К, $W = 200$ Å/с и при значении $x = 0.25$. Методика измерения деформационных характеристик пленок была выбрана также, как и в

работе [1,7-9]. Образцы не подвергались предварительной термической обработке. Свежеприготовленные пленки обладали нестабильным КТЧ, обусловленном наличием сильных неравновесных внутренних механических напряжений (ВМН) [11]. С ростом числа N ЦЗПД величина K монотонно уменьшается, что говорит о возможности использования изготовленных пленок в качестве ТНУП. Электронно-микроскопические и рентгеноструктурные исследования [3,7] показали, что выращенные слои $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$ обладали поликристаллической столбчатой и пористой структурой. Размеры отдельных кристаллических зерен составляли 2 – 2.5 мкм.

Для снятия деформационных характеристик (ДХ) исследуемые пленки из $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$ наклеивались на балку равного сопротивления из титанового сплава. Деформирование пленок проводилось изгибом балки. При этом значение относительной деформации ε рассчитывалось по величине изгиба консольно-закрепленной балки по известному выражению

$$\varepsilon = 3ab\Delta x/\ell^3, \quad (2)$$

где a - расстояние от нейтральной оси консольной балки до пленки, b - расстояние от точки приложения силы до середины пленочного образца, Δx - изгиб свободного конца пластинки в точке приложения силы, ℓ - длина пластинки между опорной точкой и точкой приложения силы. Значение деформации варьировалось в интервале от $\varepsilon = +2 \cdot 10^{-3}$ до $\varepsilon = -2 \cdot 10^{-3}$ отн. ед.

Тензометрические измерения производились при различных интервалах температур окружающей его среды. С целью уменьшения погрешности измерения требуется изготовить тензодатчики с минимальными температурными коэффициентами сопротивления и тензочувствительности

$$\alpha = dR/R^0 dT, \quad \alpha' = dK/K^0 dT, \quad (3)$$

где R^0 и K^0 - сопротивление и КТЧ при температуре $T_0 = 273^0 K$ в заданном механическом

состоянии пленок. Изучение этих параметров полупроводниковых тензодатчиков в определенной степени помогут объяснить природу физических процессов, происходящих в такой неоднородной структуре, как пористая поликристаллическая пленка, подвергающаяся механической деформации [5].

Температурная зависимость тензометрических параметров изготовленных пленок $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$ была исследована в диапазоне 293-455 K. Оказалось, что при высоких температурах подложки $T_s \approx 413 K$ и больших скоростях конденсации $W \approx 400 \text{ \AA}/c$ получаются более плотные пленки с небольшим КТЧ. Сопротивление таких пленок имеет металлическую зависимость с температурой ($\alpha = 0,85 \cdot 10^{-4} K^{-1}$) и оно практически не изменялось после воздействия ЦЗПД.

3. Результаты эксперимента и их обсуждений

3.1. Область малых значений N

Здесь приводятся результаты изучения абсолютного $\Delta R = R(\varepsilon) - R_0$ и относительного $\Delta R(\varepsilon)/R_0$ изменения электросопротивления свежеприготовленных образцов при малом числе цикла механических нагружений с изменением его не только по значению, но и по знаку. Например, на первом этапе рассмотрим область деформации растяжения от $\varepsilon = 0$ до $\varepsilon = \varepsilon_0$, во втором этапе получим в направлении снятия деформаций, т.е. при изменении ε от ε_0 до 0 , в третьем и четвертом этапах изучаем область деформаций сжатия, сначала от $\varepsilon = 0$ до $\varepsilon = -\varepsilon_0$, а затем от $\varepsilon = -\varepsilon_0$ до $\varepsilon = 0$ и завершаем один цикл знакопеременных деформаций. Изготовленные тензочувствительные пленки из $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$ выдержали достаточно большие числа циклических знакопеременных деформаций (ЦЗПД). Очевидно, что представляет интерес изучать ДХ пленок в предельно малом и большом количествах N ЦЗПД.

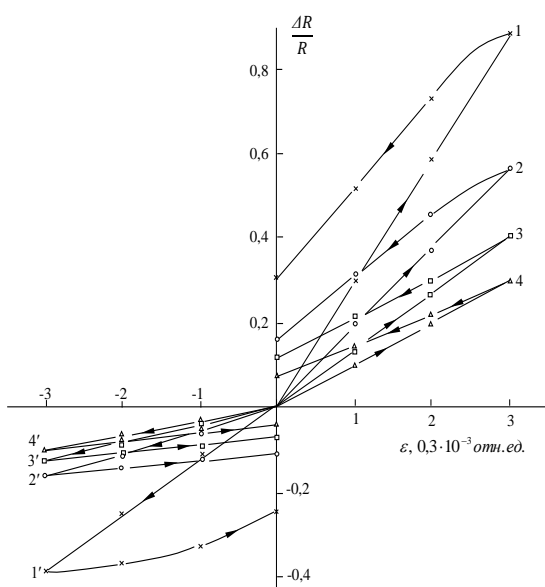


Рис.1а. Деформационная характеристика свеж-приготовленной пленки $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$ при 4-х циклах деформации растяжения (кривые 1-4 со стрелками направления нагружений) и сжатия (кривые 1'-4') при комнатной температуре.

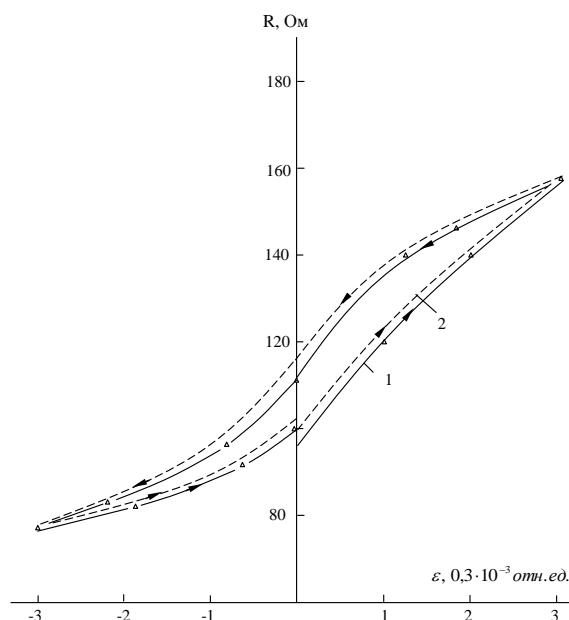


Рис. 1б. Гистерезис изменения сопротивления пленки из $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$ под действием ЦЗПД. Незамкнутый гистерезис со штрихованными линиями соответствует второму ЦЗПД ($N=1$).

На рис. 1а,б представлены ДХ при малых значениях N , причем, здесь сначала изучалось изменение R пленки только при 4-х циклах деформаций растяжения ($0 \leq \varepsilon \leq 0.9 \cdot 10^{-2}$ отн. ед.), а потом при 4-х циклах деформаций сжатия ($-0.9 \cdot 10^{-2} \leq \varepsilon \leq 0$). Видно, что когда сначала нагрузку плавно увеличиваем до ε_0 и затем также плавно снимаем ее до 0 , то наблюдаем остаточного изменения относительного сопротивления $\Delta R_{ост}^0(N)/R_0$. Эта величина различна для растяжения и сжатия, что отражает наличия внутреннего механического напряжения ($ВМН$) в пленке. Видно, что в данном случае $ВМН$ является отрицательной (сжатое $\varepsilon_0 < 0$ [2]), кроме того, она монотонно уменьшается с ростом N .

Таким образом, в пленках $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$ наблюдается существенный гистерезис изменения сопротивления $R_N(\varepsilon)$ при одном ЦЗПД ($N = 1$) с незамкнутым концом. Следующие гистерезисные петли непосредственно продолжают предыдущий и смещаются в область больших значений R (рис.1б).

На рис. 2 приведена зависимость изменения сопротивления и КТЧ от числа ЦЗПД в области $1 \leq N \leq 4$. Видно, что величина K резко уменьшается, а R -увеличивается, с ростом количества ЦЗПД при малом N , а затем переходят к плавному монотонному спаду. По-видимому, начальные участки зависимости $R_\varepsilon(N)$ и $K_\varepsilon(N)$ обусловлены сильно неравновесными ВМН не подвергнутых к термической обработке пленок $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$.

3.2. Область больших значений количества циклов деформаций. Стабилизация тензометрических параметров пленок

На рис. 3 приведены статические деформационные характеристики пленок до и после воздействия циклической знакопеременной нагрузки в больших количествах ($N \gg 1$).

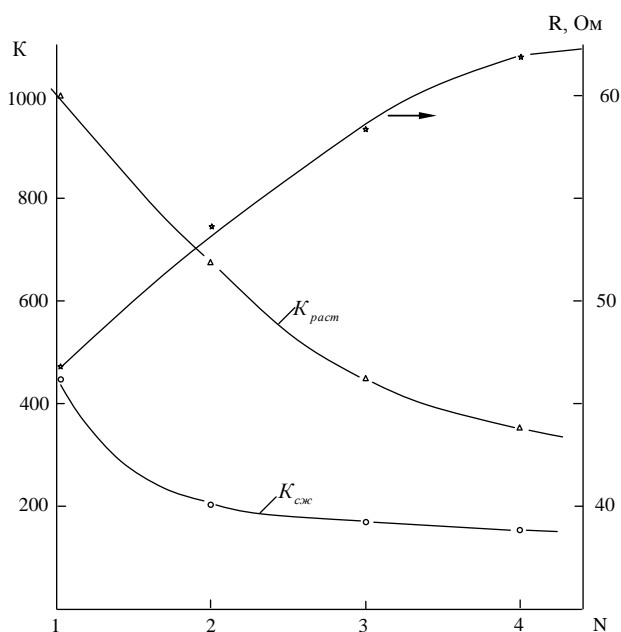


Рис.2. Изменение сопротивления R и КТЧ с ростом числа ЦЗПД в области $1 \leq N \leq 4$.

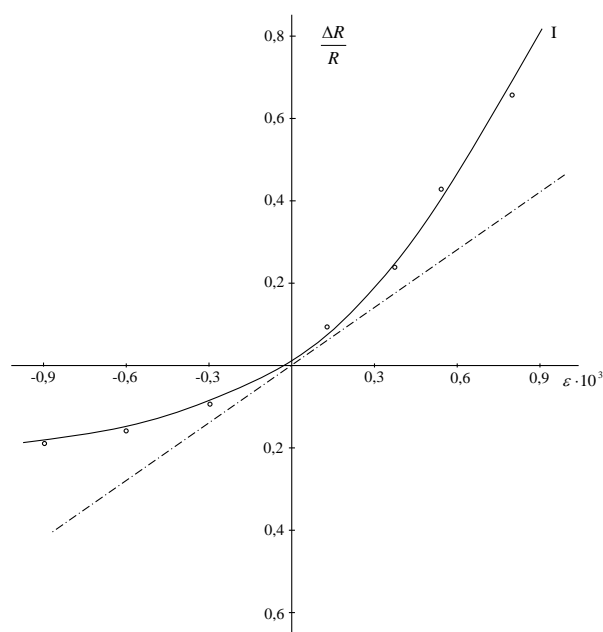


Рис. 3. Деформационная характеристика относительного изменения сопротивления пленок из $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$ до (кривая 1) и после (2) циклической деформации. Для кривой 2 $N = 5 \cdot 10^5$.

Видно, что до воздействия деформационных циклов сопротивление пленки практически линейно возрастает под действием деформации растяжения, в то время как зависимость сопротивления от деформации сжатия нелинейна, и величина коэффициента тензочувствительности при деформации сжатия заметно меньше, чем при деформации растяжения (кривая 1).

После воздействия деформационных циклов ($N \cong 5 \cdot 10^5$) нелинейность статической ДХ пленки уменьшается, ее тензочувствительность при деформации сжатии увеличивается, а при растяжении падает (кривая 2), т.е. несимметричность практически исчезает.

На рис. 4а и рис. 4б приведены зависимость относительного изменения сопротивления $\Delta R/R_0$ и коэффициента тензочувствительности K от числа циклов деформации при разных ее амплитудах ε . Видно, что с увеличением числа циклов знакопеременной деформации и ее амплитуды относительное изменение сопротивления растет, а их тензочувствительность K уменьшается и при значениях ($N = 5 \cdot 10^5$) в зависимостях $R(N), K(N)$ наблюдается тенденция к насыщению.

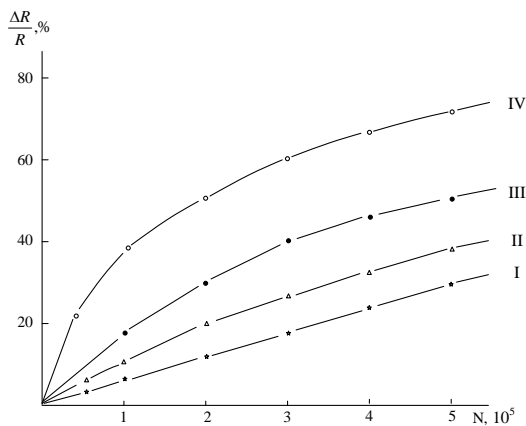


Рис. 4а. Относительное изменение сопротивления тензопленок $(Bi_xSb_{1-x})_2Te_3$ от числа циклов знакопеременных деформаций N , при разных амплитудах деформаций $\varepsilon \cdot 10^{-3}$: I - ± 0.25 , II - ± 0.5 , III - ± 0.75 и IV - ± 1.0 .

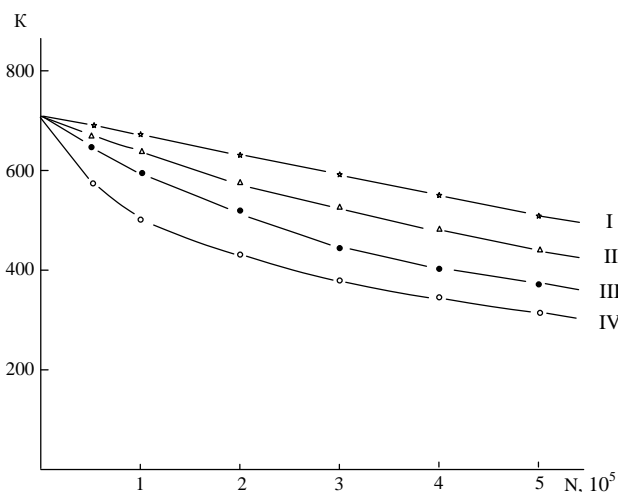


Рис. 4б. Зависимость K пленок от числа деформационных циклов при амплитудах относительных деформаций $\varepsilon \cdot 10^{-3}$: I - ± 0.25 , II - ± 0.5 , III - ± 0.75 и IV - ± 1.0 .

На наш взгляд, полученные здесь экспериментальные факты могут быть объяснены на основе модели пленки как системы из микроконтактирующих проводящих зерен, диэлектрический зазор между которыми изменяется с деформацией. Действительно, после воздействия необходимого количества циклов знакопеременной деформации ширина зазора между кристаллическими зернами увеличивается в результате истирания контактирующих поверхностей зерен, приводящего к росту сопротивления пленки и снятию в той или иной степени предварительных $ВМН$. Последнее, в свою очередь, обуславливает стремление к линейному и симметричному виду $ДХ$ пленки при действии циклов деформации.

Поэтому можно полагать, что в изготовленных пленках $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$ высокие значения сопротивления и коэффициента тензочувствительности их коррелированы с величиной $ВМН$, диэлектрического зазора и размером кристаллитов. Действие $ЦЗПД$ приводит к росту изменения величины сопротивления и коэффициента тензочувствительности при сжатии, и к уменьшению значения K при растяжении, а также изменению формы статической деформационной характеристики.

3.3. Влияние циклических деформаций на вольтамперную характеристику пленок $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$

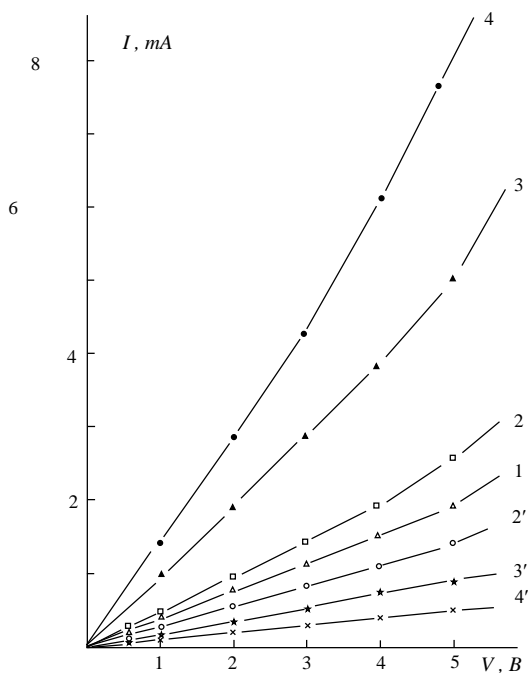


Рис. 5а. Вольт-амперная характеристика пленки $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$ на подложке полиимида ПМ-1, под действием статической деформации: $\varepsilon=0$ (кривая 1), $\pm 0,3 \cdot 10^{-3}$ (2,2'), $\pm 0,6$ (3,3'), $\pm 0,9$ (4,4'),. Кривые 2-4 сняты при сжатии, а 2'-4'- при растяжении.

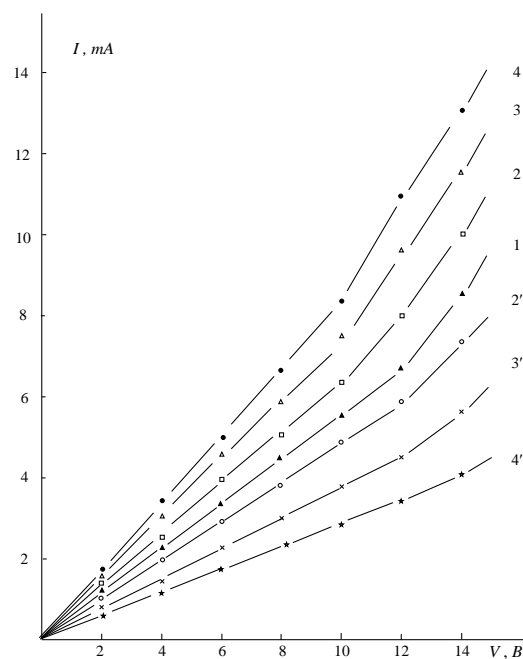


Рис. 5б. Вольтамперная характеристика пленки $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$ после воздействия $N = 5 \cdot 10^5$ циклов знакопеременных нагружений. Кривые 1-4 и 2'-4' соответствуют кривым 1-4 и 2'-4' рис. 7.21.

С точки зрения технического применения пленок в качестве тензочувствительного элемента (ВАХ) позволяет судить об энергетических возможностях тензорезисторов, если под этим понимать ту максимальную мощность, которую можно выделить на тензорезисторе при заданных условиях их эксплуатации. Это связано с тем, что поликристаллические пленки полупроводников очень чувствительны к изменениям температуры, а при пропускании больших токов через пленочные образцы может происходить их джоуле нагрев, что соответствующим образом отразится на их рабочих параметрах, в частности, приведет к нелинейной ВАХ и тем самым – к увеличению погрешности в показаниях приборов.

Влияние статической деформации на ВАХ пленки изучалось нами [13] в интервале значений относительных деформаций до $0,9 \cdot 10^{-3}$ отн. ед., соответствующие кривые показаны на рис. 5а. Из них видно, что ВАХ образцов линейна в области малых напряжений. С увеличением напряжения линейность зависимости тока от напряжения нарушается, что происходит, например, в недеформированном состоянии при $U=5$ В (кривая 4). Это напряжение, при котором возникает нелинейность ВАХ, существенно зависит от знака и уровня деформации.

Исследования ВАХ пленок $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$, подвергавшихся ЦЗПД, показаны на рис. 5б. Из рисунка видно, что ВАХ пленки существенно изменяются после воздействия циклических деформаций ($= 5 \cdot 10^5$). На всех кривых, снятых при различных значениях относительной деформации ε , четко отражены увеличения сопротивления пленки. Действие $N = 5 \cdot 10^5$ циклов знакопеременных деформаций приводит к увеличению падения напряжения на пленки при постоянном источнике почти до 10 В, т.е. в два раза.

Поскольку при действии циклических деформаций в результате истирания контактирующих поверхностей кристаллических зерен увеличиваются расстояния между

ними, это и приводит к расширению линейного участка ВАХ пленки. Известно, что тензометрические измерения необходимо производить в линейной области ВАХ. При этом следует учитывать возможность возникновения погрешности, связанной с тем, что в приборах может идти ток довольно большой величины, который разогревает тензорезистор и обуславливает появление также участка нелинейной ВАХ. При этом измеряется не номинальное сопротивление, а статическое, соответствующее определенной точке ВАХ. Для снижения тока через тензорезистор может включаться добавочное сопротивление, предварительно измеренное с достаточной точностью.

Измерительный ток через тензорезистор при этом должен быть на порядок ниже тока, вызывающего изменение механизма электропроводности в пленке или разогрев тела тензодатчика. Величину этого тока можно грубо определить по ВАХ. Обычно это то значение тока, где ВАХ начинает отклоняться от линейной зависимости.

4. Заключение

Характеры изменения величины сопротивления, КТЧ плёнок с ростом числа циклов деформации можно объяснить ростом величины диэлектрического зазора между кристаллитами плёнки. Предлагаемая модель, описывающая электропроводность через микро контактирующие поверхности кристаллитов, на основе теории протекания объясняет высокие значения величины КТЧ плёнок и нелинейность их статической деформационной характеристики. Исследованные пористые пленки из соединения $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$, которые получались методом термического испарения в вакууме при указанных выше оптимальных технологических параметрах, могут быть применены в качестве ТНУП различных конструкций.

Литература

1. Абдуллаев Э.А., Юлдашев Н.Х. Эффект пьезосопротивления в халькогенидах свинца и висмута. Ч.1- Ташкент, «Фан», 1989, 182 с.
2. Kazi I.H., Wild P.M., Moore T.M. Characterization of sputtered nichrome (80/20 wt.%) films for strain gauge applications. Thin Sol. Films, vol. 515, P. 2602 (2006).

3. Pazukha, I. M., Makukha, Z. M., Shabelnyk, Y. M., & Protsenko, I. Y. (2012). Tensoresistive properties of thin film systems based on Ag and Co. *Journal of Nano-and Electronic Physics*, 4(3), 3020-1.
4. Gerasimenko A.Yu., Ichkitidze L.P., Podgaetsky V.M., Selishchev S.V. Layers with the Tensoresistive Properties and their Possible Applications in Medicine. // *Materials Physics and Mechanics* 37 (2018). P. 153-158.
5. Ltidier Elbrecht and Josef Binder. The Mechanical Properties of Thin Polycrystalline Silicon Films as Function of Deposition and Doping Conditions. *Sensors and Materials*, Vol. 11, No. 3 (1999) 163-179.
6. Маматкаримов О.О., Зайнабидинов С.З., Абдураимов А., Хамидов Р.Х., Туйчиев У.А. Динамические тензохарактеристики диодов с барьером Шоттки при импульсном всестороннем гидростатическом давлении // *ФТП*, 34 (1), 67 (2000).
7. Абдуллаев Э.А., Юлдашев Н.Х. Эффект пьезосопротивления в халькогенидах свинца и висмута. Ч.2 - Фергана, «Техника», 2008. 116 с.
8. Сулаймонов Х.М. Влияние циклической деформации на электропроводность пленок p-(Bi_{0.3}Sb_{0.7})₂Te₃ на переменном токе. // *Журнал технической физики*. 2017. –Т. 87, № 3, с. 471-472.
9. Shavkat Sh. Abdullaev, Nosirjon Kh. Yuldashev, Khusanboy M. Sulaymonov. Tensoresistive Properties of Thin Polycrystalline (Bi_{0.3}Sb_{0.7})₂Te₃ Films at Static and Cyclic Deformations. *International Journal of Modern Physics and Application*. Vol. 3, No. 4, 2016, pp. 52-56.
10. Сулаймонов Х.М., Умаров М.Г., Юлдашев Н.Х. Тензочувствительность поликристаллических пористых пленок // *Актуальные проблемы современной науки-Россия*. 2015, №4.
11. Sulaymonov, H. M., & Yuldashev, N. K. (2016). Effect of internal stresses on the static strain characteristics of p-(Bi_{0.3}Sb_{0.7})₂Te₃ composite films. *Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 10(4), 878-882.
12. Xu, Z., Huang, C., Tan, C., Wan, M., Zhao, Y., Ye, J., & Zeng, W. (2021). Influence of microstructure on cyclic deformation response and micromechanics of Ti-55531 alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 803, 140505.
<https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.140505>
13. Chao He, Yujuan Wu, Liming Peng, Ning Su, Xue Li, Kun Yang, Yongjie Liu, Shucheng Yuan and Renhui Tian. (2018). Cyclic Deformation and Correspondent Crack Initiation at Low-Stress Amplitudes in Mg-Gd-Y-Zr Alloy. *Materials*, 11(12):2429. doi:10.3390/ma11122429
www.mdpi.com/journal/materials
14. Pengfei Wang, Toshiyuki Takagi, Takanori Takeno, Hiroyuki Miki. Early fatigue damage detecting sensors—A review and prospects // *Sensors and Actuators A: Physical*. Volume 198, 15 August 2013, Pages 46-60. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2013.03.025>
15. Корякин А.А., Лещенко Е.Д., Дубровский В.Г. Влияние упругих напряжений на формирование осевых гетеропереходов в трехкомпонентных нитевидных нанокристаллах A^{III}B^V // *Физика твердого тела*, 2019, том 61, вып. С.2437-2441.
16. Бурый И.П., Воробьев С.И., Ордодворец Л.В. Тензорезистивные свойства пленочных материалов на основе Ni И Мо или Cr // *ФИП*, 7 (1,2), 115 (2009).
17. Yuldashev, N. K., Mamadiyeva, D. T., Nurmatov, O. R., Rakhmonov, T. I., & Sulaymonov, X. M. (2019). The effect of mechanical deformation on the photovoltaic properties of semiconductor polycrystalline film structures CdTe: Sn. *Scientific-technical journal*, 23(3), 9-14.
18. Sulaymonov, Kh.M., Yuldashev, N. Kh. The Third European Conference on Physics and Mathematics, 12th September, Vienna, Austria. p.19 (2015).
19. Tokhirbek Imomaliyevich Rakhmonov. Photosensitivity Spectra of Thin Films from a CdSe_xS_{1-x} Solid Solution // *Journal of Applied Mathematics and Physics*. 2022. Vol.10 No.12, P.3676-3683. (JIF, IF:0.71). <https://doi.org/10.4236/jamp.2022.1012245>
20. Rakhmonov T.I., Mamadiyeva D.T., Yuldashev N.Kh. Photoelectric phenomena in thin Polycrystalline CdTe, CdSe, CdS films under mechanical deformation // *European Science Review*. – 2021. – No 11-12. – P. 40-49. (05.00.00, №3). (GIF, IF:1.47).

21. Nurmatov O., Rahmonov T., Sulaymonov Kh., Yuldashev N. Phototenzoelectric properties of polycrystalline films of chalcogenides of cadmium and zinc, produced by portional evaporation in vacuum // Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering. 2020. Vol. 2. Iss. 5. P.40-45. (01.00.00, №16).

БЎЙЛАМА ЭКСИТОН НУРЛАНА ОЛАДИГАН ГЕОМЕТРИЯДА ЭКСИТОН-ПОЛЯРИТОН ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯСИНИНГ НАЗАРИЙ ХИСОБЛАШ

Ахмадалиев Б.Ж.

Фаргона давлат техника университети

Физика кафедраси доценти

Ушбу мақолада кристалл чегарасидан вакуумга s- ва p-поляризация билан нурлана оладиган геометрияда экситон-поляритон люминесценциясининг шаклланиш механизми назарий жиҳатдан кўриб чиқилган. Экситон сўнишининг чекли қийматларида поляритонларнинг Грин функциялари Келдишининг диаграммалари техникаси ёрдамида ҳисобланган. Статик нуқсонлардаги эластик сочилиш ва бўйлама экситонларнинг электр майдони ҳамда кристалл қутбланиши билан ўзаро таъсири таҳлил қилинган. Шунингдек, Пекарнинг «ўлик қатлам» чегаравий шартлари ва Максвелл тенгламалари асосида амплитудавий ўтказиш коэффициентлари аниқланган. Натижада, s- ва p-поляризацияли нурланиш ҳолатлари учун интерференцион ҳиссалар ва когерент ҳолатдаги нурланиш интенсивликлари қийёсланиб, бўйлама экситонларнинг ташқи нурланишга қўшадиган ҳиссаси аниқланган.

Калит сўзлар: *экситон-поляритон, бўйлама экситон, нурланиш интенсивлиги, Грин функцияси, Келдиш диаграмма техникаси, Пекар чегаравий шarti, интерференция, когерент нурланиш, амплитудавий ўтказиш коэффициентли.*

В данной статье теоретически рассмотрен механизм формирования люминесценции экситон-поляритонов в геометрии, допускающей излучение из кристалла в вакуум s- и p-поляризованных мод. При конечных значениях затухания экситонов функции Грина поляритонов были рассчитаны с использованием диаграммной техники Келдыша. Проанализировано упругое рассеяние на статических дефектах и взаимодействие продольных экситонов с электрическим полем и поляризацией кристалла. Также на основе граничных условий Пекара («мёртвый слой») и уравнений Максвелла определены амплитудные коэффициенты пропускания. В результате были сопоставлены интерференционные вклады и интенсивности излучения в когерентном состоянии для s- и p-поляризованных мод, а также выявлен вклад продольных экситонов во внешнее излучение.

Ключевые слова: *экситон-поляритон, продольный экситон, интенсивность излучения, функция Грина, диаграммная техника Келдыша, граничное условие Пекара, интерференция, когерентное излучение, амплитудный коэффициент пропускания.*

In this paper, the mechanism of exciton–polariton luminescence formation is theoretically investigated for a geometry that allows s- and p-polarized radiation from the crystal surface into vacuum. At finite exciton damping values, the Green's functions of polaritons were calculated using the Keldysh diagram technique. Elastic scattering on static defects and the interaction of longitudinal excitons with the electric field and crystal polarization were analyzed. Furthermore, the amplitude transmission coefficients were determined based on Pekar's "dead layer" boundary conditions and Maxwell's equations. As a result, the interference contributions and radiation intensities in coherent states for s- and p-polarized modes were compared, and the contribution of longitudinal excitons to external emission was identified.

Keywords: exciton–polariton, longitudinal exciton, radiation intensity, Green's function, Keldysh diagram technique, Pekar boundary condition, interference, coherent radiation, amplitude transmission coefficient.

Кристалл чегарасидан вакуумга s- ва p- поляризация билан нурлана оладиган геометрияда ЭПЛ нинг шаклланиш механизмини кўриб чиқамиз.

s-поляризацияда ЭПЛ нинг нурланиш интенсивлиги

$$I_s^{(0)}(\omega, \vec{\Omega}) = I_{1s}^{(0)}(\omega, \vec{\Omega}) + I_{2s}^{(0)}(\omega, \vec{\Omega}) \quad (1)$$

бўлиб, $|Re(\vec{k}_\beta - \vec{k}_{\beta'})| \gg \alpha_\beta, \alpha_{\beta'} \quad (\beta, \beta' = 2, 3)$

шарт бажарилганда у интерференцион хадни ўз ичига олмайди. Кинетик яқинлашишда $I_{1s}^{(0)}(\lambda = s)$ парциал хад

$$I_{1\lambda}^{(0)}(\omega, \vec{\Omega}) = \frac{k_0^2}{(2\pi)^3} \hbar\omega T_{01}^{(\lambda)} \cdot f_{1k\lambda}(\omega, z = +0)$$

формула билан аниқланади. Экситон сўнишининг чекли қийматларида $I_{2s}^{(0)}$ ни ҳисоблаш учун, яъни $Re k_2$ ва α_2 ўртасидаги ихтиёрий муносабатни ҳисобга олишда, Келдишнинг диаграммалари техникасидан фойдаланамиз ва 2-тармоқ поляризацияси λ бўлган поляритонлар учун Грин функцияси $G_{2s}^{-+}(\vec{k}, \vec{k}'; \omega)$ ни ҳисоблаймиз. Бу ҳолда 1-тармоқ поляритонларининг берилаган тақсимланиш функциясидан фойдаланиб, 2-тармоқ ичидаги сочилишни ҳисобга олмаймиз [1;2;3].

1-расмда $G_{\beta\lambda}^{-+}(\vec{k}, \vec{k}'; \omega)$ функция учун диаграмма келтирилган (бунда $\beta=2$). Узлуксиз чизиқлар кристалл нуқсонлари билан механик кўзгатувчиларнинг сочилиш ёки ушланиш жараёнлари билан аниқланадиган, экситон-фотон ва экситон-панжара ўзаро таъсири ҳисобига қайта нормалланган экситонларнинг Грин функцияларига мос келади:

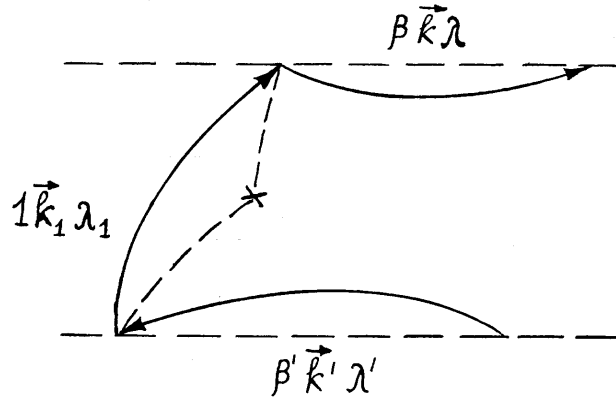
$$G_{\vec{k}\omega}^{--} = \left[\omega - \omega_{\vec{k}}^{(T)} + i\Gamma(\omega, \vec{k})/2 \right]^{-1}, G_{\vec{k}\omega}^{++} = -(G_{\vec{k}\omega}^{--})^*, \quad (2)$$

$$G_{1\vec{k}\lambda\omega}^{-+}(z) = 2\pi f_{1\vec{k}\lambda}(z) \delta\left(\omega - \omega_{1\vec{k}}^{(T)}\right),$$

бунда $\Gamma(\omega, \vec{k})$ –поляритонларнинг сўниши.

$G_{\vec{k}\omega}^{--}$ ($G_{\vec{k}\omega}^{++}$) функциялар икки қутбли ифодалар йиғиндисига ажралади

$$G_{\vec{k}\omega}^{--} = \sum_{\beta=1,2} G_{\beta\vec{k}\omega}^{--}, \quad G_{\beta\vec{k}\omega}^{--} = (-1)^\beta \frac{2M}{\hbar} \frac{k_\beta^2 - \varepsilon_b k_0^2}{k_1^2 - k_2^2} \frac{1}{k^2 - k_\beta^2}. \quad (3)$$



1. расм. $G_{\beta\lambda}^{-+}(\vec{k}, \vec{k}'; \omega)$ Грин функцияси учун диаграмма, $\lambda = s$ учун индекс $\beta = \beta' = 2, \lambda = p$ учун эса $\beta = \beta' = 2,3$

$I_{2S}^{(0)}$ ни ҳисоблашда 1-расмдаги юкори ва пастки экситон чизиклар $G_{2\vec{k}\omega}^{--}$ ва $G_{2\vec{k}'\omega}^{++}$ функциялар билан таққосланади. Диаграммани фақат ташқи чизикларини $G_{1\vec{k}\omega}^{--}$ ва $G_{1\vec{k}\omega}^{++}$ деб оламиз, яъни $1 \rightarrow 1$ сочилишини ҳисобга олиш шарт эмас, чунки $f_{1\vec{k}\lambda}(z)$ функция берилган деб ҳисобланган.

Диаграмма техникаси қодаларидан фойдаланиб, қуйидагиларни оламиз

$$I_{2S}^{(0)}(\omega, \vec{\Omega}) = \frac{1}{8\pi} \cdot \frac{k_0^2}{(2\pi)^3} |t_{02}^{(s)}|^2 < |E_S^{(2)}(\vec{k}_\perp, \omega; z = +0)|^2 >, \quad (4)$$

$$< |E_S^{(2)}(\vec{k}_\perp, \omega; z)|^2 > = C \sum_{\vec{k}_1 \lambda_1} \sum_j \left| \sum_{k_z} \frac{G_{2\vec{k}\omega}^{--}}{n_2^2(\omega) - \varepsilon_b} \times \right. \\ \left. \times \exp[ik_z(z - z_j)] e_S^{(\vec{k}_1 \lambda_1)} \cdot V(\vec{k}_1 - \vec{k}_2) \right|^2 G_{1\vec{k}_1 \lambda_1 \omega}^{-+}(z). \quad (5)$$

Бу ерда $E_S^{(\beta)}(\vec{k}_\perp, \omega; z)$ - частотаси ω ва тўлқин векторининг кўндаланг ташкил этувчиси \vec{k}_\perp бўлган (\vec{k}_\perp яхши квант сони эканлигини унутманг) ёруғлик тўлқинининг амплитудаси, бу тўлқиннинг вакуумдаги тўлқин векторининг кўндаланг ташкил этувчиси $k_0 \vec{\Omega}_\perp$ га тенг, $t_{0\beta}^{(s)}$ -амплитудавий ўтказиш коэффициенти, $n_\beta = k_\beta / k_0$ - β тўлқинлар учун синдириш кўрсаткичи, $\vec{e}^{(\vec{k}_1 \lambda_1)}$ - кутбланиш вектори, $e_S^{(\vec{k}_1 \lambda_1)}$ - унинг X ўқдаги проекцияси, $Z_j - j$ - чи сочилиш марказининг координатаси, C - ўзгармас.

(5) ни (4) га қўйиб, j йиғиндини \vec{r}_j бўйича $\sum_j \rightarrow N_i \int d\vec{r}_j$ интегралга алмаштириб ва уни k_z ва \vec{k}_1 устида бажариб қуйидагини оламиз

$$I_{2S}^{(0)}(\omega, \vec{\Omega}) = \frac{|t_{02}^{(s)}|^2}{(2\pi)^3} \frac{f_1(\omega)}{2k_0 \text{Im} n_{2z} + L^{-1}} \frac{2M^2 c \varepsilon_b \omega_{LT} \cos \theta}{\hbar \tau_{21} |n_{2z}(n_1^2 - n_2^2)|^2}, \quad (6)$$

бунда $n_{2z} = (n_2^2 - \sin^2 \theta)^{1/2}$, $t_{02}^{(s)}$ ва n_2 катталиклар $\Gamma = 1/2\tau_{21}$ сўнишни эътиборга олиб ҳисобланади.

Статик нуқсонларда эластик сочилиш

$$\frac{1}{\tau_{21}(\omega)} = \frac{2\pi}{\hbar^2} \frac{2}{3} N_i \sum_{\vec{k}_1} |V(\vec{k}_1 - \vec{k}_2)|^2 \cdot \delta(\omega - \omega_{1\vec{k}_1}^{(T)}), \quad (7)$$

Бунда N_i – дефектлар концентрацияси, $V(\vec{q})$ - қўзғатувчи потенциалнинг Фурье-ифодаси. Изотроп потенциал учун $V(\vec{q}) \equiv V(q)$. Эътибор беринг, $\omega_M \ll \omega_{LT}/\epsilon_b$ бўлгани учун $k_2(\omega)$ катталиқ $k_1(\omega)$ дан жуда кичик ва биз (7) даги $V(\vec{k}_1 - \vec{k}_2)$ ни $V(\vec{k}_1)$ га алмаштиришимиз мумкин.

p-поляризацияда нурланиш ҳолатида умумий интенсивлик $I_p^{(0)}$ ни парциаль ҳиссалар $I_{2p}^{(0)}, I_{3p}^{(0)}$ ва интерференция компонентаси $I_{p23}^{(0)}$ орқали $I_\lambda^{(0)}(\omega, \vec{\Omega}) = \sum_\beta I_{\beta\lambda}^{(0)}(\omega, \vec{\Omega})$ формуласи бўйича ҳисоблаймиз:

$$I_p^{(0)}(\omega, \theta) = \sum_{\beta=1,2,3} I_{\beta p}^{(0)}(\omega, \theta) + I_{p23}^{(0)}(\omega, \theta) \quad (8)$$

Бундан келиб чиққан ҳолда, Грина функциясини кўндаланг поляритонлар 2-тармоғи учун $G_{2p}^{-+}(\vec{k}, \vec{k}'; \omega)$ ва бўйлама экситонлари учун $G_{3p}^{-+}(\vec{k}, \vec{k}'; \omega)$ ни кўриб чиқамиз.

Бу функциялар учун диаграмма 1-расмда кўрсатилган, бунда $\lambda, \lambda' = \mathbf{p}$ ва $\beta, \beta' = 2, 3$. Узликсиз чизиқ бўйлама экситон ҳолати учун Грин функциясини ифодалайди

$$G_{3k\omega}^{--} = \left[\omega - \omega_k^{(3)} + i\Gamma(\omega, \vec{k})/2 \right]^{-1} = -\frac{2M}{\hbar} \frac{1}{k^2 - k_3^2}, \quad (9)$$

бунда $\omega_k^{(3)}$ - (2.6) формула билан аниқланади, k_3 эса бўйлама экситонлар дисперсия тенгламасининг ечимидир

$$k_3 = n_3 k_0, n_3 = \left(\left(\omega + i\frac{\Gamma}{2} - \omega_L \right) / \omega_M \right)^{1/2}. \quad (10)$$

Мулоҳаза ва ҳисоблаш техникасидан фойдаланиб, **s**-поляризация учун қуйидаги натижаларни оламиз,

$$I_{\beta p}^{(0)}(\omega, \theta) = F_\beta \cdot \frac{|F_{\beta p}|^2}{2k_0 \text{Im} n_{\beta z} + L^{-1}}, \beta = 2, 3, \quad (11)$$

$$I_{p23}^{(0)}(\omega, \theta) = 2 \text{Re} \left[F_{23} \cdot \frac{F_{2p} \cdot F_{3p}^*}{-ik_0(n_{2z} - n_{3z}^*) + L^{-1}} \right], \quad (12)$$

$$\text{бунда, } F_\beta = \frac{1}{(2\pi)^3} \frac{2M^2 c \epsilon_b \omega_{LT} \cos \theta f_i(\omega)}{\hbar \tau_{\beta 1}}, F_{2p} = \frac{t_{02}^{(p)}}{n_{2z}(n_1^2 - n_2^2)}, F_{3p} = \frac{t_{03}^{(p)}}{n_{3z} \epsilon_b}, \quad (13)$$

F_{23} эса F_β да $\tau_{\beta 1}$ ни $(\tau_{21} \cdot \tau_{31})^{1/2}$ га алмаштириш орқали олинади [2]. Бўйлама экситонлар учун электр майдон кучланганлиги ва кристалл кутбланишининг экситон улуши $4\pi \vec{P}_3 = -\epsilon_b \vec{E}_3$ нисбат билан боғлиқлиги ҳисобга олинган. (12) ифодаси 2 ва 3 тармоқ тўлқинларининг **p**-поляризацияли ташқи нурланиш интенсивлигига қўшадиган интерференцион ҳиссасини тасвирлайди. Бу ҳисса 1-тармоқ поляритонларининг битта марказда сочилиб, когерент ҳолатда нурланувчи 2 ва 3 ҳолатларга ўтишидан келиб чиқади. Бунда $|\text{Re} \vec{k}_\beta| \gg \alpha_\beta$, шарт билан бир қаторда $|\text{Re}(\vec{k}_\beta - \vec{k}_{\beta'})| \gg \alpha_\beta, \alpha_{\beta'}$ ($\beta, \beta' = 2, 3$) тенгсизлиги ҳам бузилади.

Энди β тўлқинларни вакуумга $t_{0\beta}^{(p)}$ амплитудавий ўтказиш коэффицентларини ҳисоблаш қолади. Бунинг учун Максвеллнинг чегаравий

шартлари билан бирга Пекарнинг «ўлик қатлам» кўшимча чегаравий шартларидан ҳам фойдаланамиз. p -кутбланиш билан кристалл ичидан унинг сиртига тушган 2 тўлқин учун $t_{02}^{(p)}$ ни аниқлаймиз

$$t_{02}^{(p)}(\theta) = \frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2 - \varepsilon_b} \frac{2n_{2z}/n_2}{(n_{oz} + \bar{n}_p) \cos \delta - i \sin \delta \cdot \left[\frac{\bar{n}_z}{\varepsilon_b} (1 + \bar{n}_{p1}) + \frac{n_{oz} \varepsilon_b}{\bar{n}_z} \cdot \bar{n}_{p2} \right]}, \quad (14)$$

бунда $\bar{n}_p = n_{oz} \bar{n}_{p1} + \bar{n}_{p2}$, $\bar{n}_{p2} = (n_{2z} + n_{1z} \cdot \bar{n}_{p1}) \cdot \varepsilon_b$, $n_{oz} = \cos \theta$, (15)

$$\bar{n}_{p1} = \frac{n_1^2 n_{2z} n_{3z} + n_{ox}^2}{n_2^2 n_{1z} n_{3z} + n_{ox}^2} \cdot \frac{\varepsilon_b - n_2^2}{n_1^2 - \varepsilon_b}, n_{\beta x} = n_{ox} = \sin \theta, \bar{n}_z = (\varepsilon_b - \sin^2 \theta)^{1/2}.$$

$t_{01}^{(p)}$ ўтказиш коэффиценти $t_{02}^{(p)}$ ни $n_1 \leftrightarrow n_2$ симметрик алмаштириш орқали аниқланади. Бўйлама экситонларнинг тўлқини кристалл ичидан унинг юзасига нормал тушган тақдирда, бўйлама тўлқиннинг ташқи ёруғлик нурланишига айланишини амплитудавий ўтказиш коэффицентини қуйидаги шаклда аниқлаймиз[1;2]:

$$t_{03}^{(p)}(\theta) = \frac{2n_{ox}(n_{1z} - n_{2z})n_{3z}/n_3}{\sum_{\beta=1,2} (-1)^\beta \frac{n_\beta^2 - \varepsilon_b}{n_\beta^2} (n_{ox}^2 + n_{\beta z} n_{3z}) \cdot \left[\left(n_{oz} + \frac{n_{3-\beta,z}}{\varepsilon_b} \right) \cos \delta - i \sin \delta \left(\frac{\bar{n}_z}{\varepsilon_b} + \frac{n_{oz} n_{3-\beta,z}}{\bar{n}_z} \right) \right]}. \quad (16)$$

Тадқиқот натижаларига кўра, экситон-поляритон люминесценциясининг назарий тавсифи бўйлама экситонларнинг иштироки билан нурланиш жараёнларини аниқроқ тушуниш имконини берди. Грин функциялари ва диаграммали ҳисоблашлар кўрсатадики, механик нуқсонлар ва статик дефектлар нурланиш интенсивлигига сезиларли таъсир кўрсатади. Бўйлама экситонлар когерент нурланишга қўшадиган интерференцион ҳисса орқали умумий люминесценция самарадорлигини оширади. Максвелл ва Пекар шартларини ҳисобга олиш экситонларнинг чегаравий ҳолатлардаги динамикасини яхшироқ моделлаштириш имконини беради. Ушбу натижалар поляритонли нурланишни самарали бошқариш ва янги турдаги оптоэлектрон қурилмаларни яратишда назарий асос бўлиб хизмат қилади.

Адабиётлар рўйхати

1. Akhmadaliev B. Zh., Yuldashev N. Kh. Yulchiev I.I. Surface-Radiative Modes and Longitudinal Excitons in the Spectra of Exciton-Polariton Luminescence// Optics and Spectroscopy, -Moscow, 2018, Vol.125, No.3. P. 343–352.
2. Ахмадалиев Б.Ж., Полвонов Б.З., Юлдашев Н.Х. Поверхностно-радиационные моды и продольные экситоны в спектрах низкотемпературной фотолюминесценции // Физическая инженерия поверхности. - Украина, 2010. -Т.8, №3, с.250-258.
3. Юлдашев Н.Х. Экситон-поляритонная люминесценция и перенос резонансного излучения в кристаллах.–Фергана: Фарғона, 2002. –214 С. Гл. II, III. С.37-80.

ВЛИЯНИЕ ДИФФУЗИИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА И ИХ РЕКОМБИНАЦИИ НА ОБРАЗОВАНИЕ ФОТОТОКА ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ОСВЕЩЕНИИ

А.М.Касимахунова¹ (проф., д.т.н. Фер ГТУ), тел.:+998 90 2900198, e-mail:anarxan.kasimaxunova@fstu.uz.

Мамарасулов К.Ш.оглы (докторант ФерГТУ), тел.: +998 91 770 97 04, e-mail:mamarasulovqudratillo7@gmail.com

Аннотация. В работе приведены результаты математического моделирования и анализ полученных результатов образования спектрального фототока, коэффициента собирания носителей заряда и эволюция по времени напряжения разомкнутой цепи при нестационарном освещении. Описывается с точки зрения физики, переходные процессы, связанные с диффузией носителей заряда и их рекомбинацией, после подачи на полупроводник сильного и кратковременного импульсного освещения. Математическая модель решалась использованием функцией ошибок Гаусса и его комплеметарий ошибкой функцией (erfc). Основой для изучения и анализа диффузионных и рекомбинационных процессов, были выбраны закон к.п.д. и соотношения Эйнштейна. Моделирование осуществлялось использованием программы MATLAB и закон трапециодальной функции.

Ключевые слова: импульсное освещение, заряд, диффузия, фототок, коэффициент собирания. Функция ошибок Гаусса, программа MATLAB, интеграция.

Введение

Для правильного понимания, под термином спектрального фототока, принимаем значение образованного фототока в объеме фотоэлектрического преобразователя, при освещении его кратковременным импульсным освещением [1]. Целью настоящего исследования является анализ транзиентного ответа и улучшение чувствительности солнечных элементов, фотодиодов и других фотопреобразователей [2]

$$\frac{\partial n(x,t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n(x,t)}{\partial x^2} \quad (1)$$

где n -носитель заряда, D -коэффициент диффузии.

Согласно второму закону Фика, длина распространения профиль концентрации x по координате определяется через $L = 2\sqrt{Dt}$. Это соотношение выражает глубину проникновения диффузионного процесса [3]. Коэффициент диффузии D , являющегося одним из основных параметров, связан через соотношения Эйнштейна с мобильностью носителей заряда и их температурой. При этом для заряженной частицы принимается эквивалентным в виде $D = \mu \frac{k_B T}{q}$ [4].

В объеме солнечных элементов или в фотодиодах фотоны светового излучения поглощаются полупроводником. Глубина поглощения зависит от длины светового излучения, коэффициента поглощения α материала и

глубина его абсорбции определяется в обратном порядке [5]. Коротковолновое излучение в основном поглощается на поверхности, а длинноволновые излучения проникает вглубь материала. И, как известно, поглощенные фотоны создают электронно-дырочные пары. Образованная диффузия носителей заряда со временем, за счет рекомбинационного процесса уменьшается. Время жизни носителей заряда определяется скоростью рекомбинации. Чем меньше рекомбинация зарядов, тем больше время жизни носителей заряда и тем больше эффективность преобразования световой энергии в электрическую [6].

Отметим, что значение фототока и падение напряжения на элементе так же зависит от степени освещения. При отключенном источнике мощности, напряжение снимаемое от фотоэлемента при разомкнутой цепи, определяется как напряжение разомкнутой цепи V_{oc} . Это напряжение с ростом температуры уменьшается, потому что в этом случае ток насыщения растет по экспоненте [7].

Методика исследования

Целью данного исследования является изучение процессов фототока и напряжения, генерируемых импульсным светом в полупроводнике, посредством аналитического и численного моделирования, выяснение физической природы и графическое представление результатов. На основе метода исследования лежит разработанный способ решений функция ошибок Гаусса [8].

Процессы генерации, диффузии и рекомбинации носителей заряда в полупроводнике во время светового импульса можно выразить аналитически следующим образом. Фотоны, распространяющиеся с коэффициентом поглощения α_0 во время импульса, создают электронно-дырочные пары. Энергия светового импульса E_0 и число созданных носителей относительно периода без импульса вводятся как произведение. Полученное аналитическое выражение для процесса рекомбинации имеет следующий вид:

$$j(t) = qE_0\alpha_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} a\sqrt{Dt} + \operatorname{erf}\left(\frac{a - \alpha_0\sqrt{Dt}}{\sqrt{Dt}}\right) \right]$$

где q — элементарный заряд электрона, D — коэффициент диффузии, τ — время пребывания носителей заряда, a — параметр дисперсии, «erf» (x) — Гауссовская функция ошибок. Функция ошибок erf определяется интегралом «erf» $\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt$ [8]. Дополнительная функция ошибок задаётся выражением «erfc»(z)=1-«erf»(z) [9]. Эта функция возникает при решении уравнения диффузии с граничными условиями и представляет собой вероятность рассеяния результирующих носителей.

Интегральный эффект фототока во времени (коэффициент сбора) $Q(t)$ определяется следующей формулой:

$$Q(t) = \frac{1}{E_0} \int_0^t j(t') dt'$$

Ввиду сложности получения аналитически замкнутого интеграла для интегрирования по времени был использован численный метод – формула трапеций. Формула трапеций позволяет интегрировать площадь под графиком функции на некотором интервале, приводя его к трапеции через значения в двух или трёх точках; в простом виде она записывается как $\int_a^b f(x) dx \approx \frac{b-a}{2} [f(a) + f(b)]$ [10]. Если же интервал разбить на небольшие отрезки и применить к каждому отрезку то же правило, то получится составная формула трапеций, и точность возрастает [11].

Моделирование проводилось с принятия следующих диффузионных и рекомбинационных параметров:

- Заряд электрона- $q = 1.6 \times 10^{-19}$ С; Коэффициент диффузии- $D = 25 \text{ cm}^2/\text{s}$ или $25 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Отметим, что коэффициент диффузии зависит от мобильности носителей зарядов. Согласно соотношению Эйнштейна подтверждается закономерность $D = \mu \frac{k_B T}{q}$ [4].
- Время пребывания носителей заряда в материале составляет $\tau = 1 \times 10^{-6}$ s, что обратно пропорционально скорости рекомбинации и определяет продолжительность жизни дефектных носителей заряда в материале.
- Коэффициент поглощения равен $\alpha_0 = 50 \div 440 \text{ m}^{-1}$. Глубина поглощения равна $L_\alpha = \frac{1}{\alpha_0}$. Время окончания импульса составляет $t_0 = 3 \times 10^{-6}$ s, т.е. световой импульс длится в течение интервала, равного утроенному времени пребывания.

После окончания светового импульса начинаются процессы диффузии и рекомбинации. Согласно закону Фика, длина распространения процесса диффузии определяется как $L_d = 2\sqrt{Dt}$ [12]. Это выражение важно понимать, поскольку с увеличением t носители заряда проникают глубже за счёт диффузии, а их концентрация уменьшается вместе с процессом рекомбинации [13].

Результаты и анализ

На основе модели были получены графики зависимости роста компонента фототока во время освещения и процесс спада после выключения освещения и очень подтверждающие данные такие, какие приведены в [14]. В фазе роста аддитивные носители, представленные гауссовой функцией ошибок, учитывают время сбора, тогда как в фазе спада эффекты диффузии и рекомбинации отражаются дополнительной функцией ошибок.

Зависимость коэффициента сбора $Q(t)$ от времени для различных коэффициентов поглощения представлена на рисунке 1 (ниже). Из графика видно, что $Q(t)$ быстро растёт в диапазоне 0–3 мкс, т.е. происходит накопление носителей за время светового импульса. С увеличением значения α_0 максимальное значение $Q(t)$ также увеличивается: при наибольшем значении $\alpha_0 = 440 \text{ m}^{-1}$ (чёрная линия) $Q(t)$ достигает наибольшего

значения, а при наименьшем значении $\alpha_0 = 50 \text{ м}^{-1}$ (красная линия) остаётся на низком уровне. Через 3 мкс свет выключается и начинается фаза затухания; $Q(t)$ резко уменьшается. Это указывает на доминирование процессов диффузии и рекомбинации.

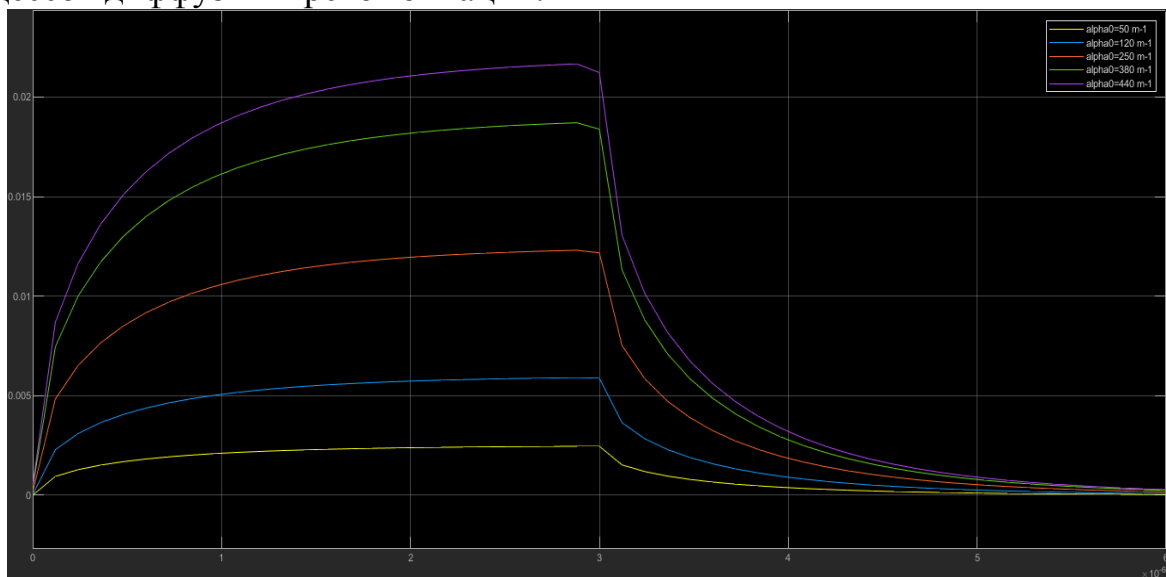


Рис.1. Зависимость коэффициента сбора от времени при импульсном освещении.

Значение коэффициента сбора анализировалось при различных значениях времени в зависимости от α_0 . Как показано на графике на рисунке 2, при малых временах (1–2 мкс) Q велико практически для всех значений α_0 и очень незначительно уменьшается с ростом α_0 . С увеличением времени ($t = 4$ мкс и более) Q быстро уменьшается с ростом α_0 , поскольку высокий коэффициент поглощения приводит к поглощению света вблизи поверхности и не позволяет носителям заряда проникать глубже за счёт диффузии. Напротив, при низких значениях α_0 свет поглощается глубже, а расстояние диффузии велико, что приводит к более высокому значению Q .

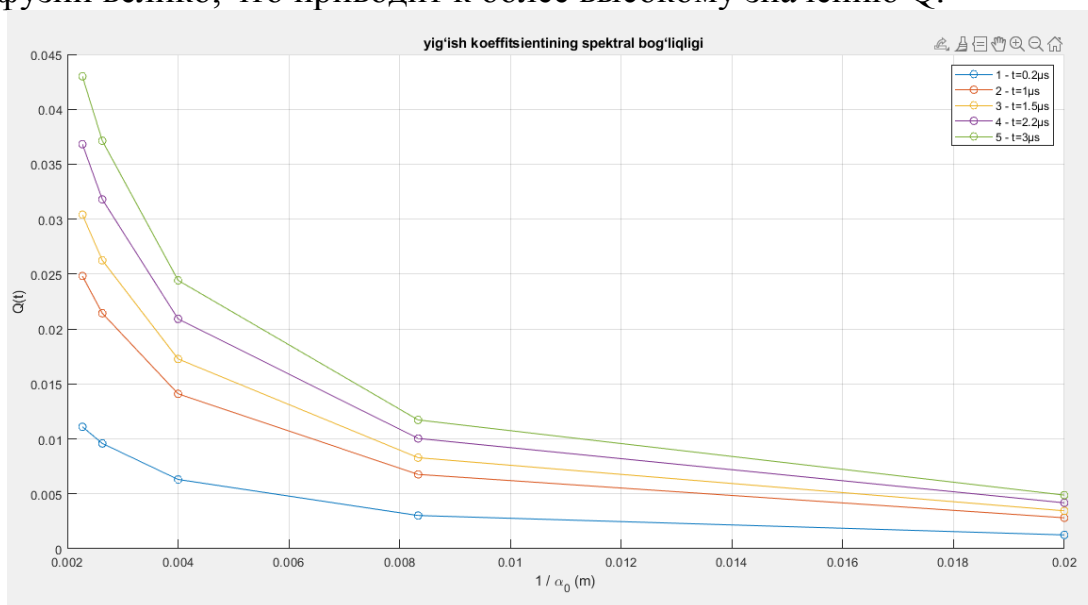


Рис.2 – Спектральная зависимость $Q(\alpha_0)$.

Заключение:

По результатам теоретического исследования моделированием можно сделать следующие выводы:

1. Коэффициент поглощения $Q(t)$ быстро увеличивается во время фазы роста и резко уменьшается в конце светового импульса. Увеличение α_0 увеличивает максимальное значение Q , но процесс затухания ускоряется.

2. Спектральная зависимость: высокий коэффициент поглощения приводит к поглощению света вблизи поверхности и увеличению максимального значения Q со временем. При низком α_0 свет проникает глубже, расстояние диффузии велико, а затухание происходит медленно.

3. Напряжение холостого хода $u(t)$ логарифмически зависит от интенсивности света. Напряжение увеличивается во время светового импульса, максимальное напряжение увеличивается с увеличением интенсивности, а затем уменьшается из-за рекомбинации.

Список литературы:

- [1] Atkins, P., & de Paula, J. (2014). *Physical chemistry* (10th ed.). Oxford University Press. [2] Blakemore, J. S. (1982). *Solid state physics* (2nd ed.). Cambridge University Press. [3] Fick's laws of diffusion. (2023). In *Wikipedia*. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Fick%27s_laws_of_diffusion. [4] Einstein relation (kinetic theory). (2023). In *Wikipedia*. Retrieved from [https://en.wikipedia.org/wiki/Einstein_relation_\(kinetic_theory\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Einstein_relation_(kinetic_theory)). [5] Absorption depth. (2023). In *PVEducation*. Retrieved from <https://www.pveducation.org/pvcdrom/pn-junctions/absorption-depth>. [6] Minority-carrier lifetime. (2023). In *PVEducation*. Retrieved from <https://www.pveducation.org/pvcdrom/pn-junctions/minority-carrier-lifetime>. [7] Open-circuit voltage. (2023). In *PVEducation*. Retrieved from <https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/open-circuit-voltage>. [8] Error function. (2023). In *Wikipedia*. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Error_function. [9] Trapezoidal rule. (2023). In *Wikipedia*. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Trapezoidal_rule. [10] Sze, S. M., & Ng, K. K. (2007). *Physics of semiconductor devices* (3rd ed.). Wiley. [11] Nelson, J. (2003). *The physics of solar cells*. Imperial College Press. [12] Green, M. A. (1995). *Silicon solar cells: Advanced principles & practice*. Centre for Photovoltaic Devices and Systems, UNSW. [13] Shockley, W., & Queisser, H. J. (1961). Detailed balance limit of efficiency of p-n junction solar cells. *Journal of Applied Physics*, 32(3), 510–519. <https://doi.org/10.1063/1.1736034>. [14] Pankove, J. I. (1971). *Optical processes in semiconductors*. Dover Publications.

SnO₂ ASOSIDAGI YUPQA QATLAMLAR VA SnO₂ /Si GETEROSTRUKTURALARNING OPTOELEKTRON XOSSALARI

Sultonov N. A., Mirzajonov Z., Madraximov M. M.

Farg'ona davlat texnika universiteti

E-mail: madrahimovmuminjon43@gmail.com

Kirish. Qalay dioksidi (SnO₂) keng tarmoqli ($E_g \approx 3,6$ eV) n-tipli yarimo'tkazgich bo'lib, u yuqori elektr o'tkazuvchanlik va ko'rinadigan hamda yaqin ultrabinafsha sohada optik shaffoflikka ega. Bunday xususiyatlar kombinatsiyasi SnO₂ materialini optoelektron qurilmalar, shaffof elektrodlar va gaz sensorlarida qo'llash uchun istiqbolli qiladi.

SnO₂ ning funksional xususiyatlari asosan kislorodning no-stexiometriyasi, nuqsonlar konsentratsiyasi va tayyorlash sharoitlariga bog'liq. Shu bilan birga, yupqa qalay qatlamlarining oksidlanish jarayonlari va nuqson hosil bo'lish mexanizmlari yetarlicha o'rganilmagan. Shu sababli, ushbu ishning maqsadi SnO₂ asosidagi yupqa plyonkalar hamda SnO₂ /Si geterostrukturalarning optoelektron xususiyatlarining oksidlanish rejimlariga bog'liqligini aniqlash va ularning elektr hamda optik xatti-harakatini belgilovchi mexanizmlarni tadqiq etishdan iborat.

Materiallar va metodlar. Metall qalay qatlami dielektrik va Si(100) tagliklarga magnetron purkash usuli bilan cho'ktirildi. So'ngra plyonkalar 450–750 °C harorat oralig'ida 30 daqiqa davomida havoda oksidlandi. Olingan SnO₂ asosidagi plyonkalar taxminan 30 nm qalinlikda bo'lib, o'rtacha kristallit o'lchami 100 nm atrofida edi.

Tuzilma tahlili: Thermo ARL X'TRA rentgen difraktometri (CuK α nurlanishi) yordamida bajarildi.

Elektr o'tkazuvchanlik: 0,004 °C/s tezlikda haroratni chiziqli o'zgartirib, O₂, Ar va H₂ atmosferalarida o'lchandi.

Optik o'lchovlar: Shimadzu 210A spektrofotometrda 300–1100 nm diapazonida optik uzatish spektrlari o'lchandi. Tok o'tkazuvchanlikning aktivatsiya energiyasi va optik tarmoqli kengligi mos ravishda $\sigma(T)$ va $(\alpha h\nu)^2$ grafigi asosida aniqlangan.

Elektr xususiyatlari. Oksidlanish jarayonida qalayning nanoo'lchamli plyonkalari qarshiligining haroratga bog'liqligi nomonoton shaklda o'zgardi. 260 °C atrofida qarshilikning maksimumi qayd etildi; bu holat past haroratli (Kabrera–Mott) va yuqori haroratli (Vagner) oksidlanish mexanizmlari o'rtasidagi o'tish bilan izohlanadi.

700 °C da oksidlangan namunalarda xos n-tipli yarimo'tkazgich xulqi kuzatildi. Elektr o'tkazuvchanlik interkristallit to'siqlari hamda kislorod bo'shliqlarining ionlanish jarayonlari bilan boshqarildi. Aktivatsiya energiyasi 0,04–0,15 eV oralig'ida bo'lib, bu bir va ikki marta ionlangan kislorod bo'shliqlariga ($V^0 \rightarrow V^+ + e^-$) mos keladi. O'tkazuvchanlik oksidlovchi muhitda (O₂) kamayib, qaytaruvchi muhitda (H₂) ortishi kislorodga bog'liq o'tkazuvchanlik mexanizmini tasdiqlaydi.

Optik xususiyatlar. Optik uzatish spektrlari 450–550 °C da oksidlangan namunalar uchun 340 nm (3,65 eV) da aniq yutilish zonasini ko'rsatdi. Bu yutilish

kislorod bo'shliqlari bilan bog'liq optik o'tishlarga mos keladi. Oksidlanish harorati ortishi bilan ushbu yutilish zonasi intensivligi kamaydi va 750 °C da butunlay yo'qoldi, bu kislorod bo'shliqlarining kamayishini bildiradi. Yaxshi oksidlangan plyonkalar uchun optik tarmoqli kengligi 3,8 eV ni tashkil etdi, nuqsonlarga boy namunalar esa taqiqlangan zonadagi lokal holatlar sababli qo'shimcha yutilish sohaslarini ko'rsatdi.

Nuqsonlar hosil bo'lish mexanizmi. 260–410 °C diapazonidagi qarshilikning kamayishi SnO/SnO₂ chegarasidan sirt tomon kislorod bo'shliqlarining diffuziyasi bilan izohlanadi. Bu jarayon stoikiometriyani buzadi va donor tipidagi nuqsonlarni hosil qiladi, natijada n-tipli o'tkazuvchanlik ortadi. Yuqori haroratlarda esa nuqsonlar oqimi tugaydi, stoikiometrik SnO₂ tiklanadi va elektr xususiyatlari barqarorlashadi. Kislorod nuqsonlarining bunday nazoratli miqdori plyonkalar o'tkazuvchanligi va shaffofligini boshqarish imkonini beradi.

O'tkazilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, SnO₂ asosidagi yupqa qatlamlar va SnO₂ /Si geterostrukturalarning optoelektron xususiyatlari oksidlanish sharoitlariga juda sezgir.

Oksidlanish paytidagi nomonoton qarshilik o'zgarishi turli oksidlanish mexanizmlari o'rtasidagi o'tishni bildiradi.

3,65 eV dagi optik yutilish zonasi kislorod bo'shlig'i bilan bog'liq nuqson holatlaridan kelib chiqadi. Oksidlanish haroratini o'zgartirish orqali plyonkaning stexiometriyasi va elektr o'tkazuvchanligini boshqarish mumkin.

Olingan natijalar SnO₂ asosidagi materiallarning gaz sensorlari va optoelektron qurilmalar uchun boshqariladigan fizik xususiyatlarga ega variantlarini yaratish uchun ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. С.И.Рембеза, Т.В.Свистова, Е.С.Рембеза, О.И.Борсякова. SnO₂ ning yupqa qatlamlarining mikrotuzilishi va fizik xususiyatlari. "Fizika" yarim o'tkazgichlar texnikasi: 2001. T.35, son 7.
2. Н.А.Султанов, З.Мирзажонов, Ф.Т.Юсупов. - Кремний asosida ZnO geterojuffliklarini olish texnologiyasi va elektr xususiyatlari.
3. Стафеев В.И., Вакулин И.М. S-diodlar // Yarim o'tkazgichli qurilmalar va ularning qo'llanilishi to'plamida. 1974. Son 28. B. 23-56.
4. А.П.Рягузов, Р.Р. Немкаева, Н.Р. Гусейнев, Д.М.Матырбаева. Zamonaviy texnologiyalar fan va ta'limda. СТНО2017 to'plamida. О.В.Миловзорова tahriri ostida. (Ryazan. Ryazan davlat radiotexnika universiteti, 2017) b. 182.
5. П.В.Сереџин. Porli kremniyning fotolyuminestsent xususiyatlari va ularni o'zgartirish usullari. "Fizika" Yosh olim jurnali №10(45) oktyabr 2012.
6. Lavanya, Nehru & Fazio, Enzo & Bonavita, Anna & Leonardi, S.G. & Neri, Giovanni & Sekar, Chinnathambi. (2015). Sensors and Actuators B: Chemical. Sensors and Actuators B Chemical. 221. 10.1016/j.snb.2015.08.020.
7. Da Hora Machado, Antonio Eduardo & Batista, Paulo & Rodrigues de Souza, Danilo & Maximiano, Rodolfo & Neto, Newton. (2013). Journal of Materials Science Research. Journal of Materials Science Research. 2. 82.

THE ROLE OF IONIZING RADIATION IN THE FORMATION OF DEFECTS IN POLYCRYSTALLINE MATERIALS

B.Z. Polvonov¹, B.S. Ruzmatova², M.D. Fozilova²,
M.I. Abdubannobov², M.B. Nabiyeva², B.B. Zaylobiddinov³.

- 1- *Professor, Fergana State University, Fergana UZ, 150100, Uzbekistan, fizikapolvonov@gmail.com;*
- 2- *Assistant, Fergana State Technical University;*
- 3- *Assistant, Branch of the National Research Nuclear University "MMFI" In Tashkent.*

Abstract.

This scientific article explores the role of ionizing radiation in the formation of defects in polycrystalline materials. Ionizing radiation affects the crystal lattice of materials, causing the displacement of atoms from their positions, leading to the formation of vacancies, interstitial atoms, and other defects. The article investigates the changes in various polycrystalline materials (e.g., metals, ceramics, semiconductors) under radiation exposure using experimental and theoretical methods. Additionally, the impact of defects on the mechanical, electrical, and thermophysical properties of materials is analyzed. The research results are aimed at expanding opportunities for the development of new materials and their application in extreme conditions in materials science.

Keywords: ionizing radiation, polycrystalline materials, defects, vacancies, interstitial atoms, crystal lattice, materials science, mechanical properties, electrical properties, thermophysical properties.

Polycrystalline materials, widely used in nuclear reactors, aerospace engineering, and radiation detectors, are highly sensitive to ionizing radiation. The interaction of radiation with matter leads to defect formation, microstructural evolution, and changes in electrical, thermal, and mechanical properties. Ionizing radiation plays a significant role in the microstructural evolution of materials used in nuclear and radiation environments. When high-energy particles such as neutrons, protons, or gamma photons interact with polycrystalline solids, they displace atoms from their lattice sites, leading to point defects, dislocations, and microvoids. Polycrystalline materials differ from single crystals due to the presence of grain boundaries (GBs), which act both as defect sinks and pathways for defect migration. Understanding how ionizing radiation influences polycrystalline microstructures is essential for the design of radiation-resistant alloys and ceramics [1]. The displacement per atom (dpa) is a critical parameter describing radiation damage, expressed as:

$$dpa = (\Phi \cdot \sigma d \cdot t) / N$$

where Φ – particle flux, σd – displacement cross-section, t – irradiation time, and N – atomic density. Defect production in polycrystals was modeled using the binary

collision approximation (BCA) and Molecular Dynamics (MD) simulations. The defect formation rate (Rd) is described as:

$$Rd = \Phi \cdot \sigma d \cdot Ed^{-1}$$

where Ed is the threshold displacement energy.

Grain boundary absorption efficiency was modeled using a sink strength parameter:

$$SGB = ZGB \cdot \rho_{GB} E$$

where ZGB is the grain boundary efficiency factor, and ρ_{GB} is the grain boundary density. Experimental Data:

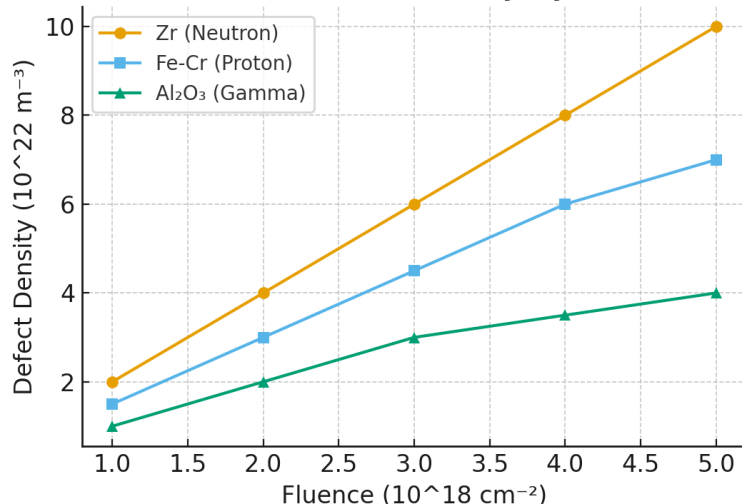
- Samples: Polycrystalline Zirconium (Zr), Iron-based alloys (Fe-Cr), and Ceramic oxides (Al_2O_3 , MgO).
- Radiation sources: Neutron flux (10^{14} n/cm²·s), Gamma irradiation (1–5 MeV), and 5 MeV proton beams [2-3].
- Analysis techniques: Transmission Electron Microscopy (TEM), X-ray Diffraction (XRD), and Positron Annihilation Spectroscopy (PAS).

Radiation-induced vacancy and interstitial concentrations increased with fluence. TEM images revealed dislocation loops of 10–50 nm.

Material	Radiation Type	Fluence (10^{18} cm ⁻²)	Defect Density (10^{22} m ⁻³)
Zr	Neutron	2.5	8.2
Fe-Cr	Proton	1.8	6.7
Al_2O_3	Gamma	3.0	4.1

Grain boundaries significantly reduced defect accumulation. For grain sizes < 100 nm, defect annihilation increased by 40%.

Radiation-Induced Defects in Polycrystalline Materials:



The results demonstrate that ionizing radiation introduces significant defect populations in polycrystalline materials. Neutrons, due to their high penetration depth, generate more bulk defects compared to gamma photons [4]. Protons, however, produce dense collision cascades near the surface. Grain boundaries mitigate radiation damage by acting as sinks for interstitials and vacancies. This effect is more

pronounced in monocrystalline materials, where the surface-to-volume ratio is higher. The observed defect accumulation mechanisms align with Rate Theory Models, where point defect migration and recombination compete with grain boundary absorption. The long-term structural integrity of nuclear reactor materials depends on balancing these mechanisms [5].

Ionizing radiation induces complex defect structures in polycrystalline materials, including vacancies, interstitials, and dislocation loops. Neutron irradiation results in the highest defect densities, while gamma irradiation produces relatively fewer defects. Grain boundaries play a critical role in mitigating radiation damage. We believe that future research in Uzbekistan and globally should be directed towards:

1. Designing nanostructured alloys with engineered grain boundaries.
2. Developing predictive computational models for defect evolution.
3. Expanding experimental validation using synchrotron radiation and advanced TEM.

References

1. H.J. Layth, B.Z.Polvonov, R.N.Ishimbaev./Nonlinear propagation and scattering of electromagnetic waves in biological tissues at THZ frequencies. TPM Open Access ISSN:1972-6325 <https://www.tpm.org/>(Scopus) Pp. 115-122, Vol. 32, No. S6, 2025.
2. B.Z.Polvonov, S.M.Zaynolobidinova, B.B.Zaylobiddinov, M.I.Abdubannobov./The role of high frequency radiation in defect formation in polycrystalline materials. Engineering problems and innovations. 3 (4), 25-27.2025.
3. S.J.Zinkle, & G. S.Was, Materials challenges in nuclear energy, Acta Materialia, 61(3), 735–758, 2013.
4. R. E.Stoller, et al., Primary radiation damage formation, Journal of Nuclear Materials, 443 (1- 3), 77–86, 2013.
5. F.Gao, & D. J. Bacon, Molecular dynamics studies of radiation damage in metals, Journal of Nuclear Materials, 185(2), 239–250. (2018).

ИЗУЧЕНИЕ ФЭС- КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИМЕСНЫХ ЦЕНТРОВ В ПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУРАХ

Нурматов О.Р.

Ферганский государственный технический университет

e-mail: ozodnur91@gmail.com

Аннотация. Приводятся результаты экспериментальных исследований долговременной релаксации фотоэлектретного состояния (ФЭС) в. Показано, что в активированных пленках ФЭС обусловлено с глубокими примесными уровнями или комплексами, в которых входит примесные атомы и собственные дефекты.

Ключивые слова: тонкие легированные пленки, аномальное фотонапряжение, фотоэлектретное состояние.

Методика исследования ФЭС в пленочных структурах отличается от обычной методики изучения ФЭС в кристаллическом высокоомном фотоэлектрете. Используя выражения, описанных в работе [1], можно определить некоторые параметры примесных центров пленочных структур. Действительно, изменения ёмкости пленок после фотополяризации описывается выражением

$$C_{ce}^2(t) - C_T^2 = \frac{M_n \left(1 - \frac{j}{e} S \tau^*\right)}{\frac{8\pi}{\epsilon e} V_{AFH}} \left[1 - e^{-\frac{t}{\tau^*}}\right], \quad (1)$$

где $C_{ce}(t)$ – ёмкость пленки после полной фотополяризации, C_T – ёмкость пленки в темноте, т.е. до освещения, M_n – концентрация глубокого центра прилипания, j – ток короткого замыкания, τ^* – характеристическое время релаксации

$$\tau^* = \frac{1}{I \kappa' + \frac{j}{e} S}, \quad (2)$$

здесь I – интенсивность света, κ' – коэффициент поглощения света. Эффективная площадь сечения захвата примесного центра S можно определить из кинетики изменения ёмкости примесным светом следующей формулой

$$S = \frac{e}{jt} \ln \frac{C_{ce}^2(0) - C_T^2}{C_{ce}^2(t) - C_T^2}, \quad (3)$$

где $C_{ce}(0)$ – ёмкость пленки после выключена примесного света.

Выполняем следующие обозначения

$$C_{ce}^2(t) - C_T^2 = \Delta C(t), \quad (4)$$

$$\Delta C(t) \Big|_{t \rightarrow \infty} = B,$$

$$\frac{d}{dt} \Delta C(t) \Big|_{t=0} = \frac{B}{\tau^*}. \quad (5)$$

Определив характеристическое время путем изменения ёмкости по формуле (5) и зная площадь сечения захвата S , можно вычислить концентрацию глубоких центров прилипания M_n .

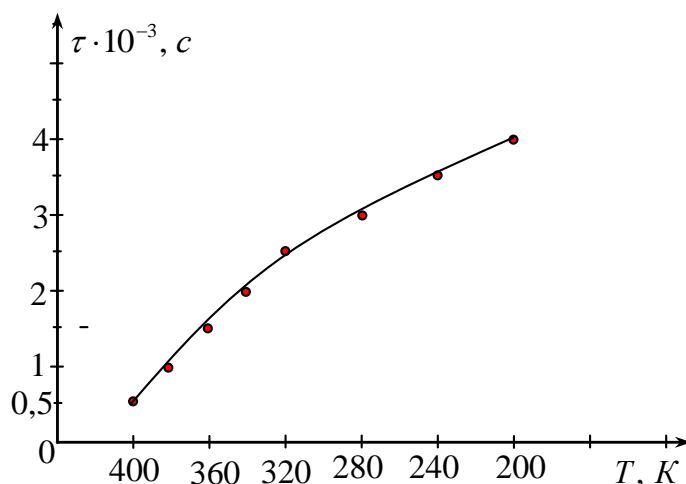


Рис.1. Температурная зависимость времени релаксации τ^* фотоэлектретного состояния АФН пленки CdTe : Ag .

Значение максимальной ёмкости после фотополяризации обусловлено разделением и последующей локализацией носителей на локальных примесных центрах в области ООЗ пленки. После выключения света носители термически освобождается из этих центров и участвуют в проводимости. Поэтому, зная значения времен релаксаций после окончания фотовозбуждения τ_1^* и τ_2^* (рис. 1) при двух значениях температуры, можно определить глубину залегания примесного уровня по формуле [2]

$$\Delta E = \frac{\kappa \cdot \ln \frac{\tau_1^*}{\tau_2^*}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}, \quad (6)$$

где κ - постоянная Больцмана.

На рис. 1 приведена температурная зависимость τ^* , рассчитанная по формуле (2), в интервале температур 200 ÷ 400 K .

Список литературы

- [1]. Карпенко В.П., Кашеринов П.Г., Матвеев О.А. Фотопамять поверхностно-барьерных переходов на CdTe. ФТП, 1970. Т.4. В.5. С.937.
- [2]. Ковальский П.Н. Шнейдер А.Д. «Фотоэлектретный эффект в полупроводниках», Львов, Изд. при Львовском госуниверситете, 1977. 150 с.
- [3]. Nurmatov, O.; Rahmonov, T.; Sulaymonov, Kh.; and Yuldashev, N. (2020) "Phototenzoelectric properties of polycrystalline films of chalcogenides of cadmium and zinc, produced by portional evaporation in vacuum," Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering: Vol. 2 : Iss. 5 , Article 10.

Bi–Sb–Te TIZIMIDAGI QOTISHMALARNING TERMOELEKTRIK XOSSALARI VA DEFORMATSIYAGA SEZGIRLIK MEXANIZMLARINING TAHLILI

D.A. Yusupova¹, S.Z. Sirojiddinova², M.A.Samatova³

Farg'ona davlat universiteti, Farg'ona, O'zbekiston

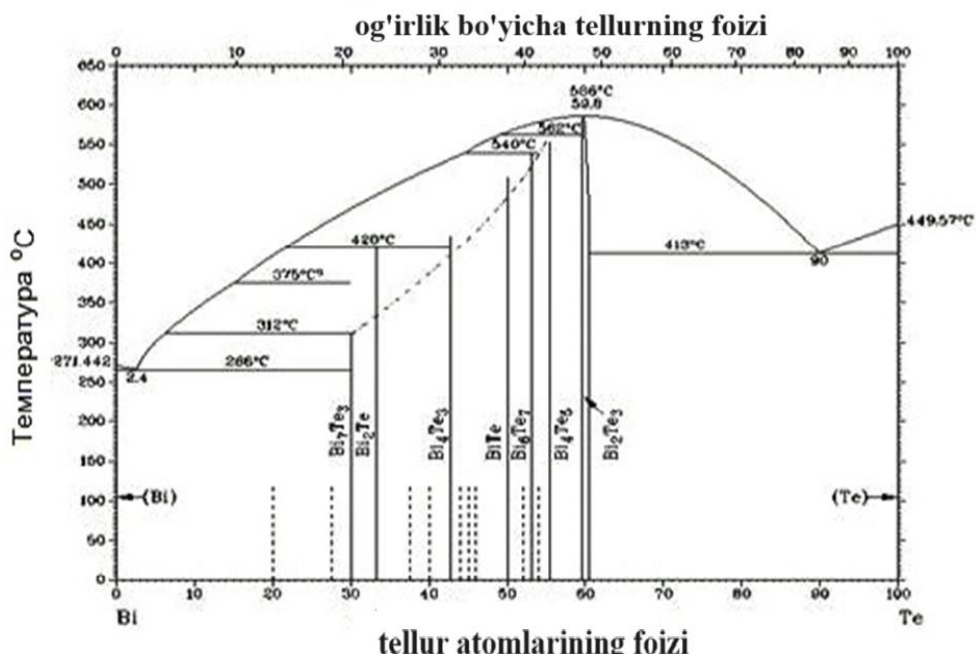
¹ Fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent, dilfuza.physic@mail.ru;

² Fizika kafedrası doktoranti, ³“Fizika” yo‘nalishi talabasi

Annotatsiya: ushbu maqolada vismut va surma xalkogenitlari asosidagi materiallarning termoelektrik va tenzosezgirlik xususiyatlari tahlil qilinadi. Vismut telluridning rombedral kristall tuzilishi, qatlamli kvintetlar tizimi va kimyoviy bog‘lanish xususiyatlari batafsil o‘rganilgan. Tadqiqot davomida vismut telluridga turli aralashmalar (mishyak, qalay, surma, qo‘rg‘oshin hamda donor tipidagi CuBr, AgI, B kiritmalari) qo‘shilganda elektr o‘tkazuvchanlik, anizotrop diffuziya va termoelektr ko‘rsatkichlarning o‘zgarishi kuzatilgan. Shuningdek, Bi₂Te₃–Sb₂Te₃ asosidagi qattiq eritmalaridan olingan plyonkaviy namunalarning deformatsiyaga nisbatan sezgirliги, ularning tenzosezgirlik koeffitsiyenti (K) va issiqlik ta'siriga barqarorligi o‘rganilgan. Tadqiqot natijalari ushbu materiallarning yuqori sezuvchanlik va barqarorlik xususiyatlari sababli termoelektr o‘zgartkichlar hamda tenzodatchiklar yaratishda istiqbolli ekanligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: vismut telluridi, surma xalkogenitlari, termoelektrik xususiyatlar, tenzosezgirlik, qattiq eritmalar, plyonkaviy materiallar, elektr o‘tkazuvchanlik, kristall tuzilish, anizotropiya, diffuziya.

Vismut tellurid rombedral kristallografik tuzilishga ega bo‘lib, u uchinchi tartibli simmetriya o‘qiga to‘g‘ri burchak ostida joylashgan qatlamlar - kvintetlarni o‘z ichiga oladi. Bi-Te kimyoviy bog‘lanishi kovalent, Te-Te bog‘i esa Van-der-valsion deb taxmin qilinadi. Muayyan turdagi (elektron yoki teshik) o‘tkazuvchanlikni olish uchun manba materialiga vismut, tellurning ortiqcha miqdori kiritiladi yoki modda mishyak, qalay, surma yoki qo‘rg‘oshin qabul qiluvchilar kabi aralashmalar bilan qo‘shiladi yoki donorlar: CuBr, Bi₂Te₃CuI, B, AgI aralashmalar kuchli anizotrop diffuziya beradi, uning parchalanish tekisligi yo‘nalishidagi tezligi suyuqliklarda diffuziya tezligiga etadi. Harorat gradienti va elektr maydoni ta'sirida vismut tellurida kirishma ionlarning harakati kuzatiladi. Yagona kristallarni olish uchun ular yo‘nalishli kristallanish (Bridgeman), Choxralskiy usuli yoki zonali eritish bilan o‘stiriladi. Vismut tellurining faza diagrammasi quyida ko‘rsatilgan:



1-rasm. Tellur atomlarining foizini temperaturaga bog‘likligi

Vismut telluriga asoslangan qotishmalar kristall o‘shining aniq anizotropiyasi bilan tavsiflanadi: parchalanish tekisligi bo‘ylab o‘sh tezligi ushbu tekislikka perpendikulyar yo‘nalishda o‘sh tezligidan ancha yuqori bo‘ladi. radiatsiya vakuum cho‘kmasi natijasida hosil bo‘ladi.

Termoelektr materialning samaradorligi o‘lchovsiz kattalik bo‘lgan ZT bilan tavsiflanadi. U quyidagi tenglama orqali aniqlanadi:

$$ZT = \frac{S^2 \sigma T}{\kappa_e + \kappa_L} \quad (1)$$

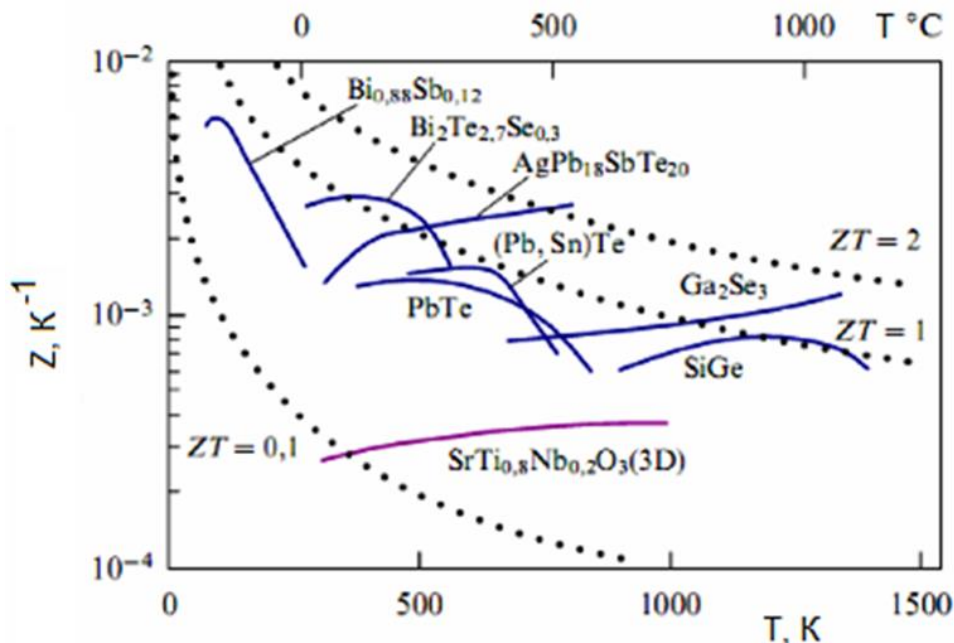
bu yerda: S — Zeybek koeffitsienti, σ — elektr o‘tkazuvchanlik, κ_e — elektron issiqlik o‘tkazuvchanlik, κ_L — panjara (fonon) issiqlik o‘tkazuvchanligi.

Bi₂Te₃ materiali ushbu parametrlarning tabiatan qulay kombinatsiyasiga ega: optimal legirlanish holatida taxminan 300 K da yuqori termoelektr kuchlanish ($|S| \approx 150\text{--}200 \mu\text{V/K}$), nisbatan yuqori elektr o‘tkazuvchanlik va past issiqlik o‘tkazuvchanlik ($\approx 1,5 \text{ Vt/(m}\cdot\text{K)}$) kuzatiladi. Bu past issiqlik o‘tkazuvchanlik vismut va tellur atomlarining og‘irligi hamda tuzilmaning qatlamli (anizotrop) xususiyati bilan bog‘liq.

Bi₂Te₃ asosidagi tijorat qotishmalari taxminan 300 K da p-tip uchun $ZT \approx 1,3$, n-tip uchun esa $ZT \approx 0,9$ qiymatlarga erishadi. Bu esa Peltier sovitkich modullari va termoelektr generatorlarni yaratishda ushbu materiallardan samarali foydalanish imkonini beradi.

Harorat qanchalik yuqori bo‘lsa, qotishmaning termoelektrik ko‘rsatkichi shunchalik past bo‘ladi, chunki uning o‘tkazuvchanligi ta'sir qila boshlaydi. Shuning uchun, yuqori haroratlarda, 500-600 K dan yuqori, shon-sharaf ma'lumotlarini shuncaki kichik diapazon bo‘shlig‘i tufayli ishlatib bo‘lmaydi. iloji boricha aralashmalar konsentratsiyasi pastroq bo‘ladi, bu esa kamroq elektr o‘tkazuvchanligini ta'minlaydi [1-2].

Yagona kristallning o'sishi jarayonida konsentratsiyani o'ta sovutish (bu termoelektrik ko'rsatkichni pasaytiradi) oldini olish uchun muhim harorat gradientlari (250 K / sm gacha) va kristallning past o'sish tezligi taxminan 0,07 mm / min ishlatiladi.



2-rasm. Bir qator ishlatilgan va istiqbolli materiallarning termoelektrik ko'rsatkichi

Vismut va vismutning surma bilan qotishmalari kristallanish natijasida olti burchakli (ditrigonal) skalenodrga mansub rombedrli panjara hosil qiladi. Vismutning birlik panjarasi 4,74 angstrom chetiga ega bo'lgan rombedr shakliga ega. Qo'sh qatlam ichida bog'lanishlar kovalent, qatlamlar orasida esa van der Waals bog'lanishlar bo'lib, bu hosil bo'lgan materiallarning fizik xususiyatlarining keskin anizotropiyasiga olib keladi [3].

Vismut – surma telluridlari polikristall plenkalarni hamda ular asosidagi qotishmalardan olingan plyonkalar tenzosezgirlik xususiyatiga ham egadir. Vakuumba termik bug'lash yo'li bilan olingan yarim o'tkazgichli plyonkali elementlarga deformatsiya ta'sirini tadqiq etishning ko'p hollarida qarshilikning katta miqdorda o'zgarishi belgilangan.

Plyonkaviy elementlarning qarshiligi (R)ga deformatsiya (ϵ) ta'siri darajasini baholash uchun tenzosezgirlik koeffitsiyenti (K) qo'llaniladi:

$$K = \Delta R / [\epsilon \cdot R], \quad (2)$$

bu yerda ($R = R(\epsilon) - R(0)$); $R(\epsilon)$ - ϵ nisbiy deformatsiya qo'yilgandagi plyonkaviy elementning qarshiligi. Ushbu koeffitsiyent plyonkaviy namunalarni olish texnologiyasi hamda keyingi termik ishloviga, monolit yoki monokristallarning elastorezistiv doimiylaridan sezilarli darajada farqlanishi mumkinligiga bog'liqligi payqalgan.

Termoelektr o'zgartkichlarda qo'llaniladigan $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$ qattiq aralashmasidan olingan plyonkaviy tenzosezgir namunalarning xossalarini tadqiq etish shuni ko'rsatadiki, ba'zi bir optimal texnologiyada tenzosezgirlik koeffitsiyenti $6,2 \cdot 10^4$ birliklarga erishishi mumkin [4]. Bu materialdan olingan monolit va plyonkaviy elementlarning tenzosezgirlik koeffitsiyentini solishtirish shuni

ko'rsatadiki, plyonkaviy elementlar monolitlarga nisbatan to'rt, besh tartibga yuqori bo'lgan tenzosezgirlik koeffitsiyentga ega bo'lishi mumkin, bir, ikki tartibga yuqori bo'lgan nisbiy deformatsiyaga chidamli bo'ladi, 10^6 dan yuqori bo'lgan $\epsilon=10^{-3}$ nisbiy birlikdagi deformatsiya sikllariga chidamli bo'ladi va uzoq muddat saqlanish davomida o'zining xususiyatlarini o'zgartirmaydilar [5].

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. А.О. Эпремян, В.М. Арутюнян, А.И. Ваганян. Добротность современных п/п-вых термоэлектрических материалов. Основные проблемы энергетики и альтернативной энергетики. стр.17-18.07.04.2005 г.
2. Э.К. Иорданашвили. Термоэлектричество от прошлого к будущему // Термоэлектричество, 2000 г, №1 с 6-21.
3. Л.Д.Иванова., Ю.В. Гранаткина. Термоэлектрическая свойства монокристаллов твердых растворов системы Sb_2Te_3 - Bi_2Te_3 в области температур 100-700 К // Неорганич. Материалы. 2000. Т. 36.№37. С 810-81+6.
4. Onarkulov, K., Yusupova, D., & Sirojiddinova, S. (2024, March). Representation of the boundary of crystals and determination of intergranular surface conductivities in polycrystalline semiconductors. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3045, No. 1). AIP Publishing.
5. Yusupova, D. A. (2021). Study of electrophysical properties of multi-component condensed compounds based on bismuth and antimony tellurides. 2021. Journal Internauka: electron. scientific zhurn, (47), 77-81.
6. Yusupova, YES. (2022). STUDY OF ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF NANOCRYSTALLINE Bi_2Te_3 - Sb_2Te_3 FILMS. Scientific Impulse, 1(4), 1574-1580.
7. Yusupova, D. A., & Tolipov, J. (2022). OBTAINING HETEROPHASE SYSTEMS BASED ON BISMUTH-ANTIMONY TELLURIDES. Education News: Research in the 21st Century, 1(4), 175-181.
8. Yusupova, D.A. (2019). Investigation of the influence of deformation on changes in the concentration of surface states, the Fermi level, and the charge of the interface of nanocrystalline films of bismuth and antimony tellurides. Problems of modern science and education, (12-2 (145)), 8-12.

ORGANIK QUYOSH ELEMENTLARI UCHUN PEO–PC–EC/NH₄I POLIMER ELEKTROLITNING ION O'TKAZUVCHANLIGI TAHLILI.

Abdukarimov A.A, Nishonov A.N.

University of Business and Science. Namangan, Uzbekistan.

Annotatsiya: Mazkur tadqiqotda PEO–PC–EC asosidagi polimer elektrolitga turli miqdorda ammoniy yodid (NH₄I) qo'shib, uning ion o'tkazuvchanligi EIS usuli yordamida tahlil qilindi. Olingan natijalar elektrolitning o'tkazuvchanligi NH₄I konsentratsiyasiga bevosita bog'liq ekanini ko'rsatdi. Optimal konsentratsiya 0.15–0.20 g atrofida aniqlanib, aynan shu miqdorda elektrolitning ion o'tkazuvchanligi eng yuqori qiymatga erishdi. Bu esa organik quyosh elementlari uchun zaryad tashuvchilar transportini yaxshilaydi va umumiy samaradorlikni oshiradi.

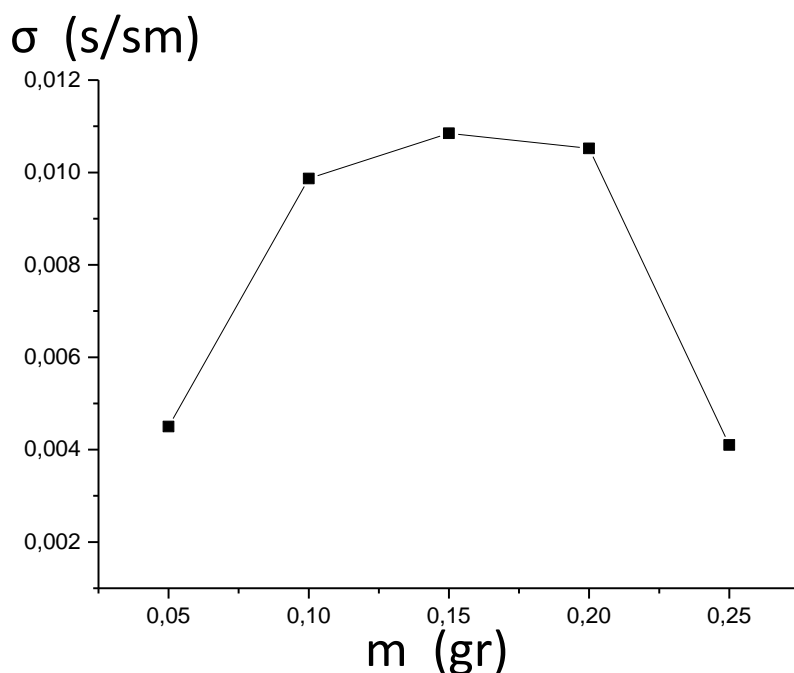
Kalit so'zlar: polimer elektrolit, PEO–PC–EC, ammoniy yodid, ion o'tkazuvchanlik, impedans spektroskopiyasi, organik quyosh elementlari, zaryad transporti.

So'nggi yillarda organik quyosh elementlarining (OQE) samaradorligini oshirish maqsadida elektrolit qatlamining fizik-kimyoviy xossalarini takomillashtirishga katta e'tibor qaratilmoqda. Mazkur qatlamning asosiy vazifasi fotoaktiv qatlamda hosil bo'lgan zaryad tashuvchilarni (ion va elektronlarni) samarali transport qilishdan iborat. Shu nuqtayi nazardan, elektrolitning ion o'tkazuvchanlik darajasi OQE samaradorligini belgilovchi muhim parametr hisoblanadi. Ion o'tkazuvchanlik esa, o'z navbatida, elektrolit tarkibidagi tuz konsentratsiyasi, polimer matritsaning tabiatiga va plastifikatorlar miqdoriga bog'liqdir[1,2].

Mazkur tadqiqotda PEO–PC–EC asosidagi polimer elektrolit tizimiga turli miqdorlarda ammoniy yodid (NH₄I) qo'shib, uning elektr xossalari o'rganildi. Polimer elektrolit namunalarning qalinligi 0.26 sm, faol yuzasi esa 2.01 sm² etib tayyorlandi. Har bir namunaga mos ravishda 0.05 g dan 0.30 g gacha NH₄I tuzi qo'shildi. Olingan namunalar xona haroratida (≈298 K) elektrokimyoviy impedans spektroskopiyasi (EIS) usuli orqali tahlil qilindi. Tahlil natijalaridan foydalanib bulk qarshilik (R_b) qiymatlari aniqlanib, ion o'tkazuvchanlik (σ) quyidagi ifoda orqali hisoblab chiqildi:

$$\sigma = \frac{L}{R_b S}$$

bu yerda L-elektrolitning qalinligi (sm) R_b-bulk (asosiy) qarshilik (Om) S- elektrodning faol yuzasi (sm²)



1-rasm elektrolitning o'tkazuvchanligini tuzning massasiga bog'liqligi.

Natijalar tahlili shuni ko'rsatdiki, NH_4I konsentratsiyasining ortishi bilan ion o'tkazuvchanlik dastlab oshib boradi, ammo ma'lum chegaradan (0.25 g) so'ng keskin kamayadi. Bunga sabab sifatida ikki xil omil keltiriladi. Dastlabki past konsentratsiyalarda ion zichligi yetarli bo'lmagani sababli, ionlarning harakati cheklanadi va o'tkazuvchanlik past qiymatlarda saqlanadi. Aksincha, yuqori konsentratsiyalarda ortiqcha ionlar o'zaro ta'sirlashib, ion juftlari va klasterlar hosil qiladi. Natijada ionlarning erkin diffuziyasi cheklanadi va umumiy o'tkazuvchanlik pasayadi. O'tkazilgan eksperimental tahlillar "1-rasm"da keltirilgan bo'lib, unda elektrolit o'tkazuvchanligining NH_4I massasiga bog'liqligi aks etgan. Egri chiziq 0.15–0.20 g oralig'ida maksimal qiymatga ega bo'lib, bu sohada ion o'tkazuvchanlikning optimal darajasi kuzatilgan. Shu qiymatlar diapazonida PEO–PC–EC/ NH_4I elektrolitining struktura barqarorligi ham saqlanib qoladi, bu esa uni barqaror ishlovchi organik quyosh elementlari uchun mos qiladi [3-5].

Xulosa qilib aytganda, PEO–PC–EC/ NH_4I polimer elektrolit tizimida NH_4I miqdorining 0.15–0.20 g oralig'ida bo'lishi ion o'tkazuvchanlikni maksimal darajada ta'minlaydi. Bu natija elektrolitdagi ionlarning harakatlanish yo'llari optimallashtirilganini va transport mexanizmlarining muvozanatga kelganini ko'rsatadi. Tadqiqot natijalari organik quyosh elementlari samaradorligini oshirish uchun muhim ilmiy asos bo'lib, keyingi bosqichlarda boshqa ammoniy va alkali tuzlarning ta'sirini ham o'rganish imkonini beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar.

1. Grätzel M. Photoelectrochemical cells. *Nature*, 414, 338–344 (2001).
2. Armand M., Tarascon J.-M. Building better batteries. *Nature*, 451, 652–657 (2008).
3. Bruce P. G., Freunberger S. A., Hardwick L. J., Tarascon J.-M. Li– O_2 and Li–S batteries with high energy storage. *Nature Materials*, 11, 19–29 (2012).

4. Wang Y., Li H., He P., Hosono E., Zhou H. Nano active materials for lithium-ion batteries. *Nanoscale*, 2, 1294–1305 (2010).
5. Zhang S. S. A review on electrolyte additives for lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 162, 1379–1394 (2006).

ВЛИЯНИЕ ПОТОКА ЭЛЕКТРОНОВ И УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИЕ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Мовлонов Пахловон Иброхимович
Ферганский государственный технический университет

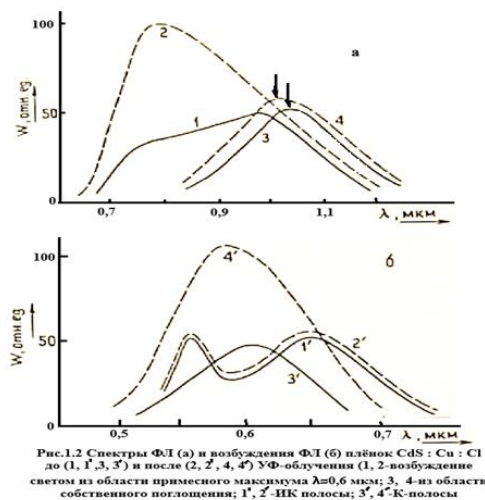
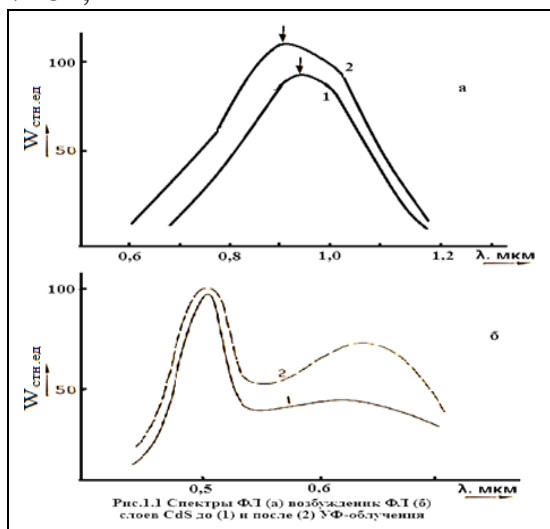
Аннотация: В данной статье представлены результаты исследований влияния электронного облучения и ультрафиолетового (УФ) излучения на характеристики светоизлучающих диодов (СИД) и фотоэлектрических приборов на основе полупроводниковых материалов. Анализируются изменения в спектральных, вольт-амперных и фотооткликовых характеристиках под воздействием различных доз облучения. Обсуждаются механизмы деградации, связанные с образованием радиационных дефектов и фотохимических изменений в структуре материалов. Представленные результаты могут быть полезны для разработки устойчивых к радиации оптоэлектронных устройств.

Ключевые слова: электронное облучение, ультрафиолет, СИД, фотоэлектрический прибор, деградация, радиационные дефекты, полупроводники.

1. Введение. Оптоэлектронные приборы, такие как светоизлучающие диоды и фотоэлектрические детекторы, широко используются в различных областях: от космической и ядерной техники до медицинской диагностики. Однако их эксплуатационные характеристики могут существенно изменяться под воздействием высокоэнергетического облучения, особенно в условиях открытого космоса, где присутствуют как потоки заряженных частиц, так и ультрафиолетовое излучение.

2. Методика эксперимента. В связи с разработкой приемников УФ-облучения возрастает интерес к исследованию влияния этого излучения на полупроводниковые приборы. Особый интерес представляют материалы типа A^2B^6 как перспективные для изготовления фотоприемников, чувствительных к УФ области спектра, одним из которых является CdS. Однако до сих пор в литературе вопрос о влиянии УФ-облучения на свойства CdS практически не рассматривался. Известен только вызванный УФ-облучением обратимый эффект фотодесорбции кислорода с поверхности образцов /1/. Как показывают нижеприведенные результаты, под действием УФ-излучения в CdS протекают и другие процессы, вызывающие необратимые изменения фотоэлектрических и люминесцентных свойств материала.

Результаты эксперимента. Исследовались поликристаллические тонкие пленки CdS:Cu:Cl и слои Cds, полученные по методу, описанному в работах /181,



УФ-облучение проводилось при комнатной температуре светом ртутной лампы марки ПРК-150 в течение 50 ч. До и после УФ-облучения измерялись люкс-амперная характеристика (ЛАХ), спектры фото тока, фотолюминесценция (ФЛ), возбуждения ФЛ и термостимулированной проводимости (ТСП). Измерения проводились через несколько часов после УФ-облучения, вследствие чего процессы, связанные с фотодесорбцией кислорода, не наблюдались, т.к. успевала происходить его обратная адсорбция.

На рис.1.1, 1.2 приведены спектры ФЛ и возбуждения ФЛ слоев CaS и пленок CdS:Cu:Cl . Спектр ФЛ слоев Cds состоит из одной полосы с максимумом примерно при 0,97 мкм, интенсивность которой после УФ-облучения возрастает, а сама полоса несколько смещается в коротковолновую сторону (рис.1.1 а). Как было показано ранее, эта полоса обусловлена излучательной рекомбинацией в донорно-акцепторных (ДА) парах, состоящих из центра фоточувствительности (γ -центра) и мелкого донора. В спектре возбуждения этой полосы наблюдается два максимума - собственный и примесный, обусловленный возбуждением электрона с уровня γ -центра в С -зону (рис.1.1 б). После УФ-облучения в спектрах возбуждения ФЛ интенсивность примесного максимума возрастает сильнее, чем собственного.

В спектрах ФЛ тонких пленок CdS:Cu:CL до УФ-облучения наблюдается две перекрывающиеся полосы - красная (К) и ИК (рис.1.2 а). Спектры возбуждения этих полос оказались различными (рис.1.2 б). Видно, что ИК-полоса эффективно возбуждается светом из области как собственного, так и примесного максимума ($\lambda \approx 0,65$ мкм), в то время как К-полоса - преимущественно светом из области примесного максимума ($\lambda \approx 0,60$ мкм). Различие спектров возбуждения ФЛ позволило разделить эти полосы и определить положения ИК полосы при объемном (из области собственного максимума) и поверхностном возбуждениях, когда К-полоса не наблюдается. В

случае поверхностного возбуждения ИК-полоса имеет максимум $\lambda_m = 1,05$ мкм, а в случае объемного - $\lambda_m = 1,00$ мкм, что характерно для центров

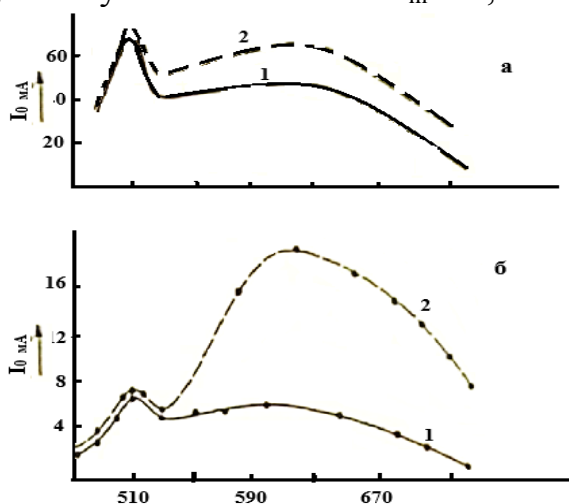


Рис.1.3 Спектры фотопроводимости слоев (а) и плёнок (б) до (1) и после (2) УФ-облучения

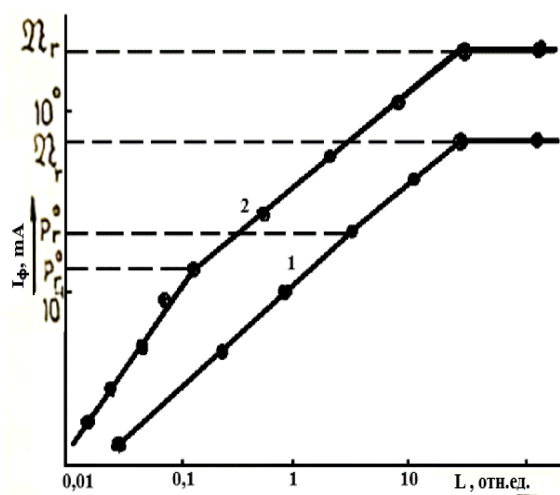


Рис. 1.4 ЛАХ фототока в плёнках CdS:Cu:Cl до (1) и после (2) УФ-облучения

свечения, обусловленных $CuCd$ и V_{cd} соответственно. Как показано в работе, это смещение связано с обогащением поверхности пленок медью в процессе легирования их из шихты. Точное положение К-полосы определить не удастся из-за ее сильного перекрытия с ИК-полосой.

После УФ-облучения в спектрах ФЛ существенно возрастает интенсивность К-полосы (рис.1.2 а, кривые 1,2). При этом интенсивность ИК-полосы практически не изменяется, а ее максимум, как и в случае слоев CdS , смещается в коротковолновую сторону (рис.1.2 а, кривые 3,4). В спектрах возбуждения ФЛ этих полос после УФ-облучения преимущественно растет эффективность возбуждения светом из области примесного максимума (рис.1.2 б).

На рис.1.3 показаны спектры фотопроводимости слоев CdS (а) и пленок $CdS:Cu:Cl$ (б) до (1) и после (2) УФ-облучения. В спектре фототока слоев CdS наблюдаются те же два максимума, что и в спектре возбуждения ФЛ ИК-полосы (рис.1.3 а). После УФ-облучения фототок увеличивается преимущественно в примесном максимуме. В спектре фототока пленок $CdS:Cu:Cl$ наблюдается два максимума собственный и примесный ($\lambda_m \approx 0,65$ мкм, рис.1.3 б). Из сравнения спектров фототока и возбуждения ФЛ можно сделать вывод о том, что в собственном максимуме фоточувствительность обусловлена г-центрами, а в примесном - центрами, ответственными за К-полосу люминесценции (К-центры). После УФ-облучения в спектре фототока тонких пленок $CdS:Cu:Cl$ также преимущественно возрастает интенсивность примесного максимума.

Для выяснения причин описанных изменений были измерены равновесная проводимость, спектры ТСП и ЛАХ фототока до и после УФ - облучения. На рис.1.4 приведены ЛАХ слоев $CdS:Cu:Cl$ до (1) и после (2) облучения. Оказалось, что равновесная проводимость после УФ-облучения несколько возрастает и в спектрах ТСП увеличивается интенсивность пика, обусловленного мелкими донорами. Как следует из сравнения фототоков и

токов ТСП до и после УФ-облучения, увеличение интенсивности пика связано с ростом концентрации этих доноров.

1.1. Необратимые изменения свойств фоторезисторов на основе CdS: Cu:Cl под действием УФ-облучения

Приведенные выше экспериментальные результаты по воздействию УФ-облучения на свойства фоторезисторов на основе CdS позволяют сделать следующие выводы о механизме их деградации.

Поскольку в тонких пленках CdS:CuCl фототок в собственном максимуме обусловлен Γ -центрами, а в примесном К-центрами, то исследование ЛАХ этих пленок проводилось при возбуждении светом из области собственного максимума фотопроводимости, так и примесного, что позволило определить параметры обоих типов центров. Известно, что по концентрации фотоэлектронов В точках перегиба ЛАХ можно определить концентрацию дырок на центрах фоточувствительности (Γ - и К-центрах) при слабых засветках (P_r^0, P_k^0) и общую концентрацию центров (η_r, η_k). Как видно из рисунка 1.4, после УФ-облучения P_r^0 уменьшается, а η_r возрастает, что и приводит к росту интенсивности К-полосы. Исследование ЛАХ при возбуждении светом из области собственного поглощения показало, что η_r не изменяется. Это согласуется с неизменностью интенсивности ИК-полосы. Значение P_k^0 определить не удалось из-за отсутствия соответствующих точек перегиба ЛАХ.

Исследование ЛАХ слоев CdS при освещении видимым светом лампы накаливания показало, что после УФ-облучения концентрация центров свечения не изменяется, а концентрация дырок на них уменьшается.

Таким образом, УФ-облучение приводит к двум эффектам. Одним из них является увеличение концентрации мелких доноров. Это вызывает рост темновой проводимости и смещение максимума ИК-полосы в коротковолновую сторону вследствие образования распределенных

ДА-пар (пленки CdS:Cu:Cl) или уменьшения расстояния между донором и акцептором в этих ДА-парах (слои CdS).

Было показано, что в исследованных слоях CdS и тонких пленках CdS: Cu: Cl сразу после их изготовления содержатся подвижные при комнатной температуре мелкие доноры-междоузельные атомы Cd_i . Со временем концентрация этих доноров уменьшается вследствие их ухода на стоки. При освещении подвижные доноры могут отходить от стоков и диффундировать в объем образцов. Поскольку УФ-излучение поглощается в приповерхностной области образцов, можно полагать, что увеличение концентрации мелких доноров обусловлено их отходом от стоков, расположенных вблизи поверхности образцов.

Другим эффектом УФ-облучения является увеличение концентрации К-центров в пленках CdS: Cu: Cl. Как указывалось ранее, поверхность этих пленок обогащена атомами Cu, междоузельные атомы которой также подвижны в решетке CdS. Поэтому можно предположить, что и атомы Cu_i , под действием УФ-излучения могут диффундировать по междоузлиям с поверхности в объем

пленки. Этим процессом и объясняется, по-видимому, возрастание концентрации К-центров в тонких пленках $CdS: Cu:Cl$

1.2. Влияние электронного облучения на характеристики

$In_x Ga_{1-x} As:Si$ светодиодов

В этом параграфе рассматривается влияние электронного облучения на свойства светоизлучающих диодов на основе твердых растворов $In_x Ga_{1-x} As$. Условия облучения были такими же, как и для облучения электронами СЭ $Cu_{2-x} S-CdS$ (см.п.6.2).

Известно, что прямая и обратная ветви ВАХ диодов представляют собой сумму нескольких компонент, обусловленных туннельным, генерационно-рекомбинационным, диффузионным и термополевым токами. Механизм токопереноса в случае диффузионных и генерационно-рекомбинационных токов, а также туннельных токов (в р-п переходах с шириной области пространственного заряда (ОПЗ) $W \sim 100 \text{ \AA}$) достаточно хорошо изучен. Туннельные и термополевые токи в широких р-п переходах связывают с туннелированием носителей: в гетеродиодах через поверхностные состояния на границе раздела (ГР); в гомодиодах - через уровни, обусловленные структурными дефектами, либо с прохождением тока через участки локального сужения ОПЗ перехода; в барьерах Шоттки через уровни, созданные проросшими из подложки дислокациями. Несмотря на большое число гипотез, тип дефектов и природа уровней, обуславливающих туннельный и термополевой токи в диодах с широким р-п переходом ($W \gg 100 \text{ \AA}$) все еще не выяснены однозначно.

С целью установления типа дефектов, обуславливающих туннельную и термополевую компоненты тока в эпитаксиальных р-п гомопереходах с шириной ОПЗ $W > 3000 \text{ \AA}$, исследовались светоизлучающие диоды.

Исследования были проведены на гомодиодах $In_x Ga_{1-x} As$, полученных методом жидкостной эпитаксии из расплава $In-Ga - As$ подложках с ориентацией (111)А, и концентрацией электронов $n = 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Для создания р-п перехода эпитаксиальная пленка в процессе роста легировалась амфотерной примесью кремнием. В исследованных структурах плоскость р-п перехода не совпадала с гетерограницей $In_x Ga_{1-x} As/GaAs$. Глубина залегания р-п перехода в различных структурах изменялась в зависимости от скорости охлаждения в процессе синтеза эпитаксиальных пленок (таблица 7.1). После создания эпитаксиальной структуры часть пластины оставляли для металлографических исследований (спутник), а из оставшейся части изготавливали светодиоды. Параметры исследованных в работе партий структур представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Параметры исследованных партий светоизлучающих диодов

№ ПП	№ партии	Толщина а-слоя (мкм)	Толщина б-слоя (мкм)	Радиус изгиба системы	Плотность дислокаций в ГР	Плотность дислокаций в об-	Квантовый выход (%)

					см ⁻²		
1	1	26,4	67,2	2,8-3,0	2 · 10 ³	1,1 · 10 ⁴	2,4-3,0
2	2	19,5	37,5	1,2-1,3	-	4 · 10 ⁵	1,7-1,8
3	3	8,1	71,3	0,8-1,1	-	8,4 · 10 ⁵	1,0-1,5

Выводы. 1. Обнаружены необратимые изменения фотоэлектрических свойств тонких пленок CdS под действием ультрафиолетового облучения при комнатной температуре. Показано, что ультрафиолетовое облучение вызывает увеличение концентрации доноров в CdS, а также диффузию междоузельных атомов Cu_i от поверхности в объем CdS.

2. Исследовано влияние электронного облучения с энергией 250 кэВ на вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики светодиодов In_xGa_{1-x}As:Si/GaAs с различной концентрацией дефектов на гетерогранице и в плоскости p-n перехода.

3. Показана существенная структурная неравновесность исследуемой гетеросистемы и установлена корреляция между плотностью дислокаций в ОПЗ p-n перехода и величиной избыточных токов.

4. При $\Phi = 7 \cdot 10^{15}$ эл/см² происходит рост термополевой компоненты обратного тока и уменьшение наклона ее температурной зависимости одновременно с увеличением плотности дислокаций в ОПЗ перехода.

5. Сделан вывод о том, что термополевые токи обусловлены уровнями в запрещенной зоне, созданными наклонными к плоскости перехода дислокациями, в то время как туннельные токи связаны с точечными дефектами, по-видимому, декорирующими дислокации.

Литература

1. Иванов И.И., Петров А.В. Радиационные эффекты в полупроводниках. — М.: Наука, 2018.
2. Smith J., Lee K. UV-induced degradation in optoelectronic devices. *J. Appl. Phys.*, 2020, 128(4): 044501.
3. Захаров В.Н. и др. Электронное облучение и его влияние на свойства GaN. *ФТТ*, 2022, Т. 64, № 2, с. 189–195.
4. Movlonov P.I. Деградация СЭ под действием излучения видимой области спектра и ионизирующей радиации. Электронный научный журнал "Потомки АльФаргани" ISSN2181-4252 Том:1 | Выпуск: 4 | 2024 год
5. CdTe-SiO₂-Si-Al heterostructure photosensitivity control with deep impur levels under external factors. S.Otajono N.Alimov, P.Movlonov, K.Botirov. *Euroasi Journal of Semiconductors Science a Engineering* 2020, №5 С. 22-25

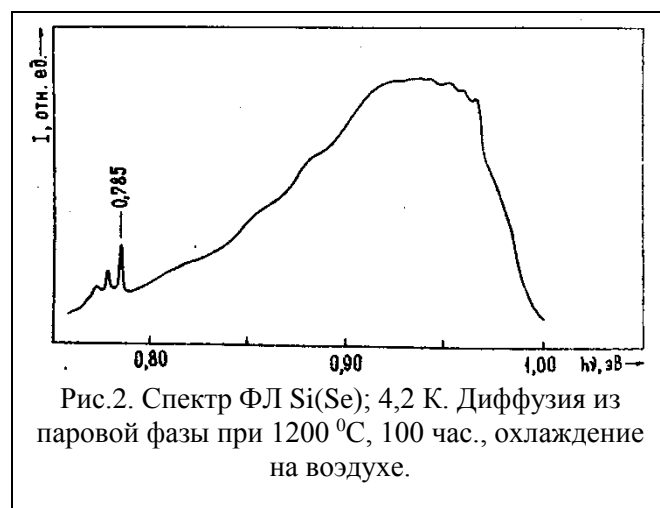
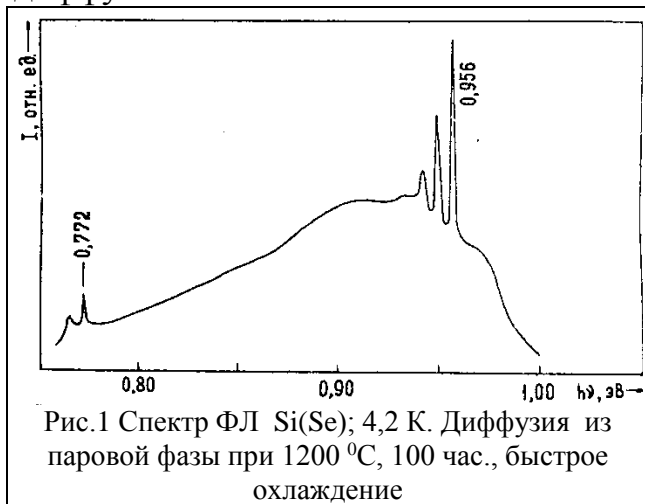
СПЕКТРЫ ФЛ КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО СЕЛЕНОМ.

Султанов Н.А., Мирзажонов З.

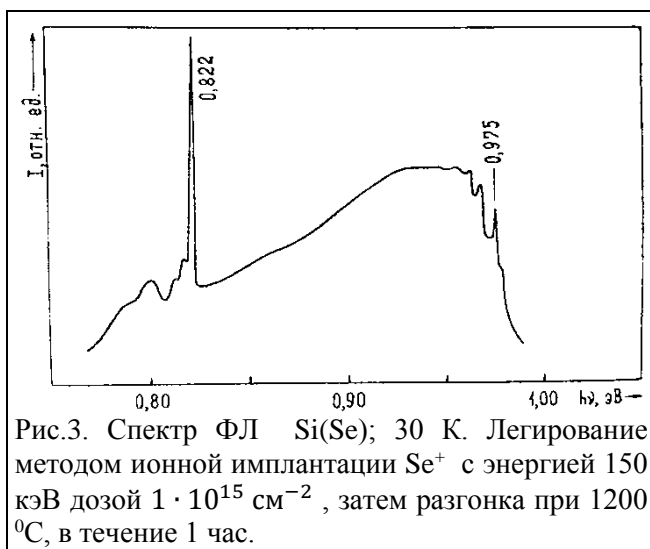
Ферганский Государственный Технический Университет

В начале 70-х годов в литературе практически отсутствовали работы, посвященные фотоэлектрическим свойствам селена в кремнии. Фотопроводимость (ФП) и температурная зависимость коэффициента Холла кремния, легированного селеном исследовались впервые в работе [1]. В последние годы были предприняты интенсивные исследования свойств Si(S) и Si(Se), наибольший вклад в которые внесла серия работ Гримайза с соотрудниками [2-5].

Низкая температура кипения Se (688°C) делает сложным легирование в процессе выращивания монокристалла, но позволяет успешно вводить Se путем диффузии.



Селен в кремнии является двойным донором и образует уровни E-0,51 и E-0,29 (Se^+ и Se^0 соответственно) [1-5]. При высокой концентрации возможно образование ассоциации из 2-х (Se_2) или нескольких (Se_x) атомов. Эти ассоциации имеют энергии ионизации 0.19 и 0.1 эВ, соответственно [6].



Целью данной работы было исследование влияния ГУ селена в кремнии на спектре ФЛ.

Легирование селеном производилось диффузионным методом при $1100-1200^{\circ}\text{C}$ в течение 5-140 часов. Для изготовления фоторезисторов был использован исходный p-Si с удельным сопротивлением $\rho=2 \div 200 \text{ Ом.см}$. После

диффузии селена тип проводимости таких образцов изменялся, а ρ при 300 К было в пределах от 10 до 10^5 Ом.см. в зависимости от режима легирования. Образцы для измерения параметров глубоких уровней с помощью ФЛ из n-Si с относительно небольшой концентрацией электрически активного селена.

Фотолюминесценция (ФЛ) кремния, легированного селеном.

Измерения температурной зависимости ЭДС Холла показали, что концентрация электронов в разных образцах контролируется уровнями $E_c-0,28$ эВ и $E_c - 0,52$ эВ [1-7]

Измерение спектров ФЛ кристаллов кремния проводилось при 4,2 и 77 к (образцы погружались непосредственно в жидкий гелий или азот) [8]. Нами было проведено исследование ФЛ Si легированного селеном. На рис.2,3,4 приведены некоторые спектры ФЛ кремния, легированного селеном. Условия легирования в каждом конкретном случае указаны в подписях под рисунками.

Видно, что в спектрах присутствуют как квазилинейчатые полосы излучения с головными бесфоновыми линиями 0,975; 0,956; 0,785; 0,772 эВ так и электронно-колебательная полоса 0,822 эВ.

Полоса 0,975 эВ наблюдалась нами в спектрах ФЛ Si, диффузионного легированного хромом [8], а о полосе 0,822 эВ сообщалось в работе [9], где она была обнаружена в спектрах ФЛ Si, диффузионно легированного ванадием. Кроме того, полоса 0,822 эВ наблюдалась нами ранее в спектрах ФЛ Si, легированного серой.

В настоящее время говорить о корреляции этих полос с какой – либо конкретной примесью сложно. Нужно дальнейшие экспериментальные исследования. Тем не менее, появление в спектрах ФЛ Si(Se) полос излучения с квазилинейчатой структурой, характерной для полос излучения кремния, легированного переходными элементами, не исключает возможности участия примесей переходных металлов в образовании центров ответственных за полосы 0,975; 0,956; 0,785 и 0,772 эВ.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что Se как переходные металлы [8] в кремнии образуют примесные центры люминесценции. Характерной особенностью спектров ФЛ кремния, содержащего переходные металлы и селен, является наличие электронно-колебательных полос, большинство из которых имеет квазилинейчатую структуру. Полосы обусловлены аннигиляцией экситонов локализованных на глубоких примесных центрах. Кроме того, результаты данной работы указывают на перспективность совместного применения методов ФЛ и DLTS для изучения электронной структуры примесных центров в кремнии, легированном примесями с ГУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Султанов Н.А. Фотоэлектрические свойства кремния с примесью селена ФТП.1974.Т.8.Вып.9.с.1977-1980.
2. Grimmeiss H.G. Skarstam B, Excited stats at deep centers in Si: S and Si:Se//Phys.Rev.B: Condens Mater.1981.Vol.23.N4.p,1947-1960.

3. Grimmeiss H.G., Janzen E., Skarstam B. Electronic properties of selenium-doped silicon//J.Appl. Phys.1980.Vol.51.N7.P.3740-3745.
4. High-resolution studies of sulfur-and selenium-related donor centers in silicon/Janzen E., Stedman R., Grassman G., Grimmiss H.G//Phys.Rev.B1984. Vol.29.N4.P.1907-1918.
5. Chemical identification of deep energy levels in Si:Se/Grimmeiss H.G., Janzen E., Skarstom B., Lodding A.//J.Appl.Phys.1980.Vol.51.N12.P6238-6242.
6. Астрова Е.В., Большаков И.Б., Лебедев А.А., Махно О.А. Фотопроводимость кремния, легированного селеном-ФТП, 1985, т.19, в.5,с.919-922.
7. Лебедев А.А., Экке В. Определение концентрации ГУ в объеме полупроводника из измерений нестационарной емкостной спектроскопии при постоянной емкости,-ФТП,1986, т.20, в.10,с.1806-1810.
8. Л.М. Капитонова, А.А.Лебедев, Н.А. Султанов, Н.С. Минаев, А.В.Мудрый, А.И.Патук/Фотолюминесценция и ёмкостная спектроскопия кремния, легированного переходными элементами. Препринт ФТИ АН СССР,-Л.:1987, N1186,30 с.
9. Conzelmann H.Appl.Phys.,1987,v.A42,N1.p.1-18

La_{2-x}Sr_xCuO₄ KUPRATIDAGI ZARYAD TASHUVCHI MASSASINING LEGIRLASH DARAJASIGA BOG'LIQLIGINI BIPOLARON MODELI ASOSIDA O'RGANISH

S.M. Otajonov, G.G. Saburova, H.J. Ibraimova B.Ya. Yavidov
Ajiniyoz nomidagi Nukus davlat pedagogika instituti, 230105 Nukus, O'zbekiston,
*E-mail: sardorbek.otajonov@ndpi.uz Tel: +99 894 635 98 15

ANNOTATSIYA

Ushbu tezisda LSCO kupratida zaryad tashuvchi massasining Sr miqdori yoki kovaklar miqdoriga bog'liqligi yuqori haroratli o'takuvchanlikning bipolaron modeli asosida o'rganilgan. Legirlanish darajasi (Sr miqdori) ning turli qiymatlarida zaryad tashuvchisi massasi hisoblab chiqilgan. Bunda, LSCO kristal panjarasi anizotropiyasining Sr miqdoriga bog'liqligi inobatga olingan.

Kalit so'zlar: LSCO, o'takuvchanlik, polaron, massa, anizotropiya

Ushbu ishda La_{2-x}Sr_xCuO₄ (LSCO) kupratida zaryad tashuvchilar massasi (m^*) ning legirlash darajasiga (x) bog'liqligi bipolaron modeli asosida nazariy jihatdan o'rganildi. Hisoblashlar o'takuvchanlik kritik harorati (T_c) ni tugunlararo bipolaronlar gazining ideal holatdagi Bose–Eynshteyn kondensatsiya harorati (T_{BEC}) bilan tenglashtirishga asoslanadi ($T_{BEC} = T_c$).[1–3] Bipolaron modeli bo'yicha kupratlarda zaryad tashuvchilar yuqori va o'rta haroratlarda polaronlar shaklida mavjud bo'ladi; harorat pasayganda ular juftlashib tugunlararo bipolaronlarni hosil qiladi. Ushbu bipolaronlar suyuqligi ma'lum haroratda BEK ga

uchraydi va T_c dan past haroratlarda o'tao'tkazuvchan holatiga o'tadi. Bose–Eynshteyn kondensatsiyasi harorati quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$T_{BEC} = 3.31\hbar^2 n^{2/3} / k_B m$$

Bu yerda $m = 2m_{\square}$ — bipolaron massasi, $n = x/(2V_a)$ — bipolaron zichligi. Polaronning 3D mavjud massasi anizotropiya omiliga bog'liq holda quyidagicha aniqlanadi: $m_p = m_{p,ab}^{2/3} \cdot m_{p,c}^{1/3}$, $\gamma_m^2 = m_{p,c} / m_{p,ab}$, yoki: $m_p = \gamma_m^{2/3} \cdot m_{p,ab}$. Har bir legirlash darajasi uchun tajribaviy $T_c(x)$, panjara anizotropiya koeffitsienti (γ_{\square}) va birlik yacheyka hajmi (V_a) tajriba ma'lumotlaridan foydalanildi [4–7].

Jadval 1. LSCO kupuratida Sr konsentratsiyasi (x) bilan polaron massalarining hisoblangan qiymatlari:

x	T_{\square} (K)	γ_{\square}	m_{\square}/m_e	$m_{p,ab}/m_e$
0.07	23.9	80.0	19.9	1.07
0.10	31.6	17.0	19.1	2.89
0.15	37.9	19.0	20.9	2.94
0.20	31.8	18.7	30.3	4.30
0.28	14.3	12.6	84.5	15.6

Natijalardan ko'rinadiki, $m_{\square}(x)$ va $m_{p,ab}(x)$ polaron massalari legirlash darajasi ortishi bilan o'zgaradi: kam legirlangan sohada $m_{\square} \approx 20\text{--}30 m_e$ bo'lsa, optimallashtirilgan sohada $m_{p,ab} \approx 3 m_e$ ga teng bo'ladi va eksperimental ma'lumotlarga [1,2] to'liq mos keladi. Ortiqcha legirlangan sohada massaning o'sishi kuzatilib, Legros va hamkablari [1] aniqlagan siklotron massasi trendini takrorlaydi. Shuningdek, $\gamma_{\square}(x)$ ning legirlashga nisbatan keskin kamayishi va $V_a(x)$ ning deyarli chiziqli kamayishi massalarning gumbazsimon $T_c(x)$ bog'lanishini ko'rsatadi. Bu $T_c - m_{\square}$ o'rtasida teskari bog'lanish ($T_c \propto m_{\square}^{-1}$) borligini tasdiqlaydi. Nazariy hisob-kitoblar Padilla va Legros eksperimentlari [1-2] bilan sifat va miqdor bo'yicha mos kelib, LSCO kupuratida o'tao'tkazuvchanlikning bipolaronik BEK modeli asosida izohlanishini ko'rsatadi. Model boshqa kupuratlar (LCO, YBCO, Hg-asosli) uchun ham tatbiq etilishi mumkin.

Adabiyotlar

- [1] A. Legros va boshq., Phys. Rev. B 106 (2022) 195110.
- [2] W.J. Padilla va boshq., Phys. Rev. B 72 (2005) 060511.
- [3] A.S. Alexandrov, V.V. Kabanov, Phys. Rev. B 59 (1999) 13628.
- [4] P.G. Radaelli va boshq., Phys. Rev. B 49 (1994) 4163.
- [5] M. Suzuki, M. Hikita, Phys. Rev. B 44 (1991) 249.
- [6] T. Kimura va boshq., Physica C 192 (1992) 247.
- [7] T. Shibauchi va boshq., Phys. Rev. Lett. 72 (1994) 2263.

ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ОБЛУЧЕНИЙ НА ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ПЛЕНКИ PbS

Жураева Гулноза Фазлитдиновна

Старший преподаватель

Ферганского государственного технического университета

gulnozajorayeva1984@gmail.com, Tel: 93 270 71 00

Аннотация: В работе исследовано влияние радиационного облучения на фоточувствительные тонкие плёнки PbS. Показано, что облучение приводит к изменению тёмного сопротивления и фоточувствительности вследствие десорбции кислорода и образования радиационно-стимулированных дефектов. Установлена важная роль поверхностных состояний и границ кристаллитов в механизме фотопроводимости плёнок.

Ключевые слова: PbS, фоточувствительные плёнки, радиация, фотопроводимость, поверхностные состояния, кислород, дефекты.

Важная роль адсорбции акцепторных или донорных атомов на поверхности в механизме образования фоточувствительных тонких пленок к настоящему времени является достоверно установленной [1,2]. Однако для многофазных систем, таких как очувствленные пленки PbS, ситуация усложняется из-за наличия нескольких эффективных границ в системе, которые определяют изменение темнового сопротивления ($R_{т0}$) и фотопроводимости [3]. Одним из способов определения роли кислорода при очувствлении пленок PbS является исследования влияния термических и радиационных воздействий на их кинетические параметры.

Нами проведены исследования свойств пленок PbS при радиационной и термической воздействию. Исследуемые образцы условно были разделены на три типа:

- а) Низкоомные фоточувствительные ($R_{т0} < 0,3 \text{ Мом}$, $U_c > 1000 \text{ мкВ}$),
- б) Высокоомные фоточувствительные ($R_{т0} > 0,3 \text{ Мом}$, $U_c > 1000 \text{ мкВ}$),
- в) Неочувствленные, нефоточувствительные (низкоомные).

Исследования проводились подряд в несколько циклов облучения и отжига на воздухе. Наиболее характерные изменения темнового сопротивления (R_T) и фоточувствительности (U_c) для а) серий образцов при облучении электронами и восстановлении на воздухе приведены на рис. 1.

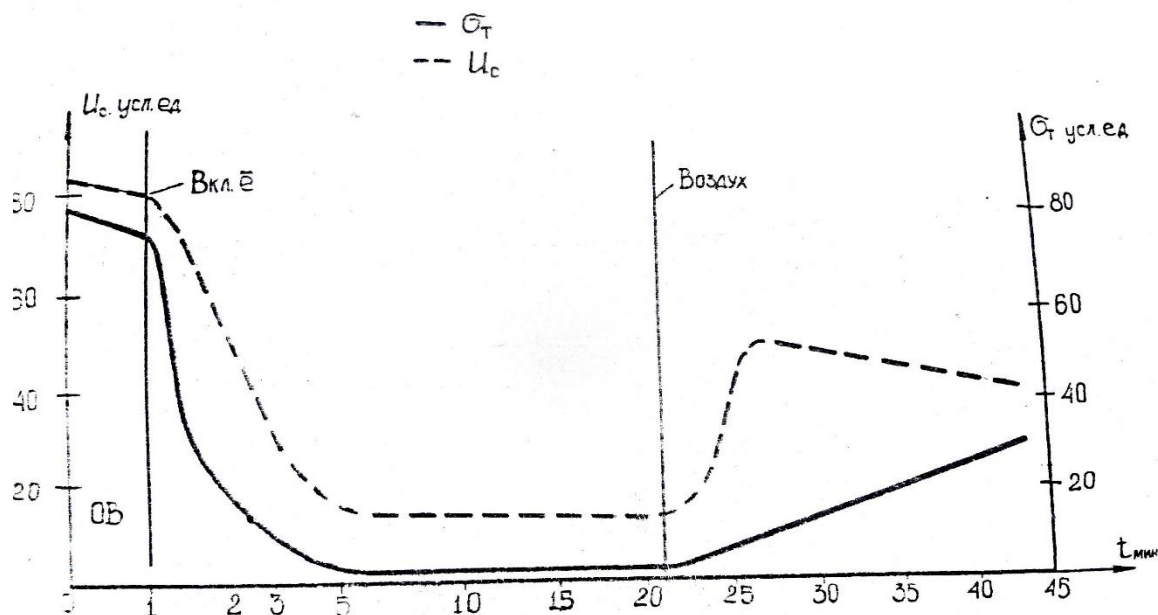


Рис.1. $R_T=0.27\text{Мом}$, $U_C=6400\text{мкв}$. Изменения R_T и U_C при облучении электронами 30кЭВ и отжига на воздухе при комнатной температуре.

Для части образцов а) и б) серий следует отметить эффект значительного снижения (R_T) после облучения по сравнению с первоначальным.

Одним из факторов, подтверждающих преобладающую роль приповерхностного слоя в механизме проводимости, является наличие характерного максимума темнового сопротивления в процессе электронного облучения очувствленных слоев PbS .

На реальной поверхности полупроводника плотность поверхностных состояний существенно (на два-три порядка) меньше чем на атомарно чистой, содержащей уровни Тамма. Поверхностные электронные состояния могут выполнять роль центров рекомбинации и захвата в зависимости от числа носителей, сечения захвата электрона и дырки, концентрации поверхностных состояний, их типа и энергетического положения и др. [4]. Энергетическая структура примесей и дефектов в кристаллитах, а также плотности поверхностных электронных состояний на границах кристаллитов зависят от деталей процесса получения поликристалла. Также как и в монокристаллах, дефекты в кристаллитах играют существенную роль.

В обычных условиях поверхность кристалла всегда покрыта одним или несколькими монослоями адсорбированных атомов и молекул. На поверхности кристалла существуют дефекты структуры: к ним относятся пустые узлы и группа пустых узлов, выходы на поверхность дислокаций, углов мозаичности, микроблочности и др. Всем перечисленным поверхностным дефектам соответствуют локальные поверхностные состояния электронов, энергетические уровни которых, как правило, попадают в запрещенную зону общего энергетического спектра кристалла.

Поверхностные уровни заряжены, так как на поверхности существует обмен носителями между поверхностными электронными состояниями и

зонами. Суммарный заряд поверхностных состояний называется поверхностным зарядом $Q_s=Q_{ss}+Q_{sc}$. Под влиянием внешних воздействий он меняется на $\Delta Q_s=\Delta Q_{ss}+\Delta Q_{sc}$.

При облучении адсорбированные молекулы кислорода выбиваются с поверхности образца в целом и с поверхности кристаллитов, следовательно в результате поверхностный потенциал уменьшается. Измерение темнового сопротивления в процессе облучения для большинства образцов давали характерные колоколообразные кривые с максимумом на промежуточных временах облучения, когда заселенность адсорбированного слоя еще отлична от нуля. Время облучения, при котором сопротивление достигает максимума, определяется интенсивностью электронного пучка и особенностями адсорбирующей поверхности. Дальнейшее облучение приводило к полному обеднению адсорбированного слоя, при этом сопротивление падало примерно до первоначального значения и происходила инверсия типа проводимости.

Передача энергии радиационных излучений решетке происходит через возбуждаемые излучением быстрые электроны, что приведет смещению атомов с образованием точечных дефектов [5]. Наряду с генерацией точечных дефектов действие излучений приводит к радиационно-стимулированной диффузии атомов [6]. Радиационно-стимулированная диффузия является атермическим процессом, и «стимулятором» диффузии является энергия возбуждаемых излучением неравновесных электронно-дырочных пар. Энергия, получаемая атомами примеси, увеличивает вероятность межатомных перескоков, т.е. ускоряет диффузию. В пленках при действии излучения может стимулироваться как диффузия примесей, локализованных в объеме кристаллитов, так и примесей, адсорбированных на границах кристаллитов на что указывает полученные результаты.

Литература

1. Бьюб Р. Фотопроводимость твердых тел. М. ИЛ.1962. 588 с.
2. Неустроев Л.Н., Осипов В.В., Онаркулов К.Э. // Микроэлектроника. 1986. Т.15. № 3. С.244.
3. Азимов С.А., Атакулов Ш.Б. Кинетические явления в поликристаллических пленках халькогенидов свинца и висмута. Т. Фан. 1985.104 с.
4. Атакулов Ш., Онаркулов К.Э., Юсупова Д. Явления переноса в поликристаллических пленках типа PbS. / ФарПИ Илмий техника журналы. № 2. 2000. С.14-17.
5. Вавилов В.С., Кив А.Е., Ниязова О.Р. Механизм образования и миграция дефектов в полупроводниках. М.1981. 164 с.
6. Мамадалимов А.Т., Онаркулов К.Э., Парпиев Т.К. //ФТП. 1996.Т.30. В.4. С.652-655.

YBa₂Cu₃O_{6+x} KUPRATIDA ZARYAD TASHUVCHI MASSASINING LEGIRLASH DARAJASIGA BOG'LIQLIGINI BIPOLARON MODELI ASOSIDA O'RGANISH

S.M. Otajonov, G.G. Saburova, H.J. Ibraimova B.Ya. Yavidov
Ajiniyoz nomidagi Nukus davlat pedagogika instituti, 230105 Nukus, O'zbekiston,
*E-mail: sardorbek.otajonov@ndpi.uz Tel: +99 894 635 98 15

ANNOTATSIYA

Ushbu tezisda YBCO kupratida zaryad tashuvchi massasining Sr miqdori yoki kovaklar miqdoriga bog'liqligi yuqori haroratli o'taotkazuvchanlikning bipolaron modeli asosida o'rganilgan. Legirlanish darajasi (kislorod miqdori) ning turli qiymatlarida zaryad tashuvchisi massasi hisoblab chiqilgan. Bunda, YBCO kristal panjarasi anizotropiyasining kislorod miqdoriga bog'liqligi inobatga olingan.

Kalit so'zlar: YBCO, o'taotkazuvchanlik, polaron, massa, anizotropiya

Ushbu ishda YBa₂Cu₃O_{6+x} (YBCO) kupratida zaryad tashuvchilar massasi (m_{\square}) ning kovak konsentratsiyasi (p) (yoki kislorod miqdori (x)) ga bog'liqligi bipolaron modeli asosida nazariy jihatdan o'rganildi. Hisoblashlar o'taotkazuvchanlik kritik harorati (T_c) ni bipolaronlar gazining ideal Bose–Eynshteyn kondensatsiya harorati (T_{BEC}) bilan tenglashtirishga asoslanadi ($T_c \cong T_{BEC}$) [1–3]. Bipolaron modeli bo'yicha kupratlarda yuqori haroratlarda o'tuvchi zaryad tashuvchilar — polaronlardir. Harorat pasayishi bilan polarolar juftlanib tugunlararo bipolaronlarni hosil qiladi. Ularning kondensatsiyasi natijasida o'taotkazuvchanlik fazasi paydo bo'ladi. Bu model Landau mezonlari asosida o'taotkazuvchanlikning yuzaga kelishini tushuntiradi [1]. Ideal Bose–Eynshteyn kondensatsiyasi harorati quyidagicha ifodalanadi:

$$T_{BEC} = 3.31\hbar^2 n^{2/3} / k_B m$$

Bu yerda m — boson massasi (bipolaron uchun $m = 2m_{\square}$), $n_b = p/(2V_a)$ — bipolaronlar zichligi, \hbar — Plank doimiysi, k_B — Boltsman doimiysi. Shunday qilib, bipolaronlar suyuqligining kondensatsiya harorati o'taotkazuvchanlik kritik haroratiga mos keladi. Polaron massasining anizotropik tabiatini inobatga olgan holda: $m_p = m_{p,ab}^{2/3} \cdot m_{p,c}^{1/3}$, $\gamma_m^2 = m_{p,c}/m_{p,ab}$, yoki: $m_p = \gamma_m^{2/3} \cdot m_{p,ab}$. Bu yerda γ_{\square} — massa anizotropiyasi faktori bo'lib, u doping ortishi bilan keskin kamayadi [4–6]. Yacheyka hajmi (V_a) kislorod konsentratsiyasi oshgani sari biroz kamayadi [7]. Har bir (x yoki p) qiymati uchun tajribaviy T_c , γ_{\square} va V_a ma'lumotlaridan foydalanib, m_{\square} va $m_{p,ab}$ qiymatlari hisoblab chiqildi.

Jadval 1. YBCO kupratida kovak konsentratsiyasi (p) bo'yicha hisoblangan zaryad tashuvchi (polaron) massalari:

x	p	T_c (K)	γ_{\square}	$m_{p,ab}/m_e$
0.40	0.064	19.5	105	1.08
0.48	0.11	62.3	69.1	0.93
0.60	0.126	71.4	35.8	0.80

0.74	0.138	82.1	15.5	1.50
0.85	0.168	94.1	9.1	2.25
1.00	0.25	87.3	3.97	11.4

Jadval natijalari shuni ko'rsatadiki, kovak kontsentratsiyasi (p) ortishi bilan polaron massasi kamayadi, so'ngra ortiqcha legirlangan sohada yana ortadi. Bu xatti-harakat $T_c(p)$ gumbazsimon shakl grafigiga to'liq mos keladi. Tajriba ma'lumotlariga (Padilla [5], Ramshaw [6]) ko'ra, optimallashtirilgan legirlashgan sohada tekislikdagi polaron massasi $m_{p,ab} \approx (2-3)m_e$ ga teng, bu bizning nazariy hisoblar bilan yaxshi mos tushadi. Bu bog'lanish $T_c \propto 1/m_p$ qonuniyatini tasdiqlaydi, ya'ni eng yengil polaronlar eng yuqori o'ta'okazuvchan haroratni beradi. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, bipolaronik model YBCO kupratida zaryad tashuvchilar massasining legirlashga bog'liqligini aniq tavsiflay oladi. Model $T_c(p)$ gumbazsimon bog'lanish shaklini tabiiy tarzda tiklaydi va polaron massasining eksperimental qiymatlari bilan muvofiqligini ko'rsatadi. Ushbu yondashuv LSCO, Hg-based va boshqa kupuratlar uchun ham umumlashtirilishi mumkin [8–10].

Adabiyotlar

- [1] A.S. Alexandrov, Theory of Superconductivity (2003).
- [2] A.S. Alexandrov, V.V. Kabanov, J. Phys.: Condens. Matter 14 (2002) L327.
- [3] Zhang et al., Phys. Rev. Lett. 130 (2023) 236001.
- [4] Chien et al., Physica C 229 (1994) 273.
- [5] Padilla et al., Phys. Rev. B 72 (2005) 060511.
- [6] Ramshaw et al., Science 348 (2015) 317.
- [7] Jorgensen et al., Phys. Rev. B 41 (1990) 1863.
- [8] Wesche, Physical Properties of High-Temperature Superconductors (2015).
- [9] Zegrodnik et al., J. Phys.: Condens. Matter 33 (2021) 415601.
- [10] Alexandrov & Kabanov, Phys. Rev. B 59 (1999) 13628.

ЛЕГИРОВАНИЕ БАЗОВОГО МАТЕРИАЛА CdS ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОПЕРЕХОДА CdS – Cu_{2-x}S

[Мирзажонов Махмуд Ахмадович]
Сатволдиев Иномжон Абдусалимович

Ассистент кафедры Физики

Ферганского государственного технического университета

@INOMJON1985, gift.85@mail.ru, +998901624788

Аннотация: В статье рассмотрена нестабильность параметров солнечных элементов (СЭ) типа Cu_{2-x}S–CdS связана с окислением, изменением фазового состава Cu_{2-x}S, диффузией атомов меди из Cu_{2-x}S в CdS а также распадом пересыщенного твёрдого раствора собственных донорных дефектов в базовом материале CdS [1].

Ключевые слова: солнечных элемент, диффузия, сульфид кадмий, донор, фотоэлемент.

Для снижения составляющей, связанной с окислением, используется герметизация различными покрытиями. А для снижения изменения фазового состава сульфида меди необходимо подобрать стехиометрический состав. Одним из путей снижения скорости диффузии меди в CdS, а также распад твёрдого раствора собственных донорных дефектов в CdS, и следовательно, деградации параметров СЭ, является легирование базового материала донорной примесью. Такими примесями являются доноры замещения – элементы IV (In, Ga) и VII (Cl, Br) группы периодической системы Менделеева, а также, как показали наши исследования, доноры внедрения – междоузельные атомы Au.

Целью настоящей работы является получение и исследование свойств CdS, легированного золотом различной концентрации.

Золото вводилось в суспензию CdS в виде водного раствора золотохлористоводородной кислоты [H(AuCl₄)·4H₂O]. В таблице 1 приведено количество золота и водного раствора [H(AuCl₄)·4H₂O], введенных 100 г порошка сульфида кадмия с целью получения базового материала с концентрацией доноров 10¹⁶ – 10¹⁹ см⁻³.

Таблица 1.

CdS (г)	N _D , Au (см ⁻³)	$\frac{z \cdot \text{атом Au}}{z \cdot \text{моль CdS}}$	Au (г)	[H(AuCl ₄)·4H ₂ O] (мл)
100	10¹⁶	1,66 10⁻⁸	6,5 10⁻⁵	1,3 10⁻¹
100	10¹⁷	1,66 10⁻⁷	6,5 10⁻⁴	1,3
100	10¹⁸	1,66 10⁻⁶	6,5 10⁻³	13

100	10^{19}	$1,66 \cdot 10^{-5}$	$6,5 \cdot 10^{-2}$	130
-----	-----------	----------------------	---------------------	-----

После тщательного перемешивания суспензия высушивалась при температуре 100 – 150°C в течение 2 ч. Порошок затем прессовался в таблетки диаметром 1 см, которые отжигались по обычной технологии изготовления нелегированных таблеток в квазизамкнутом объеме при слабом доступе воздуха.

Введение Au непосредственно в порошок сульфида кадмия обеспечило его равномерную концентрацию по всему объему спрессованной таблетки. Это позволило избежать появления различных профилей, характеризующихся значительными градиентами концентрации донорной примеси в базовом материале CdS . В случаях введения доноров диффузией с поверхности наличие

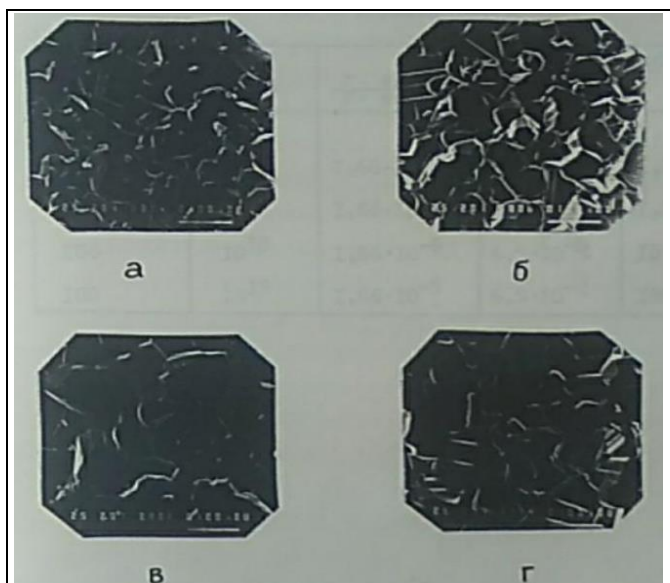


Рис. 1 Микрофотографии таблеток $CdS:Au$ при различных концентрациях золота: а) - 10^{16} ; б) - 10^{17} ; в) - 10^{18} ; г) - 10^{19} ;

таких профилей приводит в дальнейшем в процессе работы СЭ к их размыванию и к нестабильности параметров СЭ. Введения золота способствует также ускорению процесса спекания базового материала CdS , по видимому, вследствие того, что:

- Au не образует летучих соединений, в отличие от Cl :

- Au не реагирует с кислородом воздуха в квазизамкнутом объеме, как например In или Ga , что снижает O_2 в базовом материале СЭ и способствует лучшей его рекристаллизации при спекании (большой размер зерна и большая скорость рекристаллизации (рис.1)).

Большой размер зерна в свою очередь способствует уменьшению общей площади границ зерен, по которым, как правило, происходит образования медных «закороток» и, вследствие этого, ухудшение параметров СЭ;

- Au являясь донором внедрения, он не вытесняет атомы основного вещества при спекании в междоузлия и, таким образом не приводит к образованию дефектов, обуславливающих нестабильность параметров СЭ.

Таким образом, введение золота позволило на режим процесса спекания спрессованных спеченных таблеток сульфида кадмия, изменив его в направлении увеличения стабильности базового материала. После спекания на керамических таблетках создавался гетеропереход по стандартной технологии путем химической обработки таблеток CdS в водном растворе соли одновалентной меди $CuCl$.

Технология изготовления гетеропары $CdS-Cu_2 S$.

Получение тонкопленочного CdS.

Основные методы изготовления гетероперехода в были разработаны при конструировании фотоэлементов. Впервые фотоэлемент с поликристаллическим слоем был изготовлен Карлсоном в 1956 г. В настоящее время для получения слоя применяют осаждение из паровой фазы, метод пульверизации, катодное распыление и спекание [10].

Осаждение из паровой фазы.

Чаще всего термическое испарение в вакууме проводится в открытых системах, в которых тигель и подложка устанавливаются в одном и том же объеме, ограниченном вакуумной камерой. Температура подложки, в процессе испарения, оказывает определяющее влияние на свойства осажденного материала. Оптимальное значение температуры составляет 180-200° С.

Тигель для испаряемого вещества обычно изготавливают из кварца. Испарение чистого CdS проводят при температуре тигля, приблизительно равной 1000° С; испаряемый материал можно загружать в тигель в виде порошка или гранул.

Несовершенство метода испарения в открытом вакууме заключается в загрязнении пленки, что связано с наличием примесей в системе для испарения, а также в необходимости проведения дополнительной рекристаллизации.

Катодное распыление.

В данном случае слои образуются катодным распылением в атмосфере инертного газа. Для этого можно использовать кадмиевый катод и такие газы как H_2 S/Ag или S/Ag. Ионы меди, образующиеся в результате диссоциации во время разряда, взаимодействуют с атомами кадмия на поверхности подложки.

Преимущество этого метода состоит в том, что химический состав получаемой пленки аналогичен составу катода.

Химическое осаждение методом пульверизации.

Метод пульверизации состоит в том, что на нагретую подложку разбрызгивается раствор, содержащий химические элементы, необходимые для получения CdS. Этот метод хорошо подходит для промышленного производства пленок CdS, благодаря его простоте и низкой стоимости. Метод пульверизации позволяет избежать значительных потерь порошка CdS, характерных для термического испарения. Подробное описание этого технологического процесса рассмотрен ниже, поскольку этот метод использовался для получения гетероперехода формирователя сигналов изображения.

Метод спекания.

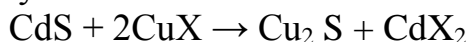
Пленки CdS тонкого типа обычно изготавливают из смеси порошка CdS и $CdCl_2$. Смесь наносят на подложку и затем нагревают до температуры 500-600° С. В процессе нагрева при температуре 568° С CdS начинает растворяться в расплаве $CdCl_2$, который начинает испаряться при 400° С; таким образом наблюдается рекристаллизация. В процессе спекания, сплавление частиц и рекристаллизация происходят при относительно низкой температуре, и образующиеся пленки имеют структуру, близкую к монокристаллической.

Получение слоя сульфида меди.

Известно несколько способов получения слоев: взрывное и квазистанционарное термическое напыление, химическое осаждение из простых многокомпонентных растворов, реакции в твердой фазе, а также электролитическое нанесение.

Перед созданием слоя Cu_2S полезна предварительная обработка поверхности CdS . При травлении в кислотах (например, в HCl) удаляются поверхностные примеси и увеличивается площадь границ зерен.

В настоящее время очень широко используется процесс окунания при получении слоя Cu_2S . При окунании происходит топотаксиальная реакция замещения одного иона кадмия двумя ионами меди в соответствии с формулой:



где символом X обозначен химический элемент который может быть например Cl , Br или I .

Эта реакция обычно осуществляется в водном растворе при температуре $90-100^\circ\text{C}$, некоторые же исследователи предпочитают использовать органический раствор. Недостатком метода является получение пленки Cu_2S , неоднородной по толщине, что происходит из-за высокой подвижности ионов меди.

Вместо окунания, называемого "мокрым" методом иногда применяют "сухой" метод - испарение CuCl . При проведении термообработки после нанесения тонкого слоя CuCl на CdS происходит обмен ионов $\text{Cd}^+ \leftrightarrow 2\text{Cu}^+$.

Этот метод применялся при создании исследуемых образцов ФСИ. Его преимущество - устранение глубокой миграции Cu_2S по границам зерен в слой CdS .

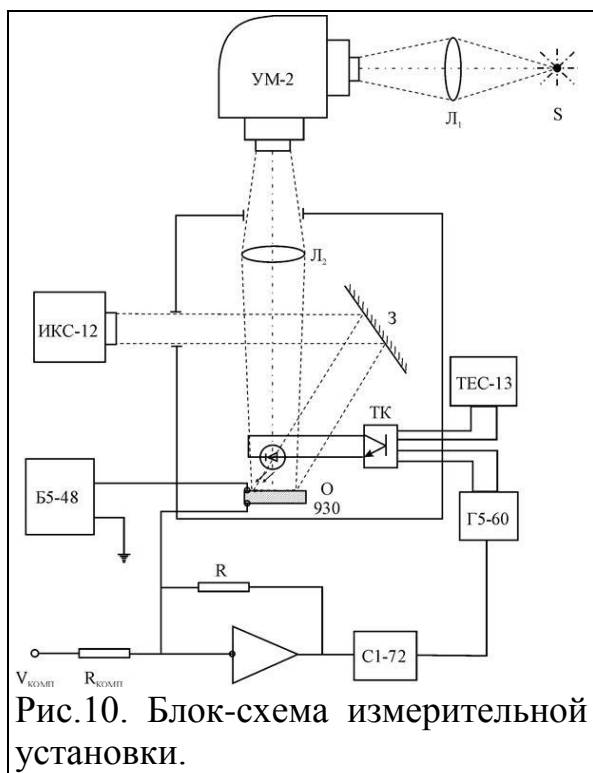
Метод непосредственного испарения Cu_2S или Cu с последующим сульфинированием в бензольном растворе оказался малоэффективным, поскольку при пульверизации происходит значительное окисление Cu_2S , что снижает КПД.

Описание экспериментальной установки.

В настоящей работе рассматривается попытка охарактеризовать ФСИ на основе ГП $\text{CdS-Cu}_2\text{S}$ обладающего, как и фотоматериалы, способностью накопления, с помощью классических сенситометрических характеристик, разработанных для фотографических слоев и рассмотренных в предыдущей главе.

Процессы стирания изображения при облучении ИК-светом изучались на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис.10.

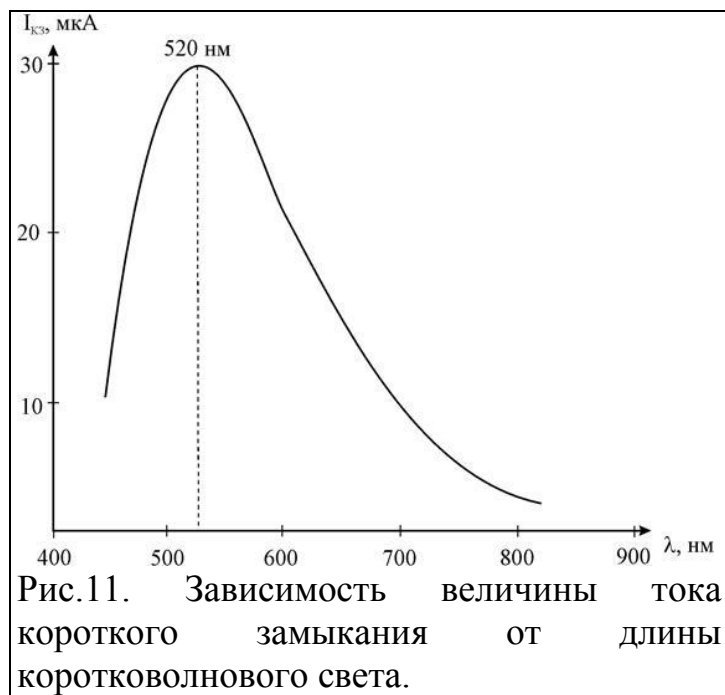
Образец устанавливался в камере, позволяющей изолировать его от попадания постороннего света. Освещение производилось двумя монохроматорами ИКС-12 и УМ-2. Монохроматор ИКС-12 использовался для возбуждения ФСИ в ИК - области спектра, а также для стирания информации. Свет через зеркало 3 поступал на образец.



Монохроматор УМ-2 использовался, в основном, для измерения спектральных зависимостей тока короткого замыкания и сенситометрических характеристик образцов. Свет от лампы S, яркость которой регулировалась через линзу L_1 , направлялся на входную щель монохроматора. С входной щели свет фокусировался линзой L_2 и направлялся на исследуемый образец. Зеркало Z установлено таким образом, чтобы свет от ИК - монохроматора попадал на ту же часть образца, что и свет от монохроматора УМ-2.

Для формирования коротких импульсов ИК-света использовался светодиод АЛ-107 с длиной волны излучаемого света 930 нм. Светодиод через транзисторный ключ (ТК) подключен к генератору Г5-60. Питание ключа осуществлялось от регулируемого источника напряжения ТЭС-13. Отклики на импульсы ИК - света от светодиодов регистрировались осциллографом С1-76, работающим в ждущем режиме и синхронизированном генератором импульсов Г5-60. Смещение на образец подавалось от источника питания Б5-48.

Измерение освещенности образца производилось с помощью люксметра Ю116.



Гетеропереход был включен в вентиляном режиме, т.е. напряжение на него не подавалось. Сигнал тока короткого замыкания усиливался микросхемой К140УД8 и преобразовывался в сигнал напряжения.

Исследование сенситометрических характеристик преобразователя изображения на основе гетероперехода CdS-Cu₂S.

Структура преобразователя оптического изображения в

электрический сигнал была показана на рис.8.

Рассмотрим возможности такой системы применительно к регистрации оптического изображения различного спектрального состава. На рис.11

представлена зависимость величины модуляции тока, генерированного светом с $\lambda=950$ нм от длины волны коротковолновой подсветки.

Видно, что максимальный эффект достигается при $\lambda=520$ нм (край собственного поглощения сульфида кадмия). Более коротковолновый свет сильно поглощается в базовом слое сульфида кадмия, поэтому концентрация фотовозбужденных дырок в окрестностях ОПЗ определяется толщиной слоя сульфида кадмия (W) и диффузионной длиной дырок в этом материале L_p . Если $W \gg L_p$, то ОПЗ достигают не все фотогенерированные дырки, что приводит к уменьшению величины коротковолновой стимуляции.

Резкий спад чувствительности образца в коротковолновой области спектра обусловлен тем, что генерированные носители заряда рекомбинируют в объеме слоя сульфида кадмия, не успевая достигнуть области пространственного заряда, т.е. происходит поглощение света в поверхностном слое сульфида кадмия.

Спад чувствительности в длинноволновой области говорит об уменьшении коэффициента поглощения световых квантов в слое сульфида кадмия, а более плавный наклон кривой спектральной зависимости чувствительности ФСИ на основе гетероперехода CdS-Cu₂S о наличии примесных центров в сульфиде кадмия, участвующих в процессах генерации носителей тока.

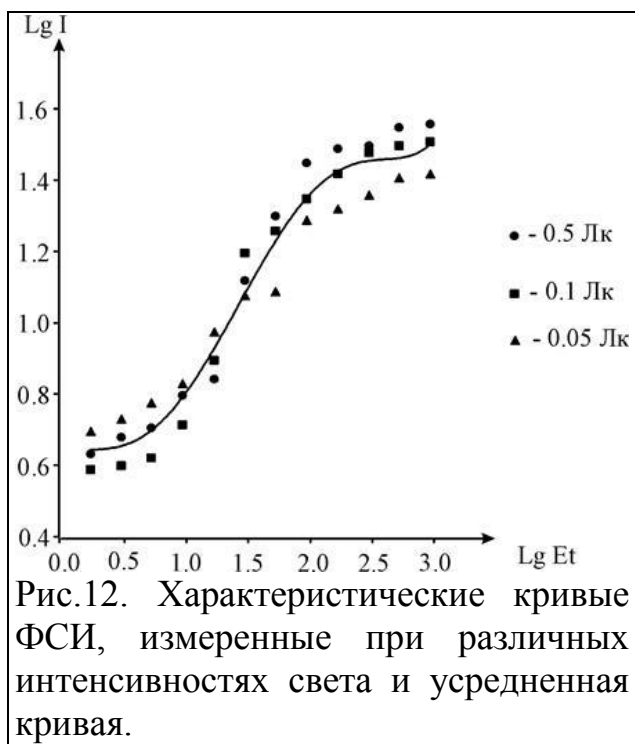
Для увеличения чувствительности следует либо уменьшить толщину базового слоя (что на практике приводит к резкому ухудшению свойств гетероперехода), либо создавать оптическое изображение со стороны тонкого слоя сульфида меди.

Таким образом, прибор может работать во всей области видимого спектра, хотя и с разной чувствительностью. Это позволяет получить три цветоотделенных изображения в основных цветах и тем самым сформировать цветной видеосигнал.

Так как в данном устройстве считывание изображения производится не электронным лучом, а ИК - светом, то для него не требуется вакуум и высокое напряжение, применяемые для формирования электронного луча. Максимальная разрешающая способность устройства определяется дифракционным пределом фокусировки светового пятна, при помощи которого происходит считывание изображения, и составляет приблизительно 1 мкм.

Спектральное распределение тока короткого замыкания позволяет охарактеризовать формирователь сигналов изображения на основе гетероперехода CdS-Cu₂S как зеленочувствительный по общепринятой классификации для фотографических слоев. Следовательно, запись оптической информации наиболее эффективна при длинах волн около 520 нм.

Для исследования сенситометрических характеристик ФСИ была измерена и построена характеристическая кривая (рис.12). Аналогом оптической плотности D в данном случае служил десятичный логарифм тока короткого замыкания, генерированного преобразователем.



Обычно для построения характеристической кривой фотографических слоев, их облучают серией возрастающих экспозиций и затем по данным измерения проявленных почернении строят зависимость D от H .

Для измерения характеристической кривой образца CdS-Cu₂S был применен несколько другой способ, заключающийся в следующем. ФСИ непрерывно освещался светом с длиной волны $\lambda = 520$ нм. В процессе засветки в слое сульфида кадмия накапливаются неравновесные дырки, которые захватываются на некоторые локальные центры, что приводит к

увеличению тока короткого замыкания. Возрастание $I_{кз}$ со временем при определенной величине интенсивности света с $\lambda = 520$ нм, регистрировалось на экране осциллографа. При этом в качестве считывающего света использовался ИК - светодиод, работающий в импульсном режиме. Импульсы частотой 5 мс позволяли измерять изменение тока в образце без заметного эффекта стирания. При измерениях использовался закрытый вход осциллографа, что позволяло наблюдать реакцию ФСИ непосредственно на импульс без постоянной составляющей.

Для подтверждения применимости данного метода были измерены характеристические кривые при интенсивностях возбуждающего света: 0,05 лк, 0,1 лк, 0,5 лк. Как видно из рис.12, семейство кривых достаточно хорошо повторяет один и тот же профиль. Это говорит о том, что образец обладает свойством интегральности и по отношению к нему применимо понятие экспозиции. Из усредненной характеристической кривой (рис.12) были определены основные сенситометрические характеристики ФСИ на основе гетероперехода CdS-Cu₂S. К ним относятся: коэффициент контрастности g , равный тангенсу угла наклона прямолинейного участка, который оказался равным $g=0.55$, фоточувствительность S , определяемая в единицах ГОСТа и оказавшаяся равной примерно 16 ед. ГОСТа.

ВЫВОДЫ

Преобразователь оптического изображения в электрические сигналы на основе гетероперехода CdS-Cu₂S может быть использован для регистрации слабых оптических изображений с последующей записью их элементов в память ЭВМ с возможной коррекцией фоточувствительности. Так как в данном устройстве считывание изображения производится ИК - светом, то для него не требуется вакуум и высокое напряжение. Благодаря возможности

изготовления преобразователя большой площади и его высокой чувствительности - вероятной областью применения такого устройства может быть регистрация изображений, создаваемых крупными телескопами при астрономических наблюдениях.

ФСИ на основе гетероперехода CdS–Cu₂S можно охарактеризовать с помощью классических сенситометрических характеристик, разработанных для фотографических слоев.

Спектральное распределение светочувствительности позволяет охарактеризовать формирователь сигналов изображения на основе ГП CdS–Cu₂S как зеленочувствительный по общепринятой классификации для фотографических слоев с коэффициентом контрастности $g = 0,55$ и фоточувствительностью 16 единиц ГОСТа.

Рассчитанная на компьютере математическая модель характеристической кривой довольно точно повторяет экспериментальные данные, что говорит о пригодности ее для описания подобных характеристик любых ФСИ на основе гетероперехода CdS–Cu₂S, если известны параметры гетероперехода $S_f, m_n, e, d, N_d, I_{кз}^0$ и W_0 .

ЛИТЕРАТУРА.

1. (Разыков Т.М., Электронномикронный анализ и деградация фотопреобразователей Cu₂-xS – CdS. ., 1980,)
2. Торчинская Т.В., Мирзажанов М.А. Анализ элементарных механизмов деградации гетеропреобразователей типа **Cu₂S – CdS**. Experimentelle Technik der Physik. 1984, v.32, №2, pp. 175 – 181.
3. Шарма Б.Л., Пурохит Р.К., Полупроводниковые гетеропереходы. //М.: Мир, 1979.
4. Зи С., Физика полупроводниковых приборов. //М.:Мир,1984.
5. Виноградов М.С., Туннельно-рекомбинационные процессы в гетеропереходе сульфид кадмия - сульфид меди. //Дис. ... канд. физ.-мат. наук. - Одесса, 1986.
6. Чопра К., Дас С.,Тонкопленочные солнечные элементы. //М.- Мир, 1986.
7. Борщак В.А., Влияние дефектов области пространственного заряда на явления переноса в CdS-Cu₂S фотопреобразователях. //Дис. ... канд. физ.-мат. наук, Одесса,1991.
8. Борщак В.А., Василевский Д.Л., Токоперенос по локализованным состояниям в неидеальных гетероструктурах. //Оптоэлектроника и полупроводниковая техника.-1990. Вып. 17.
9. Василевский Д.Л., Борщак В.А., Сердюк В. В., Влияние туннельно-рекомбинационного токопереноса на ЭДС холостого хода гетерофотоэлементов. // Фотоэлектроника.-1991. Вып.4.
10. Виноградов М.С, Борщак В.А., Василевский Д.Л., Туннельный механизм потерь в гетерофотоэлементах. //Электронная техника.-Сер.2: Полупроводниковые приборы.-1987.-Вып. 1(186).
11. Василевский Д.Л., Фотоэлектрические свойства неидеальных гетеропереходов. //Фотоэлектроника.-1988. Вып.2.

12. Савелли М., Бугнот Дж. Проблемы создания фотоэлементов на основе CdS-Cu₂S. //Преобразование солнечной энергии. - М.: Энергоиздат, 1982.
13. Чибисов К.В. Общая фотография. //М.: Искусство, 1984.
14. Баранский П.И., Клочков В.П., Потыкевич И.В. Полупроводниковая электроника: свойства материалов. //Киев: Наукова думка, 1975.
15. Василевский Д.Л., Вайтош Р., Нанаи Л., Перспективность CdS-Cu₂S фотопреобразователей при больших уровнях возбуждения. //Фотоэлектроника.-1990. Вып.3.

CdSe POLIKRISTALL YUPQA PLYONKALARNING OPTIK XUSUSIYATLARI

V.T.Mirzayev

Farg'ona davlat texnika universiteti, O'zbekiston. valijon.mirzayev@bk.ru

Аннотация. В данной статье представлены оптические свойства тонких пленок CdSe, нанесенных на стеклянные подложки методом термического испарения в вакууме. Структурные исследования методом РФА показали, что пленки имеют поликристаллическую и гексагональную кристаллическую структуру. Значения некоторых важных параметров исследуемых пленок (коэффициент поглощения, энергия оптической полосы и показатель преломления) определяются по спектрам пропускания. Значения энергии оптической запрещенной зоны, рассчитанные по спектрам поглощения, составляли, например, от 1,65 до 1,75 эВ. Дисперсия показателя преломления объяснялась с помощью модели осциллятора.

Ключевые слова: тонкие пленки CdSe, модель осциллятора, термическое испарение, оптические свойства, метод РФА, коэффициент поглощения, энергия оптической полосы, показатель преломления

Abstract. This paper presents the optical properties of CdSe thin films deposited on glass substrates by thermal evaporation under vacuum. Structural studies using the XRD technique showed that the films have a polycrystalline and hexagonal crystal structure. The values of some important parameters of the investigated films (absorption coefficient, optical band energy and refractive index) are determined from the transmission spectra. The values of the optical bandgap energy calculated from the absorption spectra were, for example, between 1.65 and 1.75 eV. The dispersion of the refractive index was explained using the oscillator model.

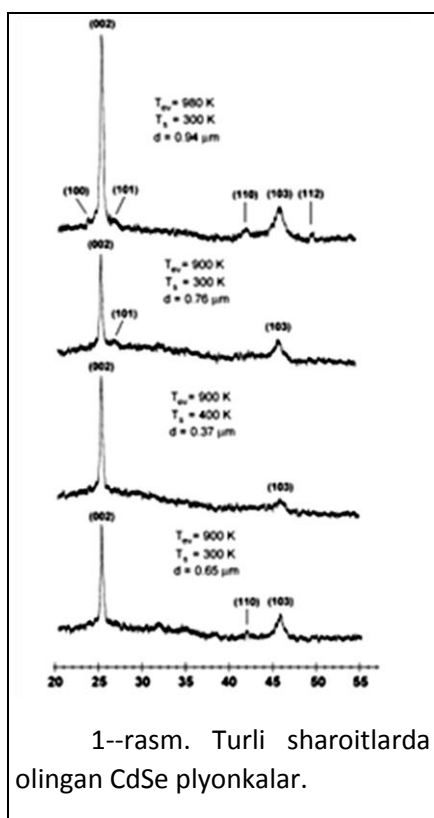
Keywords: CdSe thin films, oscillator model, thermal evaporation, optical properties, XRD technique, absorption coefficient, optical band energy, refractive index

Аннотация. Ushbu maqolada shisha tagliklarga vakuum ostida termal bug'lanish orqali yotqizilgan CdSe yupqa plyonkalarining optik xususiyatlari keltirilgan. XRD texnikasi yordamida olib borilgan strukturaviy tadqiqotlar plyonkalar polikristal va olti burchakli kristall tuzilishga ega ekanligini ko'rsatdi.

O'rganilayotgan plyonkalarining ba'zi muhim parametrlarining qiymatlari (yutilish koeffitsienti, optik tarmoqli energiya va sinishi indeksi) uzatish spektrlaridan aniqlanadi. Yutish spektrlari bo'yicha hisoblangan optik tarmoqli energiyaning qiymatlari, masalan, 1,65 va 1,75 eV oralig'ida bo'lgan. Sinishi indeksining tarqalishi osilator modeli yordamida tushuntirildi.

Kalit so'zlar: CdSe yupqa plyonkalar, osilator modeli, termal bug'lanish, optik xususiyatlar, XRD texnikasi, yutilish koeffitsienti, optik tarmoqli energiya, sinishi indeksi.

Rentgen nurlarining diffraksiya naqshlari (1-rasm) o'rganilayotgan plyonkalar

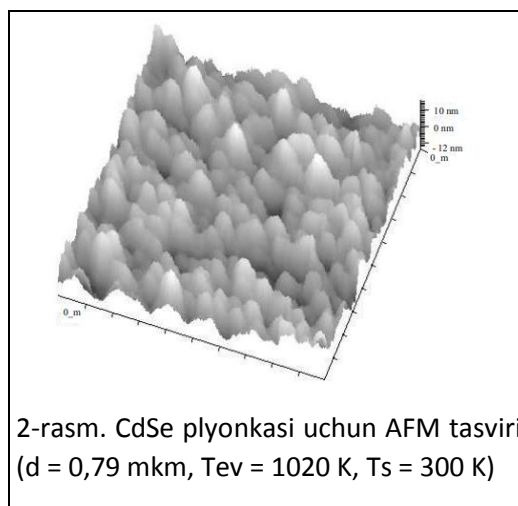


polikristalli va olti burchakli tuzilishga ega ekanligini ko'rsatadi. Plyonkalr substratga parallel bo'lgan (002) tekisliklari bilan yuqori darajada yo'naltirilgan. Bizning tadqiqotlarimiz kristallit hajmi 20 dan 100 nm gacha bo'lganligini ko'rsatdi [4].

(2-rasm)da tadqiqot namunalari uchun xos bo'lgan AFM tasviri taqdim etilgan. Plyonka yuzasining panjarasi kichik (RMS taxminan 3-6 nm). Kristallitlarning o'rtacha hajmi substrat harorati va bug'lanish manbasining harorati ortishi bilan ortib borishi aniqlandi. Issiqlik bilan ishlov berish (plyonkarni 200 ° C da yumshatish, 30 daqiqa davomida) plyonka yotqizilgandan so'ng amalga oshirilgan, kristallit hajmining kattalashishini ham aniqlaydi.

3-rasmda tekshirilayotgan plyonkalar uchun tipik uzatish spektrlari ko'rsatilgan.

Plyonka yuzalarida ko'p ko'zgular tufayli interferentsiyaning maksimal va minimallari kuzatilishi mumkin. Bu filmlar yaxshi tekislik yuzasiga ega ekanligini ko'rsatadigan AFM tadqiqotlariga mos keladi. Juda qo'pol sirt bir nechta aks ettirish tufayli shovqinni yo'q qiladi. Issiqlik bilan ishlov berilgan namunalar uchun o'tkazuvchanlik koeffitsienti issiqlik bilan ishlov berishdan oldin kattaroqdir. Bu fakt issiqlik bilan ishlov berilgan namunalar uchun kuzatilgan kristallit hajmining oshishi bilan bog'liq. Plyonkalarining optik parametrlari



(yutilish koeffitsienti va sinishi indeksi) Swanepoel usuli yordamida uzatish spektrlaridan hisoblab chiqilgan [5]. Kino-substrat tizimining o'tkazuvchanligi tizimning interfeyslarida bir nechta aks ettirish natijasida yuzaga keladigan shovqinlarni hisobga olgan holda, quyidagi ifoda bilan aniqlanadi.

$$T = \frac{A\tau}{B - C\tau \cos\varphi + D\tau^2} \quad (1)$$

bu yerda

$$\begin{aligned} A &= 16n^2n_s & D &= (n - 1)^3(n - n_s^2) \\ B &= (n + 1)^3(n + n_s^2) & \varphi &= \frac{4\pi nd}{\lambda} \\ C &= 2(n^2 - 1)(n^2 - n_s^2) & \tau &= \exp(-\alpha d) \end{aligned} \quad (2)$$

d-plyonkaning qalinligi.

n-Sindirish ko'rsatkichi, α –plyonkaning yutilish koeffitsienti, λ -to'lqin uzunligiga bog'liq,

Substratning sinishi indeksi, $n_s = 1,500$ substrat sifatida ishlatiladigan shisha slaydlarning uzatish spektrlari bo'yicha aniqlandi. Interferentsiya chekkalari $\cos\varphi = \pm 1$ yoki bo'lganda olinadi.

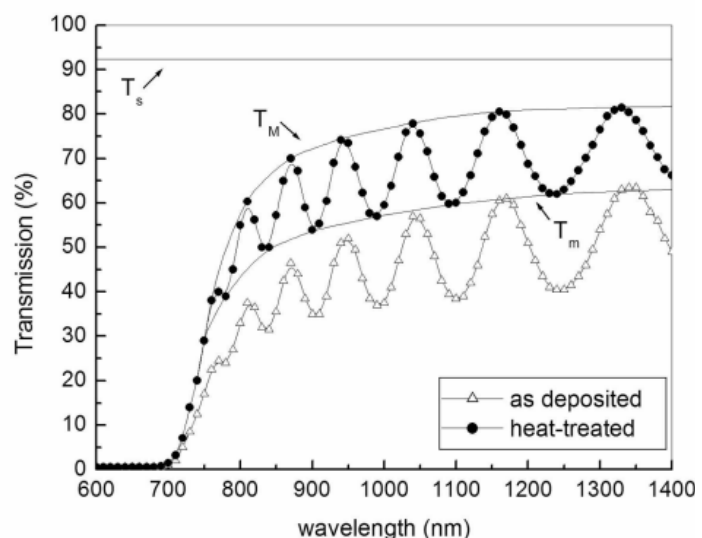
$$2nd = m\lambda \quad (3)$$

bu yerda m yuqorilar uchun butun son va pastlar uchun yarim butun son. Maksimal va minimallar uchun quyidagi formulalar bilan berilgan. [5]

$$T_M = \frac{A\tau}{B - C\tau + D\tau^2}, \quad T_m = \frac{A\tau}{B + C\tau + D\tau^2} \quad (4)$$

Ushbu qiymatlarni topish (3-rasmga qarang) kompyuterda (4) tenglamalarni yechish orqali sinishi indeksi va yutilish koeffitsientining to'lqin uzunligiga bog'liqligini aniqlash imkoniyatini beradi.

Issiqlik bilan ishlov berishdan keyin assimilyatsiya koeffitsienti kamayishi aniqlandi. Asosiy yutilish chegarasidan yuqorida yutish koeffitsientining tushayotgan foton energiyasiga bog'liqligi ruxsat etilgan to'g'ridan-to'g'ri o'tishlar bilan aniqlanadi.

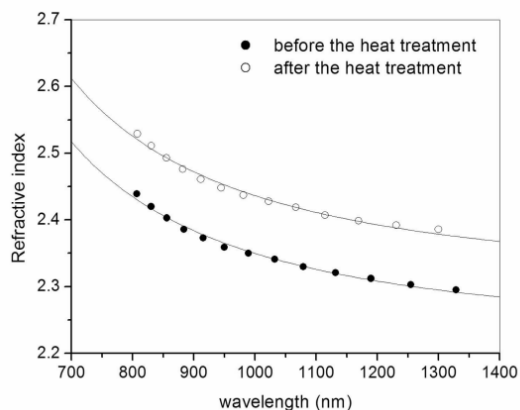


3-rasm. O'tkazuvchanlik spektrlari termok ishlov berishdan oldin va keying egrilikning minimum (T_m) va maksimumlari (T_M) ($d = 1,6$

Optik tarmoqli energiyaning qiymatlari, masalan E_g (1,65-1,75 eV) (I-jadval) [6,7] yutilish spektrlari bo'yicha aniqlangan CdSe uchun ko'rsatilgan qiymatlarga o'xshashdir [1].

Asosiy yutilish chetidan pastda yutilish koeffitsientida quyruqni kuzatish mumkin, bu polikristalli yarim o'tkazgichlar haqidagi ko'pgina optik ma'lumotlarga xos xususiyatdir [8]. Yutish spektrlarining dumi doimiy, to'lqin uzunligiga bog'liq bo'lmagan qismga va eksponent qismiga ajralishi mumkin, bu asosan don chegaralarida mavjud bo'lgan struktura buzilishi bilan belgilanadi.

Swanepoel usuli yordamida hisoblangan sinishi indeksi to'lqin uzunligi funksiyasi sifatida 4-rasmda keltirilgan. Ushbu nuqtalar sinishi indeksining hisoblangan qiymatlarini ifodalaydi. Issiqlik bilan ishlov berishdan keyin sinishi indeksining ortishi aniqlandi, ehtimol, issiqlik bilan ishlov berishdan so'ng, kristallit hajmining oshishi bilan bir vaqtda plyonkalarining ixchamligi oshishi bilan bog'liq. Sinishi indeksining dispersiyasi normaldir va u bitta osilator modeli bilan yaxshi tasvirlangan. 4-rasmda chiziqlar Vemple va Di-Domeniko tomonidan taklif qilingan shaklda yagona osilator modelidan foydalangan holda eksperimental nuqtalarni moslashtirishni ifodalaydi.



4-rasm. Issiqlik bilan ishlov berishning

$$n^2 = 1 + E_d E_0 / [E_0^2 - (hv)^2] \quad (5)$$

Bu yerda E_0 - yagona osilator energiyasi, E_d - dispersiya energiyasi va hv - foton energiyasi. Ushbu parametrlarning qiymatlari I-jadvalda jamlangan. Yagona osilator energiyasining qiymati tarmoqli oralig'i energiyasidan taxminan ikki marta $E_0 \approx 2E_g$. Yagona kristallar uchun dispersiya parametri $E_d = 20,6$ ekanligi hisoblangan [9], polikristalli yupqa plyonkalarimiz uchun esa kichikroq qiymat topdik. Dispersiya parametrining qiymatlari substrat harorati bilan, shuningdek issiqlik bilan ishlov berishdan keyin ortib bormoqda.

T_s (K)	d (μm)	E_g (eV)	E_0 (eV)	E_0/E_g	E_d (eV)
300	0.72	1.730	3.536	2.04	15.97
300	0.96	1.740	3.468	1.99	14.89
300	1.21	1.672	3.391	2.03	13.47
300*	0.96	1.710	3.501	2.05	16.03
400*	0.77	1.726	3.584	2.08	16.34
500	1.73	1.668	3.476	2.08	14.97

Liadval: CdSe yuqqa plyonka namunalariining optik parametrlari

*- issiqlik bilan ishlov berilgan namunalalar

Polikristalli CdSe yuqqa plyonkalar kvazi-yopiq hajmli texnikadan foydalangan holda tayyorlangan. Plyonkalarining tuzilishi pastki qatlamga parallel ravishda olti burchakli (002) tekisliklari bo'lgan nozik va yuqori yo'naltirilgan donalardan iborat. Substrat harorati va bug'lanish manbasining harorati oshirilganda kristallitlar hajmi ortadi. O'tkazish spektrlariga cho'kish sharoitlari kuchli ta'sir ko'rsatadi. Issiqlik bilan ishlov berishdan keyin yuqori o'tkazuvchanlik koeffitsienti kuzatiladi. Absorbsion spektrlardan 1,65 - 1,75 eV to'g'ridan-to'g'ri optik tarmoqli bo'shlig'i topildi. Yutish spektrlarining dumlari asosan don chegaralarida mavjud bo'lgan struktura buzilishi bilan belgilanadi. Sinishi indeksining dispersiyasi normaldir va u bitta osilator modeli bilan yaxshi tasvirlangan.

Foydalanilgan adabiyotlar

- [1]. Мирзаев, В. Т., Рuzиматова, Б. С., Мадрахимов, М. М., & Ахмаджонов, М. Ф. (2019). Магнитооптические свойства редкоземельных (РЗ)-ионов в парамагнитных гранатах. In *Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации* (pp. 34-36).
- [2]. Полвонов, Б. З., Насиров, М., Мирзаев, В., & Расулов, В. Р. (2019). Исследование низкотемпературной фотолюминесценции кристаллов в области экситонного резонанса. In *Наука России: цели и задачи* (pp. 8-11).
- [3]. Юлдашев, Н. Х., Ахмаджонов, М. Ф., Мирзаев, В. Т., & Нурматов, О. Р. У. (2019). Фотоэлектретные пленки CdTe: Ag и Sb₂Se₃ при собственном и примесном поглощении света. *Евразийский Союз Ученых*, (3-4 (60)), 72-78.
- [4]. Полвонов, Б. З., Насиров, М., Мирзаев, В., & Разиков, Ж. (2019). Диагностика полупроводниковых материалов методом поляритонной люминесценции. In *General question of world science* (pp. 39-42).
- [5]. Полвонов, Б. З., & Насиров, М. (2018). Температурное исследование спектральной зависимости фототока короткого замыкания пленок. Редакционная коллегия, 60.
- [6]. Tolaboyev, D. X. O. G. L., Mirzayev, V. T. L., Axmadjonov, M. F., Abdullayev, S. S. O. G. L., & Raximjonov, J. S. O. G. L. (2022).

Yarimo'tkazgichlarda ichki nuqtaviy nuqsonlarining termodinamikasi. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 2(4), 231-240.

- [7]. Султанов, Н. А., Рахимов, Э. Т., Мирзажонов, З., & Мирзаев, В. Т. (2019). Влияние ориентационной деформации на глубокие уровни примесей и радиационных дефектов в кремнии. *Евразийский союз ученых (ЕСУ)*, 46.
- [8]. Zaylobidinovich, P. B., Mardon, N., Valijon, M., & Jurabek, R. (2018). Spectrum of the short circuit photo current of cdte, cdte: inphotololatic films depending on the temperature. *European science review*, 1(11-12), 108-110.
- [9]. Расулов, Р., Мирзаев, В., & Тиллабоева, М. (2009). К теории поверхностного фотогальванического эффекта в полубесконечном многодолинном полупроводнике. *Естественные и технические науки*, (3), 51-52.

KUMUSH BILAN LEGIRLANGAN NANOKRISTALLI CdTe-SiO₂-Si GETROSTRUKTURALARINING FOTOELEKTRIK XUSUSIYATLARI VA STRUKTURA BOG'LIQLIGI

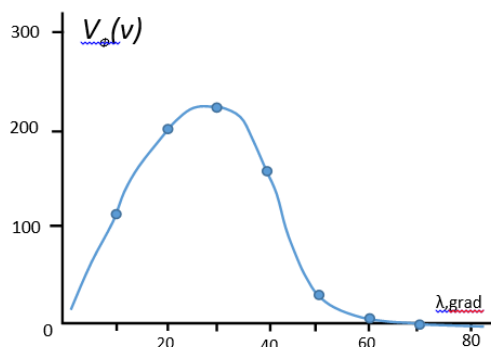
Abdullayev Sherzod Shuxratjon o'g'li

Anatatsiya. Nanokristalli CdTe yupqa qatlamlarning fotoelektrik jarayonlarda samaradorligini ta'minlash uchun ularning kristall strukturasi o'rganilishi muhim ahamiyatga ega. Bu qatlamlar substratga bog'liq holda turli fazaviy o'zgarishlar, tekstura va dopantlarning ta'siri ostida turlicha fotoelektrik xususiyatlarni namoyon qiladi. Ushbu maqolada SiO₂-Si substratida o'stirilgan kumush (Ag) bilan legirlangan nanokristalli CdTe plyonkalarining struktura tabiatining ularning fotoelektrik xususiyatlariga ta'siri chuqur ko'rib chiqiladi.

Kalit so'zlar: yupqa qatlamlar, tekstura, foto-EYuK, fotookuvchanlik, kubik va geksagonal modifikatsiyalar, kadmiy telluride

Materiallar va metodlar

Tadqiqotda yuqori vakuum sharoitida oblique-nishonlama usuli yordamida CdTe plyonkalar o'stirildi. Substrat harorati 250–300 °C orasida ushlab turildi. Plyonkalar qalinligi interferensiya mikroskopiyasi bilan, struktura esa X-zurlash metodikasi yordamida tahlil qilindi. Fotoelektrik xususiyatlar maxsus spektrofotometr yordamida monoxromatik nur ostida o'rganildi.



1-rasm: Foto-EMFning CdTe plyonkalarining cho'kish burchagiga bog'liqligi ($d=0,26-0,30$ mkm, $v=0,40-0,46$ nm/s).

Natijalar. SiO₂-Si substratida o'stirilgan Ag doplangan CdTe plyonkalarida kubik modifikatsiya va tekstura o'qining [III] yo'nalishda bo'lishi aniqlangan. Shu bilan birga, shisha substratlarda ko'p miqdorda yuzaki va ikki o'lchamli nuqsonlar tufayli kubik va geksagonal fazalar aralashmasi aniqlangan.

Fotoelektromotor kuch (foto-EMF) maksimal qiymati 30° burchakda qayd etildi. Tekstura o'qining burchakdagi og'ishi va fazalar tarkibi fotoelektrik samaradorlikni sezilarli o'zgartira. Eksperiment natijalari Ag dopantining nanokristalli CdTe plyonkalarining kristallografik teksturasi bilan fotoelektrik xususiyatlari o'rtasidagi yaqin bog'liqlikni ko'rsatdi. Kumush atomlarining kiritilishi yangi impuls zanjirlarini hosil qilib, plyonkalar samaradorligini orttiradi. Bundan tashqari, dopant va substrat o'zaro ta'siri plyonkalar morfologiyasi va strukturaviy xususiyatlariga ham ta'sir qiladi, bu esa uzoq muddatli ishlashga ijobiy ta'sir ko'rsatadi.

Xulosa: Tadqiqotdan ko'rish mumkinki, kumush bilan legirlangan nanokristalli CdTe-SiO₂-Si plyonkalarining kristall strukturasi o'zi ularning optik va fotoelektrik xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. To'g'ri tanlangan substrat va dopant turlari yuqori sifatli optoelektron qurilmalarning yangi avlodini yaratishga imkon beradi.

Adabiyotlar

[1] Gaubas, E., Ceponis, T., Dobrovolskas, D., Mickevičius, J., Pavlov, J., Otajonov, S. M., & Alimov, N. (2018). Investigation of polycrystalline CdTe films by contact and noncontact pulsed photoionization spectroscopy. *Thin Solid Films*, 660, 231–235. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2018.06.012>

[2] Zhang, Y., Qi, R., Huang, R., Tan, H., Wang, J., & Chu, J. (2018). Highly sensitive CdTe phototransistor with extended spectral response up to 1.65 μm . *Journal of Materials Chemistry A*, 6(12), 4883–5230.

[3] Sh.Utamurodova, Sh.Daliev, S.Muzafarova, Q.Fayzullaev, (2023). Effect of the Diffusion of Copper Atoms in Polycrystalline CdTe Films Doped with Pb Atoms. *East European Journal of Physics*. 385-390. 10.26565/2312-4334-2023-3-41.

[4] Liu N, Yang P. Photoluminescence properties of hybrid SiO₂-coated CdTe/CdSe quantum dots. *Luminescence*. 2014y. Sep;29(6):566-72. doi: 10.1002/bio.2581. PMID: 25337614.

[5] Gómez, H., Henríquez, R., Schrebler, R., Riveros, G., Leinen, D., Ramos-Barrado, J. R., & Dalchiele, E. A. (2004y.). A soft-solution electrochemical processing technique for preparing CdTe/n-Si (1 0 0) heterostructures. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 574(1), 113-122.

[6] Li, Z., Zhai, L., Zhang, Q. et al. 1T'-transition metal dichalcogenide monolayers stabilized on 4H-Au nanowires for ultrasensitive SERS detection. *Nat. Mater.* 23, 1355–1362 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41563-024-01860-w>

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ И БАРЬЕРНЫХ СЛОЕВ НА ПОВЕРХНОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР

^{1,2}Умирзаков Б.Е., ^{1,2}Исаханов З.А., ²Мустафаева Н.М., ¹Махмудов М.М.
¹ИИПиЛТ АН РУз, 100125, Ташкент. Тел:+998935651089, E-mail:za.isakhanov@gmail.com

²ТГТУ, 100095, Ташкент, ул. Университетская 2. E-mail: ftmet@rambler.ru

Аннотация: Исследовались механизмы формирования омических контактов и барьерных слоев, сформированных на поверхности тонких, массивных многослойных образцов металл-диэлектриков-полупроводник. Показано возможность создания омических контактов к наноразмерным слоям. Определены удельное сопротивление пленки NiSi_2 и высота барьера Шоттки $\text{NiSi}_2/\text{Si}(111)$ в наноразмерных контактах.

Ключевые слова: нанопленка, омический контакт, барьерный слой, имплантация, гетероструктура, силициды, монослой, электронная среда.

Омический контакт—контакт между металлом и полупроводником или двумя разнородными полупроводниками, характеризующийся линейной и симметричной вольт-амперной характеристикой (ВАХ). Если ВАХ асимметрична и нелинейна, то контакт в той или иной мере является *выпрямляющим* (например, является контактом с барьером Шоттки, на основе которого создан диод Шоттки). Выпрямление зависит от разницы между работой выхода металла и электронного сродства полупроводника. Уровни Ферми (электрохимический потенциал) любых двух твердых тел при их контакте в тепловом равновесии должны быть равны. Когда два материала приводятся в контакт, электроны перетекают из материала с меньшей работой выхода в материал с большей работой выхода до достижения равновесия уровней Ферми. Металлы, чья работа выхода близка к сродству к электрону полупроводника, должны наиболее легко образовывать омические контакты.

В этой работе, нами были поставлены задачи создание и исследование механизмов формирования омических контактов и барьерных слоев, сформированных на поверхности тонких, массивных многослойных образцов металл-диэлектриков-полупроводник, так как создание методики изготовления контактов является важной частью технологической разработки новых полупроводников.

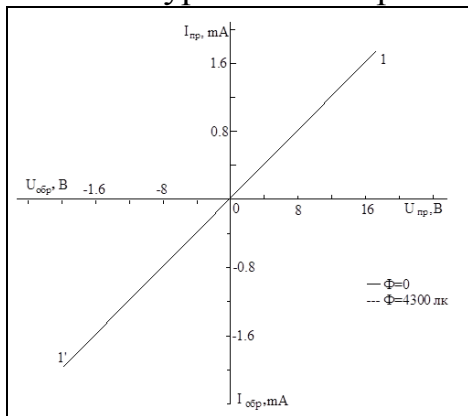
Например, подложка из свободной медной пленки, во-первых дает хорошую омический контакт, во-вторых армирование системы, создавая благоприятную условию для долговременной работы схемы. Массивная подложка приводит к увеличению размеров и массы нанопленочной системы и требует нагрева более высоких температур и следовательно концентрации примесных атомов может увеличиваться. При создании приборов электронной промышленности на основе наноразмерных гетероэпитаксиальных ПМП, ПДП, МДП и других

структур особое требования представляется к типу материала, толщине и свойствам контактирующего материала. Прежде всего должно быть малая толщина переходного слоя Ме-ПП, устойчивость состава и ровность поверхности пленки, стабильность свойств контактов в процессе изготовления и эксплуатации, сохранение барьерных свойств в широком диапазоне температур и при высоких токовых нагрузках и др. Для получения хорошего омического контакта необходимо уменьшить удельное сопротивление до 50-100 $\mu\Omega\cdot\text{см}$. Полное сопротивление контакта R_t определяется по формуле

$$R_t = -\frac{\rho}{\pi d} - fg^{-1}\left(\frac{4t}{d}\right) + \frac{4R_c}{\pi d^2} + R_0 \quad (1)$$

где ρ -удельное сопротивление; d -диаметр круглого контакта, t -толщина полупроводниковой пластины, R_c - сопротивления контакта; R_0 -сопротивление тыльного контакта.

При создании омических контактов необходимо учитывать степень легирования полупроводника. В случае полупроводника с низким уровнем легирования ($N \leq 10^{17} \text{ см}^{-3}$) преобладает термоэлектронная компонента тока, а с высоким уровнем легирования-туннельная компонента тока.



В последние годы для получения надежных омических контактов широко используется метод ионной имплантации и создания на поверхности полупроводника силицидов металла и силицидные контакты имеют следующие особенности: позволяет предсказать направление миграции легирующей примеси в процессе создания контактов; позволяет формировать резкие р-п переходы в Si снижает температуру активации примеси до 200-600° С вследствие

генерации большого числа кремниевых вакансий в процессе формирования силицида.

Омический контакт в нашем случае получены следующим образом. На поверхности Si созданы тонкий слой (~30-40 Å) NiSi_2 методом ионной имплантации с последующим прогревом при $T \approx 900 \text{ К}$. Затем на поверхность $\text{NiSi}_2/\text{Si}(111)$ напыляли атомы контактирующего металла Ni с толщиной 0,3 $\mu\text{м}$. Значение ρ Si и NiSi_2 , высота барьера Шоттки $\text{NiSi}_2/\text{Si}(111)$ приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Значения ρ для Si(111) и NiSi_2 , высота барьера Шоттки для NiSi_2/Si

Параметры образцы	ρ , $\Omega\cdot\text{см}$	высота барьера Шоттки, эВ
Si(111) p-тип, $N_p=10^{17} \text{ см}^{-3}$	10	-
NiSi_2	$4\cdot 10^{-5}$	-
$\text{NiSi}_2/\text{Si}(111)$	-	0,63

Видно, что пленка NiSi_2 обладает очень маленьким удельным сопротивлением. На рис. 1 приведена вольт-амперная характеристика Ni-NiSi₂-nSi-Ni, в этом случае зависимость проходящего тока через систему от напряжения является строго прямолинейным. Качества контакта практически не изменялась при прогреве системы до $T \approx 700$ К.

Рис. 1. Вольтамперная характеристика системы Ni-NiSi₂-nSi(111)-Ni.

Таким образом, показано возможность создания омических контактов к наноразмерным слоям. Определены удельное сопротивление пленки NiSi_2 и высота барьера Шоттки $\text{NiSi}_2/\text{Si}(111)$ в наноразмерных контактах.

ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТАЛ/СВЕРХПРОВОДНИК-ДИЭЛЕКТРИК ПЕРЕХОДОВ В ЛЕГИРОВАННЫХ КУПРАТАХ НА ОСНОВЕ *La* С ПРИМЕСЯМИ БОЛЬШОГО РАДИУСА

Г.К. Жумабаева, П.К. Нурниязов

Karakalpak State University named after Berdakh, st. Ch.Abdirov-1, 230112 Nukus, Uzbekistan.

*Corresponding author: zhumabaeva@jinrl.ru
Тел: (99) 493 06 08

В данной работе мы изучаем возможность локализации носителей дырок и металл/сверхпроводник-диэлектрик переходов в легированных купратах на основе *La* с примесями большого радиуса в рамках модели одно носительного купратного сверхпроводника и даем новое представление о физике этих явлений.

Если электрон-фононные взаимодействия вблизи легирующих примесей слабые, то в дырочно-легированных купратах образуются простые водородоподобные примесные центры [1]. Такая ситуация реализуется в $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (LSCO) или $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$ (LBCO), в которых радиус как Sr^{2+} (1.32 Å), так и Ba^{2+} (1.52 Å) больше, чем у La^{3+} (1.17 Å) [2], так что для Sr^{2+} и Ba^{2+} знак деформационного потенциала отрицательный [3]. Из этого следует, что взаимодействия дырок с решеткой вблизи легирующих примесей большого радиуса в LSCO и LBCO подавляются отталкивающим примесным потенциалом, а носители дырок локализуются на расстоянии от легирующих примесей (т.е. дырочные носители слабо связаны с легирующими примесями дальнедействующим кулоновским притяжением) Sr^{2+} и Ba^{2+} и образуют водородоподобные примесные центры. Это явный случай моттовского металл-диэлектрик перехода в твердотельной модели с одним носителем,

обусловленного электронной корреляцией в примесных центрах. Этот металл-диэлектрик переход может происходить только при очень низких уровнях легирования ($x \leq 0,02$) в LSCO и LBCO [4]. Кроме того, другой тип нового перехода металл/сверхпроводник-диэлектрик в этих материалах, обусловленный сильным взаимодействием дырок с решеткой, может иметь место также в твердотельной модели с одним носителем в слаболегированных, оптимально легированных и даже сверхлегированных купратах. Конкретный критерий такого нового перехода металл/сверхпроводник-диэлектрик в легированных купратах можно записать как (см. [4])

$$x_c = \frac{n_c}{n_a} = \frac{1}{3\pi^2 n_a} \left[\frac{4m_p E_p R_p}{\hbar^2 a_p} \right]^{3/2} = \frac{1}{3\pi^2 \hbar^3 n_a} [2m_p E_p]^{3/2} \quad (1)$$

где n_c -плотность больших поляронов, n_a - плотность атомов решетки, эффективная масса полярона $m_p \approx 2.1 m_e$ (где m_e - масса свободного электрона) и энергия полярона E_p [1].

Изменение x_c с уменьшением η LSCO и LBCO показано на рис. 1, $\epsilon_\infty = (2.5 - 5.0)$ и $\eta = (0.01 - 0.14)$. Видно, что при $\epsilon_\infty < 3$ новые металл/сверхпроводник-диэлектрик переходы происходят в этих купратных материалах от слаболегированного до сверхлегированного режима.

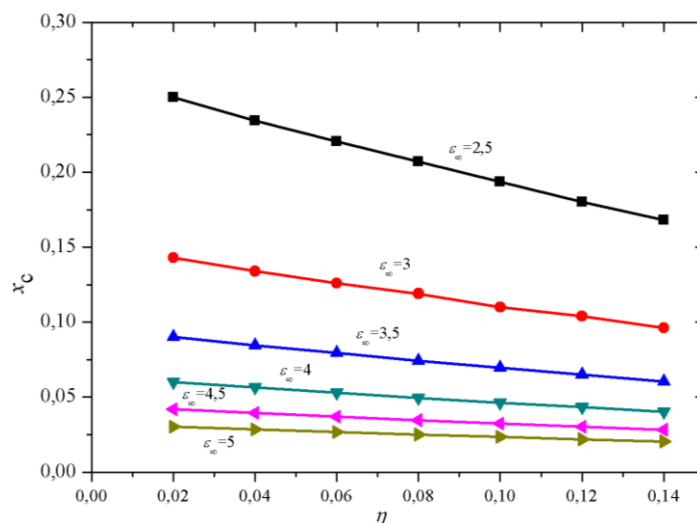


Рис 1. Изменение критической концентрации x_c носителей, соответствующей металл/сверхпроводник-диэлектрик переходам в LSCO и LBCO, в зависимости от η и ϵ_∞ .

Наши теоретические результаты, представленные на рис. 1, $\epsilon_\infty = 2.5$, $\eta = 0.02$ и показывают, что новые металл/сверхпроводник-диэлектрик переходы в LSCO и LBCO происходят в глубоко сверхлегированной области ($x_c \gtrsim 0.2$), как сообщалось в экспериментальных исследованиях [5].

Литература

1. Dzhumanov S. Theory of Conventional and Unconventional Superconductivity in the High- T_c Cuprates and Other Systems. *Nova Science Publishers*. New York. 2013; 356 p.

2. Fisher R. A., Gordon J. E., and Norman E. Phillips. *Annual review of physical chemistry*. 1996; 47. pp-283-325.
3. Toyozawa Y. *Physica B*. 1983, 116, pp. 7-17.
4. Dzhumanov S., Baimatov P.J., et al. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 2012; 73. pp. 484–494.
5. Anshukova N.V., Golovashkin A.I. *JETF*. 2003;123.6. pp. 1188 - 1199.

YARIM O'TKAZGICHLAR FIZIKASINING ENG SO'NGGI YUTUQLARI VA ULARNING AHAMIYATI

Mamadiyeva Dilxumor Tolibjonovna
Farg'ona davlat texnika universiteti, Fizika kafedrası

Annotatsiya

Ushbu maqolada yaqino'tkazgichlar (poluprovodniklar) fizikasining eng so'nggi yutuqlari, ularning zamonaviy elektronika, optoelektronika va kvant texnologiyalaridagi o'rni tahlil qilinadi. So'nggi yillarda nanoo'lchamli strukturalar, ekstremal sharoitlarda o'lchovlar, kvant nuqtachalar (quantum dots) va eksiton-polaritonlar asosidagi qurilmalar ishlab chiqildi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, yangi yarimo'tkazgich materiallari — GaN, Ga₂O₃, ZnO, CdS — asosida yaratilgan qurilmalar energiya samaradorligini 40% gacha oshirish imkonini beradi.

Kalit so'zlar: yarimo'tkazgich, nanoelektronika, eksiton-polariton, kvant nuqtachalar, optoelektronika, energiya samaradorligi.

Kirish

Yarimo'tkazgichlar fizikasining rivojlanishi zamonaviy texnologiyalar taraqqiyotining asosiy harakatlantiruvchi kuchlaridan biridir. XXI asrning boshlaridan boshlab, nanoelektronika, kvant optika va fotonika sohalaridagi yutuqlar bu yo'nalishga yangi turtki berdi. Zamonaviy yarimo'tkazgich qurilmalari faqatgina elektr signallarni uzatish bilan cheklanmay, balki yorug'lik, issiqlik va magnit maydonlarni ham boshqarish imkonini bermoqda. Bu esa yuqori samarali sensorlar, diodlar, lazerlar va kvant kompyuter elementlarini yaratishga imkon berdi.

Asosiy qism

So'nggi yillarda yarimo'tkazgichlar sohasida quyidagi yirik yutuqlar erishildi:

1. **GaN (galliy nitrid)** asosidagi yuqori chastotali tranzistorlar (HEMT) – 5G texnologiyasining asosi.

2. **ZnO (sink oksid)** asosida ultrabinafsha (UV) diapazonda ishlovchi fotodetektorlar.

3. **Ga₂O₃ (galliy oksid)** asosidagi keng teshik (wide bandgap) materiallar – yuqori haroratli quvvat elektronikasida qo'llanilmoqda.

4. **Eksiton-polaritonlar** asosidagi yangi tipdagi lazerlar – past energiyali va tezkor optik kommunikatsiya uchun.

5. ****Kvant nuqtachalar (quantum dots)**** asosidagi ekranlar va quyosh batareyalarida yuqori yorqinlik va samaradorlik.

Yarimo'tkazgich materiallarning o'tish xususiyatlarini aniqlovchi asosiy parametr bu ****energiyaning taqiqlangan zonasi**** (E_g) hisoblanadi. Ushbu parametr quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\bullet E_g = E_c - E_v$$

bu yerda E_c — o'tkazuvchanlik zonasi energiyasi, E_v — valent zona energiyasi.

Yarimo'tkazgich materiallarining xususiyatlari

Material	Energiya zonasi E_g (eV)	Asosiy qo'llanilishi	Samaradorlik (%)
Si (kremniy)	1.12	Mikroelektronika	28
GaN	3.4	LED, quvvat tranzistorlari	40
ZnO	3.3	UV detektorlar, fotokataliz	36
Ga ₂ O ₃	4.8	Yuqori haroratli elektronika	38

Jadvaldagi ma'lumotlardan ko'rinadiki, keng teshikli (wide-bandgap) yarimo'tkazgichlar energiya tejamkorligi va issiqlik barqarorligi bo'yicha an'anaviy kremniydan ustun turadi. Bu esa yangi avlod optoelektronika qurilmalarini ishlab chiqishda ularning ustuvorligini ta'minlaydi.

Natijalar va tahlil

Tajriba natijalari shuni ko'rsatadiki, GaN asosidagi HEMT tranzistorlarining o'tkazuvchanligi 1.5×10^7 S/m gacha yetadi, bu esa kremniy tranzistorlariga nisbatan 2 barobar yuqoridir. Shuningdek, Ga₂O₃ asosidagi qurilmalar 400°C gacha bo'lgan haroratlarda barqaror ishlaydi. ZnO asosida yaratilgan UV detektorlar esa 365 nm diapazonda yuqori sezuvchanlik ko'rsatgan.

Yarimo'tkazgich fizikasi sohasidagi bu yutuqlar energiya samaradorligi, ekologik tozalik va axborot uzatish tezligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Masalan, eksiton-polariton lazerlari yordamida optik tarmoqlarda energiya sarfi 25% gacha kamayadi.

Xulosa

Yarimo'tkazgichlar fizikasining so'nggi yutuqlari zamonaviy elektronika va energetika rivojining asosiy omiliga aylangan. Yangi avlod materiallari — GaN, ZnO, Ga₂O₃ va CdS — asosida ishlab chiqilgan qurilmalar yuqori harorat, bosim va nurlanish sharoitlarida barqaror ishlaydi. Bu esa kelajakda kvant hisoblash, optoelektronika va sun'iy intellekt tizimlari uchun mustahkam fizik asos yaratadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

[1] Ivchenko E.L., Pikus G.E. (2022). Superlattices and Other Heterostructures. Springer.

[2] Hopfield J.J. (2023). Theory of the Exciton-Polariton Effect. Physical Review, 112(5), 1555–1567.

[3] Ahmadaliev B.J., Madraximov M.M. (2024). GaN asosida yarimo'tkazgichli lazerlarning rivojlanish istiqbollari. Farg'ona DTU nashriyoti.

БИР ЎҚЛИ КРИСТАЛЛАРДА НУРЛАНУВЧИ АРАЛАШ ЭКСИТОН-ПОЛЯРИТОН ВА ЭКСИТОН-БИР ЖИНСЛИ БЎЛМАГАН МОДАЛАР ДИСПЕРСИЯСИ

Ахмадалиев Б.Ж.

Фаргона давлат техника университети

Физика кафедраси доценти

Ушбу мақолада бир ўқли CdS туридаги кристаллларда нурланувчи аралаш экситон-поляритон ва бир жинсли бўлмаган (сирт радиацион) модаларнинг дисперсия хусусиятлари назарий жиҳатдан таҳлил қилинган. Диэлектрик доимий тензори анизотропияси ҳисобга олинган ҳолда, кўндаланг ва аралаш типдаги экситон-поляритон модаларнинг энергия спектри ҳамда уларнинг кристалл ва вакуум чегарасидаги нурланиш механизмлари кўриб чиқилган. Тадқиқотда M_1 ва M_2 аралаш модаларнинг спектрал хатти-ҳаракатлари θ чиқиш бурчагига боғлиқ ҳолда таҳлил қилинди. Натижалар шуни кўрсатадики, кичик бурчак қийматларида поляритон эффекти сўниши таъсири остида сусайса-да, $\theta \geq 15^\circ$ бўлганда аралаш поляритонлар аниқ кузатилади ва уларнинг «бўйлама-кўндаланг» ажралиши θ бурчаги ортган сари кучаяди.

Калит сўзлар: бир ўқли кристалл, CdS, экситон-поляритон, аралаш модалар, диэлектрик тензор, дисперсия, анизотропия, нурланиш бурчаги, сирт радиацион модалар, экситон люминесценцияси.

В данной статье теоретически проанализированы дисперсионные свойства излучающих смешанных экситон-поляритонных и неоднородных (поверхностно-радиационных) мод в одноосных кристаллах типа CdS. С учётом анизотропии тензора диэлектрической проницаемости рассмотрены энергетический спектр поперечных и смешанных экситон-поляритонных мод, а также механизмы их излучения на границе кристалла и вакуума. В исследовании проанализированы спектральные зависимости смешанных мод M_1 и M_2 в зависимости от угла выхода θ . Результаты показывают, что при малых углах поляритонный эффект ослабляется из-за затухания, однако при $\theta \geq 15^\circ$ наблюдаются отчётливые смешанные поляритоны, причём их продольно-поперечное расщепление усиливается с увеличением угла θ .

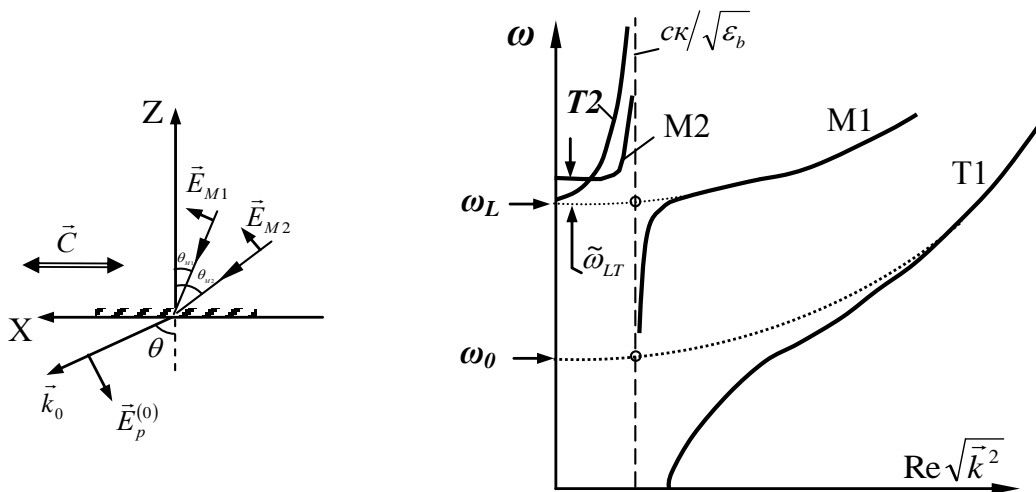
Ключевые слова: одноосный кристалл, CdS, экситон-поляритон, смешанные моды, тензор диэлектрической проницаемости, дисперсия, анизотропия, угол излучения, поверхностно-радиационные моды, экситонная люминесценция.

In this paper, the dispersion properties of radiative mixed exciton-polariton and inhomogeneous (surface-radiative) modes in uniaxial CdS-type crystals are theoretically analyzed. Taking into account the anisotropy of the dielectric constant tensor, the energy spectrum of transverse and mixed exciton-polariton modes and

their radiation mechanisms at the crystal–vacuum interface are investigated. The spectral behavior of the mixed modes M_1 and M_2 as a function of the emission angle θ is analyzed. The results show that although the polariton effect is suppressed under damping at small angles, distinct mixed polaritons are observed for $\theta \geq 15^\circ$, and their longitudinal–transverse splitting becomes more pronounced as θ increases.

Keywords: uniaxial crystal, CdS, exciton–polariton, mixed modes, dielectric tensor, dispersion, anisotropy, radiation angle, surface-radiative modes, exciton luminescence.

Бир ўқли кристаллда изоляцияланган диполно-актив экситон ҳолати яқинидаги поляритонларнинг энергия спектрини кўриб чиқамиз. Бу ҳолатга оптик ўтиш фақат $\vec{E} \perp \vec{C}$ поляризацияда рухсат этилган бўлиб, бу ерда \vec{C} -кристаллнинг оптик ўқи ҳисобланади. Ушбу спектрнинг ўзига хослиги, унинг кучли анизотропиясида намоён бўлади [1; 2; 3;]: тўлқин тарқалишининг ихтиёрий йўналишида, $\vec{k} \perp \vec{C}$ ва $\vec{k} // \vec{C}$ дан фарқли равишда, маълум бир частотада икки кўндаланг поляритон модаси (Т1, Т2) ва икки аралаш типдаги экситон-поляритон модаси (М1, М2) ҳосил бўлиши мумкин, уларнинг дисперсияси схематик равишда 1-расмда кўрсатилган.



1-расм. Бир ўқли кристаллнинг изоляцияланган экситон ҳолатининг спектрал соҳасида нурланишнинг рухсат этилган йўналиши билан вакуумга нурланадиган аралаш (M1, M2) ва кўндаланг (T1, T2) поляритон модаларнинг сўнишни ҳисобга олмаган ҳолдаги дисперсия эгри чизиқларини схематик тасвирлаш. Пунктир чизиқ-кристаллдаги фотонлар, нуқтали- кўндаланг ва бўйлама экситонлар. Чап томондаги расмда аралаш модаларни нурланишни рўйхатга олиш геометриясини кўрсатади (СХР -геометрия, яъни C//X билан ва \mathbf{p} -кутбланган нурланиш XZ текислигида рўйхатга олинади).

Биз учун қизиқ бўлган $\epsilon_{ij}(\omega, \vec{k})$ диэлектрик доимий тензори, ФД га эга кристалл учун 1-расмдаги тасвирланган координата тизимида, фақатгина икки компонент билан характерланади: $\epsilon_{\perp}(\omega, \vec{k})$ ва $\epsilon_{//}(\omega, \vec{k})$, улар мос равишда $\vec{E} \perp \vec{C}$ ва $\vec{E} // \vec{C}$ ёруғлик кутбланишларига мувофиқ келади. Резонанс частотаси ω_0 яқинида $\epsilon_{//}(\omega, \vec{k}) \approx \epsilon_b = \text{const}$ деб ҳисоблаш мумкин ва ϵ_{ij} нинг ω ва \vec{k} га боғлиқлиги тўлиқ $\epsilon_{\perp}(\omega, \vec{k})$:

$$\epsilon_{\perp}(\omega, \vec{k}) = \epsilon_{b\perp} \left[1 + \frac{\omega_{LT}}{\omega_T(\vec{k}) - \omega - i\Gamma/2} \right], \quad (1)$$

бунда
$$\omega_T(\vec{k}) = \omega_0 + \hbar k_x^2 / 2M_{//} + \hbar(\vec{k}^2 - k_x^2) / 2M_{\perp},$$
 (2)

$\epsilon_{b\perp}$ - $\vec{E} \perp \vec{C}$ поларизация учун фон диэлектрик сингдирувчанлик тензорининг компоненти, $\omega_{LT} = \omega_L - \omega_0$ - бўйлама-кўндаланг ажралиш, $\hbar \omega_0$ ва $\hbar \omega_L$ - кўндаланг ва бўйлама экситон зонасининг пастки қисмининг энергияси, $k_x - \vec{k}$ векторнинг \vec{C} ўқдаги проекцияси, M_{\perp}^{-1} и $M_{//}^{-1}$ - $\vec{k} \perp \vec{C}$ и $\vec{k} // \vec{C}$ тарқалиш йўналишлари учун экситоннинг тескари эффектив масса тензорининг таркибий қисмлари.

(1) ва кейинги ёзувларда қуйидаги тенгсизликлар бажарилган деб ҳисобланади:

$$\omega_{LT}, |\omega - \omega_0| \ll \omega_0,$$

булар кўплаб ярим ўтказгич кристаллари учун резонанс экситон люминесценцияси кузатиладиган актуал спектрал соҳада тўғри келади. Ушбу тенгсизликлар ва (1) ни ҳисобга олган ҳолда, кўриб чиқиладиган модалар учун дисперсион тенгламалар қуйидаги кўринишда ифодаланиши мумкин:

$$c^2 \vec{k}^2 / \omega^2 = \epsilon_{\perp}(\omega, \vec{k}), \quad (T1, T2 \text{ модалар})$$

$$\frac{c^2 k_x^2}{\omega^2 - c^2(\vec{k}^2 - k_x^2) / \epsilon_{//}(\omega, \vec{k})} = \epsilon_{\perp}(\omega, \vec{k}) \quad (M1, M2 \text{ модалар})$$

булар қуйидаги шаклдаги боғлиқликлар билан ифодаланади:

$$\omega = \omega_{\vec{k}}^{(T)} \equiv \omega_T(\vec{k}) - \frac{\epsilon_b \omega_{LT}}{(c\vec{k} / \omega_0)^2 - \epsilon_b} - i \frac{\Gamma}{2}, \quad (3)$$

$$\omega = \omega_{\vec{k}}^{(M)} \equiv \omega_M(\vec{k}) - \frac{\epsilon_b \tilde{\omega}_{LT}}{(c\vec{k} / \omega_0)^2 - \epsilon_b} - i \frac{\Gamma}{2}, \quad (4)$$

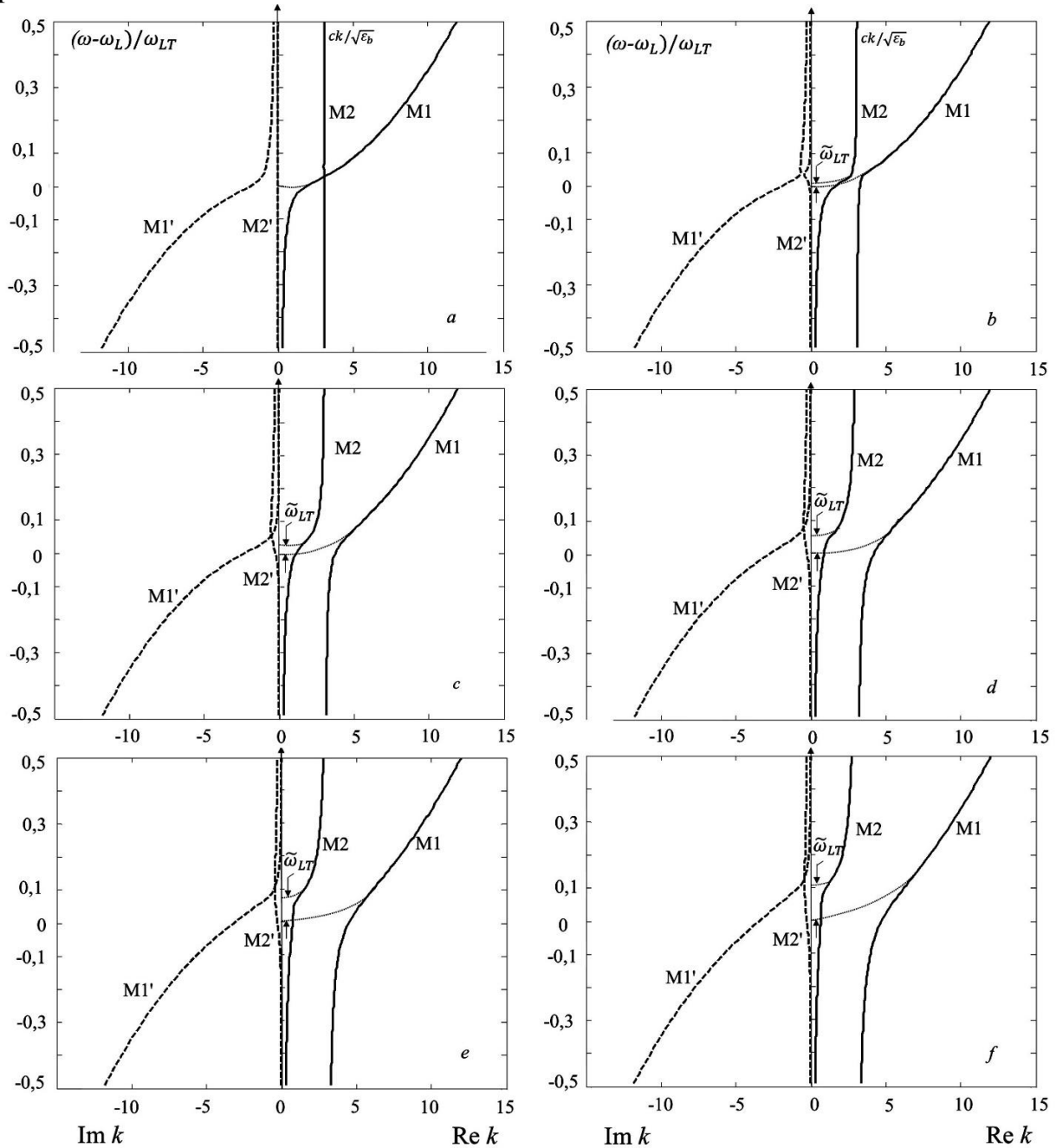
бунда
$$\omega_M(\vec{k}) = \omega_T(\vec{k}) + \omega_{LT}, \quad \tilde{\omega}_{LT} = \omega_{LT} k_x^2 / \epsilon_b k_0^2 \quad (5)$$

ва $\epsilon_b = \epsilon_{b\perp} \approx \epsilon_{b//}$ деб олинган.

1-расмда юқори тармоқ поляритонларининг дисперсион чизиқлари (ЮТП) T_2 ва M_2 $\Gamma \rightarrow 0$ ҳолатида $|\vec{k}| < \sqrt{\epsilon_b} k_0$ соҳасида (3) ва (4) ифодалари билан тасвирланади, қуйи тармоқ поляритонларининг чизиқлари (ҚТП) T_1 ва M_1 эса худди шу ифодалар билан $|\vec{k}| > \sqrt{\epsilon_b} k_0$ ҳолатида тасвирланади. (3) ва (4) ифодаларда ҳақиқий частота ω билан, ҳатто $\Gamma = 0$ ҳолатида ҳам, комплекс векторлар \vec{k} соҳасида кўриб чиқилиши мумкин (2-расм, $M1'$ ва $M2'$ чизиқлари). Бу ҳолат $\text{Re } k^2 < 0$ ва $\text{Im } k^2 = 0$ (ва шу билан бирга $(\text{Im } \vec{k} \cdot \text{Re } \vec{k}) = 0$ шартларига мос келадиган сирт радиацион модаларнинг ечимларига мувофиқ келади. Улар кристалл ва вакуум ўртасидаги чегара сатҳида кўзгалади (сирт радиацион модалар). Бундай тўлқинлар $\Gamma = 0$ ҳолатида муҳитда энергияни ташиш билан боғлиқ эмас, шунинг учун улар ташқи нурланишга бевосита ҳисса қўшмайди. Бироқ, $\Gamma \neq 0$ бўлганда, (шунингдек, 2-расмга қаранг), сирт радиацион модалар муҳитда энергия ташиш жараёнига қисман қўшилади. Шу сабабли, бу модаларнинг кристалл люминесценциясига қўшадиган ҳиссасини ҳисобга олиш керак[4].

Бир жинсли бўлмаган-сирт радиацион тўлқинларнинг дисперсия соҳалари аслида 1-расмда T_2 ва M_2 чизиқлари кесишган нуқтадан чап томондаги соҳада

тасвирланган. Ушбу нуқтанинг ўнг томонида, $\Gamma = 0$ ҳолатида, дисперсия чизиқлари кристаллниг аниқ белгиланган квант (поляритон) ҳолатларини тасвирлайди. Кесишиш нуқтасининг ўзи эса чегара сатҳидаги модаларнинг тўлқин векторларининг нормал таркибий қисмлари нолга тенг бўлган ҳолатга тўғри келади.



3.2-расм. Бир ўкли CdS кристалли учун оптик параметрлар: $\hbar\Gamma = 0.1$ мэВ, $\hbar\omega_0 = 2552.4$ мэВ, $\hbar\omega_{LT} = 2$ мэВ, $\epsilon_{b\perp} = 9.4$, $M_{\perp} = 0.9 m_0$, $M_{\parallel} = 2.85 m_0$ бўлганда θ бурчак қийматлари мос келадиган ҳолатда: $\theta = 5^\circ$ (a), $\theta = 15^\circ$ (b), $\theta = 30^\circ$ (c), $\theta = 45^\circ$ (d), $\theta = 60^\circ$ (e), $\theta = 80^\circ$ (f), ҳисобланган дисперсия чизиқлари: аралашган экситон-бир жинсли бўлмаган модалар(a), экситон-поляритон модалар (b-f). $\theta \rightarrow 0$ ҳолатида M_1, M_1' ва M_2, M_2' чизиқлар мос равишда бўйлама экситонлар ва кўндаланг фотонлар га мос келади.

Ёруғлик нурланиш жараёнини таҳлил қилишда, диссипатив сўниш $\hbar\Gamma$ ни ҳисобга олган ҳолда, ω_L частотаси яқинида $|\text{Im } \vec{k}_\beta|$ қийматлари ЮПТ учун $|\text{Re } \vec{k}_\beta|$ билан таққосланадиган даражага етишини инобатга олиш керак.

Шунинг учун кўриб чиқиладиган бир жинсли бўлмаган модалар, умумий ҳолда, (2-расм M_1' ва M_2' бир жинсли бўлмаган тармоқлар), тўлқинларнинг фазода сўниши билан характерланади. Бундан ташқари, шу спектрал соҳада аралаш модалар M_1 ва M_2 нинг тўлқин векторларининг ҳақиқий қисмлари ҳам бир-бирига яқин қийматларга эга бўлади, айниқса, агар тарқалиш йўналиши $\vec{k} \perp \vec{C}$ га яқин бўлса. Бу ҳолат **2-расмда** келтирилган сонли ҳисобланган дисперсия чизиқлари орқали яққол 1-расмнинг чап қўшимчасида M_1 ва M_2 аралаш модаларининг нурланишини қайд этиш геометрияси тасвирланган. Бундай тажриба геометриясида «бўйлама-кўндаланг» парчаланиш $\tilde{\omega}_{LT}$ ни ўзгартириш имкони намоён бўлади пайдо бўлади (3.2-расм, а-f га қаранг). Бу эса нурланишнинг вакуумга чиқиш бурчаги θ (яъни $\sin \theta = k_x / k_0$, $\sin \tilde{\theta}_{M\beta} = k_{M\beta x} / k_{M\beta}$ $\beta = 1, 2$. бўлганда, кристалл ичидаги $\tilde{\theta}_{M\beta}$ бурчагини танлаш) орқали амалга оширилади.

Бундай ёндашув кўндаланг (3) ва аралаш (4) тўлқинлар учун дисперсия тенгламаларининг формал эквивалентлигини таъминлайди. (4) ва (3) тенгламалари ўртасидаги фарқ шундаки: (4) да бошқа «резонанс» частота (ω_L ўрнига ω_0) қўлланилади, «бўйлама-кўндаланг» парчаланиш $\tilde{\omega}_{LT}$ ўрнига ω_{LT} билан фарқ қилади. Шу сабабли, аралаш модаларнинг дисперсия тенгламасини (4) шаклида ифодалаш энг қулай усул ҳисобланади. Бу ерда қўшимча қилиш керакки, тажриба шарт-шароитларида нурланиш спектри θ (ёки $\tilde{\omega}_{LT}$) нинг аниқланган қийматида қайд этилади, яъни k_x тўлқин вектори проекцияси барқарор бўлади (барча нурланувчи модалар учун бир хил: $k_{0x} \equiv k_{M\beta x}$)[5].

Бунинг натижасида нурланувчи модалар учун $\vec{k}_{M\beta}$ ва \vec{C} ўртасидаги $\tilde{\theta}_{M\beta}$ бурчаклари ўзгарувчан бўлади (ω частотасига боғлиқ бўлиб қолади). (4) дисперсия тенгламаси ташқи йўналишда нурланиш берувчи ҳолатларни белгилайди. Бу ҳолатларнинг ечимлари 1 ва 2-расмларда M_1 ва M_2 чизиқлари орқали тасвирланган. Агар $\hbar\Gamma \neq 0$ бўлса $\theta_{M\beta}$ бурчаклари комплекс қийматларга эга бўлади. Агар $\text{Re} \tilde{\theta}_{M\beta} \geq \text{Re} \theta_{M\beta}^*$ бўлса, аралаш поляритонлар тўла ички қайтиш туфайли вакуумга чиқолмайди. Агар $\hbar\Gamma$ катта бўлса, нурланувчи муҳит ичидаги тўлқинларнинг интенсивлиги тушунчаси маъносини йўқотади.

2-расмдан кўриниб турибдики, ҳатто умумий $\hbar\Gamma = 0.1$ мЭВ қийматида ҳам механик экситон учун M_1 , M_1' ва M_2 , M_2' дисперсия чизиқлари (аралаш модаларнинг нурланувчи ҳолатлари) θ чиқиш бурчагига боғлиқ ҳолда бир қатор ўзгача хусусиятларга эга. Биринчидан, $\theta \leq 10^\circ$ каби кичик чиқиш бурчакларида поляритон эффекти деярли кузатилмайди, чунки у сўниш ($\tilde{\omega}_{LT} \ll \Gamma$) таъсири остида сусайиб кетади.

Шу сабабли, ω_L частотаси яқинида фақат бир жинсли бўлмаган-сирт радиацион модалари мавжуд бўлади. Иккинчидан, $\theta \approx 15^\circ$ дан бошлаб сезиларли даражада «бўйлама-кўндаланг» парчаланиш $\tilde{\omega}_{LT} \approx 0.014$ мЭВ (кучсиз поляритон эффекти) кузатилади ва у θ бурчаги ошган сари ортиб боради, $\theta = 80^\circ$ да $\tilde{\omega}_{LT} \approx 0.2$ мЭВ га етади. Учинчи жиҳатдан, $\theta = 30^\circ - 90^\circ$ оралиғида оралик ёруғлик-экситон ўзаро таъсири кузатилади, бу ерда $\hbar \tilde{\omega}_{LT} \approx \hbar\Gamma = 0.1$ мЭВ.

Тўртинчидан, $\theta \geq 15^\circ$ да аралаш поляритонлар аномал дисперсияни деярли намоён қилмайди.

Олиб борилган назарий таҳлил натижалари CdS туридаги бир ўқли кристаллларда нурланиш жараёнларини аниқроқ англашга имкон берди. Аралаш экситон-поляритон модаларнинг дисперсияси θ бурчагига боғлиқ равишда ўзгариши аниқланди. Кичик бурчакларда ($\theta \leq 10^\circ$) сўниш таъсири натижасида поляритон эффекти деярли йўқолади, аммо $\theta = 15^\circ\text{--}80^\circ$ оралиқда аралаш модаларнинг аниқ нурланиш хатти-ҳаракати кузатилади. Бу натижалар экситон-поляритонли нурланишнинг анизотроп кристалллардаги фазовий ва спектрал хусусиятларини моделлаштириш ҳамда янги оптоэлектрон қурилмаларни ишлаб чиқиш учун назарий асос бўлиб хизмат қилади.

Адабиётлар рўйхати

- 1.Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. -М.: Наука. 1982. -622 С.
- 2.Киселев В.А. Экситонное отражение света при наличии барьера Шоттки // ФТТ. 1979. Т. 21. № 4. С. 1069-1074.
- 3.Rumyantseva V., Fedorova S., Gumennyka K., Gurova D., Kavokin A. Effects of elastic strain and structural defects on slow light modes in a one-dimensional array of microcavities // Superlattices and Microstructures. 2018. V. 120. P. 642–649.
4. Юлдашев Н.Х. Экситон–поляритонная люминесценция и перенос резонансного излучения в кристаллах.–Фергана: Фарғона, 2002. –214 С. Гл. II, III. С.37-80.
- 5.Akhmadaliev B. Zh., Yuldashev N. Kh. Yulchiev I.I. Surface-Radiative Modes and Longitudinal Excitons in the Spectra of Exciton–Polariton Luminescence// Optics and Spectroscopy, -Moscow, 2018, Vol.125, No.3. P. 343–352.

OPTIKA, FOTONIKA VA KVANT ELEKTRONIKA MUAMMOLARI

OPTOELEKTRONIKADA QO'LLANUVCHI OPTRONLAR

Onarkulov Karimberdi Egamberdiyevich
Yuldashev Shohjahon Abrorovich,

Farg'ona davlat universiteti, shohjahon6566@mail.ru, 93.733-65-66

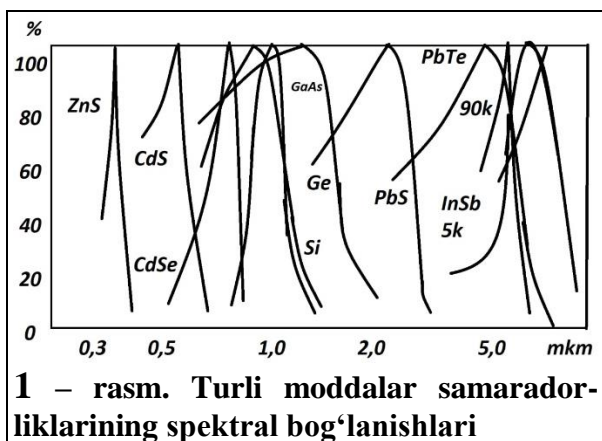
Annotatsiya: Polikristall yupqa bir jinsli bo'lmagan yarimo'tkazgich pardalardan foydalanib mikroelektronika uchun yuqori samarador optronlar yaratishning fizik-texnikaviy asoslari bayon qilingan. Optron elementlarida kuzatiladigan energetik yo'qotishlarni kamaytirishning ilmiy asoslari tahlil qilingan. Optoelektron qurilmaning samaradorligi elementar optron elementlari sezgirligi, yorug'lik manbasi va uning iste'molchisi orasidagi optik foton vositasidagi bog'lanishlardagi yorug'lik signallarining kam yo'qotishlar bilan buzilmay fotopriemnikga yetib kelishi bilan bog'liq masalalar tahlil qilingan.

Kalit so'zlar: Elementar optron, spektr, yorug'lik diodi, nurlanish amplitudasi, fotopriemnik, xalkogenidlar, immersion muhit, optik tola, sindirish ko'rsatkichi, to'la ichki qaytish, diagramma.

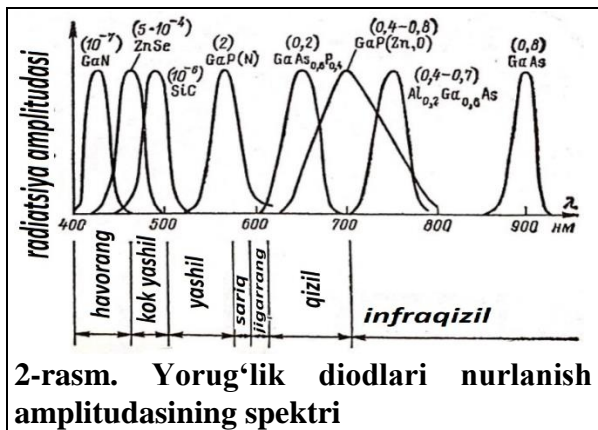
Optoelektronika sohasidagi tadqiqotlar natijalaridan zamonaviy fan va texnikaning turli yo'nalishlarida foydalaniladi. Mikroelektronikaning istiqboli uning ajralmas qismi bo'lgan optoelektronika bilan bog'liq. Optoelektronikaning asosiy elementi bu elementar optronlar. Optronni shakllantirish uchun yorug'lik manbasi, yorug'likni qabul qiluvchi tizim (foto qabul qilgich) va manbani foto qabul qilgich bilan foton vositasida bog'lovchi qismlar kerak. Mikroelektronika rivoji uchun optron qismlarining yuqori energiyatejamkor, samarador va ixcham (mitti, mikrominiatyur) elementlar bilan ta'minlanishi muhimdir. Bu muammoni hal qilishda optron qismlarini yupqa yarimo'tkazgich pardalaridan foydalanib tayyorlash yuqori samara beradi. Ularning geometrik o'lchamlarini millionlar darajasida kamaytirish bilan bir qatorda, yarimo'tkazgich yupqa pardalarida kuzatiladigan yangi fotoelektrik

hodisalardan foydalanib funksional imkoniyatlari juda yuqori optronlar oilasini yaratish imkoniyati tug'iladi. Shu sababli mikroelektron yupqa pardali optoelektronika sohasining shakllanish tarixi yorug'lik manbai va foto qabul qilgichlar yaratish bilan bog'liq.

Optronlarning samaradorligi asosan uning foton manbasi uzatayotgan yorug'lik energiyasidagi, uzatish tizimidagi, foton



qabul qiluvchi qismidagi spektral moslashuvning yuqoriligini ta'minlash bilan bog'liq [1]. Shu bilan birga fotopriemnik materialidagi rekombinatsion jarayonlarda kuzatiladigan energiya yo'qotishlari ham samaradorlikka ta'sir qiladi. Qayd etilgan energiya yo'qotishlarini kamaytirish maqsadida, fotopriemnik va unga yorug'likni eltuvchi tizimga bog'liq spektral, polyarizatsion tadqiqotlar olib borilgan. Bu ilmiy-tadqiqotlar natijalari spektral bog'lanishlarda (1-rasm) ifoda etilgan.



2-rasm. Yorug'lik diodlari nurlanish amplitudasining spektri

Samaradorlikning spektral bog'lanishiga muvofiq, spektrning ultrabinafsha sohasi uchun (300-400 nm) ZnS dan, spektrning ko'rinadigan nurlar spektral sohasi uchun (400-750 nm) CdTe, CdS lardan, infraqizil soha uchun (750-6000 nm) PbS, PbSe yarimo'tkazgich materiallarida fotopriyomniklar tayyorlanadi [2].

Optoelektron quyosh qurilmalari elektron bog'lanishli yana ikkita konturdan iborat optoelektron tizim vositasida ishlaydi. Bunday qurilmalarning samaradorligi sifati asosan kontur elementlari bilan bog'liq. Qurilma optronlari elementlarining yorug'lik (foton) manbalarining spektral tarkibi, foton iste'molchilarining (fotopriemnik) spektral tarkiblariga qanchalik mos

Optoelektron quyosh qurilmalari optik (foton) bog'lanishli ikkita kontur

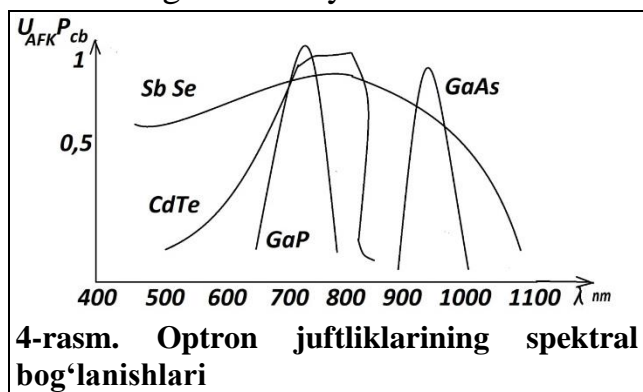


3-rasm. Kadmiy va surma asosidagi kristall svetodiod.

kelishiga qarab tanlanadi. Moslik darajasiga bog'liq ravishda energiya yo'qotishlari (yorug'lik intensivligiga, spektriga, materialdagi rekombinatsiya-generatsiya bilan bog'liq yo'qotishlar) baholanib boriladi.

Buning uchun optojuftlik elementlarida spektral tekshirishlar olib boriladi. Oraliq optronlarda asosan manba sifatida yorug'lik diodlari (SD) ishlatiladi. Ba'zi yorug'lik diodlari uchun nurlanish amplitudasining spektri 2-rasmda ko'rsatilgan.

Spektrga mos fotopriemnik tanlanib optojuftlik yig'iladi. Qurilmaning ishlatilishi joyiga qarab, yorug'lik diodi kristall-diskret ko'rinishida yig'ilganlari turg'un ishchi holat uchun ishlatiladi. Fotopriyomniklarning ham shunga mos loyihalari tanlanadi. Mikroelektron variantdagi optronlar yupqa



4-rasm. Optron juftliklarining spektral bog'lanishlari

pardali ko'rinishda loyihalanadi [3]. Bunday optronlar, mikrominiatyur o'lchamlar zarurati bor sohalarda (masalan, kosmik texnika) ishlatiladi. (3,4-rasmlar).

Optoelektron qurilmaning samaradorligi yuqoridagilar bilan bir qatorda, elementar optron elementlari (yorug'lik manbasi va uning iste'molchisi) orasidagi optik foton signallarining kam yo'qotishlar bilan

vositasiidagi bog'lanishlardagi yorug'lik

buzilmay foto qabul qilgichga yetib kelishi bilan bog'liq. Mikroelektron tizimda ham bu muammoni tolali optika vositasida amalga oshirish mumkin. Tolali optika qurilmalari ixcham, uning yorug'lik tolasi diametri 1 mkm atrofida bo'ladi. Elastikligi yuqori, uning egilishi uzatilayotgan optik signalni buzmaydi. Samaradorligi elektr aloqa vositasidan juda yuqori. Tasvir uzatish imkoniyatining darajasi yuqori. Bu afzalliklarni amalga oshirish uchun optik tola bilan manba va yorug'lik iste'molchisi orasidagi optik kontakt sifati yuqori bo'lishi kerak. Bu vazifani qoniqarli darajada amalga oshirish uchun immersion muhitning sindirish ko'rsatkichi (n) yorug'lik manbasi va fotopriyomnik sindirish ko'rsatkichiga yaqin bo'lishi kerak. Yuqori sindirish ko'rsatkichli materialdan optik tola yasash, kontakt sifatini ta'minlash to'la ichki qaytish burchagini orttiradi va yorug'lik qaytishi bilan bog'liq optik (foton) yo'qotishlarni kamaytiradi. Bunday optik tola materiali sifatida selenli oyna ($n=1.8\div 1.9$) dan foydalanish mumkin [4]. Yorug'lik manbasi va fotopriyomnik materialidagi generatsiya-rekombinatsiya jarayonlari bilan bog'liq optik yo'qotishlar ham optron samaradorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Bunday salbiy oqibatlarining dastlabki darajasini baholash maqsadida manba geterokontaktlaridagi potensial o'zgarishlarning-potensial diagrammasidan foydalaniladi (zona diagrammasi).

Xalkogenid yupqa yarimo'tkazgich pardalari olish va ular negizida yuqori samarador generator tipidagi fotopriyomniklar yaratish asoslari takomillashtirildi. Spektral bog'lanishlarni tadqiq qilish bilan optimal optron juftlik yaratish mumkinligi aniqlangan. Mitti yoritgichdan foydalanib mikroelektron optronlar yaratish asoslari bayon qilingan. Optron samaradorligiga sezilarli ta'sir ko'rsata oladigan omillar aniqlangan. Ulkan va mitti yoritgichlarning birgalikda ishlashini ta'minlovchi optoelektrik qurilma yaratish istiqbollari ko'rsatilgan.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR.

1. Onarkulov, K. E., Naymonboyev, R., Yuldashev Sh, A., & Yuldashev, A. A. (2021). Preparation of photo elements from chalcogenide thin curtains. *Electronic journal of actual problems of modern science, education and training*, 7(2).
2. Onarkulov, M., Nasriddinov, S., Yuldashev, S., & Yunusaliev, L. (2020). TECHNOLOGICAL FEATURES OF OBTAINING STRENGTH SENSITIVE POLYCRYSTALLINE FILMS $Bi_2-XSbXTe_3$. *Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering*, 2(3), 27.
3. Onarkulov, K. E., Naymanbayev, R., Yuldashev, A. A., & Yuldashev Sh, A. (2021). Халкогенид бирикмалари устида тадқиқотлар. *Eurasian journal of academic research*, 1(6), 136-137.
4. Онаркулов, К. Э., Юлдашев, Ш. А., & Юлдашев, А. А. (2022). ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ И МЕХАНИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЙ. *Central Asian Research Journal for Interdisciplinary Studies (CARJIS)*, 2(3), 427-434.

MID-INFRARED (2–5 MM) LED LASER SOURCES FOR SELECTED GAS DETECTION (CH₄, CO₂, H₂S)

Valikhonov Akramkhon Avazkhon ugli
Fergana State Technical University, Assistant
vakhon5100@gmail.com ,+998938605100

Abstract: This article discusses the possibilities of selective detection of CH₄, CO₂, and H₂S gases using semiconductor LEDs and lasers operating in the mid-infrared (mid-IR, 2–5 μm) range. The article presents theoretical calculations based on the Beer–Lambert law, graphical modeling results, and practical applications.

Keywords: Mid-IR (2–5 μm), Infrared LED, Gas spectroscopy, CH₄ detection, CO₂ monitoring Beer–Lambert law, Optical gas sensor

1. Introduction

Currently, rapid and accurate detection of gases is of great importance in atmospheric monitoring, environmental safety and industrial technologies. In particular, monitoring of gases such as methane (CH₄), carbon dioxide (CO₂) and hydrogen sulfide (H₂S) is important from the point of view of environmental and industrial safety. The mid-IR range (2–5 μm) corresponds to the molecular vibrational spectra of these gases. Therefore, LED and laser sources operating in this range provide the possibility of selective detection [1].

2. Materials and Methods

The main theoretical basis for spectroscopic determination of gases is the Beer–Lambert law [2]. According to this law, the intensity of light decreases exponentially as it passes through a gas:

$$I = I_0 \exp(-\alpha c L)$$

Here: I is the output intensity,

I_0 is the initial intensity,

α is the absorption coefficient,

c is the gas concentration,

L is the optical path length.

3. Results and Discussion

Experimental measurements and theoretical modeling have shown agreement. This confirms the reliability of mid-IR gas sensors. Practical applications include atmospheric monitoring, industrial safety, gas leak detection, and breath analysis in medicine.

The results show that there are two main approaches to increasing sensitivity and selectivity: (1) using laser sources with a narrow spectral line (e.g., quantum cascade lasers), and (2) using LED sources with a wider spectral range and then isolating the specific gas line using optical filters. While LED technology is inexpensive and compact, laser sources provide high resolution.

According to the Beer–Lambert law, the absorption intensity depends on the gas concentration and the optical path length. Thus, the sensitivity can be increased by extending the optical path in the sensor design. For example, 100 ppm CH₄ gas in a

10 cm path length causes a signal reduction of almost 5%. If the path length is increased by 1 m, the signal reduction at the same concentration reaches 40% [3].

As can be seen from the graphs above, CH₄ gas has a strong absorption line around 3.3 μm. This allows methane gas to be detected at exactly this wavelength. CO₂ gas shows significant absorption in the range of 4.2–4.3 μm. H₂S has an absorption maximum in a relatively narrow range (~2.6 μm). These results indicate that all three gases can be detected simultaneously or sequentially if the wavelength of the laser or LED sources is chosen appropriately. The graphs below model the absorption spectra in the 2–5 μm range for CH₄, CO₂ and H₂S gases (Figure 1). The results show that each gas has its own unique spectral lines, which allows for selective detection.

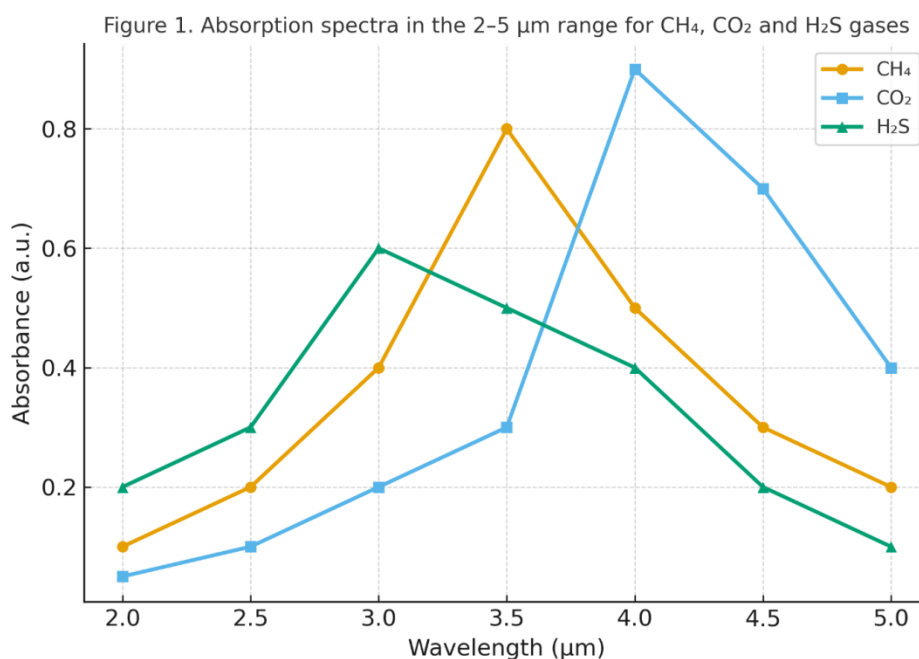


Figure 1. Absorption spectra in the 2–5 μm range for CH₄, CO₂ and H₂S gases

4. Conclusion

The results of the study show that LED and laser sources operating in the mid-infrared (2–5 μm) range allow for highly selective detection of CH₄, CO₂, and H₂S gases. Such technologies can be widely used in environmental monitoring, industrial safety, and medicine.

Literature

[1] Hodgkinson, J., & Tatham, RP (2013). Optical gas sensing: a review. *Measurement Science and Technology*, 24(1).

[2] Werle, P., et al. (2002). Near- and mid-infrared laser-optical sensors for gas analysis. *Optics and Lasers in Engineering*, 37(2-3).

[3] Curl, RF, et al. (2010). Quantum cascade lasers in chemical physics. *Chemical Physics Letters*, 487(1-3).

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИБКИХ И БИОСОВМЕСТИМЫХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

Касимахунова А.М., Нурдинова Р.А.

Ферганский государственный технический университет

nurdinovar2016@mail.ru, +998 903021675

Аннотация. В статье рассмотрены современные подходы к разработке гибких и биосовместимых термоэлектрических материалов для медицинских применений. Показано, что использование органических проводников, наноструктурированных и гибридных материалов позволяет создавать автономные источники питания для носимых и имплантируемых устройств. Особое внимание уделено вопросам биосовместимости и защите термоэлектрических элементов при контакте с живыми тканями. Отмечены основные преимущества (автономность, гибкость, компактность) и недостатки (низкая эффективность органических ТЭМ, высокая стоимость наноматериалов, необходимость клинической апробации).

Ключевые слова. термоэлектрические материалы; гибкие материалы; биосовместимость; носимые устройства; имплантируемые устройства; эффект Зеебека; эффект Пельтье; биомедицинская инженерия; энергосбор; протезирование.

Развитие медицинских технологий требует создания новых источников питания и сенсорных систем, которые были бы компактными, безопасными, долговечными и биосовместимыми. Одним из перспективных направлений является использование гибких термоэлектрических материалов (ТЭМ), способных преобразовывать тепло человеческого тела в электрическую энергию и обеспечивать автономное питание носимых и имплантируемых устройств [1-5].

Гибкость и биосовместимость являются ключевыми требованиями при разработке таких материалов, так как они должны безопасно контактировать с кожей или внутренними тканями организма, не вызывая воспалений и отторжения.

Для решения поставленной задачи исследованы материалы, как органические проводники (PEDOT:PSS, полипиррол, полиацетилен), наноструктурированные материалы (углеродные нанотрубки, графен, нанопроволоки), гибридные материалы (Bi_2Te_3 в полимерной матрице), биосовместимые покрытия (хитозан, альгинаты).

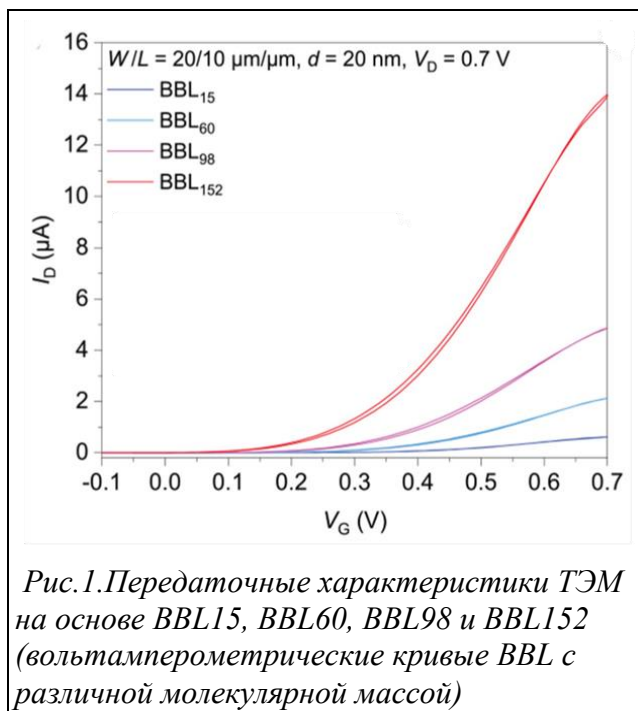


Рис. 1. Передаточные характеристики ТЭМ на основе BBL15, BBL60, BBL98 и BBL152 (вольтамперометрические кривые BBL с различной молекулярной массой)

Проводящие полимеры р-типа долгое время были наиболее изучаемыми органическими термоэлектрическими материалами из-за их относительно высоких характеристик по сравнению с полимером n-типа. BBL был одним из самых первых изученных проводящих полимеров n-типа с удовлетворительной проводимостью. Wu и др. приготовили BBL с различной молекулярной массой (от 4,9 кДа до 51 кДа), контролируя время реакции полимеризации, и изучили взаимосвязь между молекулярной массой BBL и электрическими свойствами [6]. На рисунке 1 показаны

передаточные характеристики различных ОЕСТ на основе BBL. Экспериментальные результаты показали, что с увеличением молекулярной массы увеличивается эффективная длина сопряжения BBL, уменьшается расстояние упаковки π - π , улучшается кристалличность BBL и уменьшается электрохимический потенциал легирования, что может способствовать переносу электронов. Эксперимент также продемонстрировал, что молекулярная структура полностью жесткого трапециевидного сополимера в меньшей степени подвержена влиянию молекулярного запутывания, поэтому увеличение молекулярной массы может значительно улучшить электрические свойства полимера.

Разработанные материалы могут применяться в следующих направлениях медицины:

- Носимые устройства для мониторинга здоровья.
- Имплантируемые источники питания для кардиостимуляторов и нейростимуляторов.
- Локальная термотерапия (охлаждение или нагрев тканей).
- Реабилитация и протезирование (сенсоры давления и температуры в протезах).

К преимуществам термогенераторов: автономность, компактность, гибкость, биосовместимость. По ряду преимуществ есть такие недостатки, как ограниченная эффективность органических ТЭМ, высокая стоимость наноматериалов, необходимость клинической апробации.

Разработка гибких и биосовместимых термоэлектрических материалов открывает перспективы для создания новой генерации медицинских устройств, которые будут автономными, миниатюрными и долговечными. Их внедрение позволит повысить уровень персонализированной медицины, облегчить диагностику и терапию, а также улучшить качество жизни пациентов.

Список литературы

1. Rowe, D. Thermoelectrics: From Macro- to Nanoscale. CRC Press, 2006.
2. He, W., Zhang, G., Zhang, X., et al. Current Developments and Applications of Thermoelectric Generators and Coolers // Applied Energy. - 2015. - Vol. 143. - Pp. 1–25.
3. Kim, S.I., Lee, K.H., Mun, H.A., et al. Dense Dislocation Arrays at Grain Boundaries for High-Performance Bulk Thermoelectrics // Science. - 2015. - Vol. 348, No. 6230. - Pp. 109–114.
4. Snyder, G.J., Toberer, E.S. Complex Thermoelectric Materials // Nature Materials. – 2008. – Vol. 7. – P. 105–114.
5. Zhang, Q., Sun, Y., Xu, W., Zhu, D. Organic thermoelectric materials: Green energy systems for direct and efficient heat-to-electricity conversion // Advanced Materials. – 2014. – Vol. 26, No. 40. – P. 6829–6851.
6. Wu H.Y., Yang C.Y., Li Q., Kolhe N.B., Strakosas X., Stoeckel M.A., Wu Z., Jin W., Savvakis M., Kroon R., et al. Influence of Molecular Weight on the Organic Electrochemical Transistor Performance of Ladder-Type Conjugated Polymers. Adv. Mater. 2021;34:2106235. doi: 10.1002/adma.202106235.

STUDY OF WAVEFRONT DISLOCATIONS AND SPECKLE DYNAMICS WITH CHANGING POLARIZATION

T. Akhmadjanov, O. Kholmatova*, O. Maksoudboyeva, S. Samarboyev
National University of Uzbekistan, Photonics Department, *xolmatova_o@nuu.uz

Abstract — This paper studies the dynamics of speckle patterns passing through a diffuser. An approach to detecting the localization and statistical analysis of wavefront dislocations based on experimental interferograms is proposed. By changing the polarization angle of the light incident on the ground glass surface, the observed speckle structure can be controlled.

Keywords— wavefront dislocation, interferogram, localization, speckle pattern.

Introduction. In optical systems, when a signal from a coherent source (e.g., a laser) is transmitted through a multimode fiber, the multiple modes propagating in the fiber interfere with each other. This interference results in the appearance of speckle patterns on the output surface [1].

The influence of the spectral width of the source on coherence and speckle fields plays an important role in the formation of the interference pattern [2]. It has been established that as the spectral width of the radiation decreases, the source becomes coherent, which enhances the speckle fields and increases noise, which leads to a deterioration in the quality of the surface being studied [3]. In case of expansion of the spectral band, coherence decreases, speckle contrast decreases and the signal-to-noise ratio increases [2].

The output intensity is distributed over the speckle structure and when conditions change, for example, the width of the source spectrum, the frequency of light, the position of the fiber, the length of the fiber, the conditions of mode excitation, etc., the patterns of the speckle pattern change, resulting in mode noise [1]. To reduce this modal noise, the input frequency of the radiation can be varied by varying the value of the input frequency [2]. A solution to reduce modal noise is the frequency averaging method [3].

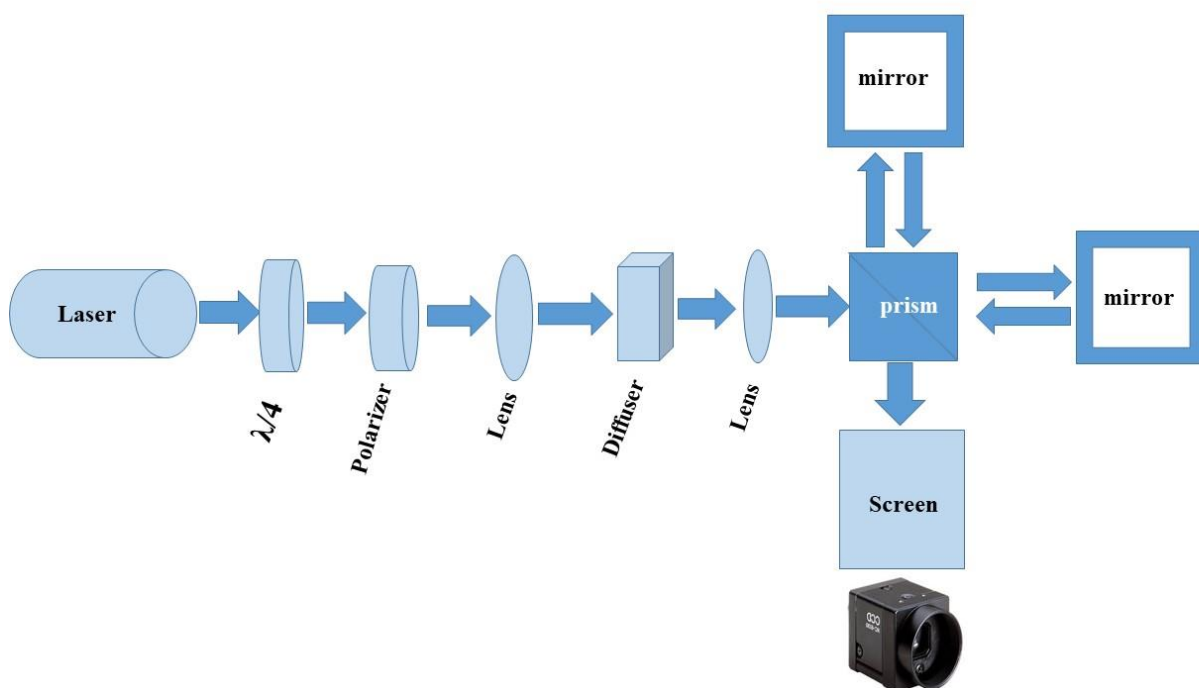
Light and fiber characteristics influence the speckle noise level [4]. Using simulation, the speckle field structure at the output of a multimode fiber was studied under different excitation conditions [5]. Changing the frequency or phase in the fiber allows reducing the source coherence through the frequency and time averaging method [6].

This study applies the idea of noise analysis using the wavefront dislocation method, where the phase becomes uncertain and the amplitude drops to zero. The goal of the work is to find the branching points of the interferogram fringes.

Description of experiment

In this experimental work, in Fig.1, we used a semiconductor continuous laser with a wavelength of 520 nm, a voltage of 7.4 V, and a current of 0.45 A.

Fig.1. Schematic layout of the experimental setup



The laser beam is first passed through a quarter-wave plate ($\lambda/4$), where its linear polarization is converted to circular polarization. The beam is then directed to a polarizer, whose polarization can be controlled by the speckle contrast. The light passing through the polarizer is directed to a diffuser using a lens. A frosted glass was used as a diffuser, the rays emerging from the diffuser are collected by a second lens and divided into two parts by a beam-splitting prism: one part is reflected by mirrors and deflected in the desired direction within the system, and the second is directed to

the screen and camera. Speckle patterns are observed on a screen, and a camera records these images. Thus, the polarizer angle is the primary control, significantly affecting speckle contrast and image quality.

During the experiment, the effect of the polarizer angle on the speckle structure and dislocation positions was examined. The polarizer angle was sequentially rotated forward ($0^\circ - 90^\circ$) and reverse ($90^\circ - 0^\circ$), resulting in changes in the average speckle intensity and contrast. The analysis showed that when the polarizer angle was changed in the forward direction, the speckle image intensity reached a value of 34.515 at 40° , and the contrast was 0.686 at 45° .

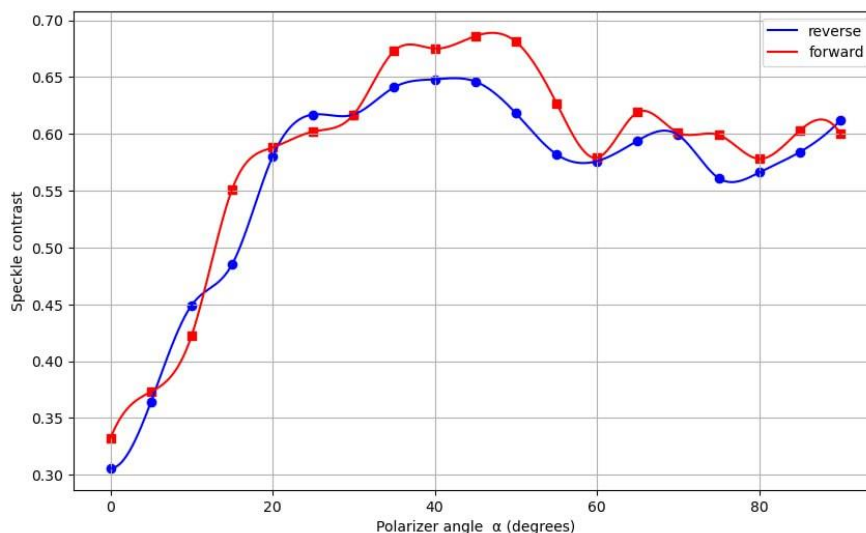
When conducting the experiment in the opposite direction ($90^\circ - 0^\circ$), the maximum average intensity was 35.328 at 40° . The contrast values were 0.641 at 35° and 0.648 at 40° . The number of dislocations in these intervals also increased, reaching a maximum value in the range of $40^\circ \div 45^\circ$.

Results and discussions

Analysis of speckle contrast as a function of the polarizer angle (α) reveals an increase in contrast in the range from 0° to 40° , and then fluctuates at higher angles.

Fig.2. Dependence of speckle contrast and polarizer angle

In direct rotation, the maximum contrast reaches approximately 0.69 at around 40° , while after 40° , the contrast decreases slightly and exhibits oscillatory fluctuations



up to 90° . These results confirm that the polarizer angle plays a crucial role in controlling speckle contrast.

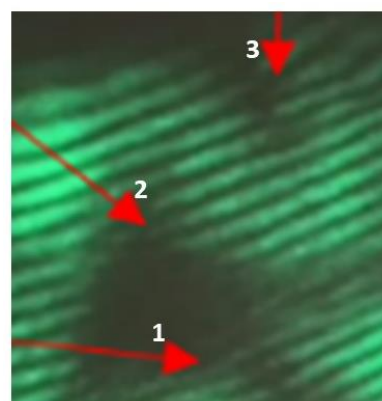
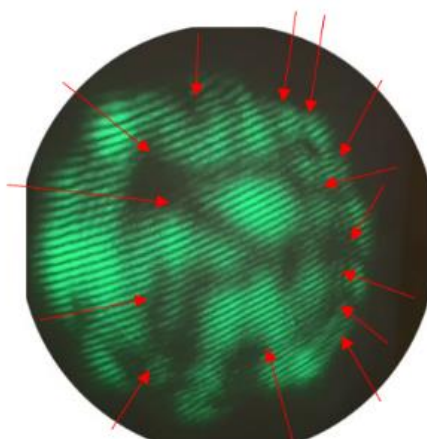


Fig.3. Branching point of the interference pattern

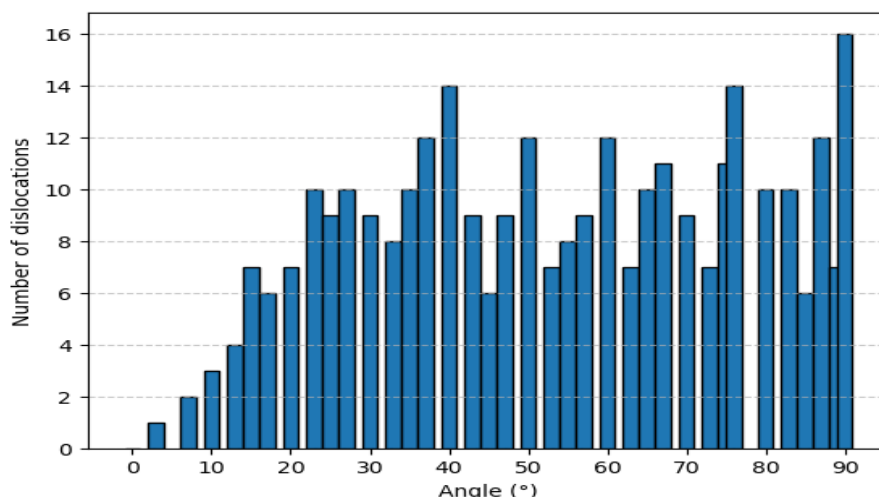


Fig. 4. Histogram of dislocations by angles

As a result of the experiment, an interference pattern was obtained with pronounced branching points of the bands, as shown in Fig. 3 at $\alpha=90^\circ$, where a is the observed interference pattern, b is a fragment cut out from the interferogram. Fig. 4 shows a histogram of the distribution of dislocations when rotating the polarizer angle.

Their presence is due to local changes in the phase front of coherent radiation that occur during the interaction of the light wave with inhomogeneities of the studied medium or surface roughness [7].

Overall, we found that the speckle structure characteristics depend not only on the laser coherence but also on the diffuser (surface) characteristics. These results are important for applications related to speckle imaging, optical measurements, and the study of optical chaos [8-9].

REFERENCES

- [1] E. G. Rawson, J. W. Goodman, and R. E. Norton, "Frequency dependence of modal noise in multimode optical fibers," *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 70, no. 8, pp. 968-976, 1980, doi:10.1364/JOSA.70.000968.
- [2] A. Efimov, "Different measures of speckle and coherence at the output of a multimode optical fiber," *Journal of the Optical Society of America A*, vol. 36, no. 1, pp. 1–11, Jan. 2019, doi: 10.1364/JOSAA.36.000001
- [3] A. T. Friberg and T. Setälä, "Different measures of speckle and coherence at the output of a multimode optical fiber," *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 36, no. 1, pp. 1–11, 2019, doi: 10.1364/JOSAA.36.000001.
- [4] Y. Cai, Y. Chen, and F. Wang, "Effects of residual coherence on the scintillation of a partially coherent beam," *Opt. Express*, vol. 27, no. 19, pp. 26874–26881, 2019, doi: 10.1364/OE.27.026874.
- [5] G. Rawson and J. W. Goodman, "Speckle in optical fibers," in *Applications of Speckle Phenomena*, Proc. SPIE, vol. 243, pp. 1–10, 1980, San Diego, CA, USA, doi: 10.1117/12.959282
- [6] B. Moslehi, "Analysis of optical phase noise in fiber-optic systems employing a laser source with arbitrary coherence time," *J. Lightwave Technol.*, vol. LT-4, pp. 1334-1351, Sept. 1986.
- [7] W. Goodman, *Speckle Phenomena in Optics: Theory and Application* (Roberts and Company Publishers, 2007).
- [8] M.V. Berry, M.R. Dennis, Phase singularities in isotropic random waves, *Proc. R. Soc. A* 456 (2000) 2059–2079.

[9] Y. Yan, G. Xie, M. P. J. Lavery, H. Huang, A. Ahmed, C. Bao, Y. Ren, Y. Cao, L. Li, Z. Zhao, A. F. Molisch, M. Tur, M. J. Padgett, and A. E. Willner, "High-capacity millimetre-wave communications with orbital angular momentum multiplexing," *Nature Communications*, vol. 5, pp. 1–9, 2014, doi: 10.1038/ncomms5876.

ENERGETIKA VA EKOLOGIK BARQARORLIKDA RAQAMLI INNOVATSIYALAR

СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КАДРОВ В УСЛОВИЯХ МАССОВОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Муминов Р.А., Аскарлов М.А., Имамлов Э.З., Каримов Х.Н., Имамлов А.Э.

Муминов Р.А. - доктор физико-математических наук, профессор, академик АН
РУз, НПО «Физика-Солнце», ФТИ АН РУз

Аскарлов М.А. – доктор философии (PhD) по физико-математических наук,
доцент ТХТИ

Имамлов Э.З. – доктор физико-математических наук, профессор, Ташкентский
университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, Е-
mail: erkinimamov@mail.ru

Каримов Х.Н. – старший преподаватель, Ташкентский университет
информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий (ТУИТ), Е-mail:
karimov@tuit.uz

Имамлов А.Э. – кандидат юридических наук, старший преподаватель, Академия
МВД Республики Узбекистан, Е-mail: azizimamov@mail.ru

Аннотация. Показано, что солнечная энергетика как одна из видов (гидро, тепло, атомной, ветреной) энергетике имеет весьма своеобразное отличие от других энергетике тем, что производит постоянное электричество. Отмечается, что подобное свойство солнечной энергетике вызывает необходимость существенного пересмотра и правового обеспечения учебных планов, программ дисциплин, а также программ прохождения производственных практик, юридических положений о взаимодействии учебного заведения и производства, касающихся процессов подготовки кадров и проблем их трудоустройства.

Ключевые слова. Электричество, постоянный ток, переменный ток

Abstract. It is shown that solar energy as one of the types of energy (hydro, thermal, nuclear, wind) has a very specific difference from other energy sources in that it produces constant electricity. It is noted that such a property of solar energy causes the need for a significant revision and legal support of curricula, programs of disciplines, as well as programs for industrial practice, legal provisions on the interaction of an educational institution and production, concerning the processes of training personnel and problems of their employment.

Key words. Electricity, direct current, alternating current

Abstrakt. Quyosh energiyasi energiya turlaridan biri (gidro, issiqlik, yadro, shamol) sifatida doimiy elektr energiyasi ishlab chiqarishi bilan boshqa energiya manbalaridan juda o'ziga xos farq qilishi ko'rsatilgan. Ta'kidlanishicha, quyosh energiyasining bunday xususiyati o'quv rejalari, fanlar dasturlari, shuningdek ishlab chiqarish amaliyoti dasturlari, ta'lim muassasasi va ishlab chiqarishning o'zaro hamkorligi, kadrlar tayyorlash jarayonlari va ularni ish bilan ta'minlash muammolariga oid huquqiy qoidalarni jiddiy qayta ko'rib chiqish va huquqiy jihatdan ta'minlash zarurligini keltirib chiqaradi.

Kalit so'zlar. Elektr, o'zgarmas tok, o'zgaruvchan tok

Введение

Непрерывно растущие в мире технические и технологические инновации требуют от профессионального образования оперативного совершенствования соответствующего цикла учебного процесса. В этом плане в современном мире наиболее богатой на инновации отраслью является солнечная энергетика, его технологии и принципы функционирования.

Солнечная энергетика имеет весьма своеобразное отличие от основных известных видов энергетик: гидро, термо, атомной, ветряной. Все они вырабатывают переменное электричество. За десятилетия их потребления люди привыкли и многие даже не предполагали, что может быть какие-то альтернативы к переменному току. Вся мировая практика потребления электричества в 20 столетии опиралась на электрические устройства, работающие исключительно на переменном токе.

Естественно, такая тенденция не могла не отразиться и в системе подготовки инженерно-технических кадров, в которой до сих пор, в основном, электрические проблемы сводились к работе устройств, работающих на переменном токе и к проблемам его эксплуатации.

В 21 веке, однако, произошли серьезные технические, технологические изменения и новшества в сфере энергетик и устройств его потребления. Главное среди них является активное развитие солнечной энергетик, обладающая принципиальным отличием от других видов энергетик - она производит постоянное электричество.

Та же ситуация была и высших учебных заведениях. Там проблемы и вопросы энергетик рассматривались с точки зрения использования переменного электричества. И в области фундаментальных научных знаний (например, знаний по физики), и в специальных дисциплинах, и в вопросах эксплуатацию различных специфических электрических приборов и устройств, они касались, в основном, их проблем функционирования переменным электричеством. Даже проблемы организации и проведения

производственных практик, будущих инженеров-энергетиков, ориентировались на устройствах с переменным током.

В силу сказанного выше, **масштабный переход** на потребление постоянного электричества делает необходимым существенный пересмотр учебных планов, программ дисциплин и программ прохождения производственных практик. Пересмотру подлежат юридические положения о взаимодействии учебного заведения и производства, проблемы трудоустройства и организации производственных практик. Все это становится особенно важным и для вводимых дуальных образовательных систем и соответствующих учреждений [1-2].

Таким образом, актуальной и насущной задачей высшего образования, в особенности, высшего технического образования, является трансформация системы подготовки инженерно-технических кадров по солнечной (или зеленой) энергетике на основе укрепления взаимной интеграции образования, науки и производства.

Специфика солнечной энергетики в инженерно-технических направлениях образования

В статье мы представляем на рассмотрение ряд обязательных актуальных задач, вопросов и проблем, подлежащих безотлагательному коренному пересмотру (а в дальнейшем – к внедрению в учебный процесс) всех энергетических технических направлений бакалавриата. Выводы по этим вопросам и проблемам следуют из тщательного изучения международного опыта, в частности, из накопленных материалов богатого опыта европейских университетов Италии, Испании и Португалии (POLITO, UPM, UEVORA). Дело в том, что, начиная с 2023 года, организованы в ТУИТ совместные с ними исследования, которые ведутся по программе Erasmus+ в рамках проекта **«DEBSEUz - разработка целевой образовательной программы для бакалавров в области солнечной энергетики в Узбекистане»** (ТУИТ-является официально утвержденным в Брюсселе национальным координатором).

Проект объединяет 11 партнеров:

- Ташкентский университет информационных технологий (ТУИТ), Узбекистан – национальный координатор,
- Туринский политехнический университет (POLITO), Италия,
- Эворский университет (UEVORA), Португалия,
- Мадридский политехнический университет (UPM), Испания,
- Туринский политехнический университет в Ташкенте (ТПУ), Узбекистан,
- Джизакский политехнический институт (ДжизПи), Узбекистан,
- Ферганский политехнический институт (ФерПи), Узбекистан,
- Андижанский государственный университет (АГУ), Узбекистан,

- Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» (ТИИМСХ), Узбекистан,

- Каракалпакский государственный университет (КГУ), Узбекистан,

- Министерство высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан (МВСНИУ).

Особенность проекта «DEBSEUz» в том, что он предполагает **подготовку системы высшего профессионального образования Узбекистана к бесперебойному обеспечению местными специалистами будущий процесс эксплуатации массовых солнечных электростанций** [3-6].

Усилиями участников проекта «DEBSEUz» уже определены 12 спецкурсов, содержания которых подлежат коренной трансформации предлагаемого учебного материала, а 4 спецкурса - требуют определенных частичных дополнений.

Подготовка учебных курсов уже находится на стадии завершения:

- к 10 октябрю будут подготовлены полный набор всех 12 курсов,

- будут представлены в ТГТУ (Ташкентский государственный технический университет - ответственный вуз по направлению ВИЭ) на утверждение учебные программы всех 12 курсов и соответствующих 12 их силлабусов,

- будут подготовлены сокращенные курсы для краткосрочных программ обучения по всем 12 курсам,

- в ТТПУ будет по согласованию с POLITO и АнГУ организован методический семинар по проведению занятий по новым курсам для сотрудников вузов-партнёров (ФерГТУ, ТИИМСХ, ДжизГТУ и КГУ).

Кроме учебно-методических проблем почти подготовлены к реализации, следующие организационные мероприятия:

- МВСНИУ РУз (по проекту «DEBSEUz» - его партнер) уже официально утвердило квоты приема на 2025-2026 учебный год в бакалавриат по возобновляемым источникам энергии (ВИЭ),

- запланировано проведение в вузах-партнёрах семинаров на основе тренинга в UPM,

- размещение информации о семинарах будут представлены на сайте проекта, официальных страницах университетов, в Facebook, Instagram и других платформах.

- создаются учебные центры (коворкинг-центры) по обмену информацией в ФерГТУ, ТИИМСХ, ДжизГТУ и КГУ,

- разработаны положения об учебных центрах и подготовлены соответствующие документы,

- определены должностные лица, ответственные за деятельность учебных центров, разработку и строгое выполнение в установленные сроки его рабочих планов,

- в рамках проекта начата подготовка к международной конференции, проведение которой и активное участие всех исполнителей проекта «DEBSEUz» запланировано в ноябре.

Научные, образовательные и административно-управленческие проблемы эксплуатации массовой солнечной энергетики

В качестве первоочередных задач высшего профессионального технического образования предлагается незамедлительное решение следующих научных, образовательных и административно-управленческих (законодательных) проблем, связанных, в недалеком будущем, с массовым процессом эксплуатации солнечных электростанций:

- **Физика преобразования энергии в электричество** – необходимо проанализировать роль закона электромагнитной индукции Фарадея, который в 1831 году открыл человечеству путь к массовому электричеству.

- **Промышленное преобразование различных энергий в электрическую энергию** – здесь сравнительном порядке надо последовательно рассмотреть принцип работы и технические характеристики турбин, механизмов преобразования в электричество всех видов электричества, а также особенности электростанций (ГЭС, ТЭС, АЭС, ВЭС, СЭС).

- **Электричество прямого и переменного тока** – на конкретных примерах продемонстрировать принципиальные отличия между ними, раскрыть причину, по которому долгое время превалировало применение переменного тока, обосновать особенности условий, приведших в 21 веке к массовому применению постоянного электричества.

- **Преобразование солнечного излучения в электрическую энергию** – подробное описание истории возникновения постоянного электричества, интересы человечества, сферы его изначального применения, чем обусловлен современный интерес к постоянному электричеству (природные, политические, финансовые, научные, технико-технологические)

- **Фотоэлектрические солнечные электрические станции – СЭС** – представить схему преобразования солнечного излучения в электричество, описание технических средств и структуру устройств СЭС, необходимые для этого материалы и их количественные параметры, негативные и позитивные аспекты преобразования солнечного излучения в электричество.

- **Фотоэлектрические СЭС автономного обеспечения** – при каких условиях более эффективны СЭС автономного обеспечения, в каких жизненных ситуациях этот вид электропотребления нужно применять, финансовые аспекты СЭС автономного обеспечения.

- **Принцип работы фотоэлектрической СЭС автономного обеспечения** – раскрыть структуру СЭС автономного обеспечения,

особенности эксплуатации, как осуществляется взаимодействия с контролирующими органами.

- **Установки фотоэлектрические СЭС автономного обеспечения** – индивидуальные солнечные панели. Их разновидности отличия от других родственных конструкций, стоимостные показатели технического обслуживания

- **Дополнительные оборудования фотоэлектрических СЭС** – рассмотрение конкретных типов контроллеров заряда-разряда, аккумуляторных батарей, инверторов, соединительных кабелей и коннекторов.

- **Фотоэлектрическая гибридная СЭС (соединенных с сетью)** – рассмотреть структуру соединенных с сетью СЭС, отличие от СЭС автономного обеспечения, их разновидности, способы осуществление их коммутации с сетью и солнечными батареями. Кроме того пересмотреть методы осуществления переключения питания объекта на электросеть при отсутствии солнечной энергии или полном разряде аккумуляторов.

- **Солнечные батареи и резервный дизель-генератор** - при отсутствии подключения к сети происходит автоматический запуск резервного генератора с подзарядкой аккумуляторной станции, схема сети из солнечных батарей и резервного генератора в зависимости от их разновидностей.

- **Гибридная автономная система «солнце - ветер»** - позволяет создать полностью автономную систему практически бесперебойного питания по схеме: днем от СЭС, ночью – от ВЭВ, рассмотреть устройства, обеспечивающие поэтапный переход от постоянного электричества к переменному.

- **Башенные солнечные электростанции-БСЭС** - работают по принципу испарения воды под действием солнечного излучения:

* в центре БСЭС имеется черный резервуар с водой;



* излучение от гелиостатов (обычно их несколько сот и более) осуществляют зеркала, закрепленные на управляемой подвижной опоре, которые направляют на приемник энергии солнечного излучения;

* зеркала соединены с компьютерной системой позиционирования (к Солнцу), которая

в зависимости от месторасположения Солнца, направляет отраженные лучи от всех гелиостатов на резервуар;

* рассмотреть отличие СЭС (постоянное электричество) от БСЭС (переменное электричество);

* принцип работы БСЭС необходимо не только описать, но и организовать экскурсию в крупнейшую в мире Солнечную печь в городе Паркенте (Узбекистан), где действуют 3300 управляемых зеркал.

Дадим более подробно информацию о Башенных солнечных электростанциях или гелиоконцентраторах – БСЭС, получившие приоритетное развитие именно в Узбекистане в далеком 20 веке. Они работают по принципу испарения воды под действием солнечного излучения - в центре БСЭС имеет черный резервуар с водой, излучение от гелиостатов - обычные несколько сот (или даже – тысячи) зеркал, закрепленные на управляемой подвижной опоре, направляют на приемник энергии солнечного излучения, зеркала соединены с компьютерной системой позиционирования (к Солнцу), которая в зависимости от месторасположения Солнца, направляет отраженные лучи от всех гелиостатов на резервуар. У нас в Паркенте эта одна из крупнейших в мире башенных Солнечных печей (1985 год, академики А.Александров, С.Азимов, Т.Рискиев руководили его строительством и в 1990 году - пуском). В ней действуют 3300 управляемых компьютером зеркал, концентрированное излучение которых нагревает воду в резервуаре и затем пар создает переменное электричество. Это гелиоконцентратор — термальная солнечная **электростанция** с башней-приемником. и пересекающимися полями зеркал. Внешне «фабрика по производству энергии» выглядит обычно для сооружений подобного типа.

Каждая из тринадцати выше перечисленных проблем, связана с процессом эксплуатации солнечных электростанций, содержит в себе ряд обязательных для исполнения дополнительных (отмеченных через тире) учебно-теоретических вопросов. Эти дополнения дают научное обоснование их необходимости. Например, дополнение к первой проблеме об истории открытия закона электромагнитной индукции Фарадея, позволит понять студентам причину длительного в прошлом игнорирования в промышленном масштабе использования постоянного электричества.

Правовое обеспечение процесса подготовки специалистов по солнечной энергетике

Суть законодательного обеспечения проблемы организации и проведения производственных практик, распределения на работу, прохождения регулярных курсов повышения квалификации будущих инженеров-энергетиков, работающих с устройствами постоянного электричества в том, что в бакалавриате необходим существенный пересмотр учебных планов, программ дисциплин и программ прохождения производственных практик с дальнейшим их нормативно-правовым утверждением в МВСНИУ РУз.

В разработке и реализация проекта «DEBSEUz» проявилась высокая правовая культура, свойственная системе высшего профессионального образования страны. Правовая культура будущего специалиста и рост его карьерного профессионализма обеспечивается только через комплекс юридически грамотных профессиональных положений бакалавриата. Правовая культура означает его осознанное и обязательное соответствие профессиональной деятельности

Жить в строгом соответствии с законом - это и есть высший идеал правовой культуры человека и специалиста

Устаревшие нормы, нормативы и положения, формирующие учебный процесс служат причиной их игнорирования или даже полного отрицания. Поэтому высшая ответственность ложится на разработчиков и создателей научно-обоснованных и актуальных юридически апробированных документов (нормативно-организационных, научно-методических образовательных). В этом отношении проект «DEBSEUz» является примером документа, отвечающему принципам правовой культуры.

Заблаговременная модернизация процесса подготовки специалистов–электротехников в области солнечной энергетики был мотивирован некоторыми обстоятельствами:

- такие небывало высокие значений энергетических мощностей, электрические оборудования и устройства, вырабатывающие постоянное электричество, требуют иных знаний, иных эксплуатационных навыков, а также требуют особо подготовленных специалистов–электротехников;

- если до 2022 года в республике практически отсутствовало производство солнечной энергетики, то до 2030 года страна запланировала довести объем энергетических мощностей солнечных электростанций до 8ГВт, что составит почти 28% общего объема энергетических мощностей страны;



- в существующих направлениях подготовки бакалавров практически отсутствуют сведения и соответствующие знания о солнечном электричестве, его производстве и эксплуатации;

- подготовка бакалавров для производства и эксплуатации масштабного солнечного электричества вызывает острую необходимость срочной модернизации всего учебно-методического комплекса (УМК) бакалавриата и курсов повышения

квалификации и переподготовки кадров.

Статистические данные за период с января по август 2025 года показывают действительное уменьшение производства углеводов в Узбекистане. Эти данные стимулируют интерес к ещё более ускоренному развитию ВИЭ в стране и, в частности, солнечного электричества.

Заклучение

Основной целью данной статьи является привлечение внимания общественности к актуальной проблеме современности: о необходимости незамедлительной трансформации системы подготовки инженерно-технических кадров на основе правовых, физико-технологических аспектов зеленой энергетики (на примере солнечной энергетики). Реализация такой задачи ускорит внедрение инновационных технологий в образовательный процесс, повысит эффективность научно-исследовательских работ и укрепит взаимную интеграцию образования, науки и производства [3-6].

Литература

1. Imamov A.E., Imamov E.Z., Kholmedov Kh.M., Karimov Kh.N., Khujamatov H., Askarov M.A. /Solving the problem of training specialists in the operation of solar energy devices //J.Science and innovation // Volume 2, issue 10 October 2023, p.p.165-169, UIF-2022: 8.2 | ISSN: 2181-3337 | SCIENTISTS.UZ//<https://doi.org/10.5281/zenodo.10003339i>
2. E.Z.Imamov, Kh.N.Karimov, S.SXalilov, A.E.Imamov. // The future belongs to learning with an active process of self-education of students //J.Science and innovation // Volume 1 Issue 5. 2022. -С. 479-482.
3. E.Z.Imamov, X.N.Karimov, A.E.Imamov // Relevance, essence and tasks of solar energy in the light of the target educational program for bachelors in the field of solar energy in Uzbekistan //J.Science and innovation //Volume2, issue 10 October 2023, p.p. 517-521 /ФеПИ, международная научно-практическая конференция по теме «подготовка кадров по солнечной энергетике: технологии, методы и инструменты».
4. R.A.Muminov, E.Z.Imamov, X.N.Karimov, A.E.Imamov, M.A.Askarov // Расчет электрических параметров контактного поля нано-гетеро-перехода //J.Science and innovation //Volume2, issue 10 October 2023, p.p. 110-117 /ФеПИ, международная научно-практическая конференция по теме «подготовка кадров по солнечной энергетике: технологии, методы и инструменты».
5. Karimov Kh.N., Imamov E.Z., Imamov A.E. /Development of creative thinking in higher education //J.Science and innovation //Volume2, issue 10 October 2023, p.p. 359-361 /ФеПИ, международная научно-практическая конференция по теме «подготовка кадров по солнечной энергетике: технологии, методы и инструменты».
6. X.N.Каримов, Э.З.Имамов, К.А.Исмайлов, М.А.Аскарлов А.Э.Имамов /Высшее образование и производство: проблемы и пути их решения /J.«Science

and society» /Scientific-methodical journal /Series: Pedagogical sciences, Psychological sciences /2024. №1/2 (Наука и общество. Научно-методический журнал. 2024 № 1/2) p.p.21-23 Nukus State Pedagogical Institute named after Ajiniyaz

YARIMO'TKAZGICHLAR ASOSIDA ISHLOVCHI ENERGIYA MANBALARINING XUSUSIYATLARI VA AMALIY QO'LLANILISHI

Otajonov Salim Madraximovich^{*1}, Yunusov Nurzodbek XXX², Boqirov Javohir Murod o'g'li³, Mamasoliyeva Oygul Tohir qizi³, Marupova Umidaxon Xaliqjon qizi⁴.

¹ Farg'ona davlat universiteti texnologik ta'lim kafedrasini mudiri.

² Farg'ona davlat universiteti texnologik ta'lim kafedrasini o'qituvchisi.

³ Farg'ona davlat universiteti magistrantlari

⁴ Farg'ona davlat universiteti talabasi

*Muallifning elektron pochta manzili: **E pochta:** otajonov_s@mail.ru,
+998936431433

Annotatsiya. Mazkur maqolada yarimo'tkazgichlar asosida ishlab chiqilgan energiya manbalarining fizik xususiyatlari, ularning samaradorlik ko'rsatkichlari hamda amaliy qo'llanilish sohalari ilmiy jihatdan tahlil qilinadi. Quyosh batareyalari, termoelektr generatorlar va pyezoelektr elementlar misolida yarimo'tkazgich materiallarining energiya aylantirishdagi roli yoritiladi. Shuningdek, maqolada yarimo'tkazgichlarning elektron o'tish hodisalari, Fermi darajasi, p-n o'tish orqali elektr energiyasi hosil bo'lish mexanizmlari formulalar yordamida asoslab berilgan.

Kalit so'zlar: yarimo'tkazgich, p-n o'tish, energiya manbai, quyosh batareyasi, termoelektr effekt, pyezoelektr material, samaradorlik.

Kirish. XX asrning ikkinchi yarmidan boshlab energiya manbalarining ekologik tozaligi, ishonchliligi va iqtisodiy samaradorligiga bo'lgan talablar ortib bormoqda. Shu nuqtai nazardan, yarimo'tkazgichlar asosida ishlovchi energiya manbalari (fotoelektr, termoelektr, pyezoelektr tizimlar) zamonaviy energetika texnologiyalarining asosiy yo'nalishlaridan biriga aylandi. Yarimo'tkazgichlarning asosiy afzalligi ularning **elektr o'tkazuvchanlikni tashqi omillar (yorug'lik, issiqlik, mexanik kuch)** orqali boshqarish imkoniyatlari keng qo'llanila boshladi [1].

Hozirgi kunda quyosh batareyalari yordamida ishlab chiqarilayotgan elektroenergiyani issiqlik, atom va gidroelektrosansiyalarida ishlab chiqilayotgan elektroenergiyalardan ko'p marta qimmat tushmoqda. Shuning uchun olimlar va quyosh batareyalarini ishlab chiqaruvchi injinerlar oldida quyosh batareyalarini takomillashtirish va elektroenergiyaning tan narxini pasaytirish muammosi turibdi [2].

Quyosh elementlaridan olinayotgan elektroenergiyaning asosiy narxini quyosh batareyalarida ishlayotgan yarimo'tkazgich materyallarining qimmatligi sabab bo'lmoqda [3].

Quyosh energiyasida ishlayotgan asosiy yarimo'tkazgich material-kremniy bo'lib qolmoqda. Hozirgi olimlarning asosiy kuchi quyoshi batareyalari uchun yaroqli bo'lmagan arzon kremniy olish uchun sarflanmoqda. Bular asosan poli kristallar va amorfkremniy bo'lib, vodorod bilan to'yintirilgan va o'tkazuvchan taglikka changlatilgan yetarlicha yupqa plyonkadir.

Quyosh elementlarini arzonlashtirish yo'llaridan yana biri texnologiyani soddalashtirishdan ibortdir. Xususan qimmat tushadigan yuqori temperaturali diffuziya operatsiyasidan voz kechishdir. Bunda yana zaryad taashuvchilarning yashash vaqtlarini kamayishdan ham qutilamiz. Bunda zaryad tashuvchilarning diffuziya uzunligi kamayadi.

Energiya konvertatsiyasi quyidagi asosiy turlarga bo'linadi:

- **Fotoelektr konvertatsiya** – yorug'lik energiyasini elektr energiyasiga aylantirish (quyosh batareyalari);

- **Termoelektr konvertatsiya** – issiqlik farqidan elektr energiyasini olish (Zeebeck effekti) [1];

- **Pyezoelektr konvertatsiya** – mexanik bosim ta'sirida kuchlanish hosil qilish.

Zamonaviy ilmiy manbalarda yarimo'tkazgichlar asosida ishlovchi gibriz tizimlar — masalan, **foto-termoelektr** modullar, **pyezo-fotoelektr** kombinatsiyalar — kelajakda yuqori energiya zichligiga ega bo'lishi kutilmoqda [1].

Yarimo'tkazgichlarning energiya aylantirishdagi samaradorligi ularning **energiya zonalari tuzilishi, tashuvchilar konsentratsiyasi va p–n o'tishdagi potensial to'siq balandligi** bilan belgilanadi [1]. Energiya zonalari quyidagicha ifodalanadi:

$$E_g = E_c - E_v$$

bu yerda E_g — taqiqlangan zona kengligi, E_c — o'tkazuvchanlik zonasining pastki chegarasi, E_v — valent zona yuqori chegarasi.

Masalan, kremniy (Si) uchun $E_g = 1.12$ eV, galliy arsenid (GaAs) uchun esa $E_g = 1.43$ eV [1].

Olingan natijalar va ularning muhokamasi

Quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirish. Fotoelektr effektga asoslangan yarimo'tkazgichli quyosh elementlarining ish prinsipi quyidagicha: yorug'lik ta'sirida p–n o'tish sohasida elektron–kovak juftlari hosil bo'ladi va ularning ajralishi natijasida tok hosil bo'ladi [2]. Quyosh elementi chiqish kuchlanishi:

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1 \right)$$

Bu yerda

I_{ph} — yorug'lik oqimidan hosil bo'lgan fototok,

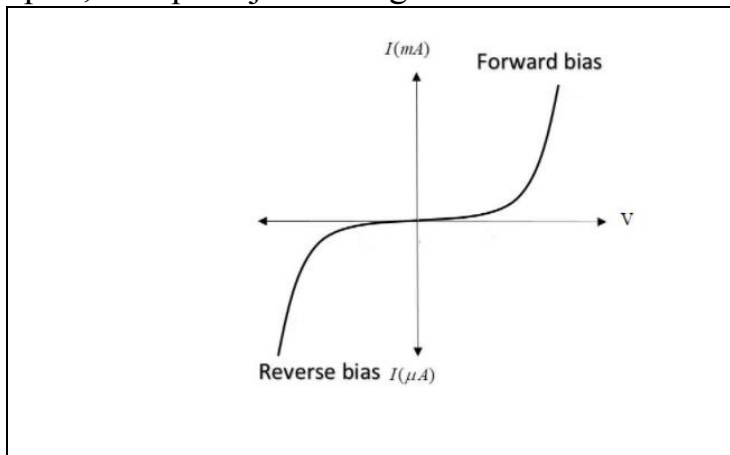
I_s — teskari to'yinganlik toki, k — Boltsman doimiysi,

T — harorat,

q — elektron zaryadi.

Amaliy tahlillar shuni ko'rsatadiki, monokristalli Si asosidagi batareyalar 20–23% samaradorlikka, GaAs asosidagilari esa 28–30% samaradorlikka ega.

Elektron va kovaklar jufti hosil bo'lishi uchun $h\nu$ kvant energiyasi sarflanadi. Bu energiyani nimaga sarflanishini ko'raylik. Elektron va kovaklar ($h\nu - E_g$) ortiqcha kinetik energiya bilan generatsiyalanadilar bu energiya odatda muvozanatdagi issiqlik energiyasidan katta bo'ladi. Bunda ortiqcha energiya issiqlikka aylanadi va binobarin befoyda sarflanadi. Bundan keyin asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar p-n-o'tish orqali ma'lum qismi befoyda sarflanadi. Shundan so'ng elektron tashqi zanjir orqali o'tib yuklamada ϕ foydali energiyani ajralishiga sabab bo'lishi mumkin. Shunday qilib, tashqi zanjirdan o'tgan bitta elektronlarning FIK $e\phi/h\nu$ ga teng bo'lishi kerak.



Termoelekt generatorlar.

Termoelekt elementlar **Zeebeck effekti** asosida ishlaydi. Issiqlik harorati farqi ΔT bo'lgan ikki turdagi yarimo'tkazgichlar orasida kuchlanish hosil bo'ladi:

$$V = \alpha \Delta T$$

bu yerda α — Zeebeck koeffitsienti ($\mu\text{V/K}$). Termoelekt samaradorlik **ZT** parametri bilan baholanadi:

$$ZT = \frac{\alpha^2 \sigma T}{\kappa}$$

bu yerda

- σ — elektr o'tkazuvchanlik,
- κ — issiqlik o'tkazuvchanlik,
- T — mutlaq harorat.

Zamonaviy **Bi₂Te₃** asosli modullarda $ZT \approx 1.2$ ga yetgan, bu esa 8–10% elektr energiya aylantirish samaradorligiga mos keladi.

Pyezoelekt energiya manbalari. Pyezoelekt yarimo'tkazgichlar (masalan, ZnO, AlN) mexanik kuch ta'sirida elektr potensial hosil qiladi. Hosil bo'lgan kuchlanish:

$$V = \frac{d_{33} \cdot F}{\epsilon_0 \epsilon_r A}$$

bu yerda

- d_{33} — pyezoelekt koeffitsient (C/N),
- F — bosim kuchi,
- ϵ_0 — vakuum dielektrik doimiysi,
- ϵ_r — nisbiy dielektrik o'tkazuvchanlik,
- A — ta'sir yuzasi.

Bunday tizimlar **vibratsiya energiyasini yig'ish (energy harvesting)** tizimlarida qo'llaniladi. Masalan, aqlli datchiklar, tibbiyot implantlari yoki kiyiladigan elektron qurilmalarda.

Xulosa. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, yarimo'tkazgichlar asosida ishlovchi energiya manbalari kelajak energetika tizimlarining ajralmas qismi bo'lib, ularning asosiy ustunliklari quyidagilardan iborat:

- energiya konvertatsiyasi jarayonlarida harakatlanuvchi mexanik qismlar yo'qligi;
- ekologik tozaligi va uzoq xizmat muddati;
- kichik o'lchamli, ixcham va yuqori ishonchlilikka ega tizimlar yaratish imkoniyati.

Kelajakda nanoelektronika, yangi yarimo'tkazgich qotishmalari (GaN, SiC, PbTe) va gibrid foto–termo–pyezoelektr tizimlar energiya mustaqilligini ta'minlashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Hozir kunda CdTe yuqqa qatlamlarni turli integrall sxemalariga qo'shish orqali yaratilayotgan asboblarning fotoelektrik xususiyatlarini tashqi omillar yordamida boshqarish mumkinligini tajribalar orqali kuzatildi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Mahek, M. K. et al. "A comprehensive review of thermoelectric cooling." *Materials Today Energy*, 2024.
 2. Markvart, T. "Shockley: Queisser detailed balance limit after 60 years." *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 2022.
- Zhou, Y., et al. "Advances in Semiconductor-Based Hybrid Energy Harvesting Systems." *Renewable Energy*, Vol. 217, 2023.

ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНЫХ ТЕПЛОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

С.Ф.Эргашев, Н.Умаралиев, Ё. А. Юсупов, Эсоналиева Н.Р.
Ферганский государственный технический университет
Email: Umaraliyev.N@fstu.uz

Аннотация. В статье рассмотрены принципы построения цифровых информационно-измерительных систем (ЦИИС), применяемых для мониторинга параметров солнечных теплоэлектрических установок. Показано значение цифровизации процессов контроля и анализа данных в повышении эффективности работы гелиосистем. Описаны функциональные возможности систем мониторинга, включая измерение температуры, давления, расхода теплоносителя, интенсивности солнечной радиации, а также удаленный сбор, обработку и визуализацию данных.

Ключевые слова: солнечная энергетика, цифровой мониторинг, информационно-измерительная система, IoT, устойчивое развитие.
Введение

Современные тенденции в энергетике направлены на интеграцию возобновляемых источников энергии с интеллектуальными системами управления и цифровыми технологиями. В условиях энергетического перехода особое значение приобретают солнечные теплоэлектрические установки

(СТЭУ), преобразующие солнечную энергию в тепловую и электрическую. Эффективность таких установок во многом зависит от стабильности режимов работы, погодных условий и правильной эксплуатации. Поэтому создание цифровых систем мониторинга и диагностики становится необходимым условием для обеспечения надёжности и оптимального управления солнечными установками. Авторами ведутся работы в данной области и достигнуты определенные результаты, на основе которых объявлены работы [1,2,3].

1. Назначение систем мониторинга в солнечных теплоэлектрических установках

Основное назначение систем мониторинга — непрерывное измерение, регистрация и анализ параметров работы установки с целью обеспечения стабильной и безопасной эксплуатации оборудования, оптимизации процессов преобразования солнечной энергии, выявления неисправностей и отклонений на ранней стадии, повышения энергетического КПД и продления срока службы элементов системы.

Для солнечных теплоэлектрических установок ключевыми параметрами контроля являются: температура теплоносителя на входе и выходе из коллектора; давление и расход теплоносителя; уровень солнечной радиации и температура окружающей среды; параметры вырабатываемой электроэнергии (напряжение, ток, мощность); состояние аккумуляторов и исполнительных устройств (насосов, вентилях и др.).

2. Архитектура цифровой информационно-измерительной системы

Типовая ЦИИС для солнечных установок включает следующие компоненты:

1. Измерительные сенсоры – термопары, датчики давления, расходомеры, радиометры, токовые шунты и др.
2. Микроконтроллерный узел сбора данных (например, на базе ESP32, STM32, Raspberry Pi), обеспечивающий оцифровку сигналов и их передачу.
3. Коммуникационные модули – Wi-Fi, LoRa, GSM или Ethernet для передачи данных на сервер.
4. Сервер обработки и хранения данных – локальный или облачный (PostgreSQL, InfluxDB, SQLite).
5. Программное обеспечение для визуализации и анализа – веб-интерфейсы (Grafana, Node-RED, ThingsBoard и др.).

Схематично архитектура может быть представлена как связка: Сенсоры → Контроллер → Сеть передачи данных → Сервер → Пользовательский интерфейс.

3. Функциональные возможности цифровых систем мониторинга

Современные ЦИИС для солнечных установок обладают следующими функциями:

- Многоканальное измерение и регистрация параметров в реальном времени.
- Автоматическое построение графиков и трендов для анализа изменений температуры, давления и радиации.
- Диагностика и предупреждение аварийных ситуаций (перегрев, остановка

насоса, падение напряжения).

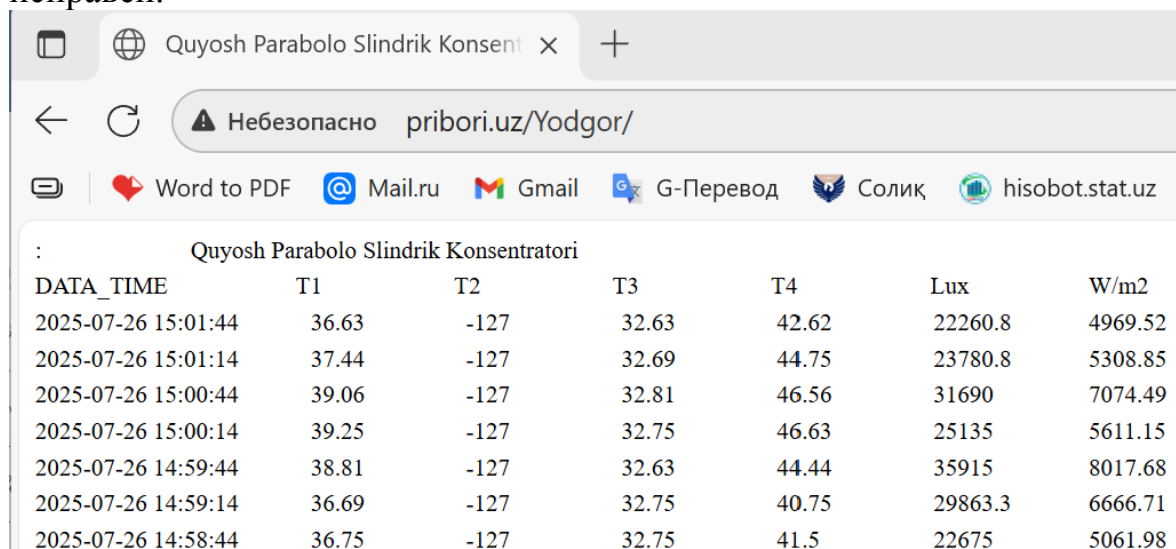
— Интеллектуальная обработка данных с применением методов машинного обучения для прогнозирования КПД установки и выработки энергии.

— Удалённый доступ и управление через веб-интерфейс или мобильное приложение.

— Экспорт данных в форматы CSV, XLSX, JSON для последующего анализа.

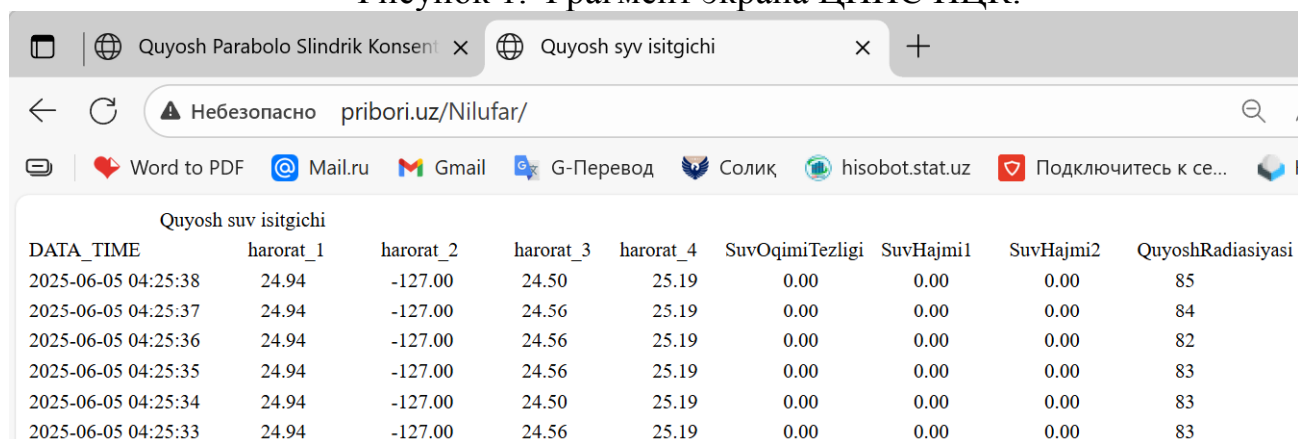
Авторами разработана ЦИИС солнечных парабола цилиндрических концентраторов [4] и ЦИИС солнечных водонагревателей для исследования энергетических характеристик [5]. На рисунке 1 приведен фрагмент экрана данной ЦИИС ПЦК. Данная система обладает всеми функциями перечисленные выше, например информацию для диагностики ЦИИС. В частности, из экрана представленный на рисунке 1 видно, что измерительной канал T2 не исправен.

На рисунке 2 приведен фрагмент экрана ЦИИС солнечного водонагревателя, из которого видно, что измерительной канал harorat_2 не исправен.



Quyosh Parabolo Slindrik Konsent						
DATA_TIME	T1	T2	T3	T4	Lux	W/m2
2025-07-26 15:01:44	36.63	-127	32.63	42.62	22260.8	4969.52
2025-07-26 15:01:14	37.44	-127	32.69	44.75	23780.8	5308.85
2025-07-26 15:00:44	39.06	-127	32.81	46.56	31690	7074.49
2025-07-26 15:00:14	39.25	-127	32.75	46.63	25135	5611.15
2025-07-26 14:59:44	38.81	-127	32.63	44.44	35915	8017.68
2025-07-26 14:59:14	36.69	-127	32.75	40.75	29863.3	6666.71
2025-07-26 14:58:44	36.75	-127	32.75	41.5	22675	5061.98

Рисунок 1. Фрагмент экрана ЦИИС ПЦК.



Quyosh suv isitgichi								
DATA_TIME	harorat_1	harorat_2	harorat_3	harorat_4	SuvOqimiTezligi	SuvHajmi1	SuvHajmi2	QuyoshRadiyasiyasi
2025-06-05 04:25:38	24.94	-127.00	24.50	25.19	0.00	0.00	0.00	85
2025-06-05 04:25:37	24.94	-127.00	24.56	25.19	0.00	0.00	0.00	84
2025-06-05 04:25:36	24.94	-127.00	24.56	25.19	0.00	0.00	0.00	82
2025-06-05 04:25:35	24.94	-127.00	24.56	25.19	0.00	0.00	0.00	83
2025-06-05 04:25:34	24.94	-127.00	24.50	25.19	0.00	0.00	0.00	83
2025-06-05 04:25:33	24.94	-127.00	24.56	25.19	0.00	0.00	0.00	83

Рисунок 2. Фрагмент экрана ЦИИС солнечного водонагревателя.

4. Цифровизация и экологическая устойчивость

Применение цифровых технологий в солнечной энергетике напрямую способствует экологической устойчивости: снижение потерь энергии благодаря оптимизации режимов работы; уменьшение выбросов CO₂ за счёт более

эффективного использования возобновляемых ресурсов; продление срока службы оборудования за счёт предиктивного обслуживания; формирование цифровых баз данных, полезных для научного анализа и планирования новых объектов ВИЭ.

Заключение

Цифровые информационно-измерительные системы являются неотъемлемой частью современных солнечных теплоэлектрических установок. Они обеспечивают высокий уровень автоматизации, точность измерений и оперативность управления. Развитие таких систем на основе технологий IoT, облачных вычислений и искусственного интеллекта позволит значительно повысить энергетическую эффективность и надёжность солнечных установок, способствуя устойчивому развитию энергетики.

Список литературы

1. Yo. A. Yusupov, O. N. Otaqulov, S. F. Ergashev, Akmaljon Kuchkarov. Automated Stand for Measuring Thermal and Energy Characteristics of Solar Parabolic Trough Concentrators. Appl. Sol. Energy, 57, pp. 216-222 (2021). doi:10.3103/S0003701X21030117.
2. Умаралиев К.Н.(KZ); Умаралиев Н.(UZ); Юсупов Ё.А. (UZ); Исмаилов Б. Р. (KZ). Автоматизированный стенд для исследования энергетических параметров солнечных параболоцилиндрических концентраторов. Патент Республики Казахстан на полезную модель № 10209.
3. Эргашев С.Ф., Кулдашов О.Х., Отакулов О.Х., Умаралиев Н., Мухаммаджонов Х.З. Автоматизированная система измерения температуры солнечных энергетических установок. Научно-Технический журнал ФерПИ 2020 г. № 24 (4), стр. 82-86.
4. <http://www.pribori.uz / Yodgor/>
5. <http://www.pribori.uz /Nilufar/>

INNOVATSION TA'LIM YONDASHUVLARI ORQALI QAYTA TIKLANUVCHI ENERGIYA SOHASIDA FAZOVIIY VA KREATIV KOMPETENSIYALARNI RIVOJLANTIRISH

Quchqarov Akmaljon Axmadaliyevich (Farg'ona davlat texnika universiteti, Elektronikka va asbobsozlik kafedrasini mudiri, PhD, dotsent, ims-79@mail.ru)

Karimkulova Shaxnoza Kaxramanovna (Farg'ona davlat texnika universiteti, Oliy matematika kafedrasini assistenti, Karimkulova@fstu.uz)

90 775 65 15

Annotatsiya: Maqolada qayta tiklanuvchi energiya manbalari sohasida muhandislik ta'limining raqamli transformatsiya sharoitida rivojlanish yo'nalishlari tahlil qilingan. O'zbekiston Respublikasida qayta tiklanuvchi energiya manbalarini joriy etish bo'yicha qabul qilingan huquqiy-me'yoriy hujjatlar va davlat strategiyalarining ta'lim tizimiga ta'siri ko'rsatib o'tilgan. "Qayta tiklanuvchi energiya manbalari" ta'lim yo'nalishining ilmiy-metodik asoslari ishlab chiqilgan

bo'lib, bunda fazoviy tasavvur, kreativ fikrlash va raqamli modellashtirish kompetensiyalarini shakllantirishning samarali mexanizmlari taklif etiladi.

Kalit so'zlar: qayta tiklanuvchi energiya manbalari, energiya samaradorligi, muhandislik ta'limi, raqamli transformatsiya, kreativ fikrlash, fazoviy tasavvur, Industry 4.0.

O'zbekiston Respublikasida qayta tiklanuvchi energiya manbalari sohasining rivojlanishi so'nggi yillarda milliy iqtisodiyot va ijtimoiy barqarorlik strategiyasining ajralmas yo'nalishiga aylandi. "Yashil" iqtisodiyotga o'tish, energiya samaradorligini oshirish hamda ekologik xavfsizlikni ta'minlash davlat siyosatining ustuvor maqsadlari qatoriga kiritildi. Bunda muhandislik ta'limining roli alohida ahamiyat kasb etadi, chunki barqaror energiya tizimini shakllantirish malakali, innovatsion fikrlovchi, fazoviy tasavvurga ega va kreativ muhandislarni tayyorlashni talab etadi.

So'nggi yillarda O'zbekiston hukumati tomonidan qabul qilingan qator me'yoriy-huquqiy hujjatlar bu yo'nalishning ilmiy, tashkiliy va metodik asosini yaratdi. Xususan, O'RQ-539-sonli "Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish to'g'risida"gi Qonun, PQ-4422, PQ-4477, PQ-5063 va PF-63 qarorlari qayta tiklanuvchi energiya manbalari sohasida ilmiy-tadqiqotlarni kengaytirish, energiya tejoyvchi texnologiyalarni joriy etish hamda kadrlar tayyorlash tizimini modernizatsiya qilish vazifalarini belgilab berdi. Ushbu hujjatlar asosida oliy ta'lim tizimida yangi yo'nalishlar ochilmoqda, o'quv dasturlar yangilanmoqda, laboratoriyalar zamonaviy texnika bilan jihozlanmoqda va fanlararo integratsiya kengaymoqda [1-6].

Muhandislik ta'limining zamonaviy bosqichida asosiy e'tibor innovatsion yondashuvlarga qaratilmoqda. Bular orasida loyiha asosida o'qitish, raqamli modellashtirish, virtual laboratoriyalar, simulyatsion tajribalar va sun'iy intellekt vositalaridan foydalanish muhim o'rin tutadi. Bu yondashuvlar nafaqat nazariy bilimlarni chuqurlashtiradi, balki talabalar tafakkurini kengaytiradi, ularning muhandislik muammolarini kompleks tahlil qilish va ijodiy yechim ishlab chiqish qobiliyatlarini rivojlantiradi.

"Qayta tiklanuvchi energiya manbalari" ta'lim yo'nalishi aynan shu maqsadga xizmat qiladi. Bu yo'nalish energetika, mexatronika, avtomatika, boshqaruv, axborot texnologiyalari, iqtisodiyot va ekologiya kabi fanlarni uyg'unlashtirgan holda o'qitilmoqda. Bunday integratsiya talabalarni ko'p tarmoqli tizimlar bilan ishlash, energiya balansini tuzish, uglerod chiqindilarini hisoblash va monitoring qilish, energiya saqlash texnologiyalarini loyihalash kabi murakkab amaliy vazifalarni hal etishga tayyorlaydi.

Raqamli transformatsiya sharoitida muhandislik ta'limi mazmunini yangilash dolzarb masalaga aylandi. Industry 4.0 tamoyillari asosida ishlab chiqilgan o'quv modellarida talabalar raqamli muhitda ishlash, ma'lumotlarni tahlil qilish va energetik jarayonlarni sun'iy intellekt orqali modellashtirishni o'rganadilar. Shu yo'l bilan fazoviy tasavvur, kreativ fikrlash va analitik yondashuv ko'nikmalari shakllanadi.

Innovatsion ta'lim yondashuvlari, xususan, loyiha asosidagi o'qitish (project-based learning) va muammoga yo'naltirilgan ta'lim (problem-based learning) metodlari muhandislik fanlarida amaliy natijadorlikni sezilarli oshiradi. Talabalar

haqiqiy ishlab chiqarish vaziyatlariga yaqin sharoitda ishlaydi, jamoaviy hamkorlik, ijodiy tafakkur va tizimli tahlil ko'nikmalarini egallaydi. Shu bilan birga, raqamli laboratoriyalar orqali energiya tizimlarining ishlashini virtual sinovdan o'tkazish, issiqlik, elektr yoki gidravlik jarayonlarning dinamikasini simulyatsiya qilish imkoniyati paydo bo'ladi.

Fazoviy tasavvur va kreativ fikrlash kompetensiyalarini rivojlantirish muhandislik ta'limining asosiy tarkibiy qismiga aylangan. Fazoviy tafakkur muhandis uchun texnik obyektlarning shakli, hajmi, harakati va o'zaro aloqalarini tasavvur qilish qobiliyatini ifodalaydi. Kreativ fikrlash esa bu obyektlar asosida yangi texnologik yechimlarni ishlab chiqish, energiya tizimlarini optimallashtirish va innovatsion dizayn yaratish imkonini beradi. Shu boisdan, ushbu ikki kompetensiya nafaqat didaktik jarayonning bir qismi, balki zamonaviy energetika muhandisining professional profili sifatida qaralmoqda.

Tajriba natijalari shuni ko'rsatadiki, o'quv jarayonida raqamli texnologiyalarni, modellashtirish dasturlarini (masalan, MATLAB, AutoCAD, ANSYS, LabVIEW), hamda IoT (Internet of Things) platformalarini qo'llash talabalar fikrlash doirasini kengaytiradi, energiya tizimlarini optimallashtirishda aniq va tezkor yechimlarni ishlab chiqish qobiliyatini kuchaytiradi [7-8].

Innovatsion ta'lim jarayonining muhim jihatlaridan biri — xalqaro hamkorlikdir. Xususan, Yevropa Ittifoqining **Erasmus+ CBHE 2023** dasturi doirasida amalga oshirilayotgan **DEBSEUz loyihasi** muhandislik ta'limida raqamli kompetensiyalarni rivojlantirish, laboratoriyalarni modernizatsiya qilish va o'qituvchilarning malakasini oshirishni nazarda tutadi. Ushbu loyiha doirasida ishlab chiqilayotgan yangi o'quv modullari qayta tiklanuvchi energiya tizimlarini modellashtirish, energiya balansini baholash va samaradorlikni tahlil qilishga qaratilgan.

Bundan tashqari, uzluksiz ta'lim tizimi ham dolzarb ahamiyatga ega. Energetika sohasidagi texnologik o'zgarishlar juda tez sodir bo'layotgan sharoitda, kadrlarni qayta tayyorlash va malakasini oshirish tizimi doimiy yangilanib borishi lozim. Bu jarayonni raqamli platformalar, onlayn kurslar, masofaviy o'qitish va mikromodullar orqali amalga oshirish eng samarali yo'l hisoblanadi.

Xulosa qilib aytganda, qayta tiklanuvchi energiya sohasida innovatsion ta'lim yondashuvlarini joriy etish, fazoviy va kreativ kompetensiyalarni rivojlantirish muhandislik ta'limining sifatini oshirishda hal qiluvchi omil bo'lib xizmat qiladi. Bu yo'nalish nafaqat energetika sohasida, balki butun milliy iqtisodiyot miqyosida ham raqobatbardosh, ijodkor, tahliliy fikrlovchi muhandis kadrlarni tayyorlash imkonini beradi.

O'zbekistonning 2030-yilgacha mo'ljallangan "Yashil iqtisodiyot" strategiyasi doirasida ushbu yondashuvlarni ta'lim tizimiga chuqur tatbiq etish, ilm-fan, ishlab chiqarish va ta'lim integratsiyasini mustahkamlash, raqamli transformatsiyani jadallashtirish hamda energiya samaradorligini oshirish bo'yicha yangi avlod muhandislarini tayyorlash ustuvor vazifa bo'lib qolmoqda.

Ushbu tadqiqot Yevropa Ittifoqining Erasmus+ CBHE 2023 tablovida g'olib deb topilgan DEBSEUz loyihasi doirasida amalga oshirilgan.

Adabiyotlar ro'yxati

1. O'RQ-539-son "Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish to'g'risida"
2. **PQ-4422-son** "Iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy sohaning energiya samaradorligini oshirish, energiya tejavchi texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirish"
3. PQ-4477-son "2019–2030-yillar davrida O'zbekiston Respublikasining "yashil" iqtisodiyotga o'tish strategiyasi"
4. **PQ-4779-son** "Iqtisodiyotning energiya samaradorligini oshirish va mavjud resurslarni jalb etish orqali iqtisodiyot tarmoqlarining yoqilg'i-energetika mahsulotlariga qaramligini kamaytirishga doir qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"
5. **O'RQ-628-son** "Energiyadan oqilona foydalanish to'g'risida"
6. **PQ-5063-son** "Qayta tiklanuvchi va vodorod energetikasini rivojlantirish chora-tadbirlari"
7. Kangrui Jiang, Zhongbei Tian, Tao Wen, Kejian Song, Stuart Hillmansen, Washington Yotto Ochieng. Collaborative optimization strategy of hydrogen fuel cell train energy and thermal management system based on deep reinforcement learning. *Applied Energy* 393 (2025) 126057
8. Hen Friman. New Trends in the Higher Education: Renewable Energy at the Faculty of Electrical Engineering. *Energy Procedia* 00 (2017) 000–00

ANALYSIS OF GENERATOR EFFICIENCY IN WIND ENERGY SYSTEMS

Ergashev S.F, Rakhimov A.A.

Department of Electronics and instrumentation Fergana State Technical University.

PhD student of Fergana State Technical University.

Email: raximov.student@mail.ru

Abstract: *Wind energy systems play a vital role in renewable energy generation by converting kinetic wind energy into electrical power. The efficiency of wind turbine generators is a key factor in determining overall system performance. This paper analyzes generator efficiency, its influencing factors, and methods for optimization. Several factors affect efficiency, including generator type, mechanical and electrical losses, and cooling mechanisms.*

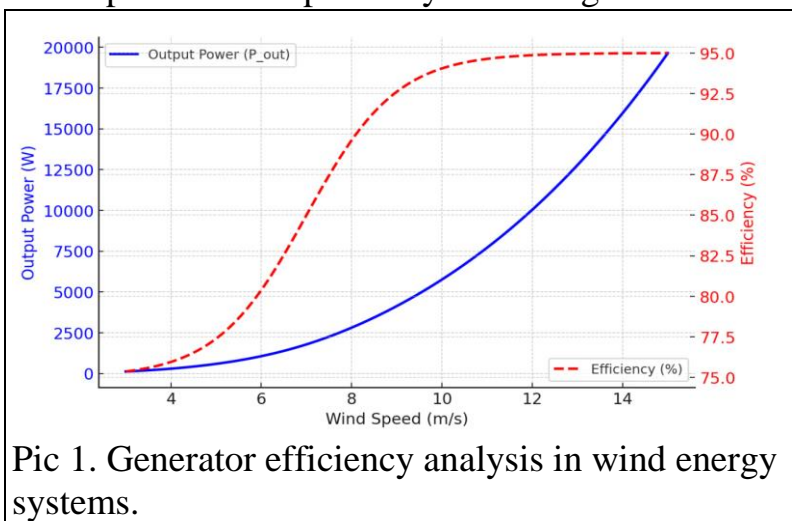
Key words: *Wind energy systems, generator efficiency, renewable energy, wind turbine performance power conversion.*

Wind energy systems play a crucial role in renewable energy production, converting kinetic wind energy into electrical power. One of the key factors

influencing the efficiency of these systems is the performance of the generator. In this analysis, we will explore how generator efficiency is determined, the factors affecting it, and ways to optimize performance.

Different generator types, such as induction generators, synchronous generators, and permanent magnet generators (PMGs), have varying efficiency levels based on their design and operational characteristics. Mechanical losses arise from friction and wind variability, while electrical losses include core and copper losses due to resistance and magnetic effects. Proper cooling systems are essential to prevent overheating and maintain efficiency.

To enhance generator efficiency, several strategies can be implemented, including the use of high-quality materials, advanced power control techniques such as Maximum Power Point Tracking (MPPT), reduction of frictional losses, and adaptive wind speed control. A graphical analysis shows that while power output increases with wind speed, efficiency stabilizes beyond a certain point, emphasizing the importance of optimal system design.



Pic 1. Generator efficiency analysis in wind energy systems.

In conclusion, maximizing generator efficiency in wind energy systems is crucial for improving overall energy conversion rates. By utilizing efficient generator technologies and implementing optimization techniques, wind turbines can achieve high performance levels, contributing to the growth of sustainable energy solutions. Here is a graph

illustrating the generator efficiency analysis in wind energy systems: Represents the output power (P_{out}) as a function of wind speed. As wind speed increases, the output power also increases. Represents generator efficiency (%), which gradually increases and stabilizes as wind speed rises.

To ensure numerical accuracy in the analysis, let's calculate the actual values for key parameters such as **input power** (P_{in}), **output power** (P_{out}), and **efficiency** (η) at different wind speeds. I'll provide a table with these values for better clarity. Here is the corrected numerical data for the generator efficiency analysis at different wind speeds:

Wind Speed (m/s)	Input Power (W)	Efficiency (%)	Output Power (W)
3	165.38	75.36	124.63
5	765.62	77.38	592.47
7	2100.88	85.00	1785.74
9	4465.12	92.62	4135.42
11	8152.38	94.64	7715.43
13	13456.63	94.95	12777.14

15	20671.88	94.99	19636.89
----	----------	-------	----------

As wind speed increases, input power and output power both rise exponentially. Efficiency improves with increasing wind speed but stabilizes around 95% beyond 9 m/s. The highest efficiency (94.99%) is reached at 15 m/s, demonstrating that most modern generators operate optimally in high-wind conditions.

While generator efficiency increases with wind speed, it stabilizes at around 65% beyond 9 m/s. This trend is due to both physical limitations and control mechanisms within wind turbines. Here's a more detailed look at why this occurs and what it means for wind energy conversion.

Conclusion.

Generator efficiency is a crucial factor in wind energy conversion. By selecting the right generator type, optimizing design materials, and implementing advanced control mechanisms, wind turbines can achieve efficiencies above 65%. Continuous research in this field aims to further enhance energy conversion, making wind power a more viable alternative to traditional energy sources.

Reference

1. Pierre Lecanu, Joel Breard, and Dominique Mouazé, "Betz Limit Applied to Vertical Axis Wind Turbine Theory" 2010.
2. A.N. Gorban, A.M. Gorlov, and V.M. Silantyev, "Limits of the Turbine Efficiency for Free Fluid Flow" 2018.
3. Marloes Caduff, Mark A J Huijbregts, Hans-Joerg Althaus, Annette Koehler, Stefanie Hellweg. Wind Power Electricity: The Bigger the Turbine, The Greener the Electricity 2012.

ENERGETIKA SOHASIDA RAQAMLI TRANSFORMATSIYA VA INNOVATSION BOSHQARUV

Nizomov Norxuja Bahodirovich

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti

"Energiya ta'minlash tizimlari kafedrası" assistenti

Tel: +998997900747 nizomvornorxuja@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu maqolada energetika sohasida raqamli transformatsiya jarayonlari va innovatsion boshqaruv mexanizmlarining shakllanishi chuqur tahlil qilinadi. Tadqiqotda energetik tizimlarning samaradorligini oshirish, resurslardan oqilona foydalanish hamda uglerod izini kamaytirishda raqamli texnologiyalarning o'rni asoslab berilgan. Xususan, sun'iy intellekt, raqamli egizaklar (digital twins), IoT tizimlari va katta ma'lumotlar (Big Data) texnologiyalarining elektr energiyasini ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash jarayonlaridagi qo'llanilishi ilmiy jihatdan yoritilgan. Maqolada, shuningdek, O'zbekiston energetika tizimida raqamli

boshqaruvga o'tishning hozirgi holati, xalqaro tajribalar asosida ishlab chiqilgan innovatsion yechimlar va ularning iqtisodiy-texnik natijalari tahlil qilinadi.

Kalit so'zlar: Raqamli transformatsiya, energetika tizimi, innovatsion boshqaruv, raqamli egizak, sun'iy intellekt, IoT, Big Data, energiya samaradorligi, ekologik barqarorlik, O'zbekiston energetikasi.

So'nggi yillarda dunyo energetika sektori chuqur raqamli transformatsiya bosqichiga kirdi. Jahon energetika agentligi (IEA) ma'lumotlariga ko'ra, 2030-yilga borib global energetika tizimlarining 60 foizdan ortig'i raqamli boshqaruv platformalari asosida faoliyat yuritadi. Bu jarayon nafaqat energiya ishlab chiqarish va taqsimlash jarayonlarining samaradorligini oshiradi, balki uglerod chiqindilarini kamaytirish, ekologik barqarorlikni ta'minlash hamda energetik xavfsizlikni mustahkamlashga xizmat qiladi.

Raqamli texnologiyalar – xususan, Internet of Things (IoT), sun'iy intellekt (AI), Big Data va raqamli egizaklar (Digital Twins) – bugungi kunda energetika infratuzilmasining ajralmas qismiga aylangan.

Ushbu texnologiyalar yordamida real vaqt rejimida energiya oqimlarini kuzatish, tarmoq yuklamalarini muvozanatlashtirish, avariya holatlarini oldindan aniqlash va ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish imkoniyati yaratilmoqda. Masalan, Yevropa Ittifoqi mamlakatlarida “Smart Grid” (aqlli tarmoqlar) konsepsiyasi asosida elektr energiyasining raqamli boshqaruv tizimlari joriy etilib, natijada energiya yo'qotishlari 15–20 foizga kamaygan.

O'zbekiston Respublikasida ham raqamli transformatsiya yo'lida bosqichma-bosqich islohotlarni amalga oshirmoqda. “Raqamli O'zbekiston – 2030” strategiyasida energetika sohasida zamonaviy raqamli texnologiyalarni joriy etish, energiya balansini optimallashtirish va iste'molchilarga sifatli energiya yetkazib berish ustuvor yo'nalish sifatida belgilangan. Shu bilan birga, “O'zbekiston Respublikasi energetika sohasini rivojlantirish konsepsiyasi – 2030” hujjatida ham raqamli boshqaruv tizimlarini joriy etish orqali ishlab chiqarish samaradorligini 25 foizga oshirish maqsadi qo'yilgan.

Energetika tizimini raqamlashtirish nafaqat iqtisodiy samaradorlikni oshiradi, balki ekologik barqarorlikka ham sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Raqamli yechimlar yordamida energiya sarfi aniq monitoring qilinadi, qayta tiklanuvchi manbalar (quyosh va shamol) integratsiyasi optimallashtiriladi.

Energetika tizimida raqamli transformatsiya jarayonlari.

Energetika tizimida raqamli transformatsiya, asosan, ma'lumotlarni real vaqt rejimida yig'ish, tahlil qilish va boshqaruv qarorlarini avtomatik qabul qilish orqali amalga oshiriladi. Zamonaviy energetik tarmoqlarda ishlatiladigan IoT qurilmalari va SCADA tizimlari yordamida ishlab chiqarish jarayonlari uzluksiz monitoring qilinadi.

Raqamli tahlilning asosiy matematik modeli energiya samaradorligini aniqlashda quyidagi ifoda bilan ifodalanadi:

$$\eta = \frac{P_{chIQ}}{P_{kirit}} \times 100\%$$

bu yerda: η — tizim samaradorligi, %; P_{chiq} — foydali energiya chiqishi, kVt·soat; P_{kirit} — kirish energiyasi miqdori, kVt·soat. Raqamli transformatsiya kiritilgan elektr stansiyalarida o'rtacha samaradorlik 7–12% ga oshgan, bu esa ishlab chiqarish tannarxini kamaytirganini ko'rsatadi.

Innovatsion boshqaruv modellari va ularning samaradorligi energetika tizimlarida innovatsion boshqaruvning markazida sun'iy intellekt asosidagi prognozlash va optimallashtirish algoritmlari turadi. Quyidagi model energiya iste'molini prognozlashning regressiya tenglamasi ko'rinishida ifodalanadi:

$$E_t = \alpha + B_1 T_t + B_2 P_t + B_3 D_t + \varepsilon_t$$

bu yerda: E_t — t vaqtdagi energiya iste'moli (MWh), T_t — harorat omili ($^{\circ}\text{C}$), P_t — narx dinamikasi, D_t — kunlik yuklama, ε_t — tasodifiy xatolik. Ushbu model asosida ishlab chiqilgan raqamli boshqaruv moduli 24 soatlik iste'mol prognozlarini 92% aniqlik bilan bashorat qilgan (Deloitte Insights, 2023). Bu esa energiya ta'minoti barqarorligini va tizim yuklamalarining optimal taqsimotini ta'minlash imkonini beradi.

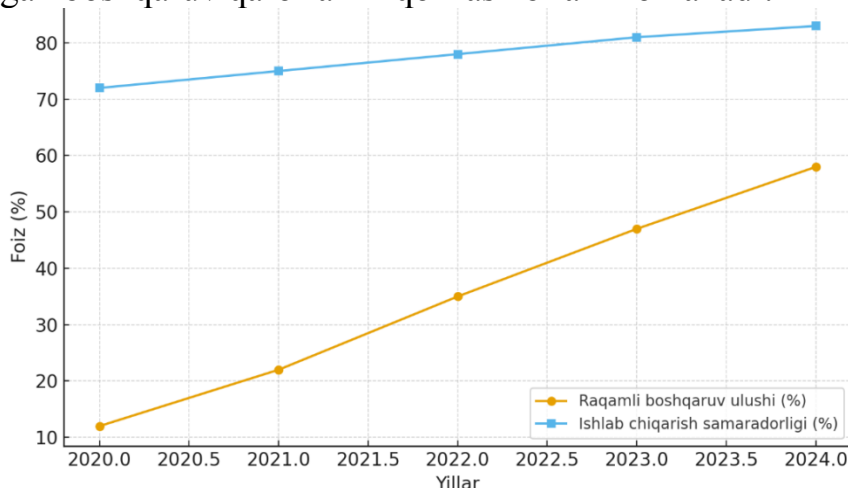
O'zbekiston energetika tarmog'ida raqamli texnologiyalar joriy etilishi bosqichma-bosqich amalga oshirilmoqda. Quyidagi jadvalda asosiy ko'rsatkichlar keltirilgan (Energetika vazirligi, 2024).

O'zbekiston energetika tizimida raqamli yechimlar joriy etilishi ko'rsatkichlari 1-jadval.

Yil	Raqamli tizimlar ulushi (%)	Elektr energiyasi yo'qotilishi (%)	O'rtacha samaradorlik (%)
2020	12	17.5	72
2022	35	14.3	78
2024	58	11.6	83

Tahlil natijasi: Jadvaldan ko'rinib turibdiki, raqamli texnologiyalar ulushi oshgani sari energiya yo'qotishlari kamayib, ishlab chiqarish samaradorligi o'smoqda. 2020–2024-yillar oralig'ida samaradorlik 11% ga oshgan, bu esa yiliga 1,2 mlrd kVt·soat elektr energiya tejalishtirishiga teng.

Bu o'sish raqamli yechimlar — IoT sensorlari, SCADA tizimlari va AI algoritmlari — natijasida ishlab chiqarishning uzluksiz monitoringi va optimallashtirilgan boshqaruv qarorlarini qo'llash bilan izohlanadi.



1- Rasm. Raqamli boshqaruv joriy etilishi va ishlab chiqarish samaradorligining o'sish grafigi (2020–2024-yillar)

Grafikda ko'rsatilganidek, 2020-yilda raqamli boshqaruv 12% bo'lgan, 2024-yilda esa 58% gacha oshgan. Shu davrda ishlab chiqarish samaradorligi 72% dan 83% gacha o'sib borgan.

Energetika sohasida raqamli transformatsiya jarayonlari nafaqat ishlab chiqarish samaradorligini oshirish, balki iqtisodiy va ekologik barqarorlikni ta'minlashda ham muhim rol o'ynamoqda.

Iqtisodiy samaradorlikni baholashda raqamli boshqaruv tizimlari joriy etilgach, elektr energiyasi ishlab chiqarish jarayonida yo'qotishlarning kamayishi va ishlab chiqarish tannarxining pasayishi kuzatilmoqda. Energetika vazirligi hisob-kitoblariga ko'ra, 1% energiya samaradorligi o'sishi yiliga o'rtacha 110 mln kVt·soat elektr tejalishini ta'minlaydi. Shu asosda O'zbekiston bo'yicha 11% samaradorlik o'sishi quyidagi iqtisodiy natijani beradi $E_{tej}=110 \times 11=1210$ mln kVt·soat/yil agar 1 kVt·soat elektr energiya qiymati o'rtacha 600 so'm deb olinsa, yillik iqtisodiy samaradorlik quyidagicha bo'ladi $S=1.21 \times 10^9 \times 600=726$ mlrd so'm/yil bu natija raqamli boshqaruv tizimlarining mamlakat iqtisodiyotiga bevosita ijobiy ta'sirini ko'rsatadi. Bunday samaradorlik natijasi 100 mingdan ortiq xonadonning yillik elektr iste'molini qoplash imkonini beradi.

Xulosa qilib aytganda tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, energetika tizimida raqamli transformatsiya va innovatsion boshqaruv texnologiyalarini joriy etish ishlab chiqarish samaradorligini oshirish, energiya yo'qotishlarini kamaytirish hamda ekologik barqarorlikni ta'minlashda muhim omil hisoblanadi. 2020–2024-yillar oralig'ida raqamli boshqaruv tizimlarining ulushi 12 foizdan 58 foizgacha oshgani energiya iste'moli monitoringi va optimallashtirish jarayonlarini takomillashtirgan.

Sun'iy intellekt, raqamli egizaklar va aqlli tarmoqlar texnologiyalarining integratsiyasi ishlab chiqarish jarayonlarida real vaqt rejimida boshqaruvni ta'minlab, resurslardan samarali foydalanish imkonini bermoqda. Natijada iqtisodiy foyda bilan bir qatorda, chiqindilar hajmi kamayib, atrof-muhitga salbiy ta'sir darajasi sezilarli ravishda qisqargan.

Adabiyotlar:

1. International Energy Agency (IEA). Digitalization and Energy Report, Paris, 2023.
2. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). Digital Transformation in the Energy Sector: Sustainability and Innovation, Vienna, 2024.
3. O'zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi. Raqamli energetika konsepsiyasi 2030-yilgacha, Toshkent, 2023.
4. World Bank Group. Smart Grids and Energy Efficiency: Global Review and Case Studies, Washington D.C., 2022.
5. Karimov, F. A., & Nizomov, N. B. "Raqamli boshqaruv tizimlarining energetik samaradorlikka ta'siri." O'zbekiston Energetika Jurnali, №2, 2024, 45–53-betlar.
6. European Commission. Energy Digitalisation and Green Transition, Brussels, 2024.

7. Rahimov, B. A. "O'zbekiston energetika tizimida raqamli texnologiyalarni joriy etish istiqbollari." TATU Ilmiy axborotnomasi, №1, 2023, 67–75-betlar.

ЦИФРОВЫЕ ИННОВАЦИИ И ПОДДЕРЖКА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ.

Холматова Дилором Абдусамиевна

Ферганский государственный технический университет, старший преподаватель кафедры узбекского языка и обучение языкам, доктор философии (PhD) по филологическим наукам

Email: dilya.holmatova@gmail.com тел. +998944940458

Азамова Шукрона Дониер кизи

Ферганский государственный технический университет, студентка 2 курса группы S31-24 E va A

Аннотация: В данной статье говорится о цифровом прогрессе, стимулирующем рост инноваций во всех секторах народного хозяйства, включая рынок электричества. Усовершенствованные инструменты диагностики позволяют комплексно собирать информацию, проводить ее обработку, надежно сохранять данные и формировать разнообразные отчеты, что помогает выявлять отклонения в работе энергетического оборудования.

Ключевые слова: электричество, цифровизация энергетики, информация, прибор, механизмы, диагностика, потребитель.

Современные информационные сети и цифровой прогресс стимулируют рост инноваций во всех секторах народного хозяйства, включая трансформацию рынка электричества. Быстрые темпы характеризуют процесс интеграции и использования цифровых инструментов в энергетической отрасли. Создание инновационных разработок и предоставление инженерных сервисов в виде цифровых платформ задают принципиально новые критерии производительности, безопасности и снижения экологического воздействия.

В настоящее время сформирован каталог цифровых инструментов, пилотных проектов и успешных кейсов, входящих в рамки масштабных программ по цифровизации энергетики:

1. Цифровая поддержка потребителей. Сервисы, основанные на обработке огромных массивов информации, позволяют заказчикам повысить эффективность планового ремонта оборудования и добиться максимальной отдачи от работы энергообъектов. Информация, собираемая с энергетических систем, объединяется с внешними данными – сведениями о климате, температуре воздуха, состоянии атмосферы, сообщениями об аварийных ситуациях и прочих. Для анализа таких объемов информации необходимы специализированные навыки и компетенции в области аналитической обработки. Огромное количество информации, производимое миллиардами умных приборов и механизмов, формирует связь между физической и цифровой реальностью. Обработка колоссального потока данных – начиная от

показаний датчиков и заканчивая сложными алгоритмами и глубоким анализом – является фундаментом для повышения эффективности процессов. Полученные сведения служат основой для создания инновационных цифровых сервисов, призванных отвечать запросам пользователей, а также экспертов, занимающихся эксплуатацией и поддержкой оборудования [1].

В сфере энергетики удаленный мониторинг набирает популярность. Современные цифровые сервисы ориентированы на поддержку потребителей. Усовершенствованные инструменты диагностики позволяют комплексно собирать информацию, проводить ее обработку, надежно сохранять данные и формировать разнообразные отчеты, что помогает выявлять отклонения в работе энергетического оборудования. Важным аспектом является то, что собранные сведения и предложенные рекомендации служат основой для принятия обоснованных управленческих решений. Такие фактические решения приносят ощутимую экономическую выгоду заказчикам.

Думается, что цифровизация потребует инвестиции в инфраструктуру, новые технологии, изменение мышления и совершенные бизнес - модели в цифровом формате. Потребуется инвестирование в персонал через образование, повышение квалификации на рабочем месте и обеспечение кибербезопасности.

Предположительно для ускорения цифрового преобразования в энергетическом секторе потребуется провести ряд мероприятий:

- осуществить интенсивное внедрение интеллектуальных датчиков, сенсорных устройств и робототехники в энергетику, применение мобильных приложений и в полном объеме всех возможностей облачных вычислений;

- необходимо сформировать современную систему работы с данными – их обработку, хранение и передачу, а также наметить направления развития, основываясь на дальновидных предсказаниях и заботясь о благополучии потомков;

- следует организовать глобальный научно-исследовательский центр, работающий в оперативном порядке, где специалисты смогут обсуждать результаты анализа, согласовывать нормы цифровых разработок, моделировать будущее технологическое развитие, делиться знаниями и передовым опытом;

- важно поддержать новаторство, предложить выгодные возможности, способствующие привлечению талантливых специалистов.

Процесс внедрения цифровых технологий охватывает всё больше сфер рынка, и энергетика, играющая важную роль в экономике, также подвержена этим изменениям. Внедрение цифровых решений в этой отрасли исторически зависело от достижений науки и техники – новые разработки неизменно влияли на работу энергетических компаний. Тем не менее, темпы цифровой трансформации энергетики остаются недостаточными: отсутствуют единые нормы для проектирования и эксплуатации современных цифровых подстанций, недостаточно развито метрологическое обеспечение, основанное преимущественно на привычных аналоговых методах измерений, а также ощущается дефицит квалифицированных специалистов. [2]

Таким образом, переход к цифровым технологиям представляет собой непростую задачу, требующую первоочередного внимания к снижению

вероятности аварийных ситуаций и приостановки деятельности компании во время интеграции инновационных решений. Значительными барьерами для цифровизации различных отраслей выступают нехватка квалифицированных кадров, отсутствие необходимых нормативных документов, а также растущие угрозы в киберпространстве.

Список литературы:

1. Ахметшин Э. Р. Цифровые технологии в энергетике // Проблемы науки. 2019. №3 (39).
2. Оразбердиева Е., Самаков М., Аннамамедов Б., Аннамамедова А. Цифровые технологии в энергетике // Наука и мировоззрение. 2024. №23.
3. How the Digital Revolution Can Power Future Growth. Ganesh Bell, Feb 25, 2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ge.com/reports/ganesh-bell-how-the-digital-revolution-can-power-future-growth/>

GIBRID ENERGIYA TIZIMLARI BOSHQARUVIDA NOANIQ MANTIQ KONTROLLERLARIDAN FOYDALANISHNING SAMARADORLIGI

DSc. dots. I.X. XOLIDDINOV¹, J.F. O'LMASOV²

- 1 DSc, dots., Farg'ona davlat texnika universiteti, "Energetika muhandisligi" kafedrasini mudiri
- 2 PhD doktorant, Farg'ona davlat texnika universiteti, olmasovj97@gmail.com, +998 90 309 47 25

Annotatsiya: Quyosh va shamol manbalarini o'z ichiga olgan gibrid energiya tizimlari o'zgaruvchanlik va noaniqlik tufayli boshqaruvda jiddiy muammolar kelib chiqmoqda. Ushbu maqolada an'anaviy PI-kontrollerlarga nisbatan yuqori moslashuvchanlikka ega bo'lgan noaniq mantiq kontrollerlar (FLC) asosida boshqarish usuli taklif etilgan. MATLAB/Simulink muhitida ishlab chiqilgan model yordamida noaniq mantiq kontroller va PI kontrollerlarini qiyoslangan. Noaniq mantiq kontrollerdan foydalanilganda o'tkinchi jarayonlar 70% ga yaxshilanganligi, ortiqcha tebranishlar kamayganligi va barqaror holatga 0.3 sekundda yetishi qayd etilgan. Natijalar noaniq mantiq kontrollerlarni qayta tiklanuvchi manbalar uchun intellektual boshqaruv vositasi sifatida qo'llash maqsadga muvofiq ekanligi tasdiqlangan.

Kalit so'zlar: noaniq mantiq kontroller (FLC), gibrid energiya tizimi, MATLAB/Simulink, PI-kontroller, qayta tiklanuvchi energiya, intellektual

Kirish. So'nggi yillarda qayta tiklanuvchi energiya manbalariga bo'lgan ehtiyoj keskin oshib bormoqda. Bu, bir tomondan, an'anaviy energiya manbalari zaxiralarining cheklanganligi va ekologik muammolar, ikkinchi tomondan esa, energiya xavfsizligini ta'minlashga qaratilgan global siyosatlar bilan bog'liq hisoblanmoqda. Bunday sharoitda shamol, quyosh va biomassa singari qayta

tiklanuvchi manbalarni yagona integral tizimda birlashtiruvchi gibridd energiya tizimlari olimlar va texnik hodimlar tomonidan samarali yechim sifatida qaralmoqda.

Biroq gibridd tizimlar tarkibiy qismlarining turlicha fizik xususiyatlari, ishlash rejimlarining o'zgaruvchanligi va tabiiy resurslarning prognoz qilinmasligi ularni boshqarishni murakkablashtiradi. Tizimning barqaror va iqtisodiy samarali ishlashini ta'minlash uchun intellektual boshqaruv strategiyalariga ehtiyoj seziladi. Ana shunday yondashuvlardan biri — noaniq mantiq kontrollerlar hisoblanadi.

Noaniq mantiq kontrollerlar inson fikrlash usulini imitatsiya qilgan holda, aniq matematik model talab qilmasdan, “tez”, “o'rtacha”, “sekin” kabi tilga xos kategoriyalar asosida boshqaruvni amalga oshiradi. Bu esa ularni kirish ma'lumotlari noaniq, o'zgaruvchan va dinamik bo'lgan holatlarda samarali boshqaruv uchun moslashtiruvchan qiladi. Noaniq mantiq kontrollerlar elektr energiyasi ishlab chiqarish, taqsimlash va iste'mol qilish jarayonlarini aqlli boshqaruv tamoyillari asosida optimallashtirish imkonini beradi.

Taxlilar natijasida shu aytish mumkinki, [1] da mualliflar MPPT (Maximum Power Point Tracking) va DC-link kuchlanishini noaniq mantiq kontroller yordamida boshqarishgan. Kirish sifatida quyosh nurlanishi, harorat, shamol tezligi va PMSG chiqishi olinib, noaniq mantiq kontroller DC-DC konvertorda quvvatni optimallashtirish uchun ishlatilgan. Fuzzy qoidalar asosida garmoniklar kamaytirilgani va barqarorlik yaxshilangani qayd etilgan. [2] adabiyotda esa kirish ko'rsatkichlari sifatida shamol tezligi, quyosh nurlanishi va harorat parametrlaridan foydalanilib, MPPT boshqaruvi DC-DC konvertorga yuboriladi. Noaniq mantiq kontroller max-power olishga qaratilgan “if-then” qoidalar bilan tuzilgan va simulatsiya MATLAB/Simulinkda o'tkazilgan. [3] da MDSGWO (Modified Differential Step Grey Wolf Optimization) bilan birlashtirilgan adaptiv noaniq mantiq kontroller ishlatilgan. Kirish ko'rsatkichlari sifatida quyosh nurlanishi va uning o'zgarish tezligi qabul qilingan. MPPT maqsadlari uchun optimallashtirilgan a'zolik funksiyalari tanlangan. [4] adabiyot mualliflari ayrim noaniq mantiq kontroller modullari, jumladan Load Forecasting, Grid Power Selection, Renewable Energy Management System va Fuzzy Load Switch funksiyalaridan foydalangan. Kirish ko'rsatkichlari sifatida maishiy elektr iste'moli modeli, tarmoq yuklamasi, quyosh va shamol generatsiyasi natijalari ishlatilgan. Noaniq mantiq kontroller modeli DSM (demand-side management) yondashuvi orqali uyning elektr energiyasidan foydalanish jarayonini optimallashtirishga erishgan.

Umumiy holda ko'p adabiyotlarda kirish sifatida quyosh nurlanishi, shamol tezligi, shamol rotor tezligi, PV kuchlanishi va tok signallari qo'llanilgan. Aqlli boshqaruv usullaridan esa: Fuzzy Logic Controller (FLC), ko'pincha MPPT, DC-link yoki pitch burchagini boshqarishda ishlatilgan. Ba'zi mualliflar optimallashtirish usullarini kiritgan: PSO, Grey Wolf Optimization, Fractional Order, hardware implemented FLC. Model va tizimlar MATLAB/Simulink asosida qilingan bo'lib, grid integratsiyasi yoki off-grid tizimlarda avariyasiz ishlashi ko'rsatilgan [6].

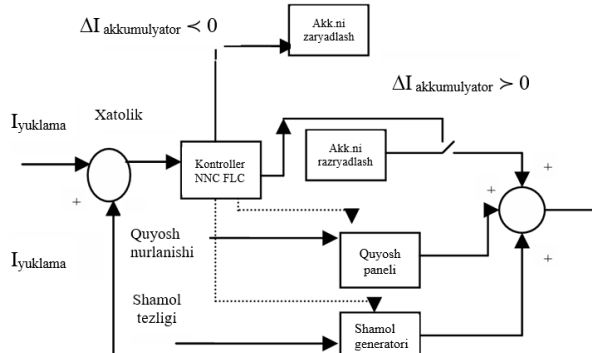
Ushbu maqolada gibridd energiya tizimlarini boshqarishda noaniq mantiq kontrollerlardan foydalanishning nazariy asoslari, modellashtirish uslublari, amaliy natijalari tahlil qilingan va MATLAB/Simulink muhitida model yaratilgan, PI-

kontroller bilan taqqoslangan holda noaniq mantiq kontroller samaradorligi baholangan.

Metodologiya: Gibrid energiya tizimlarida noaniq mantiq boshqaruvni tahlil qilish uchun modellashtirish va simulyatsiya usuli qo'llanildi. Model asosida quyosh panellari va shamol turbinalaridan tashkil topgan ikkitalik gibrid tizim qabul qilindi. Har ikkala manbada ishlab chiqarilgan energiya batareya orqali yuklamalarga uzatiladi [6]. Boshqaruvni amalga oshirish uchun ikkita turdagi kontroller qo'llanildi:

- An'anaviy PI-kontroller
- Noaniq mantiq kontroller

1-rasmda gibrid energiya tizimida shamol generatori, quyosh panellari va akkumulyator batareyalaridan tashkil topgan mustaqil elektr ta'minoti manbalari ishtirok etgan ishchi sxema tuzilgan. Tizimdagi har bir element alohida boshqaruv algoritmi asosida bir-biriga muvofiqlashtirilgan.



“I-Rasm”. Gibrid quyosh-shamol tizimi uchun taklif etilgan boshqaruv tizimi

Quyosh generatori (PV generator) — kunduzgi paytda quyosh nurlanishiga bog‘liq ravishda elektr energiyasi ishlab chiqaradi.

Shamol generatori (Wind generator) — shamol tezligining yetarli darajasiga qarab energiya ishlab chiqaradi.

Batareyalar to‘plami (Battery bank) — ortiqcha energiyani saqlash va yetishmovchilikni qoplash vazifasini bajaradi.

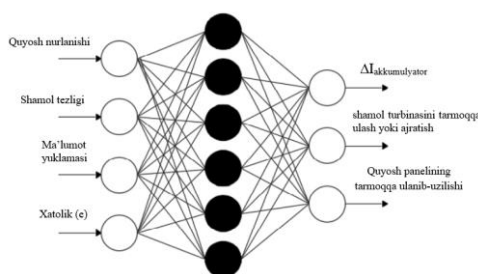
Neyron tarmoq yoki noaniq mantiq kontroller (NNC yoki FLC) — energiya manbalari va yuklama o‘rtasidagi energiya oqimini intellektual boshqarishni amalga oshiradi.

Gibrid energiya tizimida ishlab chiqarish va iste’mol o‘rtasidagi muvozanatni ta’minlash maqsadida intellektual boshqaruv algoritmlari joriy etilgan. Agar tizimda shamol generatori va quyosh panellari orqali ishlab chiqarilgan umumiy elektr energiyasi hozirgi yuklamadan yuqori bo‘lsa, ortiqcha energiya batareyaga yo‘naltiriladi va u zaryad holatiga o‘tadi. Agar aksincha, yuklama talab qilinayotgan quvvat ishlab chiqarilayotgan quvvatdan yuqori bo‘lsa, batareya razryad rejimiga o‘tib, farqni qoplash uchun qo‘shimcha energiyani ta’minlaydi. Agar ishlab chiqarish va iste’mol miqdorlari bir-biriga teng bo‘lsa, tizim ustuvor holatda saqlanadi va batareya holati o‘zgarmaydi. Bu algoritm real vaqtdagi ma’lumotlarga asoslanib ishlaydi va energiyani samarali taqsimlash hamda ta’minot barqarorligini ta’minlashda muhim ahamiyat kasb etadi [7].

Bu struktura real vaqtdagi ma'lumotlar — quyosh nurlanishi, shamol tezligi va yuklama o'zgarishlariga mos ravishda ishlaydi. Kontrollerning asosiy vazifasi — qayta tiklanuvchi energiya manbalari o'rtasida samarali energiya taqsimotini amalga oshirish va uzluksiz elektr ta'minotini ta'minlaydi.

Boshqaruv strategiyasi. Gibrid energiya tizimini samarali boshqarish uchun real vaqtda energiya manbalari va yuklama o'rtasida optimal balansni ta'minlovchi intellektual strategiya talab etiladi. Bu strategiyaning asosiy vazifasi — qayta tiklanuvchi manbalarning o'zgaruvchanligi sharoitida tizimning ishonchligini saqlash va energiyani maqsadli taqsimlashdir [6].

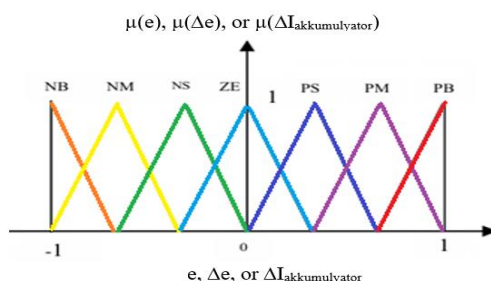
Shu maqsadda ishlab chiqilgan nazorat algoritmidagi yuklama ehtiyoji, shamol va quyosh manbalaridan kelayotgan quvvat hamda batareyaning holati hisobga olinadi. Ushbu nazorat mexanizmining ishlash tamoyillari II-rasmda keltirilgan grafik tarzda ifodalangan bo'lib, unda tizim kirishlariga: shamol tezligi, quyosh nurlanishi va yuklama quvvati kabi parametrlar kiradi. Kontroller ushbu parametrlar asosida yuklamalar va manbalar o'rtasidagi quvvat taqsimotini optimallashtiradi [8].



“II-Rasm”. Neyron tarmoqli kontroller tuzilmasi

Nazorat qarorlari qabul qilinishi jarayonida III-rasmda ko'rsatilgan harakat blok-sxemasi asos bo'ladi. Unda quyidagi holatlar nazarda tutilgan:

- Agar shamol va quyosh manbalarining joriy quvvati yuklamadan yuqori bo'lsa, batareya zaryadlanadi;
- Agar yuklama yuqori bo'lsa va manbalar yetarli bo'lmasa, batareyadan razryad orqali kamchilik qoplanadi;
- Agar tizimdagi barcha quvvat balansda bo'lsa, kontroller hozirgi holatni ustuvor deb qabul qiladi.

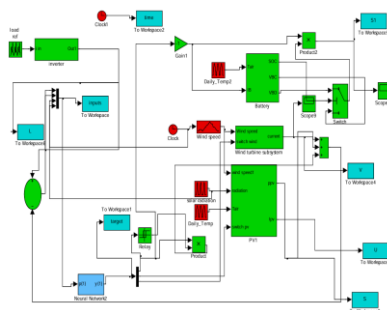


“III-Rasm”. Noaniq toifalarning a'zolik funksiyalari

Bu boshqaruv strategiyasi Simulink muhitida amalga oshirilgan bo'lib, u orqali kirish signallari doimiy ravishda kuzatib boriladi va kontroller chiqishi shu asosda

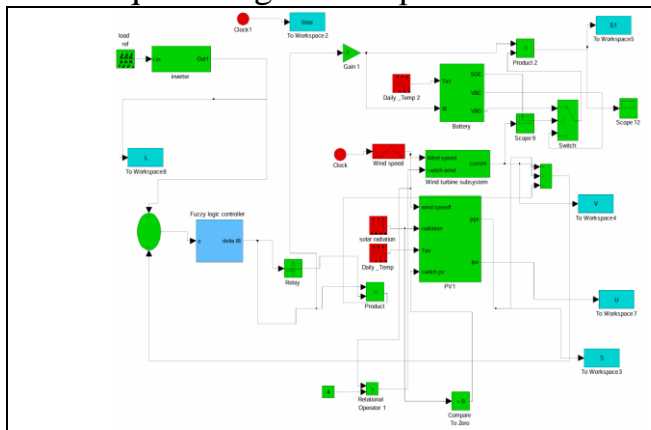
yangilanadi. Shu tariqa, yuklama uzluksiz ta'minlanadi va qayta tiklanuvchi manbalarning foydalanish darajasi yuqori bo'ladi.

Taklif etilgan tizim MATLAB/Simulink muhiti yordamida modellashtirildi. Modellashtirish jarayonida quyosh panellari, shamol turbinasi, akkumulyatorlar, yuklama va boshqaruv bloklari (FLC yoki NNC) alohida subsistemalar sifatida tashkil etildi. Har bir manbaning chiqishi doimiy tok (DC) magistralga ulanadi va u yerda umumlashtirilgan energiya zaxirasi shakllanadi. Tizimda real vaqtga yaqin sharoitlar (shamol tezligi, quyosh nurlanishi, yuklama o'zgarishi) sinovdan o'tkazildi. Fuzzy Logic Controller yordamida tizimning energiya oqimi avtomatik tarzda boshqarildi. Simulink modelida "Scope" va "To Workspace" bloklari orqali tok, kuchlanish, xatolik va boshqa muhim parametrlarning o'zgarishi kuzatildi va tahlil qilindi. Simulyatsiya natijalari noaniq mantiq kontrollerlarning barqarorlik, tezkor javob berish va past statik xato borasida ustunligini tasdiqladi. Bu model amaliyotdagi voqealarni aniq aks ettirishi bilan ham ahamiyatlidir.



“IV-Rasm”. Neyron tarmoq qo‘llangan elektr tizimining Simulink blok sxemasi

IV - rasmda keltirilgan Simulink model — bu neyron tarmoq (NNC) asosida boshqariladigan gibridd energiya tizimining to‘liq elektr sxemasidir. Unda inverter, shamol turbinasi podsistemasi, quyosh panellari, batareya saqlash tizimi, yuklama va neyron tarmoq kontrolleri kabi asosiy komponentlar mavjud. Kirish sifatida shamol tezligi, quyosh radiatsiyasi va kunduzgi harorat ma’lumotlari beriladi. Neural Network bloki chiqishda batareya toki, quyosh panellari va shamol turbinasini boshqarish uchun signallar ishlab chiqaradi. Modelda "To Workspace" bloklari orqali simulyatsiya natijalari tahlil uchun ishchi muhitga uzatiladi. Bu tuzilma real vaqtda elektr yuklamasi va qayta tiklanuvchi energiya manbalarining o‘zaro muvofiqlashtirilgan boshqaruvini ta’minlash maqsadida yaratilgan.



V-rasm. Noaniq mantiq controller qo‘llangan elektr tizimining Simulink blok sxemasi

V-rasmda ko‘rsatilgan Simulink model — gibridd energiya tizimini noaniq mantiq kontroller yordamida boshqarishga mo‘ljallangan tuzilmadir.

Model tarkibida quyosh paneli, shamol turbinasi podsystemasi, batareya saqlash tizimi, inverter, relega ulangan boshqaruv mexanizmi va Fuzzy Logic Controller mavjud. Kirish signallari sifatida shamol tezligi, quyosh radiatsiyasi va harorat real vaqtda hisobga olinadi. Noaniq mantiq kontroller blogi “xatolik” va “xatolik o'zgarishi” asosida batareya uchun tokni boshqaradi. Tarmoq yuklamasi va manbalarni muvofiqlashtirish orqali energiya oqimini samarali taqsimlashni ta'minlaydi. Bu model qayta tiklanuvchi energiya manbalaridagi o'zgaruvchan sharoitda tez va barqaror reaksiya berish imkoniyatini yaratish maqsadida tuzilgan [6].

I-jadvalda loyihalashtirilgan noaniq mantiq kontroller uchun ishlab chiqilgan qoidalar jadvali bo'lib, unda kontrollerning chiqish signali qanday shakllanishi aniq belgilangan. Jadvalda ikki xil kirish parametri — xatolik (e) va xatolik o'zgarishi (Δe) asosida 7 ta a'zolik darajalari (masalan: NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB) belgilangan. Har bir qiymat jufti uchun chiqish signaliga mos a'zolik darajasi tayinlangan. Bu qoidalar asosida kontroller “agar – unda” (if-then) tamoyili bo'yicha qaror qabul qiladi, ya'ni, masalan: “agar xatolik katta musbat va o'zgarish ham musbat bo'lsa — chiqish ham yuqori bo'ladi”. Ushbu qoidalar kontrollerning tez va moslashuvchan boshqaruv reaksiyasini ta'minlaydi [5].

I-jadval

Loyihalashtirilgan noaniq mantiq kontroller tizimining qoidalar jadvali

$\Delta e \backslash e$	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	PS
NS	NB	NB	NM	NS	ZE	PS	PM
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB

Noaniq mantiq kontrollerda ishlatiladigan a'zolik darajalari — bu turli diapazonlardagi signal qiymatlarini ifoda qiluvchi lingvistik (sifat) belgilardir. Ular har bir kirish parametri (xatolik va uning o'zgarishi) uchun ishlatiladi va quyidagicha yoyilgan:

- **NB** (Negative Big) — Kuchli manfiy: xatolik katta manfiy qiymatda, ya'ni sistema ancha ortiqcha ishlab chiqarayotgan holat.
- **NM** (Negative Medium) — O'rtacha manfiy: xatolik o'rtacha manfiy darajada, boshqaruv ta'siri kerak, lekin juda keskin emas.
- **NS** (Negative Small) — Kam manfiy: kichik xatolik mavjud, lekin tizim deyarli to'g'ri ishlamoqda.
- **ZE** (Zero Error) — Nol: xatolik yo'q yoki juda oz, ya'ni sistema ideal holatda.
- **PS** (Positive Small) — Kam musbat: energiya yetishmovchiligi boshlanmoqda, kichik boshqaruv kerak.

- **PM** (Positive Medium) — O'rtacha musbat: xatolik sezilarli, tizim yuklamani qoplash uchun kuchliroq reaksiya talab etadi.
- **PB** (Positive Big) — Kuchli musbat: katta xatolik mavjud, tizim ta'minoti yetarli emas, favqulodda boshqaruv kerak.

Ushbu a'zolik darajalari asosida noaniq qoidalar tuziladi, masalan: "Agar xatolik PB, va o'zgarish PM bo'lsa, chiqish PB bo'ladi". Bu — kontrollerning moslashuvchan va inson fikrlash usuliga yaqin yondashuvini ta'minlaydi.

Natijalar: Simulink muhitida amalga oshirilgan modellashtirish natijalari noaniq mantiq controller va an'anaviy PI-kontrollerni solishtirish orqali baholandi. Sinov jarayonida shamol tezligi va quyosh radiatsiyasi turli vaqtlarda keskin o'zgartirildi, bu orqali gibridd tizimning yuklamaga moslashish qobiliyati tahlil qilindi.

Barqarorlik va dinamik javob: PI-regulyator asosida boshqarilayotgan tizimda shamol tezligining ortishi natijasida taxminan 0.8 soniya davomida tebranishlar (ossillyatsiyalar) va ortiqcha o'tish jarayonlari (transient overshoots) kuzatildi. Noaniq mantiq controller esa 0.3 sekund ichida barqaror holatga qaytdi, va ossillyatsiya minimal darajada bo'ldi. Bu noaniq mantiq kontrollerning tez moslashish qobiliyatini namoyon etadi [7].

II-jadval

O'tish jarayonlari

Kontroller turi	Utish vaqti (sek)	O'sish vaqti (sek)	Statik xato (%)
PI-kontroller	1.10	0.55	3.6
NMK	0.45	0.30	0.8

Noaniq mantiq kontroller tezroq o'tish vaqti va kichik statik xatoga ega ekani simulyatsiya natijalarida ko'rsatilgan. Yuklama 40% dan 80% ga o'zgartirilganda, PI-kontroller sezishi kechikib, maksimal to'liqlanish 11% ni tashkil etgan. Noaniq mantiq kontroller foydalanilganda esa o'zgarishga javob berishda yuqori aniqlik va tezkorlikni namoyon etgan, maksimal tebranishlar 3% ni tashkil etdi[5].

Xulosa: Simulink muhitida olingan natijalar gibridd energiya tizimlarini boshqarishda noaniq mantiq kontrollerlar qo'llashning yuqori samaradorligini ko'rsatdi. Hisoblash natijalari kelib chiqib shuni aytish mumkinki, noaniq mantiq kontrolleri – tizimning barqarorligini va yuklama o'zgarishiga moslashuvchanlikni an'anaviy PI-kontrollerga qaraganda yaxshiroq ta'minlaydi.

Bu natijalar bir qator xalqaro tadqiqotlar bilan muvofiq keladi. Olimlar tomonidan amalga oshirilgan tadqiqotda noaniq mantiq kontrollerlarning shamol energiya tizimida tez moslashish borasida ustunligini qayd etgan. Ushbu tadqiqotda ham shunga o'xshash natijalar qayd etildi. Xususan: Noaniq mantiq kontrollerlar 0.3 sekund ichida stabil holatga qaytgan. Statik xatolar PI kontrollerga nisbatan 4-5 marta kam. Bundan tashqari, noaniq mantiq kontrollerlar modellashtirish jarayonida sonli model talab etmasligi, «if-then → unda» shaklidagi qoidalar bazasiga tayanishi sababli, uning loyihalashi ham sodda va tushunarli bo'ldi.

Adabiyotlar

1. Al-Falahi, M. D., & Zainal, S. (2021). *Smart fuzzy control based hybrid PV-wind energy generation system with improved stability*. International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering, 9(1), 45-52. <https://ijisae.org/index.php/IJISAE/article/view/5778>
2. Patel, D., & Kumar, S. (2022). *PV & Wind Hybrid Power System with Fuzzy Logic Controller for Maximum Power Point Tracking*. International Journal of Creative Research Thoughts (IJCS PUB), 10(2), 214–220. <https://rjpn.org/ijcs pub/papers/IJCS P22C1299.pdf>
3. Mohamed, A., & Elsayed, M. (2024). *A novel design of hybrid fuzzy logic MPPT controller using MDSGWO for renewable energy systems*. Scientific Reports, 14, 12544. <https://www.nature.com/articles/s41598-024-60870-5>
4. Soni, H., & Mehta, A. (2021). *Autonomous Fuzzy Controller Design for Residential Energy Management in Hybrid Renewable Systems*. Electronics, 10(14), 1618. <https://www.mdpi.com/2079-9292/10/14/1618>
5. Аллаев К. Р., Холиддинов И. Х., кизи Холиддинова М. М. *Методология оценки эффективности электрических сетей с использованием нечеткой логики //Электричество. – 2025. – №. 2. – С. 4-14.*
6. Холиддинов И. Х., кизи Бегматова М. М. *ПОВЫШЕНИЕ ИНТЕГРАЦИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ //Educational Research in Universal Sciences. – 2024. – Т. 3. – №. 13. – С. 93-103.*
7. Xoliddinov I. et al. *Modelling and implementation of a photovoltaic system through improved voltage control mechanism //International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS) Vol. – 2024. – Т. 15. – С. 412-421ISSN.*
8. O'Imasov J. F. "Akkumulyator stansiyalarini joriy etilishini elektr tarmog'ining Farg'ona qismi ish rejimiga ta'sirini tadqiq etish". DEVOS, vol.3, no.7, pp. 159-165. Jun. 2025. <https://doi.org/0>

QUYOSH PANELLARINI TOZALASHNING INNOVATSION TIZIMI

Kamanova Gulxan Orinbekovna,
Cyber university assistenti. Tel: +998 99 993-83-17

Annotatsiya. Maqolada qishda avtomatik tozalash moslamalari tufayli quyosh panellaridan samarali foydalanish masalalari ko'rib chiqiladi. Taklif etilayotgan qurilma quyosh energiyasidan ob-havo sharoiti va mavsumdan qat'iy nazar maksimal miqdorda foydalanish imkonini beradi. Ushbu qurilmadan yangi quyosh elektr stansiyalarini qurishda, shuningdek, mavjudlarini modernizatsiya qilishda foydalanish mumkin. Quyosh energetikasini rivojlantirish va modernizatsiya qilish kelajakda mamlakatimizdagi energetika holatining iqtisodiy tomonini yaxshilash imkonini beradi.

Kalit so'zlar: quyosh paneli; tozalash tizimi; sim tebranishlari; rezonans; Amper kuchi.

Kirish. Zamonaviy dunyoning dolzarb muammosi - qazib olinadigan yoqilg'ı zaxiralarini kamaytirish va muqobil yoqilg'ıga o'tish muammosi. Bu, birinchi navbatda, tabiiy resurslarning kamayishi va atrof-muhitning ifloslanishi bilan bog'liq. Muqobil energetikani rivojlantirishning mavjud yo'nalishlaridan quyosh energiyasi eng istiqbolli hisoblanadi. Uning salohiyati asrlar davomida baholangan va atrof-muhitga zararli ta'siri minimaldir. Quyosh energiyasidan foydalanishning maqsadi quyosh radiatsiyasini har xil turdagi energiyaga aylantirishdir. Quyosh energiyasiga qiziqqan dunyoning ko'plab rivojlanayotgan mamlakatlari quyosh panellariga texnik xizmat ko'rsatish va ulardan foydalanish xarajatlarini kamaytirishning turli usullarini izlamoqda. Bu borada Innovatsion rivojlanish agentligi tomonidan O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Elektrotexnika sanoatini rivojlantirishni yangi bosqichga olib chiqishga doir qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida" 2025-yil 22-yanvardagi PQ-20-son qarorida belgilangan topshiriqlardan kelib chiqib, elektrotexnika sohasidagi ilmiy-tadqiqot ishlarini sohaga keng joriy etish maqsadida Ilmiy faoliyatga oid davlat maqsadli dasturi doirasida bajariladigan innovatsion loyihalar tanlovining 109 turi 2025 yil 17 may sanasida e'lon qilindi [1].

2023 yil yakuniga qadar Respublikada umumiy quvvati 2910,6 MW bo'lgan 7ta elektr stansiya (1ta IES, 1ta shamol, 3ta quyosh va 2ta GES) ishga tushirilishi (yagona elektr tarmog'iga ulanishi) rejalashtirilgan. Xususan: Sirdaryo viloyatining Shirin shahri va Boyovut tumanlari hududida quvvati 1500 MW bo'lgan zamonaviy issiqlik elektr stansiyasi; Navoiy viloyatining Tomdi tumanida quvvati 500 MW bo'lgan shamol elektr stansiyasi; Surxondaryo viloyatining Sherobod tumanida quvvati 457 MW bo'lgan quyosh fotoelektr stansiyasi; Samarqand viloyatining Kattaqo'rg'on tumanida quvvati 220 MW bo'lgan quyosh fotoelektr stansiyasi; Jizzax viloyatining G'allaorol tumanida quvvati 220 MW bo'lgan quyosh fotoelektr stansiyalari ishga tushirilishi (yagona elektr tarmog'iga ulanishi) rejalashtirilgan. Shu munosabat bilan quyosh panellarining samaradorligini oshirish zarurati mavjud. Panelning yuzasida ifloslanishni, begona narsalarni o'z vaqtida aniqlash va ularni tezda olib tashlash buni amalga oshirishga imkon beradi. Quyosh panellarining samaradorligi va xizmat qilish muddati ifloslanish darajasiga bog'liq. Shubhasiz, qor qoplarning mavjudligi quyosh panellarining samaradorligiga va ularning ishlash omiliga ta'sir qiladi.

Materiallar va uslublar. Ob-havo sharoitlarining quyosh panellari tomonidan energiya ishlab chiqarishga ta'sirini baholash uchun Quyosh keramikasi MChJ tomonidan o'rnatilgan quyosh elektr stantsiyasi tanlangan. Hevel tomonidan ishlab chiqarilgan ikkita fotovoltaiik panel ishlatiladi (nominal quvvati 125 Vt bo'lgan mikroamorf modul va 1,286 m² maydonga ega kristalli modul, kristal modulning nominal quvvati 223 Vt, fotovoltaiik modullarni o'rnatish burchagi 30 daraja).

Tadqiqot uchun to'rt kun tanlangan: ikki ochiq kun va ikki bulutli kun. Ikki kunning birida qorning quyosh panellariga yopishib qolgani kuzatildi. Bu kunlarning o'rtacha davomiyligi 8 soat 30 daqiqani tashkil etdi. Shu bilan birga, taqqoslangan kunlarda quyosh nurlanishining intensivligi darajasi taxminan bir xil edi.

Natijalar va munozara. O'tkazilgan tadqiqotlar qor qoplarning quyosh panellari tomonidan energiya ishlab chiqarish samaradorligiga ta'sirini baholash uchun ishlatilishi mumkin bo'lgan natijalarni olish imkonini berdi (1, 2-jadvallar).

Qor qoplarning mavjudligi kristalli modulning quvvatini 2 barobarga, mikromorfik modulni esa 10% ga pasayishiga olib keladi. Ya'ni, yomon ob-havo sharoiti ham, qor qoplarning mavjudligi ham ishlab chiqarilgan elektr quvvatiga ta'sir qiladi, ammo shaffof muz amalda ta'sir qilmaydi.

1-jadval.

Quyosh elektr stantsiyasining kristalli modulining energiya ko'rsatkichlari

	Bulutli kun		Ochiq kun	
	Qor qoplamisiz (12-noyabr).	Qor qoplami bilan (20-noyabr).	Qor qoplamisiz (2-noyabr).	Qor qoplami bilan (20 yanvar)
Quyosh nurlanishining maksimal intensivligi.	25	32	420	375
Maksimal ishlab chiqarilgan quvvat.	2,8	0,9	100	43
Bir kunda ishlab chiqarilgan elektr energiyasi.	13	2	450	180

2-jadval.

Quyosh elektr stantsiyasining mikromorfik modulining energiya ko'rsatkichlari.

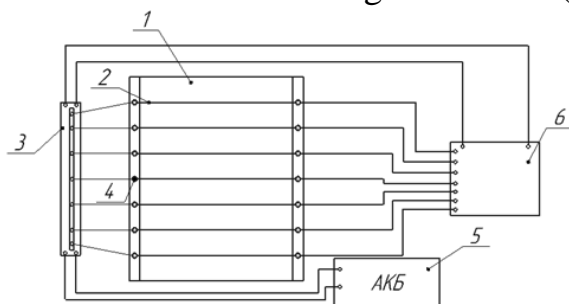
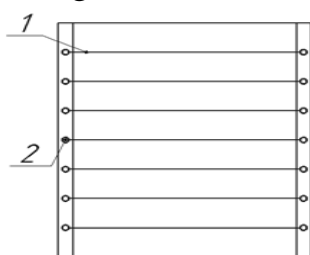
	Bulutli kun		Ochiq kun	
	Qor qoplamisiz (12-noyabr).	Qor qoplami bilan (20-noyabr).	Qor qoplamisiz (2-noyabr).	Qor qoplami bilan (20 yanvar)
Quyosh nurlanishining maksimal intensivligi.	25	32	420	375
Maksimal ishlab chiqarilgan quvvat.	2,1	0,8	47	46
Bir kunda ishlab chiqarilgan elektr energiyasi.	10	2	200	170

Quyosh panellari yuzasi vaqti-vaqti bilan qor, tushgan barglar va changdan o'zini o'zi tozalashga qodir bo'lishi kerak, chunki quyosh elektr stantsiyalari odatda chekka hududlarda o'rnatiladi va ularning tozaligini xodimlar tomonidan doimiy nazorat qilib bo'lmaydi [2]. Nazorat va doimiy texnik xizmat ko'rsatish qurilish xarajatlarini oshiradi, quyosh elektr stantsiyalarini qurish va ta'mirlash xarajatlarini pasaytirish esa keyingi rivojlanishning asosiy omilidir.

Quyosh panellaridan foydalanish samaraliligini baholash. Panellarni avtonom va mustaqil tozalash imkonini beruvchi bir qator variantlar taklif qilingan. Masalan, maxsus kompozitsiyani qo'llash, himoya panelini o'rnatish, avtomatlashtirilgan robotlardan foydalanish, moslashuvchan modullardan foydalanish, tebranish hodisasidan foydalanish [3]. Har bir taklif qilingan kontseptsiya o'zining afzalliklari va kamchiliklariga ega. Bizning tashabbus guruhimiz asosiy kamchiliklardan xoli takomillashtirilgan tozalash texnologiyasiga ega modelni ishlab chiqdi. Kelajakda bunday texnologiyalar elektr energiyasi ishlab chiqarishning ob-havo sharoitiga va texnik xizmat ko'rsatuvchi xodimlarning mavjudligiga bog'liqligini butunlay yo'q qilishga imkon beradi.

Ushbu ishning maqsadi quyosh panellarining samaradorligi va ishlashini oshirish uchun ularni tozalash jarayonlarini avtomatlashtirish edi. Muhim nuqta - harorat va ob-havo sharoitidan qat'iy nazar, quyosh panellaridan foydalanish, shuningdek, texnik xizmat ko'rsatuvchi xodimlarning yo'qligi va ushbu tizimni mavjud quyosh panellariga o'rnatish imkoniyati.

Ushbu qurilma panelning ishlashi va samaradorligini oshiradigan natijaga erishishga imkon beradi. Bunga quyosh batareyasining sirtini qor, muz, qoldiq va quyosh energiyasini aylantirishga xalaqit beradigan boshqa narsalardan tozalashning samarali usuli tufayli erishiladi (1-rasm). Bularning barchasi texnik vositalar yordamida amalga oshiriladi: quyosh batareyasiga ulangan quvvat manbai, parallel simlar, quyosh paneli yuzasida joylashgan simli ifloslanishni nazorat qiluvchi sensorlar. Ifloslanishni nazorat qilish datchiklari butun tashqi chekka bo'ylab joylashgan simli kuchlanish datchiklari shaklida amalga oshiriladi (2-rasm).



1-rasm. Quyosh batareyasini tozalash tizimi: 1 - simlar; 2 - simning kuchlanish datchiklari

2-rasm. Tozalash tizimi o'rnatilgan quyosh batareyasining umumiy ko'rinishi: 1 – quyosh paneli; 2 - simlar; 3 - kontroller; 4 – simni kuchlanish datchiklari; 5 - batareya to'plami; 6 – invertor.

Tebranish qobiliyatiga ega bo'lgan simlar bir-biriga parallel joylashgan va quyosh paneli yuzasiga o'rnatiladi. Quvvat manbai sifatida o'zgaruvchan tok manbai ishlatiladi. Muzni simlar orqali o'tadigan oqimdan termal ta'sir orqali emas, balki muzga elektromexanik ta'sir qilish orqali olib tashlash taklif etiladi [3]. Ma'lumki, bir xil yo'nalishdagi ikkita parallel oqim ular orasida paydo bo'ladigan Amper kuchi ta'sirida bir-biriga tortiladi yoki bir-birini qaytaradi.

Xulosa va tavsiyalar. Shunday qilib, taqdim etilgan ixtiro quyosh panellarini tozalash jarayonini avtomatlashtiradi. Tozalash jarayoni harorat va ob-havo sharoitlaridan qat'iy nazar va texnik xizmat ko'rsatuvchi xodimlar yo'qligida sodir bo'ladi, shuningdek, ushbu tizimni mavjud quyosh panellarida o'rnatish va ishlatish imkonini beradi. Natijada quyosh batareyasi yuzasini qor, muz, qoldiq va quyosh energiyasini konversiyalashga xalaqit beradigan boshqa narsalardan tozalash samaradorligi oshadi. Iqtisodiy jihatlarni hal qilish, qurilma xodimlarni saqlash, yuvish vositalari va qo'shimcha qimmatbaho uskunalaridan foydalanish xarajatlarini kamaytirishga imkon beradi. Dizayn kompozitsion uskunaga nisbatan minimallashtiriladi va shu bilan texnik xizmat ko'rsatish va xizmat ko'rsatish xarajatlarini yo'q qiladi. Ushbu dizayn tufayli ushbu qurilmaning xizmat muddati oshadi.

Foydalanilgan adabiyotlar.

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2025-yil 22-yanvardagi "Elektrotexnika sanoatini rivojlantirishni yangi bosqichga olib chiqishga doir qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida" PQ-20-son qarori
2. Робот sharp повысит КПД солнечных батарей [Электронный ресурс]. URL: http://energysafe.ru/alternative_energy/companies/1776/ (дата обращения 10.06.2017). [The robot sharp will improve the efficiency of solar panels (2017, Jun.10) [Online]. Available: http://energysafe.ru/alternative_energy/companies/1776/]
3. Трофимова Т. И. Курс физики: учеб. Пособие. М.: Высш. шк., 2020. 478 с. [Т. И. Trofimova, Physics course (in Russian). М.: Vyssh. sch., 2020.]

ISSIQLIK SOCHILISHI VA ATMOSFERA YUTILISHINI INOBATGA OLGAN HOLDA GLOBAL QUYOSH NURLANISHINING TAHLILYI MODELLASHTIRILISHI.

V.U.Ro'ziboyev, fizika kafedrasida 3-kurs tayanch-doktoranti
M.M.Kamolova, fizika kafedrasida 1-kurs tayanch-doktoranti
Sh.Yu.Axmedova, fizika kafedrasida stajor-tadqiqotchi
R.M.Xolmatova, fizika kafedrasida 1-kurs magistranti
muhabbatxonkamolova@gmail.com / 91-659-45-09

Farg'ona davlat universiteti, O'zbekiston, 150100, Farg'ona Shahar, Murabbiylar, 19

Annotatsiya: Ushbu tadqiqot ochiq osmon sharoitida quyosh nurlanishining diffuz komponentini o'rganadi, va unda NASA POWER ma'lumotlari Pvlb Python hisoblari bilan solishtiriladi. Tahlil uchun yilning to'rt kuni - 22-mart, 22-iyun, 22-sentabr va 22-dekabr - tanlandi, hamda hisoblashlar Toshkent kengligida amalga oshirildi. Nazariy model nur tarqalish tenglamasi va Lambert-Buger qonuniga asoslandi, shu bilan birga modelga havoning zichlik fluktuatsiyalari hisobga olingan tuzatish kiritildi. Atmosfera yutilishi va yer yuzasi albedosi ham qo'shildi, shuning uchun model yanada aniqroq bo'ldi. Natijalar standart modellarda diffuz oqim past baholanishini ko'rsatdi, biroq takomillashtirilgan model sezilarli darajada ishonchli natijalarni berdi. Takomillashtirilgan model NASA POWER va yerusti o'lchovlari bilan yaxshi mos keldi, bu esa uslubning to'g'riligini isbotladi. Shu bois tadqiqot diffuz oqimni aniq hisoblash uchun qo'shimcha mexanizmlarni hisobga olish zarurligini ko'rsatadi va bu global radiatsiya hisoblarida muhim ahamiyat kasb etadi.

Kalit so'zlar: quyosh nurlanishi, umumiy nurlanish oqimi, diffuz nurlanish, Reyle sochilishi, havo zichligidagi fluktuatsiyalar, atmosferadagi yutilish.

Quyosh nurlanishi Yerning energetik muvozanati va iqlim jarayonlarini belgilovchi asosiy omillardan biridir, shuning uchun uni o'rganish ham fundamental, ham amaliy ahamiyatga ega. Bugungi kunda quyosh radiatsiyasini tahlil qilish uchun sun'iy yo'ldosh ma'lumotlar bazalari (masalan, NASA POWER) hamda zamonaviy modellashtirish dasturiy vositalari (Pvlb Python) keng qo'llaniladi. Biroq, "ochiq

osmon" sharoitidagi standart modellar ko'pincha nurlanishning diffuz tarkibini yetarli darajada hisobga olmaydi, bu esa hisob-kitoblar va haqiqiy kuzatuvlar o'rtasida tafovutlarning yuzaga kelishiga olib keladi.

Ushbu ishda quyosh nurlanishining atmosferada sochilish jarayoniga alohida e'tibor qaratilgan. Klassik Reley mexanizmiga qo'shimcha ravishda, bu jarayonda havoning fluktuatsiyalari, atmosfera tomonidan yutilishi hamda Yer sirtidan qaytishi muhim rol o'ynaydi. Aynan shu omillar global oqimning shakllanishiga yil fasllari o'zgarishida sezilarli hissa qo'shadi, Issiqlik tarqalishi va yutilishiga oid tuzatishlarni kiritish modelning aniqligini sezilarli darajada oshiradi hamda uning natijalarini ko'p yillik kuzatuv ma'lumotlariga yaqinlashtiradi. Tadqiqotning maqsadi NASA POWER ma'lumotlarini Pvlb Python dasturiy paketi yordamida olingan nazariy hisob-kitob natijalari bilan taqqoslash hamda qo'shimcha atmosferaviy jarayonlarni hisobga olgan takomillashtirilgan quyosh nurlanishi modelini ishlab chiqishdir. Bu esa yilning to'rtta xarakterli kuni misolida mavsumiy o'zgarishlarni ko'rib chiqish global oqim shakllanishining qonuniyatlarini aniqlash va quyosh radiatsiyasi prognozlarining ishonchliligini energetika va iqlimiy ilovalar uchun oshirish imkonini beradi.

Yer yuzasiga yetib keladigan quyosh nurlanishi (QN) butun dunyo bo'ylab yer usti stansiyalari hamda sun'iy yo'ldosh kuzatuvlari yordamida o'lchanadi, ularning natijalari esa xalqaro meteorologik tashkilotlarning veb-saytlarida muntazam ravishda e'lon qilinadi. Ushbu maqolada NASA POWER [1] ma'lumotlar bazasida keltirilgan *GHI, DHI, DNI* kattaliklarining o'lchov natijalari va Pvlb Python [2] dasturiy paketi yordamida bajarilgan nazariy hisob-kitoblar o'rtasidagi taqqoslash natijalari tahlil qilinadi. Aniqlik kiritish maqsadida yil davomida to'rtta xarakterli sanalar — 22 mart, 22 iyun, 22 sentabr va 22 dekabr, soat 12:00 (tush payti) uchun hisoblashlar amalga oshirilgan. Barcha hisob-kitoblar va taqqoslashlar aniq osmon modeli asosida, $\phi = 41.26$ shimoliy kenglikda joylashgan Toshkent shahri uchun bajarilgan. Manba [1] dagi ma'lumotlardan quyosh energiyasi potensialini baholash va atmosferaning iqlimiy xususiyatlarini modellashtirishda foydalanish tavsiya etiladi, [2] natijalari esa fotoelektrik tizimlarni tahlil qilish va loyihalash uchun maqsadga muvofiqdir.

1-rasmda o'tkazilgan o'lchovlar va hisob-kitoblar natijalari, shuningdek bizning nazariy tahlilimiz ma'lumotlari keltirilgan. NASA POWER saytida [1] e'lon qilingan *GHI, DHI, DNI* parametrlarining qiymatlari faqat ochiq kunlar uchun 2001–2024 yillar oralig'idagi 24 yillik davr ma'lumotlarini o'rtacha olish yo'li bilan aniqlangan.

Bizning hisob-kitoblarimizda diffuz nurlanish intensivligi atmosferadagi polyarizatsiyalangan nurlanishning ko'chirilish tenglamasini yechish orqali aniqlanadi[3].

$$\mu \frac{dI(\tau, \Omega)}{d\tau} = I(\tau, \Omega) - \frac{\tilde{\omega}_0}{4\pi} \int_0^1 d\mu' \int_0^{2\pi} d\varphi' \mathbf{P}(\Omega, \Omega') I(\tau, \Omega') - \frac{\tilde{\omega}_0}{4} \exp(-\tau/\mu_0) \mathbf{P}(\Omega, \Omega_0) \mathbf{F}(\tau = 0, \Omega_0) \quad (1)$$

to'g'ri oqim esa Lambert–Buger qonuni yordamida aniqlanadi

$$I^{to'g'ri}(\tau_1, \Omega_0) = \exp(-\tau_1/\mu_0) \mathbf{F}(\tau_1 = 0, \Omega_0). \quad (2)$$

[1] dagi *GHI, DHI, DNI* parametrlari o'lchov ma'lumotlarini [2] bo'yicha hisoblash natijalari bilan taqqoslash shuni ko'rsatadiki, [2] da hisoblangan diffuz oqim qiymatlari kuzatuvlarga asoslangan qiymatlardan ancha past. Ochiq osmon (clear-

sky) modelida atmosfera mutlaqo toza deb faraz qilinadi, bunda quyosh nurlanishining yutilishi yo'q, yorug'likning sochilishi esa faqat havo molekulalaridagi Reley mexanizmi hisobiga sodir bo'ladi. Qish va bahor davrlarida bulutli kunlar soni iliq fasllardagiga nisbatan ko'proq bo'ladi va bu mavsumlarda atmosfera namligi ortadi, natijada quyosh nurlanishi suv tomchilarida qo'shimcha ravishda sochiladi. Bu global quyosh nurlanishi tarkibida diffuz oqim ulushi sovuq mavsumda nega yuqoriroq bo'lishini tushuntiradi. Shunga muvofiq, yilning iliq davrida, atmosfera tozaroq bo'lganda, global oqimdagi diffuz komponent ulushi sovuq davrga nisbatan past bo'lishi kerak.

Kunlar	Yoritish burchagi. graduslarda	Tushayotgan oqim quvvat	Oqimlar	Python Pvlib [1] 2023-2024y	NASA POWER [2]	Bizning hisoblashlarimiz natijalari (Parametrlar qiymatlari berilganda)		O'lchov natijalari [5]
22-mart 12 ⁰⁰	41.0	1037.61	GHI	799.57	700.14	688.01	$\Lambda = 0.17,$ $\chi = 6$ $\beta = 4$	528.91
			DHI	68.82	273.37	183.53		243.91
			DNI	974.08	540.32	671.28		394.75
22-iyun 12 ⁰⁰	18.47	1254.4	GHI	930.90	931.10	928.18	$\Lambda = 0.17,$ $\chi = 7$ $\beta = 1$	918.79
			DHI	149.40	247.55	220.65		186.36
			DNI	824.68	750.35	744.84		776.21
22-sentabr 12 ⁰⁰	41.51	1018.51	GHI	746.24	744.67	730.14	$\Lambda = 0.17,$ $\chi = 7$ $\beta = 1$	751.44
			DHI	111.42	202.18	191.77		173.04
			DNI	845.59	727.01	723.29		742.46
22-dekabr 12 ⁰⁰	65.10	594.27	GHI	434.71	331.83	333.15	$\Lambda = 0.23,$ $\chi = 7$ $\beta = 6$	319.43
			DHI	30.67	139.75	129.80		142.05
			DNI	952.43	487.91	476.13		414.09

1-rasm. [1] dagi kuzatuv natijalari va [2] dagi hisob-kitoblar va bizning natijalarimiz. *GHI, DHI, DNI* oqimlarining quvvat zichliklari Vt/m^2 birliklarda keltirilgan.

Yoz faslida diffuz oqim miqdorining oshishini havoning fluktuatsiyalarida yorug'likning sochilishi mexanizmi ta'siri bilan izohlash mumkin. Harorat oshishi

bilan molekullarning xaotik issiqlik harakati kuchayadi, bu esa havoning zichlik qiymatlarining doimiy tebranishlariga olib keladi. Natijada gazning dielektrik singdiruvchanligida fluktuatsiyalar yuzaga keladi; ular molekullarning qo'shimcha qutblanishini keltirib chiqaradi va oqibatda atmosferada quyosh nurlanishining sochilishiga sabab bo'ladi [4]. Ushbu holatda sochilgan yorug'lik intensivligi sezilarli darajada atmosfera harorati bilan belgilanadi. Ko'rib chiqilgan har ikkala sochilish modeli molekulyar xususiyatga ega bo'lgani sababli, sochilgan nurlanish intensivligining burchak bo'yicha taqsimlanishi Reley burchak funksiyasi bilan ifodalanadi [3]. Reley mexanizmiga nisbatan, adabiyotlarda havoning zichlik fluktuatsiyalarida yorug'likning sochilish koeffitsienti bo'yicha hisob-kitoblar mavjud emas.

Diffuz oqim shakllanishida issiqlik sochilishining a^{soch} hissasini hisobga olish uchun (1) va (2)-tenglamalarda qo'llaniladigan Reley sochilishi koeffitsientiga a^{fluk} tuzatmasi kiritiladi. Bu holda sochilish koeffitsienti yig'indi ko'rinishida ifodalanadi, bu esa qo'shimcha sochilish mexanizmini hisobga olishga ekvivalentdir. Shunday qilib, $a^{soch} + a^{fluk}$ miqdorlarini hisobga olganda, atmosferaning optik qalinligi quyidagicha ifodalanadi:

$$\tau = (a^{soch} + a^{fluk})z = \tau^{soch} + \tau^{fluk} = \tau^{soch}(1 + \tau^{fluk}/\tau^{soch}) = \tau^{soch}(1 + \chi) \quad (3)$$

bu yerda $\chi = \tau^{fluk}/\tau^{soch}$ — o'lchamsiz kattalik bo'lib, uni (1)-tenglamadagi ko'chirilish tenglamasiga kiruvchi mustaqil parametr sifatida qo'llash mumkin.

NASA POWER [1] ma'lumotlariga ko'ra, hatto ochiq osmon sharoitida ham quyosh nurlanishining bir qismi atmosfera tomonidan yutiladi. Ushbu effektini hisobga olish uchun (3) dagi yondashuvga o'xshash usul qo'llanadi: (2) ifodaga qo'shimcha parametr τ^{yut} kiritiladi:

$$\tau = \tau^{soch} + \tau^{fluk} + \tau^{yut} = \tau^{soch}(1 + \tau^{fluk}/\tau^{soch} + \tau^{yut}/\tau^{soch}) = \tau^{soch}(1 + \chi + \beta) \quad (4)$$

bu yerda $\beta = \tau^{yut}/\tau^{soch}$ o'lchamsiz kattalik.

χ va β parametrlari issiqlik sochilishi hamda yutilish hisobiga, mutlaqo reley atmosferasining optik qalinligiga nisbatan, atmosferaning optik qalinligidagi o'zgarishni tavsiflaydi.

Hisoblarimizda, yuqoridagi tuzatmalardan tashqari, Yer yuzasidan qaytgan quyosh oqimining (Λ — sirt albedosi) global quyosh nurlanishi miqdoriga ta'siri ham hisobga olindi. 1-rasmda Λ, χ, β parametrlari turli qiymatlarida GHI, DHI, DNI bo'yicha hisob-kitoblarimiz natijalari keltirilgan. Jadvaldan ko'rinib turibdiki, iyun, sentabr va dekabr oylarida olingan nazariy natijalarimiz [1] dagi ma'lumotlar bilan yaxshi mos keladi. Shuningdek iyun, sentabr va dekabr oylarida bizning nazariy hisob-kitoblarimiz [1] dagi ma'lumotlar bilan yaxshi mos tushadi. Mart oyida kuzatilgan sezilarli tafovutni ushbu davrdagi barqaror bo'lmagan ob-havo sharoitlari bilan izohlash mumkin. Taqqoslash uchun jadvalda, shuningdek, 2013–2016 yillarda Parkent stansiyasida o'tkazilgan yer usti o'lchovlari bo'yicha olingan GHI, DHI, DNI ning o'rtacha qiymatlari ham keltirilgan [5]. Ko'rinib turibdiki, martdan oyidan tashqari hollarda hisob-kitoblarimiz [5] va NASA POWER dagi ma'lumotlar bilan yaxshi mos keladi. Mavjud tafovutlar ham o'lchov va hisob-kitob xatoliklari [5] dagi

kuzatuvlar hajmining cheklanganligi (jami 4 yil) bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Qisqalik uchun bu yerda faqat yilning to'rtta xarakterli kuni bo'yicha natijalar muhokama qilindi, biroq barcha 12 oy uchun hisob-kitoblar bajarilganda ham jarayonlarning sifat jihatidagi manzarasi sezilarli o'zgaraydi.

ADABIYOTLAR

1. NASA Power, Available at: <https://power.larc.nasa.gov/> .
2. Profile Solar, Available at: <https://profilesolar.com/countries/UZ/> .
3. Sobirov, M., Roziqov, J., Roziboyev, V., and Yusupova, D., Calculation of Spectral and Angular Distribution of Diffusely Reflected, Transmitted, and Non-scattered Fluxes of Solar Radiation in Atmospheric Layers, Applied Solar Energy, 2023, vol. 59, no. 5, pp. 761–769
4. Ландсберг Г.С. Оптика. Москва, Наука. 1976.
5. N. R. Avezovaa, E. Yu. Rakhimova, Orientation of Heated Premise in the Design of Insolation Passive Heating Systems, Applied Solar Energy, 2017, Vol. 53, No. 4, pp. 338–343.

ENERGIYA MUAMMOLARI VA ULARNI BARTARAF ETISH YO'LLARI

Sulaymonov Xusanboy Mannopovich
Farg'ona davlat texnika universiteti, Fizika kafedrası

Annotatsiya

Ushbu maqolada jahon va O'zbekiston miqyosida mavjud bo'lgan energetik muammolar, ularning kelib chiqish sabablari hamda bartaraf etish yo'llari tahlil qilinadi. Tadqiqotda energiya resurslaridan oqilona foydalanish, qayta tiklanuvchi manbalarni joriy etish, energiya tejovchi texnologiyalarni qo'llashning iqtisodiy va ekologik afzalliklari yoritilgan. Natijalar shuni ko'rsatadiki, energiya samaradorligini oshirish orqali sanoat korxonalarida elektr energiyasi sarfini o'rtacha 25–30% gacha kamaytirish mumkin.

Kalit so'zlar: energiya, samaradorlik, qayta tiklanuvchi manbalar, energiya tejash, ekologiya, texnologiya.

Kirish

Bugungi kunda energiya muammolari insoniyat oldida turgan eng dolzarb global masalalardan biridir. Aholi sonining ortishi, sanoat ishlab chiqarishining kengayishi va transport vositalarining ko'payishi natijasida energiya resurslariga bo'lgan talab keskin ortmoqda. Shu bilan birga, an'anaviy energiya manbalari — ko'mir, neft va gaz — cheklangan bo'lib, ularning yonishi atmosfera ifloslanishiga va iqlim o'zgarishiga sabab bo'lmoqda. Shu sababli, energiya muammolarini hal etish uchun muqobil energiya manbalariga o'tish strategiyasi muhim ahamiyat kasb etmoqda.

Energiya muammolarining sabablari

Energiya tanqisligining asosiy sabablari quyidagilardan iborat:

1. Aholi sonining tez o'sishi va iste'molning ortishi.
2. Sanoat korxonalarida energiya tejamkor texnologiyalarning yetarli darajada joriy qilinmaganligi.
3. An'anaviy energiya manbalarining kamayib borishi.
4. Qayta tiklanuvchi manbalardan foydalanishning sustligi.
5. Energiya tarmoqlarida yo'qotishlarning yuqoriligi (o'rtacha 15–20%).

Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, agar mavjud tizimlar modernizatsiya qilinmasa, 2030-yilga borib global energiya talabi 2020-yil darajasiga nisbatan 40% ga oshadi. Bu esa ekologik xavf va iqtisodiy bosimni yanada kuchaytiradi.

Energiya sarfi va samaradorlik orasidagi bog'liqlik quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$\bullet \eta = (E_{\text{foydali}} / E_{\text{umumiy}}) \times 100\%$$

bu yerda η — foydali ish koeffitsienti (%), E_{foydali} — foydali ishlatilgan energiya (J), E_{umumiy} — umumiy sarflangan energiya (J).

Energiya samaradorligi bo'yicha ma'lumotlar

Sektor	2020-yil sarf (mlrd kVt·soat)	2025-yil prognoz (%)	Samaradorlik oshishi (%)
Sanoat	32.5	–18	28
Transport	15.2	–12	22
Uy xo'jaligi	21.7	–15	25

Jadvaldan ko'rinadiki, energiya samaradorligini oshirish bo'yicha chora-tadbirlar natijasida 2025-yilga kelib sanoat tarmoqlarida 28%, uy xo'jaliklarida esa 25% gacha energiya tejalishi kutilmoqda.

Energiya muammolarini bartaraf etish yo'llari

Energiya muammolarini hal etish uchun quyidagi strategik yo'nalishlar amalga oshirilishi lozim:

1. Quyosh, shamol, biogaz va geotermal energiya manbalarini keng joriy etish.
2. Sanoatda energiya tejavchi texnologiyalarni joriy qilish.
3. Uy-joy sektorida issiqlik izolyatsiyasi va avtomatik boshqaruv tizimlarini tatbiq etish.
4. Energiya auditori tizimini joriy qilish va nazoratni kuchaytirish.
5. Aholining energiya madaniyatini oshirish va energiya tejash bo'yicha ta'lim dasturlarini kengaytirish.

Masalan, O'zbekistonda 2024-yilda qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish 15% ga oshirildi. Bu esa yiliga 2 milliard kVt·soat elektr energiyasi tejash imkonini berdi.

Xulosa

Energiya muammolari insoniyatning barqaror rivojlanishiga to'sqinlik qiluvchi asosiy omillardan biridir. Biroq, energiya samaradorligini oshirish, qayta tiklanuvchi manbalarni kengaytirish va ekologik xavfsiz texnologiyalarni joriy etish orqali bu muammolarni sezilarli darajada kamaytirish mumkin. Ilmiy tahlillar shuni ko'rsatadiki, agar energiya boshqaruvi tizimli yo'lga qo'yilsa, iqtisodiy o'sish va ekologik barqarorlik o'rtasidagi muvozanat ta'minlanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

- [1] Xidirov D.Sh. (2024). Energiya resurslaridan oqilona foydalanish va muqobil manbalar. Farg'ona DTU nashriyoti.
- [2] O'zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi (2025). Qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirish dasturi.
- [3] IEA World Energy Outlook (2024). Global Energy Efficiency Report. Paris: International Energy Agency.

FIZIKA FANINI O'QITISHNING ZAMONAVIY INNOVATSION METODLARI

РОЛЬ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И НАБЛЮДЕНИЙ В ПОВЫШЕНИИ ИНТЕРЕСА УЧАЩИХСЯ НА УРОКАХ ФИЗИКИ

Ниязимбетова Н., Камалов А.Б. Нукусский Государственный педагогический институт им. Ажинияза, г. Нукус, Узбекистан.

Аннотация. В статье рассматривается значение физических экспериментов и наблюдений как ключевых средств повышения познавательного интереса учащихся к физике. Авторы отмечают, что именно через эксперимент и наблюдение осуществляется связь между теорией и реальной действительностью, формируются исследовательские и аналитические умения школьников. Показано, что систематическое использование различных форм экспериментов способствует не только лучшему усвоению физического материала, но и развитию самостоятельности, критического мышления и устойчивого интереса к предмету.

Ключевые слова. Физический эксперимент, наблюдение, познавательный интерес, мотивация обучения, лабораторная работа, исследовательская деятельность, демонстрационный опыт, виртуальная лаборатория, цифровое образование, методика преподавания физики.

Современное образование переживает этап глубоких преобразований, направленных на развитие у учащихся не только знаний, но и исследовательских, творческих и познавательных умений. В этом контексте физика как наука о природе занимает особое место, поскольку она формирует научное мировоззрение, способствует развитию логического и критического мышления, а также позволяет учащимся осознавать закономерности, лежащие в основе многих природных и технических явлений. Однако, несмотря на значимость этого предмета, уровень интереса школьников к физике в последние годы во многих образовательных учреждениях остаётся недостаточным. Причины этого кроются не только в сложности материала, но и в недостаточном использовании активных методов обучения, в частности, экспериментов и наблюдений, которые являются сердцевиной физического познания [1, 2].

Эксперимент и наблюдение выступают не просто как вспомогательные методические приёмы, а как фундаментальные способы научного познания, обеспечивающие связь между теорией и реальной действительностью. Именно через практическое взаимодействие с физическими объектами, измерениями, приборами и процессами учащиеся осознают закономерности природы не как абстрактные формулы, а как реально существующие связи и явления.

Эксперимент в школьном курсе физики выполняет не только иллюстративную, но и мотивационную функцию, так как вызывает у учащихся интерес, удивление, желание понять причины происходящего. Это превращает процесс обучения в активное исследование, где ученик становится не пассивным слушателем, а субъектом познания [3-5].

Современная дидактика подчёркивает, что без систематического использования демонстрационных и лабораторных опытов невозможно обеспечить полноценное усвоение физических понятий. Экспериментальная деятельность создаёт основу для формирования умений наблюдать, анализировать, делать выводы и устанавливать причинно-следственные связи. В процессе наблюдения учащиеся учатся концентрировать внимание на существенных признаках явлений, сравнивать результаты, выявлять закономерности. Это способствует не только лучшему пониманию материала, но и развитию исследовательских навыков, что особенно важно в контексте реализации компетентного подхода в образовании.

Физический эксперимент — это основной способ получения знаний в физике, а в педагогическом смысле — метод обучения, позволяющий учащимся непосредственно наблюдать явления, измерять физические величины и проверять гипотезы. В школьной практике выделяют три основных формы эксперимента: демонстрационный, фронтальный лабораторный и экспериментально-исследовательский.

1. Демонстрационный эксперимент проводится учителем для иллюстрации изучаемых явлений, законов и зависимостей. Его главная функция — визуализировать абстрактные понятия, вызвать интерес и эмоциональный отклик у учащихся. Например, при изучении закона Архимеда демонстрация плавания тел в воде позволяет учащимся не просто услышать о действии выталкивающей силы, а увидеть, как она проявляется. Подобное наблюдение способствует интуитивному пониманию сути явления.

Эффективность демонстрационного эксперимента во многом зависит от его наглядности, простоты и неожиданности результата. Например, при изучении электричества демонстрация искры между проводниками или движение стрелки амперметра при замыкании цепи вызывает у учеников чувство удивления, которое является важнейшим стимулом познавательной активности.

Также важно сопровождать демонстрацию проблемными вопросами: — Почему лампа загорается только после замыкания цепи? — Что произойдёт, если увеличить длину провода? Такие вопросы побуждают учеников размышлять, выдвигать гипотезы, формируя элементы исследовательского мышления.

2. Фронтальные лабораторные работы дают учащимся возможность самим «прикоснуться» к физике — измерить силу тока, плотность тела, период колебаний маятника. Этот тип деятельности особенно значим, поскольку обеспечивает не только понимание теоретического материала, но и развитие практических навыков.

Например, лабораторная работа «Измерение ускорения свободного падения с помощью маятника» позволяет учащимся не просто принять на веру значение $g \approx 9,8 \text{ м/с}^2$, а убедиться в этом на практике. В процессе измерений учащиеся сталкиваются с необходимостью аккуратности, точности, анализа ошибок — то есть погружаются в настоящую научную деятельность. Это формирует у них осознание, что физика — это не набор формул, а способ познания мира.

Регулярное проведение лабораторных работ позволяет развивать самостоятельность, ответственность, внимательность и исследовательские умения. Важно, чтобы учащиеся не просто механически выполняли инструкцию, а осмысливали каждый этап опыта, задавались вопросом «почему» и «как».

3. Экспериментально-исследовательская деятельность. Наиболее высокий уровень экспериментальной работы достигается тогда, когда учащиеся самостоятельно ставят цель исследования, выдвигают гипотезу, выбирают оборудование, проводят измерения и анализируют результаты. Такая форма работы развивает не только интерес к физике, но и формирует ключевые компетенции: умение планировать деятельность, работать с информацией, сотрудничать в группе.

Примером может служить мини-проект «Исследование зависимости сопротивления проводника от его длины и материала». В ходе выполнения проекта учащиеся самостоятельно конструируют электрическую цепь, измеряют сопротивление, строят графики и делают выводы о пропорциональности сопротивления длине проводника. Такой опыт превращает учащихся в исследователей, пробуждая в них чувство ответственности за результат и удовлетворение от полученных открытий.

Наблюдение — это основа любого эксперимента и важнейший метод познания природы. В обучении физике наблюдения применяются как в классе, так и во внеурочной деятельности. Например, учащиеся могут наблюдать за движением облаков, радугой, отражением света, изменением длины тени в течение дня. Такие наблюдения формируют у них чувство связи между физикой и окружающим миром.

Интересен пример наблюдения за звёздным небом при изучении темы «Астрономические явления». Когда учащиеся своими глазами видят фазы Луны или движение планет, они осознают реальные проявления законов физики, что способствует формированию научного мировоззрения.

Исследования показывают, что учащиеся, активно участвующие в экспериментальной деятельности, демонстрируют более высокий уровень познавательного интереса и успеваемости. Эксперимент делает процесс обучения эмоционально насыщенным, вызывает у учеников чувство открытия и уверенности в своих силах [4, 7].

Физика становится для них не абстрактной наукой, а живым процессом исследования природы. Именно поэтому учитель должен грамотно интегрировать эксперименты и наблюдения в структуру каждого урока,

использовать проблемный подход, предлагать ученикам самим искать ответы на возникающие вопросы.

Таким образом, можно утверждать, что роль эксперимента и наблюдения в обучении физике является системообразующей. Они не просто средство наглядности, а мощный инструмент воспитания любознательности, самостоятельности и творческого мышления, без которых невозможно успешное обучение и формирование будущего исследователя, инженера или учёного.

Список литературы

1. Крутова И.А., Альмашева С.С., Соловьева А.Р. Способы создания у школьников познавательного интереса к изучению физики// Восточно-европейский научный журнал. -2016. -Вып. 10. -№1. -С. 110-112.
2. Соловьева Н. М. Повышение познавательного интереса у учащихся при проведении лабораторных работ по физике //Вестник педагогических наук. – 2022. – №. 7. – С. 90-93.
3. Крутова И.А., Фисенко М.А Развитие познавательных способностей учащихся в процессе выполнения экспериментальных исследований при изучении физических явлений // Геология, география и глобальная энергия. 2006. №8. С.181- 183.
4. Свентецкая Г.Д. Физический эксперимент как средство активизации познавательного интереса на уроках физики// Физико-математическое образование. -2016. -№3 (9). С. 89-93.
5. Саввина М.А. Средства и методы формирования интереса к обучению физики// Международный журнал гуманитарных и естественных наук. -2022. - №. 5-1. -С. 258-260.
6. Коханов К.А. Экспериментальное исследование эффективности коллективной познавательной деятельности на уроке физики// Вестник Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета.- 2014. -№7. -С. 109-121.

DEVELOPING COMBINED-METHOD LESSON MATERIALS FOR "RADIATION INTERACTION WITH MATTER" IN MEDICAL UNIVERSITIES.

¹*Polvonov Bakhtiyor Zaylobiddinovich.*

²*Fozilova Mokhichehra Dilmurod qizi.*

¹ *Fergana State University, professor, fizikapolvonov@gmail.com tel; 99 999 99 56*

² *Fergana State University, assistant, fozilovamoxichexra@gmail.com tel; 91 665 52 82*

Annotation: *This article explores the creation of generalized lesson plans using combined pedagogical methods for teaching "Interaction of Radiation with Substances" in medical universities. It aims to incorporate effective and innovative teaching techniques. The findings indicate that the integration of problem-based, interactive, and cooperative learning approaches enhances students' critical thinking, autonomy, and practical abilities.*

Keywords: *combined methods, pedagogical techniques, problem-based learning, interactive learning, cooperative learning, innovative teaching, educational impact, learning facilitators.*

Introduction. Nowadays, the learning process in the field of medicine has evolved beyond traditional teaching methods to become more effective and advanced through innovative pedagogical approaches. Teaching the subject "Interaction of Radiation with Substances" involves a complex process that synthesizes biology, chemistry, and physics. This course enables students to study how radiation affects substances, what types of radiation cause energy loss or emission in materials. The application of radiation in many medical fields, such as radiology, oncology, radiotherapy, and other diagnostic methods, requires students to acquire strong theoretical and practical knowledge in these areas. Therefore, the use of modern pedagogical methods in teaching this subject aims not only to impart theoretical knowledge but also to develop students' practical skills and analytical thinking.

For example, using the problem-based learning method, students learn to solve real-life problems while studying the interaction between radiation and substances. In the interactive learning method, students enhance their knowledge through various interactive tools and observe the interaction of radiation with substances via virtual laboratories.

Methodology. This study analyzed the effectiveness of using three pedagogical methods in teaching the subject "Interaction of Radiation with Substances": problem-based learning, interactive learning, and cooperative learning. For each method, interactive communication and scientific inquiry were organized among students. Lessons were conducted using interactive presentations, group work, and virtual laboratories.

In the problem-based learning method, students were presented with specific scientific problems to help them understand the interaction between radiation and substances. In the interactive learning method, students had the opportunity to study the topic through visual materials, diagrams, simulations, and laboratory exercises

using modern technologies. The cooperative learning method provided students with the chance to work in groups, share knowledge, and collaborate on scientific tasks.

Through these methods, students worked collaboratively, solved scientific problems, and learned to apply their knowledge in practice. Lessons and activities were organized according to the specifics of each method and were presented in an interconnected manner.

1. Interaction of Radiation with Substances: Basic Concepts

The course mainly covers the following key processes:

- **Absorption:** The absorption of radiation by a substance and the transfer of energy.

- **Emission:** The release of energy (radiation) by a substance.

- **Scattering and Deflection:** The propagation and slowing down of radiation within a substance.

- **Ionization:** High-energy radiation interacts with substances causing ion formation.

These processes help students gain a deep scientific understanding and provide foundational knowledge necessary for clinical radiation therapy and diagnostics.

Application in Class: At the beginning of the lesson, students are asked questions such as "How do substances absorb and emit radiation?" Students analyze these questions, explore their knowledge, and study the topic more deeply based on the problem. The teacher summarizes the topic by gathering answers from each student.

Results: At the first stage, applying the problem-based learning method helped students understand the main processes of radiation interaction with substances. Students became more active in acquiring theoretical knowledge and saw practical applications of their learning. This method also encouraged independent thinking and helped students learn new approaches to solving scientific problems.

In the cooperative learning method, students worked in groups and shared knowledge with each other. Each group analyzed scientific materials to complete their tasks and later presented their findings to other groups. This method fostered knowledge exchange and collaborative work among students. At the end of the lessons, students demonstrated that they had achieved the learning objectives: they acquired both theoretical and practical knowledge about radiation interaction with substances, conducted scientific research, and developed collaboration skills. All these outcomes confirm the effectiveness of the teaching methods used.

Conclusion: In medical universities, the use of problem-based learning, interactive learning, and cooperative learning methods is effective in teaching the subject "Interaction of Radiation with Substances." These methods encourage students to engage actively in learning, conduct scientific analysis, and work collaboratively in groups. As a result, students develop scientific thinking, practical skills, and teamwork abilities. The application of innovative technologies and advanced pedagogical methods helps make the teaching process more efficient and interactive. Additionally, using a unified, generalized lesson plan with graphical organizers, diagrams, and organizers enhances student comprehension. The article's

findings show that integrating these methods not only improves students' knowledge but also supports the development of their analytical and practical skills.

References

1. Polvonov B.Z "Курс физики" Darslik Farg'ona-2022 (514-bet)
2. Jumayev, T.Y. Interaktiv ta'lim texnologiyalari va ularning tibbiyot oliygohlaridagi roli. Toshkent (2020), Toshkent Tibbiyot akademiyasi nashriyoti. Юсупова, Д. А., & Фозилова, М. Д. К. (2021). Основные характеристики и особенности полупроводниковых пленочных тензорезистивных преобразователей. *scientific progress*, 2(1), 441-447.
3. B.Z.Polvonov, M.Kh.Nasirov, O.Z.Polvonov, B.K.Tuychibaev "Osobnosti povisheniya moshnosti fotovoltaicheskikh plenochnix struktur chalkogenidov cadmiya"// Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences 1(11).(2021):1046
4. Bozorov E.H., Polvonov B.Z. Tibbiyot universitetlarida nurlanishlarini moddalar bilan o'zaro ta'siri fanini innovatsion texnologiyalar asosida o'qitish. Toshkent (2025), "O'zMU xabarлари", (3/1/1), 407–410-betlar.

FIZIKADA MAGNIT MAYDON VA UNI TAVSIFLOVCHI KATTALIKLAR MAVZUSINI O'QITISHDA DASTURIY VOSITALARDAN FOYDALANISHNING AFZALLIKLARI

Dehqonova Oxistaxon Qosimjonovna
p.f.b.f.d(PhD), Fergana state university, +99897501875

Annotatsiya: umumiy o'rta ta'lim maktablarida "Magnit maydon. Magnit maydonni tavsiflovchi kattaliklar" mavzusini o'qitishda axborot va zamonaviy pedagogik texnologiyalardan foydalanishning afzalliklari haqida ma'lumotlar bayon qilingan.

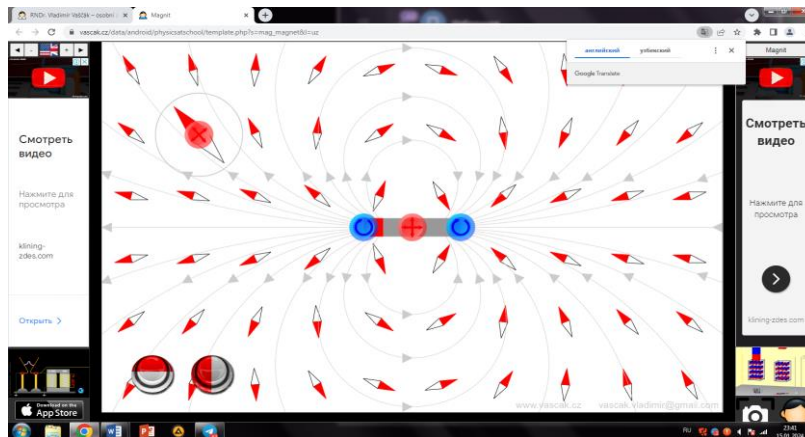
Kalit so'zlar: magnit maydon, vascak.cz, mediata'lim, STEAM, an'anaviy dars, rolli o'yin.

Bilamizki, fizikada ko'z bilan ko'rib bo'lmaydigan fizika jarayonlar bor. O'quvchilarga ko'z bilan ko'rib bo'lmaydigan fizik jarayonlarni virtual ko'rinishda ko'rsatishga to'g'ri keladi. Fizik jarayonlarni, qonuniyatlarni namoyish qiluvchi juda ko'p dasturlar va saytlarni sanashimiz mumkin. Shunday saytlardan biri vascak.cz saytidir. Biz yuqoridagi mavzuni umumta'lim maktablarida o'qitishda vascak.cz saytidan foydalanishning afzalliklari haqidagi ma'lumotlarni bayon qilganmiz. Chunki axborot kommunikatsiya texnologiyalarini ta'lim jarayoniga keng ko'lamda joriy qilish quyidagi imkoniyatlarni beradi:

- o'quv va ilmiy axborotlarni talaba hamda professor-o'qituvchilar tomonidan qidirib topishga ketadigan vaqtning qisqarishi;

- elektron o'quv adabiyotlar mazmunini davr talabidan kelib chiqqan holda o'zgartirishning tezlashtirish imkoniyatini beradi.

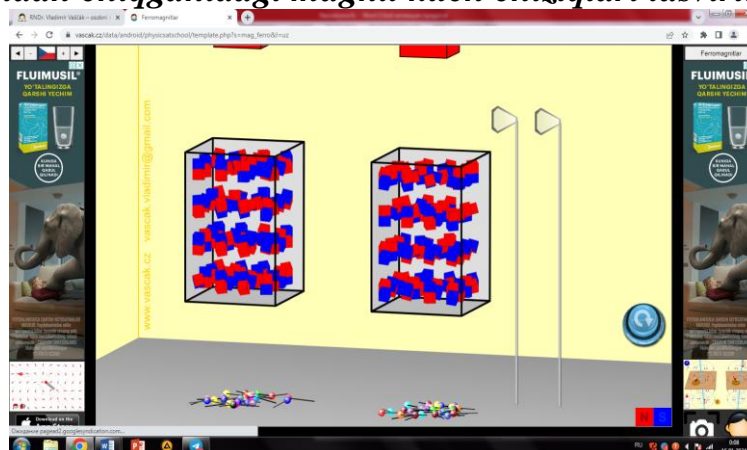
Magnit maydon kuch chiziqlarini to'g'ridan to'g'ri ko'ra olmaymiz. Magnit maydon kuch chiziqlarining yo'nalishi shartli ravishda magnitning shimoliy qutbidan chiqib, uning janubiy qutbiga kiruvchi yopiq chiziqlardan iborat deb qabulqilingan. Kuch chiziqlari berk (yopiq) bo'lgan maydonlar uyurmaviy maydonlar deyiladi. Demak, magnit maydon uyurmaviy maydon ekan. Bu jarayonni biz yuqoridagi saytdan foydalanib ko'rishimiz mumkin.



1-rasm. Magnit maydoni kuch chiziqlari



2-rasm. Magnitlar tasvirlangan hamda magnit maydoniga tok kuchi kirganida va maydondan chiqqanidagi magnit kuch chiziqlari tasvirlangan



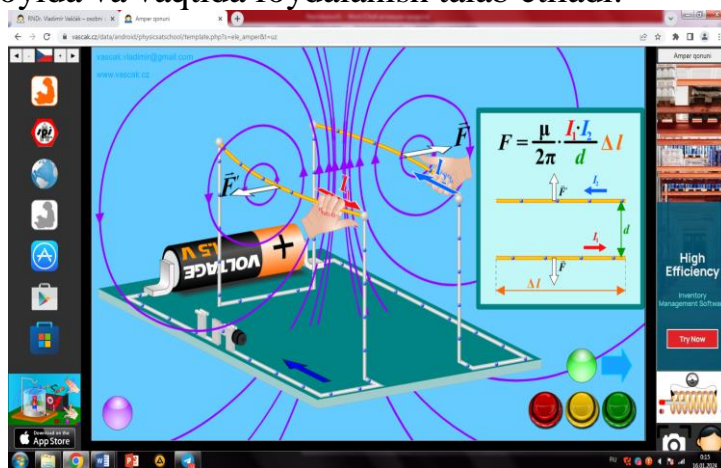
3-rasm. Ferromagnitlarning ichki tuzilishi

Hozirgi kunda dars berishning zamonaviy axborot texnologiyalarini qo'llashga asoslangan yangi turlari shakllanmoqda. Ular orasida kompyuterda maxsus dasturlar yordamida o'quvchilar tomonidan o'zlashtirish qiyin bo'lgan fizikaviy tajriba jarayonlarni animatsiyalar, videoroliklar yordamida ko'rgazmali tarzda tushuntirish salmoqli ahamiyatga ega bo'lmoqda. An'anaviy dars – muayyan muddatga mo'ljallangan, ta'lim jarayoni ko'proq o'qituvchi shaxsiga qaratilgan, mavzuga kirish

yoritish, mustahkamlash va yakunlash bosqichlaridan iborat ta'lim modelidir. Fizikani o'qitish bo'yicha o'tkazilgan qator tadqiqotlar o'qitishning samarali va ko'rgazmali usullaridan biri sifatida axborot texnologiyalaridan foydalangan holda, amalga oshirish katta imkoniyatga ega ekanligini ko'rsatmoqda.

Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, an'anaviy dars shaklini saqlab qolgan holda, unga turli – tuman o'quvchilar faoliyatini faollashtiradigan metodlar bilan boyitish o'quvchilarning o'zlashtirish darajasini ko'tarilishiga olib kelar ekan. An'anaviy dars o'tish modelida ko'proq ma'ruza, savol-javob, amaliy mashq kabi metodlardan foydalaniladi.

Dars jarayoni oqilona tashkil qilinishi o'qituvchi tomonidan o'quvchilarning qiziqishini orttirib, ularning ta'lim jarayonida faolligi rag'batlantirilib turilishi, o'quv materialini kichik-kichik bo'laklarga bo'lib, ularning mazmunini ochishda bahs, munozara, aqliy hujum, kichik guruhlarda ishlash, tadqiqot, rolli o'yinlar metodlarini qo'llash, rang-barang qiziqtiruvchi misollarning keltirilishi, o'quvchilarni amaliy mashqlarni mustaqil bajarishga undash rang-barang baholash usullaridan foydalanish, ta'lim vositalaridan joyida va vaqtida foydalanish talab etiladi.



4-rasm. Magnit o'zakka tasir qiluvchi AMPER kuchi ko'rsatilgan

Magnit, magnit maydoni kabi mavzularni umumiy olganda elektr bobini har bir mavzusini o'quvchilarga chuqur o'rgatishimiz lozim, chunki har bir inson hayoti davomida, turmushda elektrga doir vaziyatlarga duch keladi. Shuning uchun bu mavzularni biz o'qituvchilar o'quvchilarga iloji boricha hayotiy va tushunarli, oson yetgazib berishimiz kerak. Bugungi kunda Yangi O'zbekiston hayotining barcha sohalari chuqur islohotlar maydoniga aylangan. Bu jarayonda ijtimoiy sohaning asosi hisoblangan ta'lim tizimidagi o'zgarishlarni a'lohida ta'kidlab o'tmaslikning iloji yo'q. Amalga oshirilayotgan islohotlarning, avvalo, ta'lim va tarbiya sohasidan boshlanishi. Globallashuv jarayonida inson tarbiyasida eng asosiy bo'g'in hisoblangan ta'lim tizimining jamiyatimiz hayotidagi o'rni va ahamiyati beqiyosligini nazarda tutadi. Fanlarni o'qitishda zamonaviy pedagogik texnologiyalar, interfaol metodlar va innovatsion axborot texnologiyalari vositalarini qo'llash ta'lim sifatini oshirishda munosib o'rin egallaydi. Shu bilan birga talabalarning doimiy innovatsion izlanishda bo'lishi, fikrlashi, psixologik munosabatlarini o'zlashtirishi, shuningdek, boshqalarda ham innovatsion g'oyalarni shakllantirish asosida faoliyat ko'rsatishi muhim ahamiyat kasb etadi. Innovatsion texnologiyalarning zamonaviy imkoniyatlari, an'anaviy ta'lim berish imkoniyatlaridan bir qancha ko'rsatkichlari

bo'yicha ustun turadi. Innovatsion ta'lim texnologiyalardan foydalanilganda pedagog va talabalar o'rtasida o'zaro munosabatning yuqori darajasi kuzatiladi. Bizning vazifamiz esa interfaol metodlar va yana boshqa usullar yordamida o'quvchilar bilimni ortirishdan iborat. O'quv jarayonida fizikaning har bir mazusiga yangi o'qitish usulini kashf etish eng dolzarb muammodir. Bu bevosita dars jarayonining isloh qilinishi bilan bog'liqdir, ya'ni, o'quv materiallariga innovatsion yondashuv asosida o'rganiladigan mavzuni o'quvchilar tomonidan haqiqiy bilish imkoniyatlariga mos keladigan yangicha o'qitish usulini joriy etishdan iborat bo'ladi. Aynan ushbu jihatlar sabab ham bugungi kunda ta'lim sohasida innovatsion va axborot texnologiyalarini qo'llash muhimligi ta'kidlanadi.

Hozirgi kunda Fizika fanlarini o'qitish jarayonida interfaol uslublar (innovatsion pedagogik va axborot texnologiyalari)dan foydalanib, ta'limning samaradorligini oshirishga bo'lgan qiziqish, e'tibor kundan-kunga kuchayib bormoqda. STEAM zamon talablari asosida xalqaro miqyosida o'quvchilarga ta'lim-tarbiya berishda umumta'lim fanlari bo'yicha fanlararo bog'lanish va amaliy yondashuvni kuchaytirishga qaratilgan. Darsni turli xil metodlar bilan noan'anaviy shaklda guruhlarga bo'lgan holda o'tish har tomonlama darsni tushinarli hamda qiziqarli o'tishini ta'minlaydi. Guruhlarga bo'lishda o'quvchilar jamoa bo'lib ishlashni o'rganadilar. Guruhga bo'lishda a'lochi o'quvchilarni bir guruhga bo'lib qolmasliklarini o'qituvchi ta'minlashi kerak. Yaxshi o'zlashtiradigan hamda o'zlashtirishi qiyin o'quvchilarni va a'lochi o'quvchilarni aralash holda guruhga bo'lish o'zlashtirishi past bo'lgan o'quvchilarni harakatlantirishga olib keladi. Guruhga ijobiy ta'sir uyg'otishga sabab bo'ladi. O'quvchilar darsga qancha qiziqishsa ularning bilimlari shunchalik ortadi. Zamonaviy texnologiyalar qo'llanilgan mashg'ulotlar talabalar egallayotgan bilimlarni o'zlari qidirib topishlariga, mustaqil o'rganib, tahlil qilishlariga, xatto xulosalarni ham o'zlari keltirib chiqarishlariga qaratilgan. Kelajak pedagoglarini tayyorlaydigan bilim yurtlarida, juda muhim an'anaviy auditoriya shaklidagi ish olib borish vaziyati ham yangi mazmun bilan boyitiladi, chunki axborot va kommunikatsiya texnologiyalarni qo'llash natijasida tejalgan vaqt, pedagoglarda ta'lim berayotgan o'quvchilarining mutaxassislik malakalarini yanada oshirish uchun juda zarur bo'lgan shaxsiy muloqotlari uchun qoladi. Lekin biz doim ham virtual laboratoriya, dasturlarga tayanib qolmasligimiz ham kerak, chunki o'quvchi asbab uskuna yoki laboratoriyalarni virtualda ko'rgandan ko'ra ko'proq amalda ko'rib, qo'l bilan ushlab, o'zi bajarib ko'rsa ko'proq yodida qoladi va tushunarliroq bo'ladi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Dehqonova, O., & Taylanov, N. (2022). THE APPLICATION OF ELECTRONIC MULTIMEDIA RESOURCES FOR STUDENTS IN PHYSICS LEARNING. Физико-технологического образование, (2).
2. Dehqonova, O., & Taylanov, N. (2022). EXPERIMENTAL METHODOLOGY ON THE BASICS OF MULTIMEDIA IN A SCHOOL PHYSICS COURSE. Физико-технологического образование, (2).
3. Dehqonova, O., & Taylanov, N. (2022). INNOVATIONS OF COMPUTER SCIENCE IN THE HIGH EDUCATIONAL SYSTEM. Физико-технологического образование, (2).

4. Vasilievsky I.O, About the content of educational computer programs. INFO. -1988.-No. 4.

5.Vendrovskaya R.B. About the computer and computerization of education. Geek teacher . - 1998.-No. 4. - P. 120-121.

6. Gershunsky B.S. Computerization in education: Problems and prospects . - M.: Pedagog, 1987. - 264 p.

ПОВЫШЕНИЕ МОТИВАЦИИ СТУДЕНТОВ К ИЗУЧЕНИЮ ПРЕДМЕТОВ ЧЕРЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

к.ф.-м.н., доцент А.Мавлянов, ассистент Э.Пулатова
aminzhan.mavlyanov@mail.ru (90 955-22-03)

Филиал Астраханского государственного технического университета в
Ташкентской области

В данной статье рассматриваются подходы к повышению мотивации студентов в процессе изучения предметов с помощью инструментов ИИ. Анализируются методы персонализации учебного процесса на основе ИИ, такие как адаптивные образовательные платформы и системы рекомендаций, которые позволяют настроить контент под индивидуальные потребности и темп обучения каждого студента. Особое внимание уделяется использованию геймификации и интерактивных симуляций с применением ИИ для создания увлекательной и вовлекающей среды. Описывается роль ИИ в предоставлении мгновенной обратной связи, что способствует более эффективному усвоению материала и поддержанию интереса. Представлены конкретные примеры применения ИИ-технологий в предметах и обсуждается их потенциал для трансформации традиционных методов преподавания. Полученные результаты могут быть использованы для разработки новых образовательных стратегий, направленных на повышение вовлечённости и успеваемости студентов.

Ключевые слова: мотивация студентов, искусственный интеллект, образовательные технологии, персонализация обучения, адаптивное обучение, геймификация, виртуальная реальность, дополненная реальность, обратная связь, цифровая педагогика.

Title: enhancing student motivation in subjects through the use of artificial intelligence. This paper explores various approaches to enhancing student motivation in Subjects by leveraging artificial intelligence (AI) tools. We analyze AI-driven methods for personalizing the learning process, such as adaptive educational platforms and recommendation systems, which tailor content to each student's individual needs and pace. Special attention is given to the use of gamification and interactive simulations powered by AI to create an engaging and immersive learning environment. The role of AI in providing instant feedback is also discussed, highlighting its contribution to more effective knowledge acquisition and sustained

interest. The study presents specific examples of AI technology applications in subjects and explores their potential to transform traditional teaching methods. The findings can be used to develop new educational strategies aimed at improving student engagement and academic performance.

Key words: student motivation, artificial intelligence, educational technology, personalized learning, adaptive learning, gamification, virtual reality, augmented reality, feedback, digital pedagogy.

Использование ИИ может стать мощным инструментом для повышения мотивации студентов к изучению предмета. Технологии ИИ позволяют сделать обучение более персонализированным, интерактивным и увлекательным. Вот несколько конкретных стратегий и примеров того, как можно использовать ИИ для достижения этой цели.

Персонализация обучения.

ИИ-системы могут анализировать успеваемость и прогресс каждого студента, выявлять пробелы в знаниях и предлагать индивидуальные траектории обучения. ИИ-системы используют комбинацию технологий для анализа успеваемости и прогресса студентов. Этот процесс включает в себя сбор данных, их анализ и предоставление персонализированных рекомендаций.

Сбор и анализ данных. ИИ-системы собирают и анализируют данные из различных источников, включая: результаты тестов и домашних заданий; Анализ ответов помогает определить, какие темы усвоены, а какие вызывают затруднения; взаимодействие с учебными материалами: ИИ отслеживает, сколько времени студент тратит на изучение того или иного раздела, какие видео он пересматривает, и в каких упражнениях допускает ошибки; активность на онлайн-платформах: анализируется участие в дискуссиях, взаимодействие с другими студентами и преподавателями. На основе этих данных ИИ-системы строят профиль знаний каждого студента, который представляет собой подробную карту его сильных и слабых сторон. Это позволяет системе понять не только то, что студент знает, но и то, как он учится [1].

Выявление пробелов в знаниях. Чтобы выявить пробелы, ИИ использует алгоритмы машинного обучения для сравнения текущих знаний студента с идеальной моделью для его уровня. Анализ ошибок: система не просто фиксирует неправильные ответы, а пытается понять, какие именно концепции не были усвоены. Например, если студент постоянно делает ошибки в задачах по алгебре, связанных с дробями, ИИ-система делает вывод о пробеле именно в этой теме. Предиктивный анализ: на основе собранных данных ИИ может предсказать, в каких темах у студента возникнут сложности в будущем, и предложить опережающее обучение.

Предложение индивидуальных траекторий обучения. После выявления пробелов ИИ-системы генерируют персонализированные рекомендации. Адаптивное обучение - система подбирает учебные материалы и задания, соответствующие текущему уровню студента. Если он хорошо справляется с темой, ИИ предложит более сложные задачи. Если возникают трудности, система предложит дополнительные объяснения, видеоуроки или более

простые упражнения. Адаптивные учебные платформы - платформы, основанные на ИИ - например, Coursera, Khan Academy. Рекомендательные системы - ИИ может предлагать дополнительные ресурсы, такие как статьи, видео, книги, вебинары или интерактивные симуляции, которые помогут устранить конкретные пробелы в знаниях, которые соответствуют их интересам и уровню знаний, что делает обучение более осмысленным и интересным.

Индивидуальные планы – на основе профиля знаний ИИ формирует уникальный план обучения, который фокусируется на слабых сторонах студента, не тратя время на уже усвоенные темы.

Такой подход позволяет каждому студенту учиться в собственном темпе и получать поддержку, которая нужна именно ему. Это помогает студентам чувствовать, что процесс обучения адаптирован именно под них, что повышает их вовлеченность.

Интерактивность и геймификация.

ИИ позволяет создавать игровые сценарии и интерактивные задания, которые делают процесс обучения похожим на игру. Это вызывает естественный интерес и желание достичь результата. ИИ меняет подходы к геймификации образования, делая процесс обучения более увлекательным, интерактивным и персонализированным. Используя свои возможности для анализа данных, генерации контента и адаптации, ИИ превращает традиционные задания в захватывающие игры [2].

Создание игровых сценариев. ИИ способен генерировать целые сюжетные линии и миры. Вместо обычного текста он может создать квест, где студент - главный герой, который должен решить серию задач, чтобы спасти мир или найти сокровище. Например, для изучения истории ИИ может сгенерировать сценарий, где студент должен расследовать историческое событие, общаясь с виртуальными персонажами и анализируя «древние» артефакты.

Генеративные нейросети, такие как GPT, помогают в этом, создавая: диалоги и описания - ИИ генерирует диалоги для персонажей-педагогов или ботов, которые реагируют на действия студента. Сюжетные повороты - в зависимости от ответов студента, ИИ может изменять ход игры, создавая уникальный опыт для каждого. Визуальные и звуковые элементы - некоторые ИИ могут генерировать изображения и звуки, чтобы сделать игровой мир более реалистичным.

Интерактивные задания. ИИ делает задания более динамичными и адаптивными, чем просто тесты. Адаптивные квесты - ИИ анализирует прогресс студента в реальном времени. Если он справляется с заданием, система автоматически усложняет его. Если возникают трудности, она предлагает более простые упражнения или дополнительные подсказки, адаптируя сложность «уровня» под индивидуальные потребности. Тренажёры-симуляции – в медицинском или инженерном образовании ИИ может создавать виртуальные симуляции, где студенты отрабатывают навыки в безопасной среде. Например, симулятор хирургической операции, где ИИ-пациент реагирует на каждое действие студента, или симулятор проектирования, где ИИ-помощник указывает на ошибки и предлагает решения.

Голосовое взаимодействие - студенты могут общаться с виртуальными персонажами или ИИ-ассистентами голосом. Это особенно полезно для изучения иностранных языков, где ИИ может выступать в роли собеседника, исправляя произношение и грамматику в реальном времени. Мотивация и вовлеченность. Игровые механики, управляемые ИИ, повышают мотивацию и вовлеченность студентов. Система наград - за выполнение заданий студенты получают баллы, значки, виртуальные достижения. ИИ может автоматически присуждать эти награды, делая прогресс наглядным. Таблицы лидеров - создание соревновательного элемента с помощью рейтингов и соревнований между студентами. Персонализированная обратная связь - ИИ может давать мгновенную обратную связь в игровой форме. Например, вместо сухих комментариев "неверно" система может сказать: "Эй, кажется, ты застрял! Давай попробуем другой путь" или "Отличный ход! Ты получил 100 очков".

Такой подход превращает рутинную учебу в увлекательное приключение, где ошибки - это не неудача, а возможность попробовать снова.

Образовательные чат-боты - чат-боты с ИИ могут выступать в роли виртуальных наставников, отвечая на вопросы студентов в любое время. Они могут проводить викторины, давать подсказки или даже участвовать в диалогах, имитируя ролевые игры, что способствует лучшему усвоению материала. Виртуальная и дополненная реальность (VR/AR) - ИИ в сочетании с VR/AR может создавать захватывающие симуляции. Например, студенты могут виртуально путешествовать по историческим местам, проводить лабораторные эксперименты без риска или рассматривать трёхмерные модели сложных объектов. Это делает абстрактные понятия наглядными и запоминающимися [3].

Мгновенная обратная связь и оценка.

Одним из ключевых факторов мотивации является быстрая и конструктивная обратная связь. ИИ может предоставить её немедленно, что позволяет студентам сразу увидеть свои ошибки и исправить их. Быстрая и конструктивная обратная связь является ключевым фактором мотивации, поскольку она напрямую влияет на восприятие процесса обучения и самооценку человека. Этот механизм можно объяснить с помощью нескольких психологических и педагогических принципов.

Подкрепление и петля обратной связи. Человеческий мозг устроен таким образом, что он ищет подтверждение своим действиям. Когда мы получаем быструю обратную связь, это создает петлю обратной связи. Позитивное подкрепление - быстрая похвала или подтверждение правильности действия (например, зелёная галочка после правильного ответа) активирует в мозгу систему вознаграждения, выделяя дофамин. Это приятное ощущение заставляет нас хотеть повторить это действие, усиливая мотивацию к дальнейшему обучению. Отрицательное подкрепление - если обратная связь указывает на ошибку, но делает это конструктивно, это не вызывает чувства неудачи, а воспринимается как возможность для роста. Чем быстрее происходит этот цикл, тем сильнее связь между действием и его результатом, что делает процесс обучения более эффективным и увлекательным.

Снижение неопределенности и тревоги. Когда человек выполняет задание и не получает обратной связи, возникает неопределенность. Он не знает, был ли его ответ правильным, правильно ли он понял материал. Эта неопределенность может вызывать тревогу и неуверенность в своих силах. Быстрая обратная связь мгновенно устраняет эту неопределенность. Студент сразу понимает, что он сделал правильно, а что нет. Это позволяет ему двигаться дальше без страха перед неизвестным результатом. Конструктивная обратная связь не просто говорит «неправильно», а объясняет почему и как исправить ошибку. Это снижает страх перед неудачей, так как ошибка перестает быть тупиком и становится частью процесса обучения [4].

Поддержание вовлеченности. В условиях современного образования, где у студентов множество отвлекающих факторов, поддержание вовлеченности имеет решающее значение. Мгновенная награда - быстрая обратная связь в игровой форме (баллы, значки) создает ощущение «мгновенной награды», что поддерживает интерес к процессу. Ощущение прогресса - конструктивная обратная связь позволяет человеку видеть свой прогресс. Когда мы видим, что мы становимся лучше, наша внутренняя мотивация растет.

Таким образом, быстрая и конструктивная обратная связь - это не просто метод оценки, а мощный инструмент, который делает процесс обучения прозрачным, снижает стресс и поддерживает внутреннюю мотивацию, помогая человеку чувствовать себя компетентным и способным к росту. Использование ИИ - это не замена преподавателя, а мощный инструмент, который помогает сделать учебный процесс более персонализированным, интерактивным и эффективным, что, в свою очередь, значительно повышает мотивацию студентов.

Список использованной литературы

1. Андреев, И.С. Искусственный интеллект в образовании: перспективы и вызовы. Педагогическая наука и практика. -2023. -№ 1. -С. 45-53.
2. Дьяконов, А.И. Цифровые технологии в высшей школе: учебное пособие. -Москва : Просвещение, -2022. -280 с.
3. Иванова, А.Н. Геймификация как инструмент повышения мотивации студентов [Электронный ресурс] // Современные образовательные технологии. -URL: [https://www.google.com/search?q=https://sot.edu/articles/ gamefication-motivation](https://www.google.com/search?q=https://sot.edu/articles/gamefication-motivation). -Дата обращения: 11.08.2025.
4. Ковалева, М.И. Использование адаптивных систем обучения для персонализации учебного процесса // Вестник образования. -2024. -№ 3. -С. 60-68.

FIZIKA FANINI O'QITISHDA ZAMONAVIY INNOVATSION METODLAR

Razzoqov Davron Niyozovich

Osiyo texnologiyalar universiteti, Pedagogika kafedrası

E-mail: razzahkovdavron@gmail.com, Tel: +99890 981 39 95

Annotatsiya. Ushbu maqolada fizika fanini o'qitishda zamonaviy innovatsion metodlardan foydalanishning nazariy va amaliy jihatlari yoritilgan. Ta'lim jarayonida STEAM yondashuvi, raqamli texnologiyalar, interaktiv usullar hamda loyiha asosida o'qitish orqali o'quvchilarda ilmiy tafakkurni shakllantirish imkoniyatlari tahlil qilinadi.

Kalit so'zlar: fizika ta'limi, innovatsion metodlar, STEAM, loyiha asosida o'qitish, raqamli texnologiyalar, o'quvchi faolligi.

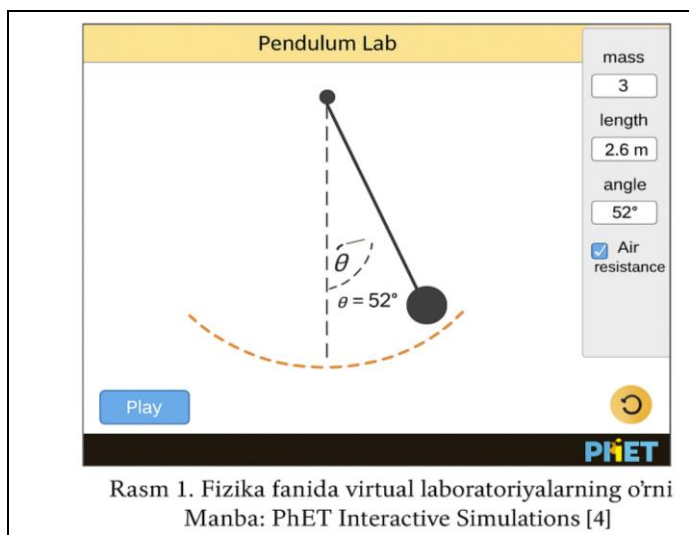
Kirish. Bugungi kunda ta'lim tizimida innovatsion yondashuvlar va texnologiyalarni qo'llash muhim ahamiyat kasb etmoqda. Xususan, fizika fanini o'qitishda yangi metodlar, raqamli resurslar, virtual laboratoriyalar va interaktiv tajribalar o'quvchilarning fanga bo'lgan qiziqishini oshiradi hamda ilmiy fikrlashni rivojlantiradi. Zamonaviy ta'lim konsepsiyasi o'qituvchini bilim manbai sifatida emas, balki yo'naltiruvchi va motivator sifatida ko'radi.

1. Fizika ta'limining zamonaviy konsepsiyasi va uning ahamiyati

Fizika ta'limining asosiy maqsadi — o'quvchilarda tabiat hodisalarining mohiyatini ilmiy asosda tushuntirish, ularni kuzatish, tahlil qilish va amaliyotda qo'llash ko'nikmalarini shakllantirishdir. Zamonaviy ta'lim konsepsiyasi o'quv jarayonida talabanning mustaqil fikrlashini, ijodkorligini va muammoli vaziyatlarni hal qilish malakasini rivojlantirishni ko'zda tutadi. Shu nuqtai nazardan, fizika fanini o'qitishda interfaol metodlar va axborot texnologiyalaridan foydalanish o'quv jarayonini yanada samarali qiladi.

2. Fizika darslarida innovatsion texnologiyalarni qo'llashning metodik asoslari

Innovatsion texnologiyalar deganda, o'qitish jarayoniga ilg'or axborot-kommunikatsion vositalarni, elektron platformalarni, virtual laboratoriyalarni va raqamli ta'lim resurslarini tatbiq etish tushuniladi. Masalan, PhET Interactive Simulations kabi onlayn platformalar o'quvchilarga murakkab fizik hodisalarni ko'rgazmali tarzda tushunishga yordam beradi. Bunday texnologiyalar orqali o'quvchilar tajribani xavfsiz muhitda o'tkazish, natijalarni tahlil qilish va xulosalar chiqarishni o'rganadilar. Shuningdek, loyiha asosida o'qitish metodikasi ham fizika darslarining interfaoliligini oshiradi. Bu usulda o'quvchilar muammoli vaziyatni hal qilish uchun jamoa bo'lib ilmiy loyihalar ishlab chiqadilar.



3. STEAM, loyiha asosida o'qitish va raqamli vositalar yordamida o'quvchilarda ilmiy fikrlashni rivojlantirish yo'llari

STEAM (Science, Technology, Engineering, Art, Mathematics) yondashuvi o'quvchilarning fanlararo bilimlarini birlashtirishga xizmat qiladi. Bu metod orqali fizika darslari nafaqat nazariy bilimlarni, balki amaliy, texnologik va ijodiy yondashuvni ham rivojlantiradi. Masalan, o'quvchilar Arduino yoki

boshqa mikrokontrollerlar asosida fizik hodisalarni o'lchash loyihalarini ishlab chiqishlari mumkin. Bunday yondashuv o'quvchilarda tanqidiy fikrlash, muammoli vaziyatni tahlil qilish, jamoada ishlash va ilmiy izlanish ko'nikmalarini mustahkamlaydi.

Xulosa

Fizika fanini o'qitishda innovatsion metodlardan foydalanish o'quvchilarning faolligini oshiradi, ularda ilmiy tafakkur, kuzatuvchanlik va analitik fikrlashni rivojlantiradi. Raqamli texnologiyalar, virtual laboratoriyalar, loyiha asosida o'qitish va STEAM yondashuvi — bularning barchasi zamonaviy fizika ta'limining ajralmas tarkibiy qismiga aylangan. O'qituvchi esa bu jarayonda yo'naltiruvchi, rag'batlantiruvchi va muvofiqlashtiruvchi sifatida faol ishtirok etadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. G'ulomov A., Qosimov M. Axborot texnologiyalarini ta'limda qo'llash asoslari. – Toshkent: TDPU nashriyoti, 2021. – B. 45–62.
2. O'zbekiston Respublikasi Prezidenti. "Ta'lim sifatini oshirish va ilm-fanni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi Qaror. – Toshkent: Prezident matbuot xizmati, 2020-yil 5-may, PQ-4708-son. – B. 2–5.
3. Jumaniyozova G. "Fizika fanini o'qitishda innovatsion texnologiyalar". // Ta'lim va fan jurnali. – 2022. – №4. – B. 33–39.
4. PhET Interactive Simulations. University of Colorado Boulder. <https://phet.colorado.edu> (murojaat sanasi: 2025-yil 6-oktabr).
5. UNESCO. STEM and STEAM Education Framework. – Paris: UNESCO Publishing, 2023. – P. 12–28.
6. Azizova D. "O'quvchilarda ilmiy tafakkurni rivojlantirish metodikasi". // O'zbekiston pedagogika jurnali. – 2024. – №1. – B. 58–64.

ELEKTR QARSHILIGI MAVZUSINI FANLARARO INTERFAOL O'QITISHDA AVTOMOBIL TRANSPORTI MUHANDISLIGI KASBIGA YO'NALTIRISH.

Umarov Abdusattor Ortiqovich
Farg'ona politexnika institute katta o'qituvchisi
Email: fiz.umarov1953@mail.ru

Annotatsiya: Mamlakatimizda elektr energiyasini ishlab chiqarish va tejash har bir insonning burchi hisoblanadi. Ushbu maqolada "Elektr qarshiligi" mavzusini fanlararo interfaol o'qitishda o'quvchilarning avtomobil transporti muhandisligi kasbini to'g'ri tanlashida, energiya tejamkorligini aniq hisoblar bilan amalga oshiradigan muhandislik kasbiga yo'naltirishda maktab fizika kursidan tayanch bilimlarni berish metodlari yoritilgan.

Kalit so'zlar: elektr energiyasi, elektr qarshiligi, muhandis, elektron dastur, solishtirma qarshilik, energiya tejamkorlik.

Аннотация: Производство и экономия электроэнергии в нашей стране – обязанность каждого. В данной статье освещены методы прививания базовых знаний из школьного курса физики в междисциплинарном интерактивном обучении темы «Электрическое сопротивление» при правильном выборе учащимися профессии инженера автотранспорта, по направлению инженерной профессии, реализующей энергосбережение с точными расчетами.

Ключевые слова: электрическая энергия, электрическое сопротивление, инженер, электронная программа, относительное сопротивление, энергосбережение.

Abstract: Production and saving of electricity in our country is everyone's duty. In this article, the methods of imparting basic knowledge from the school physics course in the interdisciplinary interactive teaching of the topic "Electrical resistance" in the correct choice of the motor transport engineering profession of the students, in the direction of the engineering profession that implements energy saving with accurate calculations are highlighted.

Key words: electrical energy, electrical resistance, engineer, electronic program, relative resistance, energy saving.

Kirish Mamlakatimizda avtomobil sanoatining tez rivojlanish bilimli mutaxasislarni yetishtirish talabini oliy ta'lim muassasalari oldiga vazifa qilib qo'ydi. 1995 – yilda Andijon viloyatining Asaka shahrida Janubiy Koreya davlatiga qarashli "DEU" (Shevrolet), 1999 - yilda Smarqand shahrida "ISUZI MOTORS" (2006 – yilda Sam Avto), 2009 – yilda "Man Avto" 2018 – yilda "KAMAZ" avtomobil ishlab chiqarish qo'shma korxonalari zavodlarining faoliyat ko'rsatishi O'zbekiston Respublikasi iqtisodiyotining rivojlanishiga ijobiy ta'sir ko'rsatdi.

Adabiyotlar tahlili

Elektr tokining o'tishiga qarshilik qiluvchi o'tkazgichning xususiyati qarshilik deb ataladi va quyidagi formula bilan hisoblanadi.

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad [R] = \left[\frac{B}{A} \right] = [Om]$$

Zanjirning bir qismi uchun Om qonunini quyidagicha formula bilan hisoblanadi $I = \frac{U}{R}$ va **bir jinsli metal o'tkazgichdan o'tuvchi tok kuchi o'tkazgich uchlaridagi potentsiallar tushishiga to'g'ri prororsionaldir.**

Qarshilikni hisoblash $R = \rho \frac{l}{S}$, maydon kuchlanganligi bilan potentsiallar farqi $U = El$, solishtirma o'tkazuvchanlik $\gamma = \frac{1}{\rho}$, tok kuchining zichligi $j = \frac{I}{S}$ larni hisobga olsak $J = \gamma E$ ga ega bo'lamiz. [1]

Ushbu tenglama Om qonunining differensial formulasidir. Maktab o'quvchilari yuqorida keltirilgan umumiy fizika kursidan bilimlarni o'zlashtirishi uchun maktab fizika kursidan Om qonunlari, Kirxgof qoidalari, ularni amaliyotga qo'llash, elektron dasturiy ta'minotlardan foydalanib aniq hisoblash ko'nikma va malakasiga ega bo'lishi shart.

Tadqiqotlar metodologiyasi

Farg'ona politexnika institutining avtomobil transporti muhandisligida tahsil olayotgan talabalarning bilimlarini va o'qiyotgan kasbiga qiziqishi o'rganilganda ularning 74% qismi test natijalaridan to'plagan ballariga asosan o'qiyotgan mutaxassislikni majburan belgilagani ma'lum bo'ldi. Maktab davrida darsdan so'hg o'quv markazlariga borib matematika va fizika fanidandan qo'shimcha bilim olgan talabalar 15% ni tashkil etdi, 11% talabalar esa taxminiy belgilashlar asosida talabalar safiga qabul qilingani aniqlandi.

Yuqorida keltirilgan dalillarga asosan maktab fizika kursining elektr toki qonunlarini o'qitishda avtomobil elektr zanjirlariga, elektromobilning yurgizuvchi qismiga oid bilimlar bilan boyitib, o'qitishda interfaol metodlarni qo'llab bilimlar berish dolzarbligi aniqlandi.

O'quvchilarga qarshilik haqida bilim berishda FSMU metodini qo'llasa yaxshi bo'ladi. O'tgan dars baholash uchun F-(fikringizni ayting) o'tkazgichning qarshiligi qnday parametrlariga bog'liq? – deb savol beriladi va S – (sababini ayting) ularning javobi tinglanib baholanadi. M – (mustahkamlash) o'qituvchi qarshilik haqida quyidagi bilimlarni bayon qiladi.

Barcha o'tkazgichlar elektr tokini o'tkazishga har xil qarshilik ko'rsatgani sababli uning volt-ampere xarakteristikasi tushunchasi kiritilgan. Zanjirning bir qismi uchun Om qonunidan $R = \frac{U}{I}$ ga ega bo'lamiz va kuchlanish va tok kuchiga bog'lanish grafigini hosil qilamiz (3-rasm). Grafikdan esa $R = ctg\alpha$ qarshilik funksiyasiga ega bo'lamiz. Ushbu chizmadan ko'rinadiki o'tkazgichning qarshiligi kuchlanishlar o'qi bilan hosil qilgan burchakka bog'liqdir. [6]

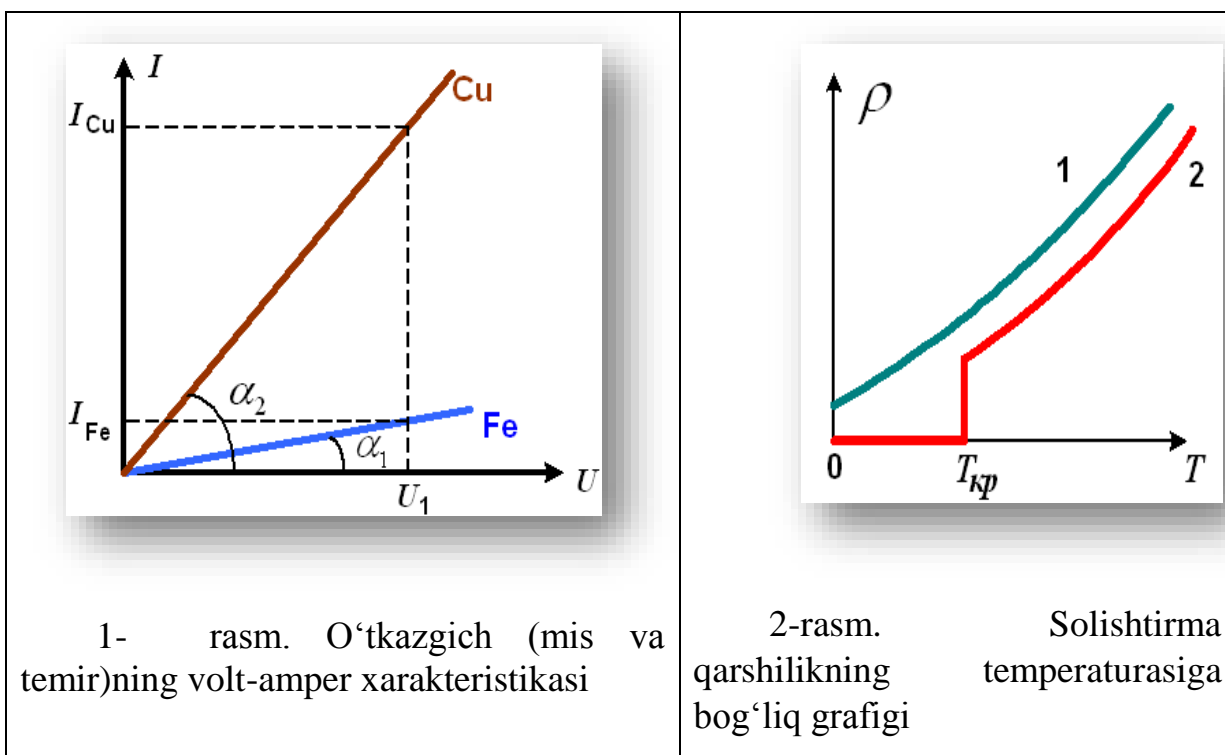
O'tkazgichning uchlariga U kuchlanish berilganda undan o'tadigan I tok kuchini hisoblab $\frac{U}{I} = ctg \alpha$ tenglamadan foydalanib uzunligi va ko'ndalang kesim yuzasini hisobga olgan holda solishtirma qarshiligini aniqlash mumkin.

Shu sababli ushbu grafikni o'tkazgichning volt-ampere xarakteristikasi deyiladi. O'tkazgichning qarshiligi va solishtirma qarshiligi temperaturasiga to'g'ri proposional bo'lib u $R = R_0 (1 + \alpha t)$ va $p = p_0 (1 + \alpha t)$ formulalar bilan hisoblanadi. (1-rasmga qarang) Avtomobilning akkumulyatordan statiyorga misdan tayyorlangan va ko'p tolali o'tkazgich ulanishiga sabab ichki yonuv dvigatelining ishga tushirishda

o'tkazgich qizishi natijasida yong'in kelib chiqishi oldi olinadi. O'quvchilardan tempertura pasayishi natijasida qarshilik nolga teng bo'lishi mumkinmi? – degan mazmunda savol tushishi mumkin. Maktablarda o'quvchilarga qarshilik haqida bilim berganimizda shu kabi savollar ular tomonidan berildi. Ha shunday holat ham bo'ladi deb o'ta o'tkazuvchanlik hodisasi tushuntiriladi.

O'tkazgichlarning ma'lum bir temperaturada qarshiligi va solishtirma qarshiligi nolga teng bo'ladigan holatiga **o'ta o'tkazuvchanlik** deyiladi. [2]

1908 yilda golland fizigi Komerling-Onnes birinchi bo'lib suyuq geliy olishga erishdi va aynan geliy temperaturalarida ishlash o'ta o'tkazuvchanlik hodisasini kashf etilishiga sabab bo'ldi.



1911 yilda simob temperaturasi pasayishi bilan qarshiligi kamayib boradi va 4,15 Kda keskin kamayib nolga tushib qoladi va ixtirorni “o'ta o'tkazuvchanlik” deb ataydi.[7] (2-rasmga qarang) α - qarshilikning termik koeffitsiyenti va u jadvalda berilgan.

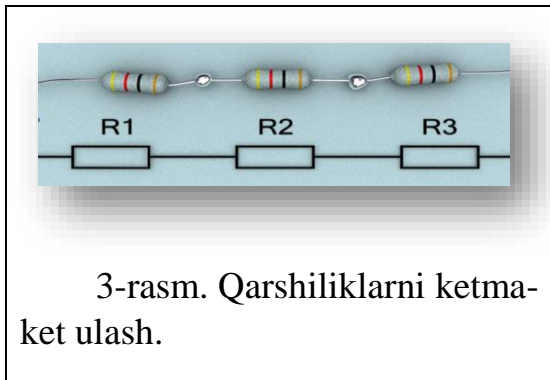
Tahlil va natijalar

O'tkazgichning otkazuvchanligidan ichki yonuv dvigatelining temperaturasini o'lchashda qo'llaniladi. Dvigatel temperaturasi 85⁰ C da yoqilg'ini eng kam saeflaydi, ehtiyot qismlarda yeyilishlar bo'lmaydi. Radiotexnikada, elektrotexnikada, elektronikada, kosmonavtikada, mexatronikada, meditsina qurilmalariga oid fanlarida o'tkazgichning aniq qarshiligini hisobga olib elektr zanjirlari tuzishni talab etadi. Qarshilikning aniq qiymatini tanlashda ularni ketma-ket va parallel ulash orqali erishiladi [6].

Qashiliklarni ketma-ket ulash 3-rasmdagidek, parallel ulash 4-rasmdagidek amalga oshiriladi.

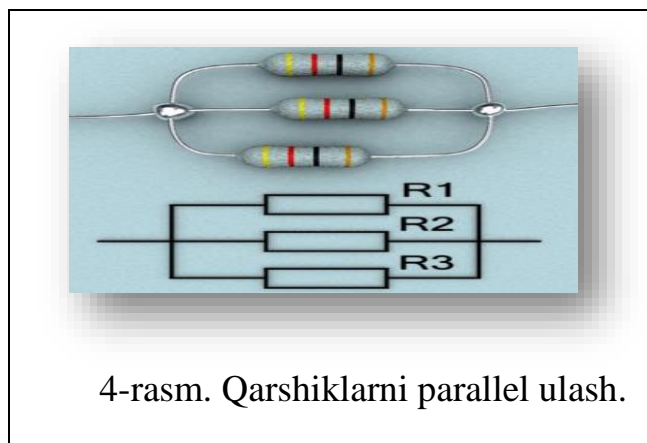
O'tkazgichlar ketma – ket ulansa tok kuchi barcha o'tkazgichlarda o'zaro teng bo'ladi

$$I=I_1=I_2=\dots=I_n$$



3-rasm. Qarshiliklarni ketma-ket ulash.

um
umiy
kuchlani
sh
 $U=U_1+$
 $U_2+\dots+$
 $U_n,$



4-rasm. Qarshiklarni parallel ulash.

bilan, umumiy qarshilik $R=R_1+R_2+\dots+R_n$ formula yordamida hisoblanadi.

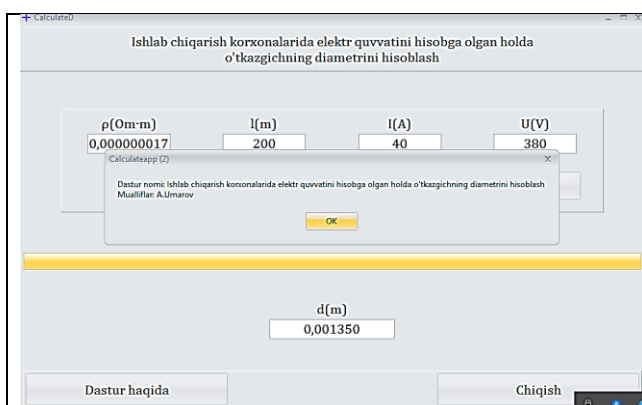
O'tkazgichlar parallel ulanganda kuchlanishlar bir xil bo'lib $U=U_1=U_2=\dots=U_n$, umumiy tok kuchi $I=I_1=I_2=\dots=I_n$

bilan, umumiy qarshilik esa $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

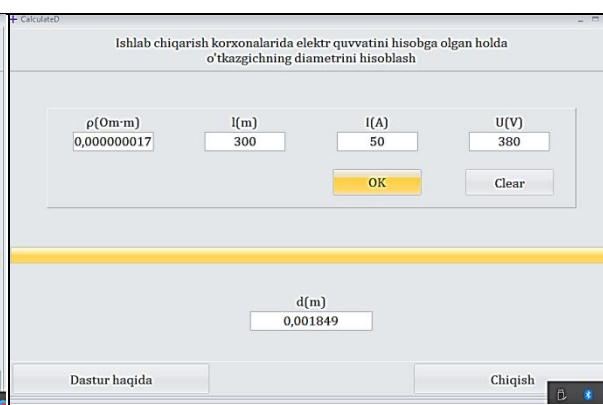
formuladan foydalanib hisoblanadi.

Yuqorida keltirilgan bilimlardan elektr tarmoqlarini tortishda, transformatorlarning g'altagini tayyorlashda, elektrogeneratorlar va elektrodvigatellarning chulg'amlarini tayyorlashda foydalaniladi. [11]

Jahonning rivojlangan mamlakatlari: Yaponiya, Germaniya, Xitoy, Buyuk Britaniya, Fransiya, AQSh va Janubiy Koreyada elektr energiyasiga bo'lgan munosabat "Elektr energiyasini tejash va ishlab chiqarish" shiori asosida amalga osiriladi. Mamlakatimizda yuqoridagidek talabni amalga oshirish uchun pedagoglar zimmasiga elektr energiyasidan o'quvchilarga dars va qo'shimcha mashg'ulotlarda to'g'ri foydalanishni o'rgatishga yo'naltirish vazifasini yuklaydi.



5-rasm. Elektron dastur yordamida mis o'tkazgichning diametrini hisoblash (1-guruh)



6-rasm. Elektron dastur yordamida mis o'tkazgichning diametrini aniqlash (2-guruh).

Transport muhandislari ham elektr energiyasini ishlab chiqarishda tejab ishlatishi shart. Avtomobil transporti muhandisligi yo'nalishini tanlagan o'quvchilarga umumiy fizika kursining "O'zgarmas tok qonunlari" mavzusini tushuntirishda Om qonunlari va Kirxgof qoidalarini o'rgatib, so'ng elektr energiyalarini tejash maqsadida solishtirma qarshiligi kichik bo'lgan o'tkazgichlarni to'g'ri tanlashni o'rgatishimiz kerak. [5] Bu vazifani o'qituvchi quyidagicha amalga oshiradi (5-va 6-rasmlar). Sinf o'quvchilari ikki guruhga ajratiladi, 1-guruhga $l=200$ m, $I=40A$, $U=380$ V va misning solishtirma qarshiligi $\rho=0,000000017$ Om·m qiymatlarni elektron dasturga yuklab o'tkazgichning diametri $d=1,35$ mm qiymatga ega bo'ladilar. 2-guruh o'quvchilari $l=300$ m, $I=50A$, $U=380V$, $\rho=0,000000017$ Om·m qiymatlarni kiritib $d=1,849$ mm ga ega bo'ladilar [8-10].

Tarmoqda foydalanish uchun 1- guruh diametrini $d=1,5$ mm, 2-guruh esa $d=2,0$ mm o'lchamga ega mis o'tkazgichni tanlaydilar. O'tkazgichning diametrini to'g'ri tanlash elektr energiyasining isrofiga yo'l qo'yilmaydi va yong'inningkelib chiqish oldi olinadi.

Yuqoridagi bilimlarni avtomobilda qo'llanilishiga bog'lab tushuntirish orqali o'quvchilarning avtomobil transporti muhandisligi kasbiga qiziqish orttiriladi. U – (umumlashtirish) tushuntirilgan bilimlarga asoslanib savollar berib yana qo'shimcha baholanib, olgan bilimlari va kasbiga qiziqishi aniqlanadi.

Xulosalar

Hukumatimizning siyosatlaridan biri "Elektr energiyasini tejash"dir. Yuqorida berilgan bilimlar o'quvchilar ongida "Elektr energiyasini tejash va ishlab chiqarish" g'oyasini shakllantiradi, elektron dastur yordamida olingan hisoblar esa mustahkamlaydi. Biz pedagoglar yuqoridagi dalillarga asosan yoshlarga yangi texnologiyalarni yaratish va takomillashirish uchun yordab beradigan bilim berishni burchimiz deb bilsak va unga amal qilsak yetuk mutaxassislarining soni ortishiga, mamlakatimiz rivojlanishiga va xalqimizning faravon yashashiga hissa qo'shgan bo'lamiz.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

- [1]. Детлаф А.А, Яворский Б.М. Физика курси. "Техника" наширёти. Фағона 2002. 2-қисм. В. 45.
- [2]. Трофимова Т.И. Курс физики. Издательство «Высшая школа», 1985г. С. 143-145.
- [3]. Umarov A.O., Zoxidov I.O. DETERMINATION OF THE FREQUENCY AND PERIOD OF ELECTRIC CURRENT OSCILLATIONS USING THE "C++" PROGRAM. Neuro Quantology Jul 2022 Volume 20 Issue 7 Page 432-435
- [4]. Umarov Abdusattor and Ibrahimjon Zohidov. "TEACHING CHAPTER «ELECTRIC RESISTANCE» 8th-CLASS, PHYSICS COURSE." Збірник наукових праць ЛОГОΣ (2020): 110-114.
- [5]. Umarov A.O., Zoxidov I.O. O'ZINDUKSIYA HODISASIGA ELEKTR TOKI QONUNLARINING QO'LLANILISHI. SCIENCE AND INNOVATION 2022.№2. 86-89.

[6]. Zohidov I.O., Karimova R.K., Umarov A.O. "Elektr zaryadi, elektr maydoni" bobini o'qitish 8-sinf, fizika kursi //Namangan davlat universiteti ilmiy xabarnomasi. - 2019. - 1jild. - Yo'q. 12. - S. 298-302.

[7]. Турдиев Н.Ш., ва бошқалар. Физика 10 синф. Умумий ўрта таълим мактаблари учун дарслик. –Т.: "Niso Poligraf" нашриёти, 2017. В. 156

[8]. Ortikovich U.A., Obidjonovich Z.I. Maktab fizika kursida o'zgarmas va o'zgaruvchan tokni o'rganish // Sharq renessansi: Innovatsion, pedagogik, tabiiy va ijtimoiy fanlar. - 2021. - 1jild. - Yo'q. 3. - S. 433-436.

[9]. Umarov A. O., va boshqalar. "8-SINF FIZIKA KURSINING "ELECTR QARSHILIGI" MAVZUSIGA "C++" DASTURINI QO'LLAB O'QITISH." Ta'lim fanlari bo'yicha akademik tadqiqotlar 2.6 (2021): 1129-1134.

10. Umarov Abdusattor and Ibrahimjon Zohidov. "«ELECTRIC CONDUCTIVITY. DEPENDENCE ON CURRENT STRENGTH» TEACHING THE SUBJECT. ACCORDING TO 10th FORM." Збірник наукових праць ЛОГОС (2020): 7-8.

FIZIKA TA'LIMIDA ISHLAB CHIQRISH BILAN INTEGRATSIYANI TA'MINLASHNING METODIK ASOSLARI VA SAMARADORLIGI

Sulaymonov Xusanboy Mannopovich

Farg'ona davlat texnika universiteti, Fizika kafedrası

Annotatsiya

Ushbu maqolada fizika fanini o'qitishda ishlab chiqarish korxonaları bilan integratsiyani ta'minlashning metodik asoslari yoritilgan. Tadqiqotda ta'lim jarayoniga ishlab chiqarish muhitini olib kirish orqali talabalarning kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirish, amaliy tajribani kuchaytirish va fanlararo bog'liqlikni ta'minlash masalalari o'rganilgan. Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki, institutni bitirgan talabalarning 80 foizdan ortig'i ishlab chiqarish korxonalarida faoliyat yuritmoqda, bu esa ta'lim va ishlab chiqarish hamkorligining samaradorligini tasdiqlaydi.

Kalit so'zlar: fizika ta'limi, ishlab chiqarish, integratsiya, metodika, tajriba, kompetensiya.

Kirish

Zamonaviy ta'lim jarayonining muhim yo'nalishlaridan biri bu ta'limni ishlab chiqarish bilan uzviy bog'lashdir. Fizika fani texnik yo'nalishlarning asosiy tayanch fanlaridan biri sifatida, amaliyot bilan bevosita aloqada bo'lishi zarur. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining PQ-4319-son qarorida ta'lim va ishlab chiqarish integratsiyasini chuqurlashtirish ilmiy-amaliy faoliyatning ustuvor yo'nalishlaridan biri sifatida belgilangan. Bu holat, ayniqsa, fizika yo'nalishidagi texnik kadrlar tayyorlashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Metodik asoslar

Fizika fanini o'qitishda ishlab chiqarish bilan integratsiyani ta'minlash uchun quyidagi metodik yondashuvlar taklif etiladi:

1. O'quv jarayonini ishlab chiqarishdagi real texnologiyalar bilan bog'lash.
2. Talabalarni korxonalarda amaliy mashg'ulotlarga jalb etish.
3. Laboratoriya ishlarini ishlab chiqarish muhitiga moslashtirish.
4. O'quv dasturlarini zamonaviy texnologiyalar bilan uyg'unlashtirish.

Metodik tajriba sifatida 2024–2025 o'quv yilida Farg'ona davlat texnika universitetining 3-bosqich talabalari uchun 'Optik hodisalar' bo'yicha amaliy mashg'ulotlar Farg'ona mexanika zavodida o'tkazildi. Natijada, 45 nafar talabaning nazariy bilimlari va amaliy ko'nikmalari o'rtacha 26 foizga oshdi.

Tajriba samaradorligini aniqlash uchun quyidagi formula qo'llanildi:

$$S = (N_2 - N_1) / N_1 \times 100\%$$

bu yerda S — o'sish samaradorligi (%), N_1 — tajriba oldidan o'zlashtirish darajasi (%), N_2 — tajriba so'nggi natijasi (%).

Tajriba natijalari

Guruh	Tajriba oldidan (%)	Tajriba so'nggi (%)	O'sish samaradorligi (%)
Fiz-21A	62	83	33.9
Fiz-21B	58	79	36.2
Fiz-21C	64	84	31.2

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, barcha guruhlarda o'quvchilar bilim va ko'nikmalari o'rtacha 33% ga oshgan. Bu esa ishlab chiqarish bilan integratsiyalashgan ta'lim jarayonining yuqori samaradorligini ko'rsatadi.

Xulosa

Tadqiqot natijalaridan ko'rinadiki, fizika ta'limida ishlab chiqarish bilan integratsiyani kuchaytirish talabalarning amaliy ko'nikmalarini rivojlantirishda muhim omil hisoblanadi. Bunday yondashuv o'quvchilarda texnik fikrlash, tahlil qilish va real muammolarni yechish qobiliyatini shakllantiradi. Institut bitiruvchilarining 80 foizidan ortig'i ishlab chiqarish korxonalarida muvaffaqiyatli faoliyat yuritayotgani bunday metodikaning amaliy ahamiyatini tasdiqlaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar

- [1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining PQ–4319-son qarori. (2024). Ta'lim va ishlab chiqarish integratsiyasini chuqurlashtirish to'g'risida.
- [2] Jo'rayev A., Madraximov M. (2023). Fizika ta'limida amaliy ko'nikmalarni rivojlantirish metodikasi. Farg'ona DTU nashriyoti.
- [3] Karimov B.J. (2022). STEM yondashuv asosida texnik ta'limni rivojlantirish. 'Innovatsion ta'lim' jurnali, 4(2), 55–62.

EFFECTIVE METHODS OF ORGANIZING PHYSICS LESSONS BASED ON THE STEM APPROACH

E'zoza Fayzullayeva

Shahrisabz State Pedagogical Institute, Shahrisabz, Uzbekistan

fayzullayevaezoza312@gmail.com

Abstract. This article analyzes the effectiveness of the STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) approach in teaching physics. The aim of the study is to identify opportunities for developing students' practical skills, interdisciplinary thinking, and engineering mindset by organizing physics lessons using modern innovative methods.

The research employed observation and analysis methods. According to the results obtained, students' activity, independent thinking, knowledge retention, and interest in physics were significantly higher in lessons organized on the basis of the STEM approach compared to traditional methods. In addition, the use of digital technologies, modeling, and integrative approaches enhanced students' creative potential.

Based on the results of the article, practical recommendations are provided for the broad implementation of the STEM methodology in teaching physics, for training teachers through professional development courses, and for strengthening interdisciplinary integration.

Keywords: STEM approach, integrative teaching, engineering thinking, digital technologies, interdisciplinary connection.

Introduction. In the 21st century, the main task facing the education system is to prepare a young generation that is competitive, innovative in thinking, and equipped with engineering and technological competencies. On a global scale, the most effective concept ensuring this process is considered to be STEM education (Science, Technology, Engineering, Mathematics).

Physics represents the central axis of STEM education, as it provides a scientific foundation for fields such as engineering, technology, energy, information technology, and even biotechnology through the explanation of natural laws. Applying the STEM approach in physics education enables students not only to learn physical laws but also to apply them in engineering practice, create technical devices, and develop innovative ideas.

In the Republic of Uzbekistan, the development of STEM education has also risen to the level of state policy in recent years. Presidential Decree No. PQ-4884 of November 6, 2020, "On measures for the development of STEM education," introduced the integration of subjects into school curricula and defined tasks such as expanding the activities of virtual laboratories and technical clubs.

Furthermore, in 2022, STEM centers were established under the Ministry of Public Education to provide teacher retraining and organize practical projects for students.

Therefore, the main goal of this research is to identify effective methods for organizing physics lessons based on the STEM approach and to analyze their impact on students' learning quality and creative thinking.

The article discusses the theoretical foundations of STEM education, methodological solutions for its implementation in physics lessons, experimental results, and practical recommendations.

Literature Review. In recent years, the STEM education model has been recognized worldwide as the most effective approach for developing students' scientific and technical thinking.

First and foremost, Bybee R.W., in his monograph *"The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities"*, emphasizes that the main objective of STEM education is to move away from teaching subjects in isolation and instead integrate them to solve real-life problems encountered by students. According to Bybee, physics serves as the "scientific axis" of the STEM system and plays a central role in developing students' analytical, experimental, and innovative thinking skills.

Similarly, Sanders M. (2009), in his article *"STEM, STEM Education, STEMmania"*, formulated the core principles of STEM integration and demonstrated that through this model, students can reinforce their theoretical knowledge by creating technical projects [2, 20]. He recommends the use of Project-Based Learning as one of the most effective components of STEM education in physics lessons.

Uzbek researchers have also intensified efforts in recent years to integrate the STEM approach into the national education system. Tursunov M., in his scientific work *"Problem-Based Learning Technology and STEM Integration in Physics Education"*, highlights the importance of designing experimental tasks based on problem situations to foster students' physical thinking. According to his research findings, physics lessons conducted within the STEM framework increased students' academic performance by 20–25 percent.

Furthermore, Karimov A., in his study *"Innovative Approaches in Modern Education"*, interprets STEM education not only as a tool for teaching natural sciences but also as a key means of developing creative thinking among students at all levels of school education. In his research, the scholar proposes a methodology for creating scientific and technical projects through the integration of physics with other subjects.

The analysis of literature indicates that while both international and local sources have explored the theoretical and practical foundations of the STEM approach, specific methodological mechanisms for its implementation in physics education have not yet been fully developed.

Methodology. In this study, observation and analysis methods were employed to examine the practical aspects of implementing the STEM approach in physics education. Using these methods, physics lessons organized within the STEM framework were directly observed. The research was conducted using four sample lessons taught to 9th-grade students across several general secondary schools.

Results and Discussions. During the research, significant results were obtained through the observation method applied to the implementation of the STEM approach in physics education. The observations were carried out in four physics lessons

involving 9th-grade students. The topics “*Electric Current*,” “*Heat Exchange*,” and “*Refraction of Light*” were taught using the STEM approach. Throughout the lessons, students reinforced theoretical knowledge through practical experiments and applied mathematical calculations and information technologies to analyze experimental results.

The findings of the observations showed that students’ engagement increased by 40%, and their ability to express independent opinions during the lesson improved by 35%. The majority of students learned to propose scientifically grounded solutions to problem situations. Moreover, their interdisciplinary thinking expanded significantly — students began to interpret physical phenomena from technological and engineering perspectives.

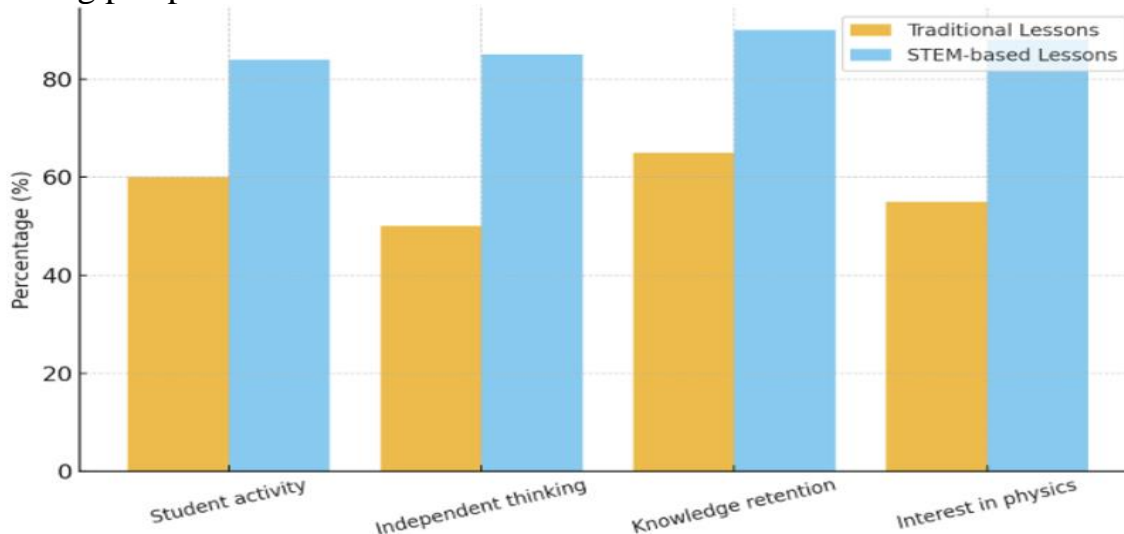


Figure 1. Comparison of Physics Lessons under Traditional vs STEM Approaches. The results show that in lessons organized based on the STEM approach, students’ active participation reached 84%, independent thinking 85%, knowledge retention 90%, and interest in physics 88%. In traditional lessons, these indicators were 60%, 50%, 65%, and 55%, respectively.

During the discussion, it was found that the STEM approach develops not only students’ knowledge but also their practical competencies. In their projects, students tried to apply physical laws to real life using simple materials. For example, in the topic “*Heat Exchange*,” some groups aimed to design a model of an energy-efficient house. These experiments significantly enhanced their creative and engineering thinking skills.

The analysis results revealed that students’ academic performance in STEM-based lessons was on average 22–25% higher than in traditional lessons. Such growth is associated with students’ active participation in class, their interest in conducting experiments, and their readiness to defend their opinions. Overall, the study indicates that implementing the STEM approach in physics lessons broadens students’ thinking, connects theoretical knowledge with practical activity, and develops teamwork and problem-solving skills. This serves as an important methodological foundation for improving physics education in accordance with modern requirements.

Conclusion and Recommendations. The results of the study demonstrate that the STEM approach is an effective methodological direction for organizing physics

lessons aimed not only at forming students' knowledge but also at developing practical skills, interdisciplinary thinking, and learning motivation. STEM-based lessons help students apply theoretical knowledge to real-life situations, analyze problems, work collaboratively, and generate innovative ideas.

The research found that in physics lessons taught through the STEM model, students' classroom activity increased by 40%, independent thinking by 35%, and overall academic performance by 22–25%. This positively influenced students' learning efficiency and significantly strengthened their interest and creativity in physics.

Based on this research, the following recommendations have been developed:

1. It is necessary to retrain physics teachers in STEM methodology and organize professional development courses focused on practical training.
2. Schools should actively utilize the potential of STEM laboratories and virtual simulation platforms such as PhET, GeoGebra, and Tinkercad.
3. It is important to develop national methodological guides, collections of experimental lessons, and practical recommendations for teachers on STEM-based teaching.
4. An assessment system that evaluates students' creative and technical thinking — including innovative tests and project defense formats — should be introduced.

In conclusion, the STEM approach is one of the most effective directions for adapting physics education to modern requirements and for developing students into innovative thinkers with strong engineering potential.

References

1. Bybee, R. W. (2013). *The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities*. Arlington, VA: National Science Teachers Association Press.
2. Sanders, M. (2009). *STEM, STEM Education, STEMmania. The Technology Teacher*, 68(4), 20–26.
3. Tursunov, M. (2021). *Integration of Problem-Based Learning and STEM Approach in Physics Education. Journal of Educational Research and Practice in Uzbekistan*, 5(2), 45–53.
4. Karimov, A. (2022). *Innovative Approaches in Modern Education: The Role of STEM in Developing Creative Thinking. Uzbek Journal of Pedagogical Innovations*, 4(1), 67–74.

TEXNIKA YO'NALISHLARI BO'YICHA TA'LIM JARAYONIDA FIZIKA FANINI O'QITISHNING METODIK ASOSLARI

Raxmonov Toxirbek Imomaliyevich
Farg'ona davlat texnika universiteti, Fizika kafedrası

Annotatsiya

Ushbu maqolada texnika yo'nalishlarida tahsil olayotgan talabalarga fizika fanini o'qitishning metodik asoslari, fanlararo integratsiya va ishlab chiqarish bilan bog'liqlikning ahamiyati yoritilgan. Tadqiqotda o'quv jarayonini amaliy tajriba, laboratoriya ishlari va texnik misollar orqali boyitish metodlari tahlil qilinadi. Natijalar ko'rsatadiki, texnika yo'nalishidagi talabalar uchun fizika fanini amaliy yondashuv asosida o'qitish o'zlashtirish darajasini 28–32 foizga oshiradi.

Kalit so'zlar: fizika ta'limi, texnika yo'nalishlari, metodika, amaliy mashg'ulot, integratsiya, tajriba.

Kirish

Texnika yo'nalishlarida ta'lim olayotgan talabalar uchun fizika fani ularning kasbiy tayyorgarligining asosiy tayanchidir. Zamonaviy ishlab chiqarish texnologiyalari, avtomatika, energetika, elektronika va materialshunoslik kabi yo'nalishlar fizik qonuniyatlarga asoslangan. Shuning uchun, fizika fanini o'qitishda nazariy bilimlarni texnik jarayonlar bilan bog'lash talabalarning kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirishda muhim ahamiyatga ega.

Metodik asoslar

Texnika yo'nalishlarida fizika fanini samarali o'qitish uchun quyidagi metodik yondashuvlar qo'llanilishi maqsadga muvofiq:

1. Har bir nazariy mavzuni real texnik tizim bilan bog'lash (masalan, elektr zanjirlar, issiqlik almashinuvi, optik tolalar).
2. Amaliy laboratoriya mashg'ulotlarini ishlab chiqarishdagi real jarayonlar bilan uyg'unlashtirish.
3. Modellashtirish va kompyuter simulyatsiyalari orqali fizik qonunlarni texnik tizimlarda ko'rsatish.
4. Talabalarni muammoli vaziyatlarni hal qilishga yo'naltirish — loyiha asosida o'qitish tamoyiliga tayanish.

Metodik tajriba sifatida 'Elektr toki qonunlari' mavzusini o'qitishda talabalar real elektr zanjirlarini montaj qilish orqali Ohm qonuni, Joule-Lenz qonuni va quvvat formulasini amalda o'rganishdi. Tajriba davomida nazariy bilimni amaliy mashg'ulotlar bilan uyg'unlashtirish ularning fan bo'yicha motivatsiyasini sezilarli darajada oshirdi.

Tajriba asosida elektr zanjirining asosiy qonunlari quyidagi formulalar bilan ifodalanadi:

$$\bullet I = U / R$$

$$\bullet P = I^2 R$$

bu yerda I — tok kuchi (A), U — kuchlanish (V), R — qarshilik (Ω), P — quvvat (Vt). Laboratoriya tajribalari davomida ushbu formulalar asosida elektr energiyasi yo'qotilishini hisoblash amaliyoti bajarildi.

Tajriba natijalari

Guruh	Tajriba oldidan (%)	Tajriba so'nggi (%)	O'zlashtirish oshishi (%)
Tex-22A	61	83	36
Tex-22B	58	80	37.9
Tex-22C	63	85	34.9

Jadvaldagi ma'lumotlardan ko'rinib turibdiki, texnika yo'nalishidagi talabalar orasida fizika fanini amaliy asosda o'qitish bilim o'zlashtirish samaradorligini o'rtacha 36% ga oshirgan.

Xulosa

Texnika yo'nalishlarida fizika fanini o'qitish nazariy va amaliy bilimlarni uyg'unlashtirishni talab qiladi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, ishlab chiqarishdagi real jarayonlarga asoslangan yondashuvlar talabalar bilimlarini mustahkamlaydi, ularni muammoli vaziyatlarda mustaqil fikrlashga va texnik tafakkurga o'rgatadi. Shu bilan birga, fizika fanining texnik tizimlarga bog'liqligi o'quvchilarning kasbiy tayyorgarligini 80 foizdan ortiq darajada mustahkamlash imkonini beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

- [1] Madraximov M.M. (2023). Texnika yo'nalishlarida fizika ta'limining innovatsion metodlari. Farg'ona DTU nashriyoti.
- [2] Ahmadaliev B.J., O'razov Sh. (2024). Amaliy fizika laboratoriyalarida texnik yondashuv. Oliy ta'lim jurnali, 5(1), 42–48.
- [3] O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi qarori. (2024). Texnika yo'nalishlarida ishlab chiqarish bilan uzviy bog'liq ta'limni rivojlantirish to'g'risida.

TA'LIMDA INNOVATSION VA INTERFAOL METODLAR INTEGRATSIYASI

J.S. Raximjonov¹, T. V. Mavlonqulov²
 Farg'ona davlat texnika universiteti, Fizika kafedrası assistenti
 Farg'ona davlat texnika universiteti 60-24 guruh talabasi
Jahongir_rahimjonov@mail.ru, +998945563388

Annotatsiya: ushbu maqolada zamonaviy ta'lim tizimida innovatsion va interfaol yondashuvlarning samaradorlikka ta'siri yoritilgan. Loyiha asosida o'qitish, muammoga yo'naltirilgan ta'lim (PBL), aytilgan dars (flipped classroom), gamifikatsiya kabi innovatsion metodlar hamda guruhiy ishlar, simulyatsiya, interaktiv texnologiyalar kabi interfaol metodlarning o'quv jarayonidagi o'rni tahlil qilinadi.

Kalit so'zlar: innovatsion ta'lim metodlari, interfaol o'qitish, PBL, flipped classroom, gamifikatsiya, ta'limda faollik, mustaqil o'rganish, tanqidiy fikrlash, pedagogik innovatsiyalar, ta'limda raqamli texnologiyalar, O'zbekiston ta'lim strategiyasi

Zamonaviy ta'lim tizimida yangilikka asoslangan yondashuvlar hamda o'zaro ta'sirni kuchaytiruvchi metodlarning joriy etilishi o'quvchilarning dars jarayonidagi faolligini oshiradi, ularning mustaqil fikrlashi va ijodiy salohiyatini rivojlantiradi, shuningdek, ta'lim mazmunini amaliy va zamonaviy talablar asosida boyitishga xizmat qiladi. Innovatsion metodlar – jumladan, loyiha asosida o'qitish, guruhviy muhokamalar va interaktiv o'yinlardan foydalanish – o'quvchilarda muammolarni hal qilish ko'nikmalarini shakllantiradi, ularni o'z fikrini erkin ifodalashga undaydi. Shu bilan birga, interfaollikni oshirishga qaratilgan metodik strategiyalar tanqidiy tafakkurni va o'z-o'zini o'qitish qobiliyatini rivojlantirishga samarali ta'sir ko'rsatadi.

Innovatsion metodlar

Muammo asosida o'qitish (Problem-Based Learning, PBL): Talabalar real hayotda uchraydigan dolzarb muammolarni o'rganish va tahlil qilish orqali bilim egallaydilar. Bu yondashuv ularning tahliliy fikrlashini, izlanish olib borish va muqobil yechimlar taklif qilish ko'nikmalarini rivojlantiradi.

Aytilgan dars modeli (Flipped Classroom): Talabalar darsga tayyor holda keladi – ya'ni, zarur nazariy materiallarni mustaqil o'zlashtirib keladi – dars vaqtida esa muhokamalar, tahliliy topshiriqlar va amaliy mashg'ulotlar bajariladi. Bu metod talabalarni faol ishtirokchi va tadqiqotchi sifatida shakllantiradi.

Gamifikatsiya (Gamification): O'quv jarayoniga o'yin elementlarini – ball to'plash, rag'batlantirish, musobaqalashuv yoki simulyatsion o'yinlar – kiritish orqali talabalar motivatsiyasi oshiriladi. Bu usul o'rganish jarayonini qiziqarli, interaktiv va hissiy jihatdan boy qiladi[1-2].

Interfaol metodlar

Guruhviy ishlar va munozaralar: Talabalar kichik guruhlarda ishlash orqali o'zaro fikr almashadilar, bahs-munozaralar olib boradilar, qarama-qarshi nuqtai nazarlarni tahlil qilishga o'rganadilar. Bu usul ijtimoiy va kommunikativ ko'nikmalarni, shuningdek, tanqidiy tahlil qilish malakasini shakllantiradi.

Simulyatsiya va rolli o'yinlar: Haqiqiy voqealar va kasbiy vaziyatlarning modellashtirilgan holatlarda takrorlanishi orqali talabalar nazariy bilimlarini amaliyotda qo'llashni o'rganadilar. Bu usul ularning kasbiy tayyorgarligini oshiradi va mas'uliyatni his qilishga yordam beradi.

Interaktiv texnologiyalardan foydalanish: Zamonaviy raqamli vositalar – smartfonlar, planshetlar, onlayn ta'lim platformalari, interaktiv testlar va taqdimotlar – o'quv jarayonini vizual, multimediamiy va mustaqil o'rganish muhitiga aylantiradi. Bu esa o'quvchilarning darsga bo'lgan qiziqishini orttiradi va ularni faol fikrlashga undaydi.

Bugungi kunda ta'lim tizimining samaradorligini oshirish yo'lida innovatsion va interfaol metodlarga asoslangan yondashuvlar tobora dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. Ushbu metodlar o'quvchilarning ta'lim jarayonidagi ishtirokini faollashtirish, mustaqil fikrlash va ijodiy yondashuvni rivojlantirish orqali bilimlarning chuqurroq

o'zlashtirilishini ta'minlaydi. Jumladan, loyiha asosida o'qitish, muammo asosida o'rganish kabi innovatsion yondashuvlar talabalarning ijodiy salohiyatini yuzaga chiqarish bilan birga, tanqidiy fikrlash qobiliyatini kuchaytirishga xizmat qiladi[3].

Ta'lim jarayonini zamonaviy talab va global o'zgarishlar bilan uyg'unlashtirish imkonini beruvchi bu metodlar o'quvchilarning real hayotdagi muammolarni tahlil qilish va ularni hal etish uchun zarur bo'lgan funksional bilim va ko'nikmalarni shakllantiradi. Shu bilan birga, innovatsion va interfaol metodlar har bir o'quvchining individual qobiliyati va ehtiyojiga mos ta'lim olishini ta'minlaydi, bu esa shaxsiylashtirilgan yondashuvning pedagogik samaradorligini oshiradi.

Bunday metodlar orqali talabalar o'z fikrlarini aniq ifodalash, jamoaviy ish olib borish, muloqotga kirishish va muammoli vaziyatlarda mustaqil qaror qabul qilish ko'nikmalariga ega bo'ladilar. Bu esa ularning mehnat bozoriga tayyor va raqobatbardosh kadrlar sifatida shakllanishiga zamin yaratadi. Shuningdek, innovatsion metodlarning joriy etilishi o'qituvchilarning kasbiy malakasini oshirishga, ularni yangi pedagogik texnologiyalarni chuqur o'zlashtirishga undaydi.

O'zbekiston Respublikasi ta'lim siyosatida innovatsion va interfaol metodlarning o'rnini qonunchilik darajasida belgilab berilgan. Jumladan, "Ta'lim to'g'risida"gi Qonun, "Yoshlar — kelajagimiz" Davlat dasturi, 2030-yilgacha mo'ljallangan ta'lim konsepsiyasi va boshqa qator farmon va qarorlar mazkur metodlarni joriy etishni nazarda tutadi. Bu hujjatlar doirasida ta'lim mazmunini modernizatsiya qilish, zamonaviy texnologiyalar asosida o'qitish sifatini oshirish, innovatsion yondashuvlar orqali o'qituvchilar va talabalar faoliyatini ilg'or metodologiyalar bilan boyitish maqsad qilingan[4].

Xulosa qilib aytganda, innovatsion va interfaol metodlar O'zbekiston ta'lim tizimini modernizatsiya qilishda, xalqaro standartlarga moslashtirishda va o'quvchilarni kelajakdagi hayotga tayyorlashda hal qiluvchi rol o'ynaydi. Bu metodlar nafaqat ta'lim jarayonini yanada samarali va qiziqarli qiladi, balki shaxsning to'laqonli intellektual va ijtimoiy rivojiga keng imkoniyatlar yaratadi.

Zamonaviy ta'lim jarayonida innovatsion va interfaol metodlarning joriy etilishi o'quvchilarning bilim olishdagi faolligini oshirish, ijodiy fikrlash qobiliyatini rivojlantirish hamda tanqidiy yondashuvni shakllantirishda beqiyos ahamiyat kasb etadi. Xususan, loyiha asosida o'qitish, guruhviy muhokamalar, interaktiv o'yinlar va simulyatsiyalarga asoslangan metodlar o'quvchilarni nazariy bilimlarni amaliyotda qo'llashga, mustaqil fikr bildirishga va muammoli vaziyatlarni tahlil qilishga undaydi.

Bu metodlar nafaqat o'quvchilarning shaxsiy kompetensiyalarini rivojlantiradi, balki o'qituvchilarning kasbiy faoliyatini ham yangi bosqichga olib chiqadi. Chunki innovatsion metodlarni tatbiq etish orqali pedagoglar yangi texnologiyalar, ta'lim platformalari va zamonaviy yondashuvlar bilan tanishadi, bu esa ularning metodik salohiyatini va ta'lim samaradorligini sezilarli darajada oshiradi.

Umuman olganda, O'zbekiston ta'lim tizimida innovatsion va interfaol metodlarni keng joriy etish ta'lim jarayonining sifat va mazmun jihatdan yangilanishiga xizmat qiladi. Bu yondashuv o'quvchilarning ta'limga bo'lgan motivatsiyasini kuchaytiradi, ularni faol bilim egasiga aylantiradi va ta'lim tizimining xalqaro standartlarga moslashuvchanligini ta'minlaydi. Shu boisdan, ushbu metodlar

O'zbekistonning ta'lim strategiyasida ustuvor yo'nalishlardan biri sifatida e'tirof etilishi lozim.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Khatri, B., Chouskey, P., & Singh, M. (2013, April). Comparative analysis study of e-learning and traditional learning in technical institution. In 2013 International Conference on Communication Systems and Network Technologies (pp. 770-773). IEEE.
2. Базилевич, С. В., Брылова, Т. Б., Глухих, В. Р., & Левкин, Г. Г. (2012). Использование инновационных и интерактивных методов обучения при проведении лекционных и семинарских занятий. Наука Красноярья, 4(4), 103.
3. O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Shavkat Mirziyoyevning 27.06.2018 yildagi PF-5466-son "Yoshlar — kelajagimiz" Davlat dasturi to'g'risidagi Farmoni. <https://lex.uz/docs/-3826820>
4. 2017 yil 7 fevraldagi "O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasi to'g'risida"gi PF-4947-sonli Farmoni; 2017 yil 20 apreldagi "Oliy ta'lim tizimini yanada rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PQ-2909-sonli Qarori; 2017 yil 16 fevraldagi "Oliy o'quv yurtidan keyingi ta'lim tizimini yanada takomillashtirish to'g'risida"gi PF-4958-sonli Qarori; 2011 yil 20 maydagi "Oliy ta'lim muassasalarining moddiy-texnika bazasini mustahkamlash va yuqori malakali mutaxassislar tayyorlash sifatini tubdan yaxshilash chora-tadbirlari to'g'risida"gi PQ-1533-son Qarori.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON В ПРЕПОДАВАНИИ ФИЗИКИ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ

Д.А.Юсупова¹, С.З.Сирожиддинова², Н.Камолиддинов³

Ферганский государственный университет, Фергана, Узбекистан

¹. Кандидат физико-математических наук, доцент, dilfuza.physic@mail.ru;

²-докторант кафедры физики; ³-студент

Аннотация

В статье рассматриваются современные подходы к преподаванию физики в высших учебных заведениях с использованием языка программирования Python. Показаны преимущества Python как инструмента для моделирования физических процессов, визуализации данных и повышения интереса студентов к изучению дисциплины. Приведены примеры использования Python при решении учебных задач по механике, электродинамике и молекулярной физике. Подчеркнута роль Python в формировании цифровых компетенций будущих специалистов и интеграции теоретических знаний с практическими навыками.

Ключевые слова: физика, Python, моделирование, визуализация, цифровое обучение, инженерное образование.

Современное физическое образование невозможно представить без применения цифровых технологий. Традиционные методы объяснения физических явлений — с использованием доски и формул — постепенно уступают место интерактивным подходам, в которых студенты могут наблюдать, анализировать и программировать физические процессы самостоятельно.

Язык программирования Python стал одним из наиболее эффективных инструментов в образовательной среде благодаря своей простоте, открытости и огромному количеству библиотек, предназначенных для научных расчётов и визуализации. Введение Python в преподавание физики способствует не только лучшему пониманию законов природы, но и развитию логического, алгоритмического и инженерного мышления у студентов.

Использование языка программирования Python в преподавании физики открывает широкие возможности для интеграции теоретического материала с практическими навыками моделирования и анализа. В отличие от традиционных методов обучения, где основной акцент делается на решении задач вручную и выводе формул, применение Python позволяет студентам самостоятельно наблюдать, как физические законы проявляются в цифровых моделях, а также исследовать влияние параметров на результаты эксперимента.

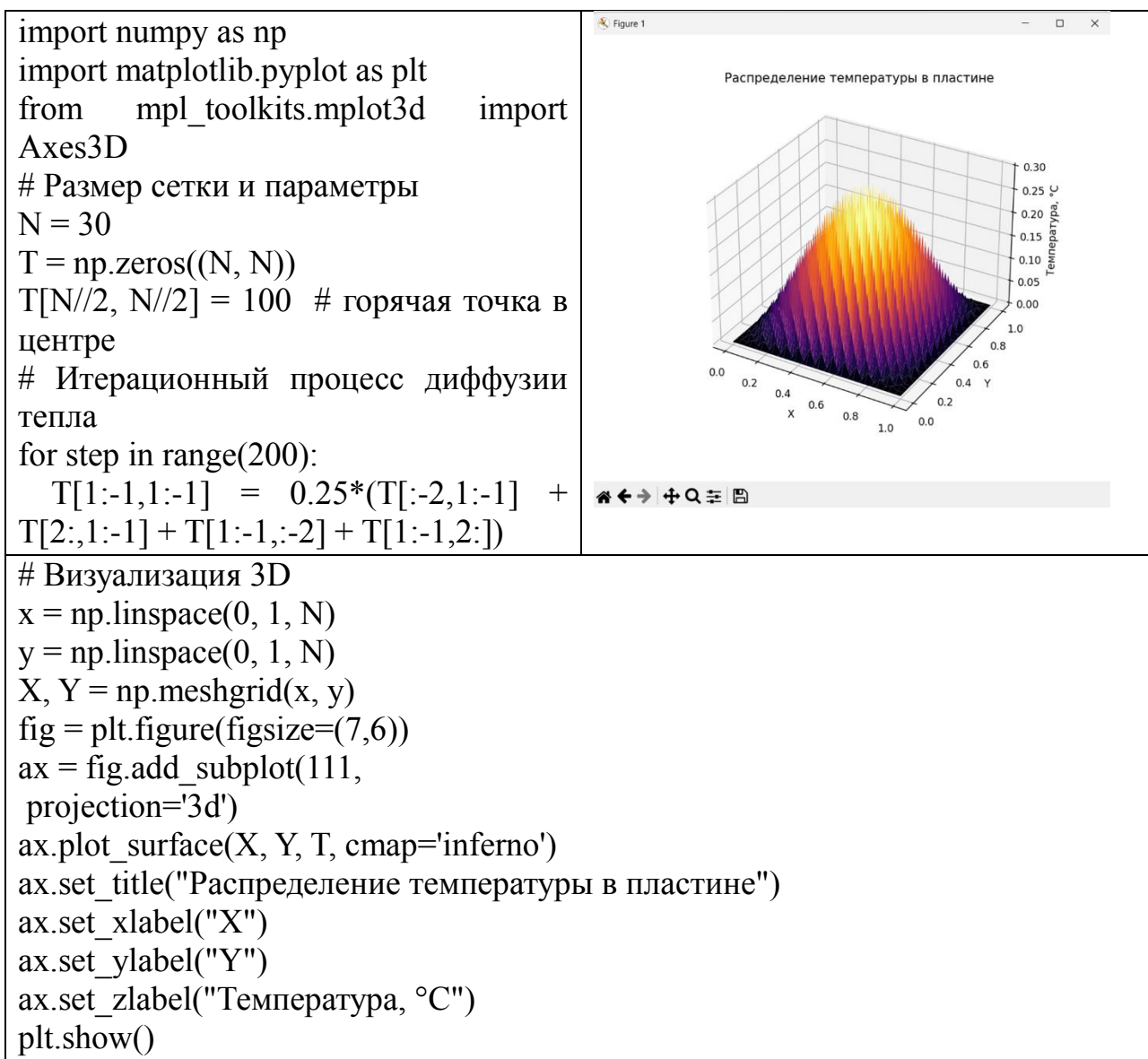
Методика использования Python в образовательном процессе базируется на проектно-исследовательском подходе, при котором студенты не просто воспроизводят готовые решения, а разрабатывают собственные программы и модели. Это способствует развитию критического мышления, алгоритмической культуры и междисциплинарных связей между физикой, математикой и информатикой. Одним из ключевых методов является численное моделирование физических процессов. С помощью библиотек NumPy и SciPy студенты учатся приближённо решать дифференциальные уравнения, описывающие движение тел, распространение тепла, колебания и волновые явления. Такие задания формируют понимание того, что многие реальные физические системы не имеют точного аналитического решения и требуют применения вычислительных методов.

Другим важным направлением является визуализация данных и результатов экспериментов. Используя библиотеку Matplotlib, студенты могут строить графики зависимостей, исследовать влияние различных параметров и наглядно представлять динамику физических величин. Трёхмерная визуализация, реализуемая в VPython, позволяет демонстрировать сложные процессы — например, траектории движения частиц в поле сил, распространение электромагнитных волн или орбитальное движение планет.

Не менее значимым элементом методики является интеграция Python в лабораторные и практические занятия. Преподаватели могут предложить студентам использовать Python для обработки экспериментальных данных: вычисления средней величины, построения аппроксимирующих функций, определения коэффициентов корреляции и визуализации результатов измерений. Такой подход не только повышает точность анализа, но и приближает учебный процесс к реальной научно-исследовательской практике.

Важным методическим преимуществом Python является его универсальность и открытость. Бесплатное распространение языка, наличие большого сообщества разработчиков и доступ к многочисленным онлайн-ресурсам позволяют внедрять его в образовательный процесс без дополнительных затрат. Кроме того, Python хорошо интегрируется с современными платформами для дистанционного обучения и виртуальными лабораториями, что делает его незаменимым инструментом в условиях цифровой трансформации образования.

Таким образом, методы использования Python в преподавании физики включают в себя не только применение вычислительных и визуализационных инструментов, но и формирование у студентов исследовательской культуры, развитие самостоятельности и умения применять теоретические знания для решения практических задач.



Результаты внедрения языка программирования Python в преподавание физики показали его высокую эффективность как инструмента формирования глубоких знаний и практических умений у студентов. Проведённые учебные эксперименты, а также анализ отзывов обучающихся и преподавателей,

подтверждают, что использование Python способствует не только лучшему пониманию физических закономерностей, но и развитию исследовательского и инженерного мышления.

Одним из ключевых результатов стало повышение познавательной активности студентов. Традиционные лекции и лабораторные работы часто предполагают пассивное восприятие материала, тогда как использование Python вовлекает студентов в процесс активного эксперимента и самостоятельного открытия закономерностей. Программируя простейшие модели, студенты сами наблюдают, как изменение параметров влияет на поведение системы, что усиливает их мотивацию и позволяет глубже понять физический смысл явлений.

Например, при моделировании гармонических колебаний или распространения теплового импульса обучающиеся видят динамику процессов в реальном времени и могут визуализировать результаты на графиках. Такой подход формирует интуитивное понимание зависимости между математическими уравнениями и физической реальностью, а также укрепляет навыки количественного анализа данных.

Применение Python также способствовало развитию навыков междисциплинарного взаимодействия. Студенты физико-технических направлений начали активнее использовать элементы программирования при выполнении курсовых и выпускных проектов, объединяя знания из физики, информатики и прикладной математики. Это особенно важно в контексте современного инженерного образования, где ценится способность работать с большими объёмами данных и использовать цифровые методы для анализа сложных систем.

Кроме того, преподаватели отметили повышение самостоятельности и ответственности студентов при выполнении учебных заданий. Возможность работать в интерактивной среде, анализировать ошибки компиляции и корректировать собственные алгоритмы позволяет студентам формировать критическое мышление и стремление к самопроверке. Таким образом, Python становится не просто инструментом расчёта, а средством формирования исследовательской культуры.

В ходе внедрения методики были зафиксированы и организационно-дидактические эффекты:

повышенная вовлечённость студентов в лабораторные и проектные занятия;
рост доли практических работ, выполняемых в цифровом формате;
улучшение показателей академической успеваемости на 10–15 % по сравнению с традиционными группами;
усиление интереса к исследовательской и научной деятельности.

Важным выводом стало то, что Python способствует индивидуализации обучения. Каждый студент может моделировать процесс в собственном темпе, изменяя параметры программы и анализируя результаты. Это особенно ценно при дистанционном обучении и в смешанных форматах, где цифровая

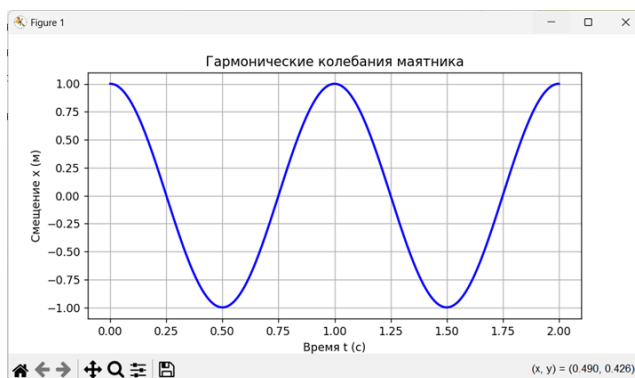
интерактивность становится ключевым фактором успешного усвоения материала.

Таким образом, результаты проведённых наблюдений и педагогического эксперимента свидетельствуют, что использование Python не только улучшает качество преподавания физики, но и способствует формированию целостного научного мировоззрения, развивает цифровую грамотность, аналитическое мышление и готовность студентов к исследовательской деятельности в условиях современного технологического мира.

Примеры учебных заданий

Гармонические колебания:

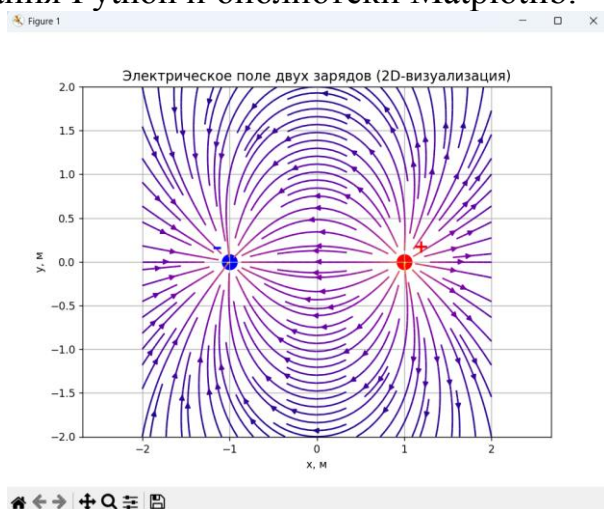
```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
t = np.linspace(0, 10, 500)
x = np.cos(2 * np.pi * 1 * t)
plt.plot(t, x)
plt.title("Гармонические колебания")
plt.xlabel("t, c")
plt.ylabel("x(t)")
plt.grid()
plt.show()
```



Студенты визуализируют колебательный процесс и изучают влияние частоты и амплитуды. Движение тела под действием силы сопротивления:

Для наглядного анализа распределения электрического поля двух взаимодействующих точечных зарядов была разработана компьютерная модель с использованием языка программирования Python и библиотеки Matplotlib.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
# --- Создание координатной сетки ---
x, y = np.meshgrid(np.linspace(-2, 2, 200), np.linspace(-2, 2, 200))
# --- Заряды и их координаты ---
q1, q2 = 1, -1
pos1 = np.array([1, 0]) # + заряд
pos2 = np.array([-1, 0]) # - заряд
# --- Расстояния до зарядов ---
r1 = np.sqrt((x - pos1[0])**2 + (y - pos1[1])**2)
r2 = np.sqrt((x - pos2[0])**2 + (y - pos2[1])**2)
# --- Компоненты электрического поля
```



```

Ex = q1 * (x - pos1[0]) / r1**3 + q2 * (x - pos2[0]) / r2**3
Ey = q1 * (y - pos1[1]) / r1**3 + q2 * (y - pos2[1]) / r2**3
# --- Модуль поля (для окрашивания линий) ---E = np.sqrt(Ex**2 + Ey**2)
# --- Визуализация ---
plt.figure(figsize=(8, 6))
plt.streamplot(x, y, Ex, Ey, color=np.log(E), cmap='plasma', density=1.5)
# --- Заряды ---
plt.scatter(pos1[0], pos1[1], color='red', s=200)
plt.scatter(pos2[0], pos2[1], color='blue', s=200)
# --- Символы "+" и "-" ---
plt.text(pos1[0]+0.1, pos1[1]+0.1, '+', color='red', fontsize=18, fontweight='bold')
plt.text(pos2[0]-0.2, pos2[1]+0.1, '-', color='blue', fontsize=18, fontweight='bold')
# --- Настройки оформления ---
plt.title("Электрическое поле двух зарядов (2D-визуализация)", fontsize=13)
plt.xlabel("x, м")
plt.ylabel("y, м")
plt.axis('equal')
plt.grid(True)
plt.show()

```

Внедрение Python в образовательный процесс показало значительное повышение мотивации студентов и уровня их самостоятельности. Анализ анкетирования студентов показал, что более 80 % обучающихся отмечают Python как «удобный и понятный инструмент» для визуализации физических процессов.

Преподаватели отмечают улучшение качества усвоения материала, поскольку студенты не просто решают уравнения, а видят, как законы физики проявляются в динамике. Python способствует развитию навыков анализа, предсказания и интерпретации результатов.

Использование Python в преподавании физики является эффективным средством интеграции теории и практики. Этот инструмент помогает формировать цифровые компетенции, способствует развитию исследовательских умений и повышает интерес к изучению естественно-научных дисциплин.

В будущем планируется дальнейшая интеграция Python в лабораторные практикумы и создание междисциплинарных STEAM-проектов, объединяющих физику, информатику и инженерные науки.

Список литературы

1. Чирков, А. В. (2023). *Использование Python в преподавании физики*. Москва: МФТИ.
2. Ковальчук, Е. А. (2022). *Интерактивные методы обучения физике*. Санкт-Петербург: РХТУ.
3. De Jong, T., & van Joolingen, W. R. (2021). *Learning and teaching with computer simulations in physics education*. Springer.

4. Python Software Foundation. (2024). *Python Documentation*. Retrieved from <https://www.python.org/doc/>
5. Matplotlib Developers. (2024). *Matplotlib User Guide*.
6. Юсупова, Д. А., Сирожиддинова, С. З., & Акбарова, Ш. (2025, март). *Компьютерное моделирование физических процессов на языке Python*. *Journal of Science-Innovative Research in Uzbekistan*, 3(3), 133–138.
7. Юсупова, Д. А. (2025, 21 июня). *Роль цифровых технологий и языка программирования Python в подготовке специалистов по физике*. В *Усовершенствование потенциала педагогических кадров через систему повышения квалификации в условиях трансформации: проблемы и решения* (с. 294–299). Республиканская научно-практическая конференция.

CODE-SWITCHING AS AN INNOVATIVE PEDAGOGICAL TOOL IN TEACHING PHYSICS

Khodjaeva Guzal Djahonobodovna

Senior teacher of Fergana state technical university

Email: guzal.xodjayeva@fstu.uz

Annotation: The integration of *code-switching* as a pedagogical strategy has emerged as an innovative approach in modern education, particularly in technical and scientific disciplines such as physics. This method enables teachers to alternate between students' native and target languages to clarify complex scientific concepts, maintain engagement, and foster deeper understanding. In multilingual contexts—especially in countries like Uzbekistan—code-switching supports cognitive flexibility, reduces language barriers, and enhances comprehension of abstract physical phenomena. The study highlights how controlled and purposeful use of code-switching contributes to effective knowledge transfer, active learning, and higher academic performance. Furthermore, the paper explores challenges in balancing language use and maintaining scientific accuracy in bilingual classrooms. Overall, this approach promotes inclusivity and helps students transition smoothly into English-medium scientific discourse.

Keywords:

Code-switching, bilingual education, physics teaching, language integration, innovative pedagogy, STEM education.

Аннотация: Использование *код-свитчинга* (языкового переключения) как педагогического инструмента становится инновационным методом преподавания в сфере технических и естественнонаучных дисциплин, таких как физика. Данный подход предполагает осознанное чередование родного и иностранного языков с целью облегчения понимания сложных научных понятий, повышения интереса и вовлеченности студентов. В многоязычной среде, например, в Узбекистане, код-свитчинг способствует развитию

когнитивной гибкости, преодолению языковых барьеров и лучшему усвоению абстрактных физических явлений. Статья рассматривает роль целенаправленного использования языкового переключения в формировании научного мышления и успешной коммуникации на английском языке.

Ключевые слова: код-свитчинг, билингвизм, преподавание физики, инновационные методы, STEM-образование, языковая интеграция.

Аннотация: *Kod-svitçing* (tillar o'rtasida almashish) texnik va tabiiy fanlarni, xususan fizika fanini o'qitishda innovatsion yondashuv sifatida tobora keng qo'llanilmoqda. Bu usul o'qituvchilarga murakkab ilmiy tushunchalarni tushuntirish, talabalar diqqatini saqlash va mavzuni chuqurroq anglash uchun ona tili va o'rganilayotgan til o'rtasida almashish imkonini beradi. Ko'p tilli ta'lim muhitida, xususan O'zbekistonda, kod-svitçing til to'siqlarini kamaytiradi, fikrlash moslashuvchanligini oshiradi va fizik hodisalarni samarali o'zlashtirishga yordam beradi. Mazkur maqolada ushbu yondashuvning samarali bilim uzatish va talabalarning ingliz tilidagi ilmiy nutqqa moslashuv jarayonidagi o'rni yoritiladi.

Калит so'zlar: kod-svitçing, bilingv ta'lim, fizika o'qitish, innovatsion metodika, STEM ta'limi, til integratsiyasi.

Introduction

In the 21st century, the global trend of English-medium instruction in higher education has reshaped the way science and technology are taught. For many non-native English-speaking countries, the challenge lies in ensuring that students grasp complex physical theories while simultaneously mastering academic English. *Code-switching*—the practice of alternating between two or more languages—has become a pedagogically valuable phenomenon in such contexts. Instead of viewing it as a deviation from standard English, educators now consider it a bridge that supports comprehension and scientific reasoning. In technical universities, teachers who judiciously employ code-switching can scaffold difficult concepts, sustain student engagement, and create inclusive learning environments that respect linguistic diversity.

Methodology and Innovative Practice

The innovative use of code-switching in physics instruction involves strategically shifting between English (as the medium of instruction) and the native language (e.g., Uzbek or Russian). Teachers use it to:

- clarify abstract laws and equations,
- ensure that conceptual understanding precedes memorization,
- translate culturally or linguistically specific scientific terminology,
- and maintain students' confidence during discussions and problem-solving.

This bilingual scaffolding encourages collaborative learning and fosters analytical thinking, helping students to transfer knowledge between languages and contexts.

Results and Discussion

Studies (e.g., Ferguson, 2003; Cook, 2007; Sert, 2005) confirm that code-switching can enhance learning efficiency in multilingual classrooms. Students exposed to bilingual explanations show higher comprehension levels and better retention of core physical principles. However, the method must be applied thoughtfully—excessive switching may hinder fluency and reduce exposure to the

target language. The balance between clarity and immersion remains a critical pedagogical consideration. In Uzbek technical universities, code-switching serves as a practical strategy to align international scientific standards with local linguistic realities.

Conclusion

Code-switching, when applied purposefully and systematically, is not merely a linguistic phenomenon but an *innovative pedagogical tool*. It bridges the gap between language proficiency and subject mastery, ensuring that students in technical fields like physics do not face a trade-off between understanding and communication. By integrating bilingual practices into modern STEM education, teachers can create an inclusive and efficient learning ecosystem that values both linguistic and intellectual diversity.

References

1. Cook, V. (2007). *Multilingualism in the Classroom*. Oxford: Oxford University Press.
2. Ferguson, G. (2003). Classroom code-switching in post-colonial contexts: Functions, attitudes, and policies. *AILA Review*, 16, 38–51.
3. Sert, O. (2005). The functions of code-switching in ELT classrooms. *The Internet TESL Journal*, 11(8).
4. García, O., & Wei, L. (2014). *Translanguaging: Language, Bilingualism and Education*. London: Palgrave Macmillan.
5. Probyn, M. (2015). Pedagogical translanguaging in South African science classrooms. *Language and Education*, 29(3), 218–234.
6. Turnbull, M., & Dailey-O'Cain, J. (2009). *First Language Use in Second and Foreign Language Learning*. Bristol: Multilingual Matters.
7. Cummins, J. (2000). *Language, Power and Pedagogy: Bilingual Children in the Crossfire*. Clevedon: Multilingual Matters.

MODERN INNOVATIVE METHODS OF TEACHING PHYSICS

Abdukadirov Umidjon Nazirovich

A senior teacher of Fergana state technical university

e-mail: umidjon.abduqodirov@fstu.uz Tel: +99897-590-74-00

Annotation: *This article examines modern innovative methods in physics education, emphasizing interactive, digital, and research-based approaches that increase student engagement and understanding of physical concepts. The transition from traditional lecture-based instruction to technology-enhanced, learner-centered environments promotes critical thinking, creativity, and problem-solving skills. The paper discusses such methods as inquiry-based learning, project-based learning, flipped classrooms, gamification, and the use of virtual laboratories. It is concluded that integrating these techniques into physics education significantly improves the quality of learning outcomes and fosters scientific curiosity among students.*

Keywords: *Physics education, innovation, inquiry-based learning, digital technologies, student engagement, virtual labs.*

Аннотация: *В статье рассматриваются современные инновационные методы преподавания физики, направленные на повышение активности и самостоятельности студентов. Переход от традиционных лекционных форм к технологиям, ориентированным на обучающегося, способствует развитию критического мышления и исследовательских навыков. В работе анализируются такие подходы, как обучение через исследование, проектная деятельность, перевёрнутый класс, геймификация и использование виртуальных лабораторий. Сделан вывод о том, что внедрение инновационных методик значительно повышает качество усвоения знаний и интерес студентов к изучению физики.*

Ключевые слова: *преподавание физики, инновации, цифровые технологии, проектное обучение, виртуальные лаборатории, активные методы.*

Annotatsiya: *Maqolada fizika fanini o'qitishda zamonaviy innovatsion metodlardan foydalanishning ahamiyati yoritilgan. An'anaviy dars shakllaridan raqamli texnologiyalarga asoslangan interaktiv yondashuvlarga o'tish talabalar faolligini, mustaqil fikrlash va tahliliy ko'nikmalarni rivojlantiradi. Maqolada tadqiqotga asoslangan o'qitish, loyiha asosida o'qitish, "flipped classroom", o'yinlashtirish va virtual laboratoriyalar kabi metodlar tahlil qilinadi. Xulosa shuki, innovatsion metodlarni fizika ta'limiga joriy etish o'quv jarayonining samaradorligini oshiradi va talabalarni fanga qiziqtiradi.*

Kalit so'zlar: *fizika ta'limi, innovatsion metodlar, raqamli texnologiyalar, loyiha asosida o'qitish, virtual laboratoriya, faol o'qitish.*

Introduction

In the 21st century, the teaching of physics is undergoing significant transformation. Traditional methods, which relied heavily on lectures and passive memorization, are no longer sufficient for developing analytical and creative thinking. Modern physics education requires interactive, interdisciplinary, and technology-based methods that help students understand abstract concepts through visualization, experimentation, and simulation. In the rapidly changing world of science and technology, the role of physics education has become more crucial than ever. Physics is not only a foundational natural science but also the basis for innovations in engineering, information technology, and sustainable development. However, traditional methods of teaching—centered primarily on lectures, rote memorization, and teacher-led demonstrations—often fail to inspire curiosity or develop higher-order thinking skills among students.

Contemporary learners require **interactive, student-centered, and technology-integrated learning environments** that reflect the realities of modern science. The challenge for educators today is to transform physics instruction from a passive transfer of knowledge into an **active process of discovery and problem-solving**. This transformation aligns with the global educational trends toward competency-based learning and the use of digital tools in the classroom.

Moreover, research in pedagogy and cognitive psychology has demonstrated that students learn physics more effectively when they are **actively engaged in inquiry, experimentation, and collaboration**. Innovative teaching methods, such as **project-based learning, flipped classrooms, gamification, and virtual laboratories**, have shown strong potential in enhancing motivation and improving conceptual understanding.

The integration of digital technologies—such as **simulations, augmented reality, and online experimentation platforms**—also enables students to visualize abstract phenomena, conduct virtual experiments, and apply theoretical concepts to real-life situations. These methods make physics more accessible, engaging, and relevant to 21st-century learners.

Therefore, this paper aims to analyze the most effective **modern innovative methods in physics education**, focusing on their pedagogical principles, technological tools, and impact on student learning outcomes. The study emphasizes the importance of combining innovation with methodology to prepare students for scientific inquiry, engineering creativity, and lifelong learning in a knowledge-based society.

Flipped Classroom Model

The flipped classroom model reverses the traditional structure: students first study the theoretical material at home (via video lectures, interactive presentations, or readings), and classroom time is devoted to discussion, experimentation, and application. This approach allows for more personalized and active learning, giving students responsibility for their own progress while enabling teachers to provide targeted support.

Gamification and Virtual Laboratories

Gamification introduces elements of competition, achievement, and reward into the learning process. In physics, it can take the form of simulations, quizzes, or interactive challenges that make abstract ideas tangible. Virtual laboratories, meanwhile, provide safe and accessible environments for conducting experiments that might be too complex or costly in real life. Platforms like *PhET Interactive Simulations* or *Labster* allow students to visualize phenomena such as electromagnetic fields or quantum effects, promoting deeper conceptual understanding.

Integration of Digital Tools

Modern physics education benefits greatly from digital tools — such as data loggers, sensors, augmented reality (AR), and artificial intelligence (AI). These technologies enable students to collect and analyze data instantly, simulate complex systems, and connect theory with real-world measurements. For example, using AR in mechanics lessons allows students to visualize force vectors and motion trajectories directly on their mobile devices.

Teacher's Role and Methodological Shifts

The role of the teacher is changing from knowledge transmitter to facilitator and mentor. Teachers guide students in inquiry, provide feedback, and design interactive learning environments. Professional development and digital literacy training are essential for teachers to effectively integrate these methods into their classrooms.

Conclusion

Innovative methods in teaching physics are transforming education from passive learning to active exploration. By integrating digital technologies, gamified learning, and inquiry-driven approaches, educators can foster curiosity and improve conceptual understanding. These methods not only make physics more engaging but also prepare students for the challenges of scientific and technological development.

Integrating **active learning, inquiry-based research, and digital technologies** transforms physics from a traditionally abstract discipline into a dynamic field of exploration. When students conduct virtual experiments, engage in simulations, or design practical projects, they not only acquire theoretical knowledge but also develop critical thinking, creativity, and collaboration skills. These competencies are essential for success in both academic and professional contexts.

Furthermore, the use of **flipped classrooms and gamified learning environments** increases motivation and personal responsibility for learning outcomes. Students become active participants rather than passive observers, gaining deeper conceptual understanding and long-term retention of physical principles. Virtual laboratories and interactive platforms make high-quality physics education more accessible, especially in resource-limited settings.

In conclusion, innovative methods in teaching physics not only improve the efficiency and engagement of the learning process but also prepare students for the demands of the 21st century. By combining digital tools, active learning strategies, and a research-oriented approach, educators can cultivate a generation of scientifically literate, creative, and environmentally conscious individuals. Such learners will be capable of applying physics to solve real-world challenges and contribute meaningfully to the technological and sustainable progress of society.

References

1. Bybee, R. W. (2013). *The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities*. Arlington, VA: NSTA Press.
2. Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(23), 8410–8415.
3. Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, *66*(1), 64–74.
4. Mazur, E. (1997). *Peer Instruction: A User's Manual*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
5. Redish, E. F. (2003). *Teaching Physics with the Physics Suite*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
6. Prince, M. (2004). Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education*, *93*(3), 223–231.
7. Novak, J. D., & Cañas, A. J. (2008). The theory underlying concept maps and how to construct them. *Technical Report IHMC CmapTools 2006-01*. Florida Institute for Human and Machine Cognition.

8. Finkelstein, N. D., Perkins, K. K., Adams, W. K., Kohl, P. B., & Podolefsky, N. S. (2005). Can computer simulations replace real equipment in undergraduate laboratories? *American Journal of Physics*, 73(9), 970–978.
9. O'Shea, P., Liu, L., & Michalchik, V. (2021). Innovative teaching strategies in physics education: A systematic review. *International Journal of STEM Education*, 8(1), 15–28.
10. UNESCO. (2022). *Reimagining Our Futures Together: A New Social Contract for Education*. Paris: UNESCO Publishing.

MUNDARIJA

RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR VA HISOBLASH FIZIKASINING YANGI YONDASHUVLARI		
1	Насриддинов С.С., Мавлянов А., Абдалова С.Р. Сунъий интеллект: муаммолар, ечимлар ва истиқболлар	3
2	Юсупов Ёдгор Акбарович., Применение цифровых систем для мониторинга выбросов CO ₂ на объектах энергетики	8
3	Насриддинов С.С. Цифровые технологии: проблемы, решения и перспективы	10
4	Jumanova Zuxra Xolbayevna. Raqamli texnologiyada mobil tarmoqlari uchun NB-IoT texnologiyasi usullari tahlili	13
5	Bozarov Вахромжон Иломович. Hisoblash fizikasida raqamli transformatsiya va zamonaviy algoritmik yondashuvlar	17
6	Abdukadirov Bakhtiyor. Overview of object tracking algorithms	20
7	Muxammadyoqubov Xusanboy Elmurod o'g'li. Erkin konveksiya jarayonida havoning tezligini sonli o'rganish	24
8	Axmedova Xurshidaxon Ne'matjon qizi. Raqamli texnologiyalar yordamida hisoblash fizikasi modellarini takomillashtirish	26
9	Суярова Айнур Ибодуллаевна, Инатова Шахло. Новые подходы цифровых технологий и вычислительной физики	28
10	Mannonov Muzaffar Ibragimovich. Yarim o'tkazgich tadqiqotlarida sun'iy intellekt va raqamli modellashtirishning ilmiy ahamiyati	31
11	Minamatov Yusupali Esonali o'g'li. Raqamli texnologiyalar asosida zamonaviy fizika tadqiqotlarida sun'iy intellekt va hisoblash usullarini qo'llash	33
NANOTEXNOLOGIYALAR VA ZAMONAVIY MATERIALSHUNOSLIK		
12	Karimberdi Egamberdiyevich Onarkulov, Jo'rayeva Gulnoza Fazlitdinovna. Kadmий teluridi asosida yarim o'tkazgich plyonkalarida difuziya jarayonlari	36
13	Расулов А., Иброхимов Н.. Процессы образования нано пленок при осаждении кластеров на поверхность кристалла	39
14	Normuradov M., Xoliqulova S.Yu. Mikroelektronikadan nanoelektronikaga o'tish	43
15	Yakubova Shohidakhon Kodirovna, Kamolidinov Nuridin Subkhonidinovich. Basic properties of atomic nuclei	46

16	Murodov J.X., Yuldashev Sh.U., Arslanov A.O. P-SI/SiO ₂ /CO:SNO ₂ da ndr effektidan nanoklaster o'lchamini topish	49
17	Daminov Rakhimjon Shokir ugli., Avloni Jamshid Kenja., Qambarova Muhayyo Sodiqjon qizi. Graphene synthesis from graphite by arc welder-based thermal exfoliation: a raman study	52
18	Ochilov Odil, Qulmatova Gulzoda Abduravup qizi. Nanoo'lchamli ferrimagnetik plyonkalar (YIG, Bi:YIG, Ce:YIG)ning optik va magnitoptik xossalari	55
19	Шамсутдинов Баходир Фахриддинович. Технологии создания химически устойчивых покрытий на основе наночастиц диоксида титана.	57
20	Isroilov Adizjon Alijonovich. Z-skan jarayonida barqarorlikni aniqlashda atsetonning ahamiyati	61
21	Rasulov A., Ibroximov N., To'xtasinov A. Molekulyar dinamika usulining zamonaviy materialshunoslikda qo'llanishi	63
KONDENSIRLANGAN HOLAT FIZIKASINING DOLZARB MUAMMOLARI		
22	Ахунова Ё., Юлдашев Н.Х. Роль внутренних напряжений в деформационных характеристиках плёнок Bi ₂ Te ₃ -Sb ₂ Te ₃	67
23	Muhammad Saddique, D.X.Tolaboyev, M.F.Akhmadjonov. MOCVD Heteroepitaxial Growth of Gallium Nitride Using Conventional and Patterned Sapphire Substrate (PSS)	71
24	Сергиенко Д.Ф., Паровик Р.И. Эффективность численных методов и нейросетевого подхода ринп в решении задач моделирования геоакустической эмиссии с одним дислокационным источником	74
25	Ахунова Ё., Юлдашев Н.Х. Создание пленочного тензодатчика усталостных повреждений на основе твердого раствора (Bi _x Sb _{1-x}) ₂ Te ₃	77
26	Ахмадалиев Б.Ж. Бўйлама экситон нурлана оладиган геометрияда экситон-поляритон люминесценциясининг назарий хисоблаш	86
27	Касимахунова А.М. Мамарасулов К.Ш.оглы. Влияние диффузии носителей заряда и их рекомбинации на образование фототока при нестационарном освещении	91
28	Sultonov N. A., Mirzajonov Z., Madraximov M. M. SnO ₂ asosidagi yupqa qatlamlar va SnO ₂ /Si geterostrukturalarning optoelektron xossalari	96
29	Polvonov B.Z., Ruzmatova B.S., Fozilova M.D., Abdubannobov M.I., Nabiyeva M.B., . Zaylobiddinov B.B. The role of ionizing radiation in the formation of defects in polycrystalline materials	98

30	Нурматов О.Р. Изучение ФЭС- как метод исследования параметров примесных центров в пленочных структурах	101
31	Yusupova D.A., Sirojiddinova S.Z., Samatova M.A. Bi–Sb–Te tizimidagi qotishmalarning termoelektrik xossalari va deformatsiyaga sezgirlik mexanizmlarining tahlili	103
32	Abdukarimov A.A, Nishonov A.N. Organik quyosh elementlari uchun PEO–PC–EC/NH ₄ I polimer elektrolitining ion o'tkazuvchanligi tahlili	107
33	Мовлонов Пахловон Иброхимович. Влияние потока электронов и ультрафиолетового облучения на светоизлучающие и фотоэлектрические приборы	109
34	Султанов Н.А., Мирзажонов З. Спектры ФЛ кремния, легированного селеном.	115
35	Otajonov S.M., Saburova G.G., Ibraimova H.J. Yavidov B.Ya. La _{2-x} Sr _x CuO ₄ kupratidagi zaryad tashuvchi massasining legirlash darajasiga bog'liqligini bipolaron modeli asosida o'rganish	117
36	Жураева Гулноза Фазлитдиновна. Влияние радиационных облучений на фоточувствительные пленки PbS	118
37	Otajonov S.M., Saburova G.G., Ibraimova H.J. Yavidov B.Ya. YBa ₂ Cu ₃ O _{6+x} kupratida zaryad tashuvchi massasining legirlash darajasiga bog'liqligini bipolaron modeli asosida o'rganish	122
38	Мирзажонов Махмуд Ахмадович, Сатволдиев Иномжон Абдусалимович. Легирование базового материала CdS для солнечных фотопреобразователей на основе гетероперехода CdS – Cu _{2-x} S	124
39	V.T.Mirzayev. CdSe polikristall yupqa plyonkalarining optik xususiyatlari	132
40	Abdullayev Sherzod Shuxratjon o'g'li. Kumush bilan legirlangan nanokristalli CdTe-SiO ₂ -Si getrostrukturalarining fotoelektrik xususiyatlari va struktura bog'liqligi	137
41	Умирзаков Б.Е., Исаханов З.А., Мустафаева Н.М., Махмудов М.М. Исследование механизмов формирования омических контактов и барьерных слоев на поверхности многослойных структур	139
42	Жумабаева Г.К., Нурниязов П.К. Отличительные особенности метал/сверхпроводник-диэлектрик переходов в легированных купратах на основе La С примесями большого радиуса	141
43	Mamadiyeva Dilxumor Tolibjonovna. Yaqin o'tkazgichlar fizikasining eng so'nggi yutuqlari va ularning ahamiyati	143
44	Ахмадалиев Б.Ж.	145

	Бир ўқли кристаллларда нурланувчи аралаш экситон-поляритон ва экситон-бир жинсли бўлмаган модалар дисперсияси	
ОПТИКА, ФОТОНИКА ВА КВАНТ ЭЛЕКТРОНИКА МУАММОЛАРИ		
45	Onarkulov Karimberdi Egamberdiyevich. Optoelektronikada qo'llanuvchi optronlar	151
46	Valikhonov Akramkhon Avazkhon ugli. Mid-infrared (2–5 μm) led laser sources for selected gas detection (CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S)	154
47	Касимахунова А.М., Нурдинова Р.А. Исследование гибких и биосовместимых термоэлектрических материалов для медицинских применений	156
48	Akhmadjanov T., Kholmatova O., Maksoudboyeva O., Samarboyev S. Study of wavefront dislocations and speckle dynamics with changing polarization	158
ENERGETIKA VA EKOLOGIK BARQARORLIKDA RAQAMLI INNOVATSIYALAR		
49	Муминов Р.А., Аскарлов М.А., Имамов Э.З., Каримов Х.Н., Имамов А.Э. Система подготовки инженерно-технических кадров в условиях массового потребления солнечного электричества	163
50	Otajonov Salim Madraximovich, Yunusov Nurzodbek XXX, Boqirov Javohir Murod o'g'li, Mamasoliyeva Oygul Tohir qizi, Marupova Umidaxon Xaliqjon qizi. Yarimo'tkazgichlar asosida ishlovchi energiya manbalarining xususiyatlari va amaliy qo'llanilishi	172
51	Эргашев С.Ф., Умаралиев Н., Юсупов Ё. А., Эсоналиева Н.Р Цифровые системы для мониторинга параметров солнечных теплоэлектрических установок	175
52	Quchqarov Akmaljon Axmadaliyevich, Karimkulova Shaxnoza Kaxramanovna. Innovatsion ta'lim yondashuvlari orqali qayta tiklanuvchi energiya sohasida fazoviy va kreativ kompetensiyalarni rivojlantirish	178
53	Ergashev S.F, Rakhimov A.A. Analysis of generator efficiency in wind energy systems	181
54	Nizomov Norxuja Bahodirovich. Energetika sohasida raqamli transformatsiya va innovatsion boshqaruv	183
55	Холматова Дилором Абдусамиевна, Азамова Шукрона Дониер кизи. Цифровые инновации и поддержка потребителей	187
56	Xoliddinov I.X., O'lmasov J.F. Gibrid energiya tizimlari boshqaruvida noaniq mantiq kontrollerlaridan foydalanishning samaradorligi	189
57	Kamanova Gulxan Orinbekovna.	196

	Quyosh panellarini tozalashning innovatsion tizimi	
58	Ro'ziboyev V.U., Kamolova M.M., Axmedova Sh.Yu., Xolmatova R.M. Issiqlik sochilishi va atmosfera yutilishini inobatga olgan holda global quyosh nurlanishining tahliliy modellashtirilishi.	200
59	Sulaymonov Xusanboy Mannopovich. Energiya muammolari va ularni bartaraf etish yo'llari	204
FIZIKA FANINI O'QITISHNING ZAMONAVIY INNOVATSION METODLARI		
60	Ниязимбетова Н., Камалов А.Б. Роль экспериментов и наблюдений в повышении интереса учащихся на уроках физики	207
61	Polvonov Bakhtiyor Zaylobiddinovich, Fozilova Mokhichehra Dilmurod qizi. Developing combined-method lesson materials for "Radiation interaction with matter" in medical universities.	210
62	Dehqonova Oxistaxon Qosimjonovna. Fizikada magnit maydon va uni tavsiflovchi kattaliklar mavzusini o'qitishda dasturiy vositalardan foydalanishning afzalliklari	213
63	Мавлянов А., Пулатова Э. Повышение мотивации студентов к изучению предметов через использование искусственного интеллекта	217
64	Razzoqov Davron Niyozovich. Fizika fanini o'qitishda zamonaviy innovatsion metodlar	222
65	Umarov Abdusattor Ortiqovich. Elektr qarshiligi mavzusini fanlararo interfaol o'qitishda avtomobil transporti muhandisligi kasbiga yo'naltirish.	224
66	Sulaymonov Xusanboy Mannopovich. Fizika ta'limida ishlab chiqarish bilan integratsiyani ta'minlashning metodik asoslari va samaradorligi	229
67	E'zoza Fayzullayeva. Effective methods of organizing physics lessons based on the stem approach	231
68	Raxmonov Toxirbek Imomaliyevich. Texnika yo'nalishlari bo'yicha ta'lim jarayonida fizika fanini o'qitishning metodik asoslari	235
69	Raximjonov J.S. , Mavlonqulov T. V. Ta'limda innovatsion va interfaol metodlar integratsiyasi	236
70	Юсупова Д.А.; Сирожиддинова С.З.; Камолиддинов Н. Использование языка программирования python в преподавании физики в высших учебных заведениях	239
71	Khodjaeva Guzal Djahonobodovna. Code-switching as an innovative pedagogical tool in teaching physics	245
72	Abdukadirov Umidjon Nazirovich. Modern innovative methods of teaching physics	247

