

**ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ, ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР
ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ, САМАРҚАНД ДАВЛАТ
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.27.06.2017.ҒМ/Т.34.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ҚОРАҚАЛПОҚ ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

ДАУЛЕТМУРАТОВ БОРИБАЙ КОПТЛЕУОВИЧ

**Cd(Me)Te И Ga(As, Se, N) КРИСТАЛЛАРНИ ИМПУЛСЛИ ИШЛОВ
БЕРИШ УСУЛЛАРИНИ ОПТИМАЛЛАШТИРИШ**

01.04.10 – Ярим ўтказгичлар физикаси

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

ТОШКЕНТ – 2017

Докторлик диссертацияси автореферати мундарижаси
Оглавление автореферата докторской диссертации
Content of the abstract of doctoral dissertation

Даулетмуратов Борибай Коптлеуович Cd(Me)Te ва Ga(As, Se, N) кристалларни импульсли лазер ишлов бериш усулларини оптималлаштириш.....	3
Даулетмуратов Борибай Коптлеуович Оптимизация методов импульсной лазерной обработки кристаллов Cd(Me)Te и Ga(As, Se, N).....	21
Dauletmuratov Boribay Koptleuovich Optimization of the methods of pulsed laser processing of Cd(Me)Te and Ga(As, Se, N) crystals.....	39
Эълон қилинган ишлар рўйхати Список опубликованных работ List of published works.....	45

**ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ, ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР
ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ, САМАРҚАНД ДАВЛАТ
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.27.06.2017.ҒМ/Т.34.01 РАҚАМЛИ ИЛМий КЕНГАШ**

ҚОРАҚАЛПОҚ ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

ДАУЛЕТМУРАТОВ БОРИБАЙ КОПТЛЕУОВИЧ

**Cd(Me)Te И Ga(As, Se, N) КРИСТАЛЛАРНИ ИМПУЛСЛИ ИШЛОВ
БЕРИШ УСУЛЛАРИНИ ОПТИМАЛЛАШТИРИШ**

01.04.10 – Ярим ўтказгичлар физикаси

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

ТОШКЕНТ – 2017

Докторлик диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси хузуридаги Олий Аттестация комиссиясида В 2017.1.DSc/T29 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертация Қорақалпоқ давлат университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифага (fi-kengash.uz) ва “ZiyoNet” ахборот-таълим порталига (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи:	Власенко Александр Иванович физика-математика фанлари доктори, профессор
Расмий оппонентлар:	Гнатенко Юрий Павлович физика-математика фанлари доктори, профессор Касимахунова Анархан Мамасадиковна техника фанлари доктори, профессор Рахматов Ахмад Зайнидинович техника фанлари доктори, к.и.х.

Етакчи ташкилот: **Тошкент ахборот технологиялари университети**

Диссертация ҳимояси Физика-техника институти, Ион-плазма ва Лазер технологиялари институти, Самарқанд давлат университети хузуридаги DSc.27.06.2017.FM/T.34.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2017 йил «___» _____ куни соат ___ даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 100084, Тошкент шаҳри, Бодомзор йўли кўчаси, 26-уй. Тел./факс: (99871) 235-42-91, e-mail: lutp@uzsci.net, Физика-техника институти мажлислар зали).

Докторлик диссертацияси билан Физика-техника институти Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (04 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100084, Тошкент шаҳри, Бодомзор йўли кўчаси, 26-уй, Физика-техника институти. Тел./факс: (99871) 235-30-41.

Диссертация автореферати 2017 йил «___» _____ куни тарқатилди.
(2017 йил «___» _____ даги _____ рақамли реестр баённомаси)

С.Л. Лутпуллаев

Илмий даражалар берувчи бир марталик илмий кенгаш раиси, ф.-м.ф.д., профессор

А.В. Каримов

Илмий даражалар берувчи бир марталик илмий кенгаш илмий котиби ф.-м.ф.д., профессор

С.А. Бахрамов

Илмий даражалар берувчи бир марталик илмий кенгаш хузуридаги илмий семинар раиси ф.-м.ф.д., профессор

Кириш (докторлик диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти. Жаҳонда, бугунги кунда хар хил яримўтказгичларни ва структураларни импульсли лазерли ишлов бериш кенг қўлланилиши муносабати билан фотодиодларни, гамма нурлари ва рентген детекторларини, A^2B^6 каттик қотишмалар асосидаги инфрақизил сенсорларни тайёрлашда ишлатилувчи лазерли импульсли термик ишлов бериш, тоблаш, юзани тозалаш, лигерлаш, кристаллизацияни ўзгартириш, юпқа катламларни ўтказиш, абляциялаш, юзадан сочиш ва яримўтказгичларни наноструктуралаштириш мухим ахамиятга эга. Бу борада импульсли лазерли индуцирланган каттик ва суяк фазали лигерлаш истиқболли йўналишлардан бири бўлиб келмоқда.

Мустақиллик йилларида мамлакатимизнинг олимлари томонидан яримўтказгичга бошқарилувчи киришмалар киритишга, омик ва тўғриловчи контактларни ҳамда электик параметрлари берилган инверс ва варизон қатламларни шакллантиришга, лазерли тоблаш орқали яримўтказгичли структураларнинг фотоэлектик ва оптик характеристикаларини бошқаришга катта эътибор қаратилган. Бу йўналишда сегрегация, диффузия ва киришмаларнинг лазер ишлови орқали эриши бўйича аннанавий усулларга нисбатан сезиларли натижаларга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикаси янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси асосида яримўтказгичли асбобларда ташқи таъсир асосида кечаётган физик жараёнларни амалий тадқиқ этиш натижасида янги технологияларни жорий қилиш орқали фотоэлектроника соҳасининг самарадорлигини ошириш мухим ахамиятга эга.

Ҳозирги кунда жаҳонда параметрлари яхшиланган модификациялаштирилган структураларни олиш технологиясини, яримўтказгичларни ва улар асосидаги структураларни ишлов бериш усулларини муваффақиятли танлаш мухим ахамиятга эга. Бу борада мақсадли илмий тадқиқотларни, жумладан, куйидаги йўналишлардаги илмий изланишларни амалга ошириш мухим вазифалардан бири хисобланади: икки ва учлик каттик қотишмаларни наносекундли лазерли тоблашда урилиш тўлқини ва акустик аксланиши, диффузияланиш қонуниятлари ва мезанизларини бошқаришга йўналтирилган яримўтказгичли структуралар ва кристалларни лазерли ишлов бериш усулларини ишлатиш; яримўтказгичлар юзасига янги фотоэлектик хусусиятлар берувчи яримўтказгичли кристалларни импульсли лазерли ишлов бериш усулларини оптималлаштириш учун икки ва учлик каттик қотишмаларни наносекундли лазерли тоблашда киришмалар жойлашишини ва босимини, харооратини аниқлаш; нитрид галлий асосидаги ёғду диодларида люминесценлик ва электик характеристикалари ўзгариши ва акустик эмиссия билан боғлиқлигини ток ўтишида аниқлаш. Юқорида келтирилган илмий тадқиқотлар йўналишида бажарилаётган изланишлар мазкур диссертация мавзусининг долзарблигини изохлайди.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2010 йил 15 декабрдаги ПҚ-1442 – сон «2011–2015 йилларда Ўзбекистон Республикаси саноатини ривожлантиришнинг устувор йўналишлари тўғрисида» ҳамда 2017 йил 17 февралдаги ПҚ- 2789-сон «Фанлар академияси фаолияти, илмий –

тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чора тадбирлари тўғрисидаги Қарори» ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари равожланишининг асосий устувор йўналишларига боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти республика фан ва технологияларни ривожлантиришнинг III «Энергетика, энергоресурсстежамкорлиги, транспорт, машина ва асбобсозлик, замонавий электроника, микроэлектроника, фотоника ва электрон асбобсозлиги ривожланиши» устувор йўналишларига мувофиқ бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи¹.

Лазерли тоблаш орқали рентген ва гамма нурлари детекторлари параметрларини оптималлаштириш ва технологиясини яхшилаш бўйича илмий ва амалий тадқиқотлар етакчи илмий марказлар ва университетларда, жумладан, National Center for Biotechnology Information (АҚШ), Shizuoka University (Япония), ночизикли оптик жараён-ларнинг тадқиқотлари Вильгельм Вестфалиш университети (Мюнстер, Германия), Ража Раман номидаги илғор технологиялар маркази (Индор, Ҳиндистон), Империя коллежи (Лондон, Буюк Британия), Рокасолано физика-кимё институти (Мадрид, Испания), Илмий тадқиқотлар миллий инс-титути (Монреал, Канада), Тошкент давлат технива университети ва Самар-канд давлат университети томонидан ва дунёнинг бошқа мамлакатларидаги илмий марказларида олиб борилмоқда.

Дунёда структураларни тоблаш орқали импульсли лазерли лигерлаш усулларини яратиш бўйича ўтказилган тадқиқотлар натижасида қатор илмий натижалар олинган, жумладан, кескин *p-n*-ўтишли диодлар олиш технологиялари ишлаб чиқилган (Lapp Kabel и Карлсруэ, Германия), - наноструктураланган яримўтказгичли материаллар олиш бўйича қатор тадқиқотлар бажарилган (РОСНАНО. Россия), Умумий физика институти (Москва, Россия) ва лазерли – фазовий индуцирланган ўтишлар текширилган (University of Wisconsin Madison, США), (University Pierre et Marie Curie, Франция) (Forschungszentrum Julich Германия), Ўзбекистон Миллий университети, Самарқанд давлат университети, (Ўзбекистон).

Бугунги кунда детекторларни ядро медицинасида ҳамда техноген катастрофалар хисобига ва ядро ёқилғисини ишлатгандан сўнг ядро чиқиндилари билан боғлиқ бўлган атроф мухитни радиацион ифлослаштиришни назорат қилишга ишлатиш бўйича ва Ҳиндистон олимлари Mehendale S.C., Mishra S.R., ишида металл нанозарралари эритмаларининг ночизикли оптик параметрлари таҳлили импульс давомийлиги наносекунд бўлган паст қувватга эга ёруғлик майдонларида олиб борилиб, нанозарралар коллоид эритмаларидаги ночизикли оптик жавоблар иссиқлик ночизиклилиги билан

¹ Диссертациянинг мавзуси бўйича халқаро илмий-тадқиқотлар шарҳи Progress in the Development of CdTe - and CdZnTe Semiconductor Radiation Detectors for Astrophysical and Medical Applications. Review // Sensors. – 2009. No. 9. – P. 3491-3526; IEEE Transactions on Nuclear Science. – 2011. Vol. 58. Issue 5. Part 2. – P. 2363-2370 ва бошқа манбалар асосида бажарилган.

тушунтирилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Дунё амалиётида квантли чуқурларни ва гетероструктураларни, ҳар хил юпқа қатламларни олишда ўстирилаётган заррачалар энергетик спектрини бошқариш ва томчисиз ўстиришни таъминловчи импульсли лазерли ўстириш технологияси ишлатилади. Нанофотоника ва спинотроника структураларини яратишга фойдали эпитаксиал пленкаларни синтез қилишга қаратилган структура ва материаллар синтезини импульсли лазерли жорий қилишнинг янги ёндошишлари ишлаб чиқилмоқда.

Lagally M.G., Swartzentruber B.S. (АҚШ) ва Aqua J.-N (Франция) ҳамда Voigtlander B. (Германия) каби олимларининг ишлари кремний-германий ва квант чуқурли бошқа гетероструктуралар асосида фотоника учун нур қабул қилгичларни ишлаб чиқишга бағишланган. Аммо уларнинг шовқини ва спекрометрлик характеристикаларини яхшилаш муаммосини ҳал қилиш керак.

Бугунги кунга қадар тақиқланган зонаси кичик бўлган қаттиқ қоришмалар ва нанокиритмали яримўтказгичли структуралар олиш технологияси муаммоларини ечишга мустақил давлатлар олимлари, жумладан: П.Е. Мозоль, Е.А. Сальков (Украина фанлар академиясининг Яримўтказгичлар институти), В.М. Фальченко, В.Ф. Мазанко, Д.С. Герцрикен (Украина фанлар академиясининг Металлофизика институти), М.М. Берченко (“Львов политехника” Миллий университети), Л.А. Косяченко (Харьков физика – техника институти), В.И. Емельянов (Москва давлат университети), В.И. Иванов-Омский (Санкт-Петербург Физика-техника институти), М.Н. Либенсон (С.И. Вавилов номидаги Давлат оптика институти) ва В.А. Янушкевичлар ўз хиссаларини қўшган.

Охирги ўн йилликда кадмий теллуриди ва кадмий цинк теллуриди гамма ва рентген нурлари датчиги сифатида катта қизиқиш уйғотмоқда. Германий ва кремний асосидаги анаанвий спектрометрлар билан бир қаторда CdTe ва CdZnTe асосидиги спектрометрлар ҳам хона температурасида юқори эффективликка эга бўлмоқда. Шу билан бир қаторда тез масса кўчиш эффектлари, ёки наносекундли импульслар билан тоблашда атомлар ҳаракатчанлигининг юқорилиги CdTe, CdZnTe ларни металл пленкаси – структурасини тоблашда технологиклиги, ва асбобли структуралар тайёрлашда керакли параметрларини бошқариш осонлиги жуда катта амалий аҳамиятга эга.

К.П. Абдурахманов, Т.М. Разиков ва Н.Х. Юлдашевларнинг ишларида металл-диэлектрик-яримўтказгич структураларда қолдикли чуқур марказларнинг тадқиқот натижалари, ҳамда теллурид кадмий ва унинг брикмаларидаги рекомбинация ва генерацияли жараёнларнинг фундаментал жихатлари келтирилган. Аммо бугунги кунда наносекундли импульсли лазер билан тоблашда яримўтказгич – металл пленкаси структураларида масса кўчиши жараёнларининг хусусийлиги ва физик механизмлари аниқланмасдан қолаёпти.

Cd(Me)Te ва Ga(As,Se,N) юза қатламлари структурасини бошқарилувчи ўзгартириш муаммоси уларнинг оптик ва люминисцентли, электрик, фотоэлектрик хусусиятларини лазерли тоблаш ёрдамида эффектив бошқариш ўз ечимини талаб қилади.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасаси илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Қорақалпоқ давлат университети илмий-тадқиқот ишлари режасининг П–18.52-сон «Қуёш элементлари учун мўлжалланган кремний пластиналари олиш технологияларини ўрганиш ва ишлаб чиқиш» (2003–2007 йй.) мавзусидаги ҳамда Қорақалпоқ давлат университети ва Украина Миллий фанлар академияси Яримўтказгичлар физикаси институти билан «Яримўтказгичли материаллар ва структуралар барқарорлигини башорат қилиш ва назорат қилишнинг акустоэмиSSION экспресс усулини яратиш ва ишлаб чиқиш» (2014 – 2017 йй) илмий тадқиқот лойихалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади Cd(Me)Te ва Ga(As,Se,N) кристалларида дефектлар хосил бўлиши, диффузия, тўлқинли тўқнашув жараёнларини, акустик эмиссия ва ночизикли оптик эффектларнинг содир бўлишини бошқариш ва лазерли наносекундли ишлов бериш жараёнларини оптималлаштиришдан иборат.

Тадқиқот вазифалари:

In/CdTe структураси ва CdTe асосидаги учталиқ қаттиқ қотишмаларда, CdTe наносекундли лазер ёрдамида тоблашни лазерли ишлов бериш технологиясида ишлатишни ўрганиш;

CdTe наносекундли лазерли тоблашда узиб-уланиш хусусиятига эга Te – CdTe структурасини тайёрлаш усулини ишлаб чиқиш;

импульсли лазер тоблашидан кейин яримўтказгичлар юза қатлами ҳолатини бузмайдиган усулларни ишлаб чиқиш;

CdTe, CdZnTe, CdMgTe, CdHgTe яримўтказгичлар юзасининг янги фотоэлектрик хоссаларини олиш, импульсли лазер тоблаш режимини оптималлаштириш;

берилган кристалларни импульсли лазерли тоблаш усулини оптималлаштириш учун In/CdTe структураси ва CdTe асосидаги учталиқ қаттиқ киришмалар, CdTe наносекундли лазерли тоблашда босим ҳарорат градиентларини ҳисоблаб чиқишни йўлга қўйиш;

GaN асосидаги ёғду диодларидан ток ўтганда уларни диагностика қилиш ва барқарорлигини башорат қилиш учун электрик, люминисцентли характеристикаларининг ўзгаришини акустик эмиссия билан бошқарилишини аниқлаш.

Тадқиқотнинг объекти импульсли лазерли тоблашдан ўтган Cd(Me)Te, Ga(As, Se, N) яримўтказгичлардан иборат.

Тадқиқотнинг предмети дефектлар хосил бўлиш жараёни, масса ташилиши, урилиш тўлқини, мураккаб яримўтказгичларни наносекундли лазерли тоблашдаги акустик эмиссиясини ўрганишдан иборат.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертацияда ёруғликнинг комбинацион сочилиши, фотоўтказувчанлик, фотолюминесценция, электролюминесценция, оптик ўтказувчанлик, икки фотонли ютилиш, индуцирланган ютилиш ва ойдинлашиш, Оже-анализ, қатламли ва селектив емириш, юза морфологиясини ўрганиш, вольт-ампер, вольт-фарад характеристикалар, акустик эмиссия усули, назарий ҳисоблашлар қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

CdTe, CdZnTe юқори омли кристалларига рубин лазерининг наносекундли импульслари билан ишлов берилганда юза холатининг яхшиланиши кўрсатилган;

юза рекомбинацияси тезлигини камайтириш ва сезгирлигини ошириш, ҳамда фотоўтказувчанликни ва фотолюминесценциянинг спектрал диапазонини ўзгартириш шароитлари топилган;

лазер технологиялари асосида CdTe ва GaAs учун импульсли лазер таъсирида акустик нурланиш энергияси ва амплитудаси ўзгаришини таъминловчи яримўтказгичли кристаллар эрий бошлашини аниқловчи акустоэмиссион усули ишлаб чиқилган;

CdTe наносекундли лазерли тоблаш йўли билан хотирали электрон узиб – уланиш хусусиятига эга Te-CdTe структурасини тайёрлаш усули ишлаб чиқилган;

импульсли лазерли тоблашда, акустик нурланиш механизми асосида яримўтказгичли CdTe ва GaAs монокристалларининг эрий бошлаш шароитлари аниқланган;

яримўтказгичлар юзасини импульсли лазерли тоблашнинг оптималлаш усули ва қонуниятлари CdTe ва унинг асосидаги қаттиқ эришмалар, GaAs, GaSe ларни лазерли ишлов бериш технологиясида ишлатилиши мумкинлиги топилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

CdTe, CdZnTe юқори омли кристалларига рубин лазерининг наносекундли импульслари билан ишлов берилганда юза холатининг яхшиланишини ноёб материалларга лазерли ишлов беришда қўлланилиши мумкин;

яримўтказгичли материаллар ва структуралар барқарорлигини таъминлаш ва назорат қилишнинг акустоэмиссион экспресс усуллари ёғду диодларини гуруҳларга ажратишда ишлатилиши мумкин.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги замонавий илмий ва технологик усулларни қўллаш, текширишнинг стандарт ва апробация қилинган усулларини, берилганларни ва комплекс мустақил ўлчаш усулларини қўллаш, ҳамда натижаларнинг ҳозирги замон яримўтказгичлар физикаси ва техникасига тушунчаларига мослиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти шундаки, дефектлар ҳосил бўлиш жараёни, масса ташилиши, урилиш тўлқини, мураккаб яримўтказгичларни наносекундли лазерли тоблашдаги акустик эмиссиясини ўрганиш кристалларни юқори қувватли наносекундли лазерли тобланишида содир бўлувчи ўта тез ночизикли физик жараёнларни тушуниш учун муҳим аҳамиятга эга.

Тадқиқотнинг амалий аҳамияти яримўтказгичлар хусусиятини модификациялаш ва уникал оптик, фотоэлектрик хусусиятли янги қатламлар ва структуралар олишда, қайсиларки хархил сенсорлар ва детектор асбобларида қўлланилади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.

Кристалларга импульсли лазерда ишлов беришнинг ва ночизикли

оптик эффектларнинг диффузия ва нуқсонлар ҳосил бўлишига таъсирини ўрганиш асосида:

ишлаб чиқилган яримўтказгичли материаллар ва структуралар барқарорлигини таъминлаш ва назорат қилишнинг акустоэмиSSION экспресс усули InGaN ёғду диодларини танлашда ва «Полтава» корхонасида «Универсал УТОГ» ёриткичларини серияли ишлаб чиқаришда фойдаланилган (Полтава Миллий техника университетининг 2016 йил 15 августдаги маълумотномаси). Илмий натижанинг қўлланиши ёриткичларнинг ёруғлик коэффицентини 3%га оширишга имкон берди;

CdTe индий билан наносекундли лазерли каттик фазадан лигерлашдаги масса кўчиш механизмлари; CdTe да индийнинг масса кўчиш коэффицентлари, CdTe ва GaAs монокристалл бирикмаларининг локал эриш сабаблари, $\lambda=0,94$ мкмли бир марталик наносекундли (20 нс) тоблашдаги монокристалл юзаларининг топилган эриш чегаралари, GaN асосидаги гетероструктураларнинг электрик ва люминисцентлик характеристикалари ўзгариши ва акустик эмиссия пайдо бўлиш жараёнлари ўртасидаги аниқланган боғлиқлик бўйича олинган натижалар Қорақалпоқ давлат университети Ф-2-ОТ-1-10079 «Яримўтказгичларда нуқсонлар ҳосил бўлишининг лазерли-индуцирланган ночизик жараёнларининг хусусийлиги» грант лойиҳасини бажаришда қўлланилган (Ўзбекистон Республикаси Фан ва технологиялар агентлигининг 2017 йил 21 февралдаги ФТК-03-13/677-сонли маълумотномаси). Илмий натижаларнинг қўлланиши ёғду диодлари барқарорлигини ва текширишнинг экспресс-тезкор усулини яратиш имконини берган;

Теллур ва индий материаллари учун Раман сочилиши ва индий атомларининг кадмий теллурга атом массасининг ўтиш механизмлари бўйича олинган натижалар хорижий илмий журналларда (Journal of Applied Physics 119, 024106 (2016) 10.1063/1.4937996; Chem. Mater., 2014, 26 (7), pp 2313-2317; Sensors and Actuators B: Chemical. Volume 191, February 2014, Pages 673-680) урилиш тўлқини ҳосил бўлишининг чуқурлигини аниқлаш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 22 та халқаро ва республика анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 40 та илмий иш, шулардан ЎзР ОАКнинг докторлик диссертациялари асосий натижаларини чоп этиш тавсия этилган нашрларда 17 та мақола нашр этилган, 1 та фойдали намунага патент олинган.

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертация ҳажми 208 бетдан иборат, кириш, бешта боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат.

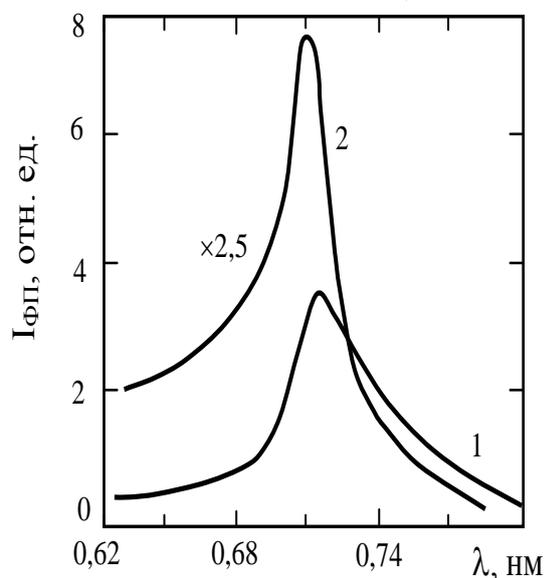
ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурияти асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён этилган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Мураккаб яримўтказгичларни ва улар асосидаги структураларни импульсли лазерли тоблаш усуллари ривожлантириш келажаги ва муаммолар ҳолати**» деб номланган биринчи бобида адабиётлар асосида таҳлил келтирилган. Cd(Me)Te и Ga(As, Se, N) мураккаб яримўтказгичларга нисбатан импульсли лазерли тоблаш усулини фотоэлектрик, электрик, люминисценли ва оптик хусусиятларини бошқариш даражасига кўтариш учун комплекс муаммоларни ечиш кераклиги аниқланган. Келтирилган экспериментал ва назарий натижалар асосида масалалар қўйилиши шакллантирилган.

Диссертациянинг «**Наносекундли лазерли тоблашда CdTe асосидаги яримўтказгичли қаттиқ котишмаларининг фотоэлектрик ва структуравий хусусиятларининг ўзгариши**», номли иккинчи боби CdTe и CdZnTe эритма монокристалларининг электрик нобиржинслигига фонли ифлосланишининг таъсирини кўришга бағишланган.

Mg_{0,20}Cd_{0,80}Te фотоўтказувчанлиги иаксимумининг қисқа тўлқинлар соҳаси томонига силжиши, бизнинг ҳолатда 8 нм (расм 1) шуни



1-тоблагунча; 2-тоблашдан кейин

1 расм. Фотоўтказувчанлик спектрлари Mg_{0,20}Cd_{0,80}Te (T= 300 К) тоблашдан олдин ва кейин D = 4Дж/см² (при I = 20 МВт/см²) дозада

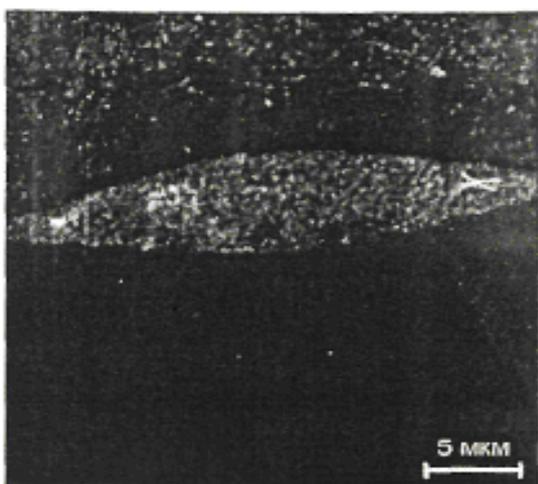
кўрсатаёттики, кристаллнинг юзаки сиртида тақиқланган зонаси катта бўлган қатлам ҳосил бўлаяпти, бунга CdTe нисбатан қисқа зонали компонентасининг камайиши тўғри келаяпти. Фотоўтказувчанлиги бўйича тақиқланган зонанинг ошишини ҳисоблаш, ҳамда фотолюминесценция тадқиқотлари натижалари ва Mg_{0,20}Cd_{0,80}Te қаттиқ қоришмалар спектри комбинацион ёруғлик сочилиши шундай ҳулоса қилишга имкон берадики, тобланган кристаллнинг компоненталар состави юза сиртида 3% га ўзгаради. Mg_{0,20}Cd_{0,80}Te кристаллини рубинли лазер билан тоблаганда унинг тенг мувозанатли ўтказувчанлиги (σ_T) ва фотоўтказувчанлиги ($\sigma_{св}$) $10 \div 10^3$ марта ошиши кузатилди.

Бу ўзгаришлар кристалларни зичлик қуввати баъзи-бир чегаравий $I_{\text{п}}$ (юзанинг холатига боғлиқ, намунанинг биржинслилиги ва х.к.) қийматидан катта бўлган лазер импульси берилганда содир бўлади.

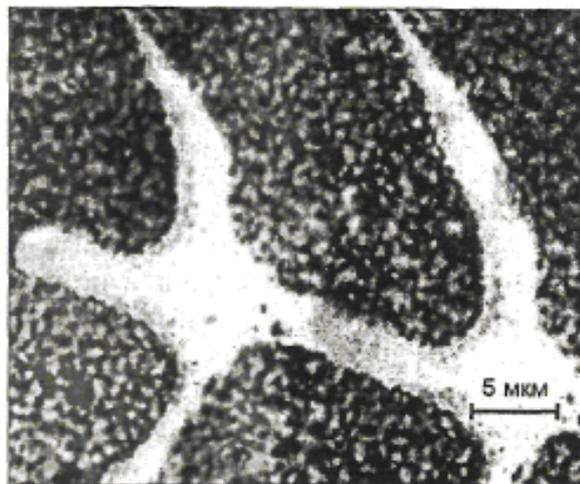
Хар хил шароитларда зазер билан таъсир қилишдан аввал ва сўнг CdZnTe монокристаллари ва юқори омли p -CdTe ҳамда улар асосидаги тўсиқли структураларнинг фотоэлектрик ва электрик хоссалари ўрганилган. Намуналарни рубинли лазернинг наносекундли импульслари таъсири икки усул билан амалга оширилади. Биринчи ҳолатда Cd(Zn)Te кристалларининг айнан юзасига лазер нурлари таъсир қилинган. Маълум диапазон интенсивлигида тобланиш юзаки рекомбинацияни камайтиришга ва сигналнинг фотоўтказувчанлигини оширишга олиб келди. CdZnTe кристалларнинг юзасида нисбатан тақиқланган зонаси каттароқ соҳа шакллантирилган эди. Иккинчи ҳолатда намуналар нисбатан қалинроқ бўлган лигерловчи индий пленкаси қопланган томонидан тобланди, қайсики ВАХни тўғриланишига ва натижада Cd(Zn)Te юпқа юза соҳасини лазерли – индуцирланган лигерлашга ва киритилган p - n -ўтиш шаклланишига келтирди. Ишлаб чиқилган М- p - n структурали In/Cd(Zn)Te/Au диодларни татбиқ қилиш муҳокама қилинган.

8÷12 мкм спектрал диапазон учун қайсики Инфрақизил фотоэлектрониканинг база материали бўлган $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ $x \sim 0,2$ да нобиржинскиликлар ҳосил бўлишининг механизмлари, хусусан, фазовий диаграммаларда солидус ва ликвидус чизиқлари орасидаги сезиларли фарқланиш ва, оқибатда (Hg) симоб парларининг юқори қайишқоқлиги ва катта учувчанлиги, сегрегацияга юқори қобилияти, гравитацияли сегрегация, (Te) теллурнинг ретроградли эрувчанлиги ва х.к.

Преципитатларнинг шахсий компоненталари хархил шаклга эғалиги диссертация ишида аниқланган: Те киритмалари чўзилган шаклга эға; сферага ўхшаш рельеф юзаси эркин симоб борлиги билан боғлиқ (расм 2).



а) диск формада



б) дендрит формада

2 расм. Хар хил формадаги Те нурларида Те ажралишили КРТ намунаси юзасининг фотоси

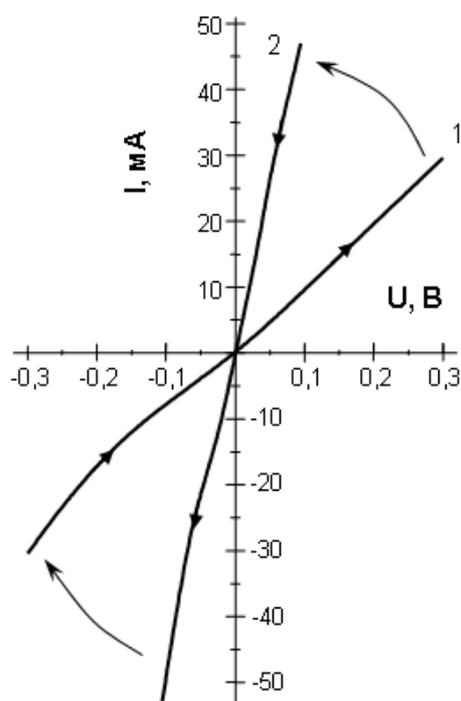
Эркин энергия учун тенгламанинг тахлили асосида кўрсатилган, кайсики Те преципитатлари қайишқоқлик кучланишлари энергиясининг ошиш шароитида ҳосил бўлади, Hg киришмалари эса – сиртки тортилиш энергиясининг ошиши шароитида ҳосил бўлади.

CdZnTe монокристалларининг юқори омлик ҳолатлари хусусийлиги канал ўтказувчанлиги ҳосил бўлиши билан анализ қилинган. Кристалл решеткасида зарядланган фонли донор ва акцепторларнинг биржинсли бўлмаган фазовий жойлашиши кристал хажмида электрстатик потенциалнинг тегишли модуляцияси билан кузатилади. Кучли сийраклашган сохали узлуксиз электр тўсиқларининг борлиги, қайсиларки ўзини диэлектрик сифатида намоён қилади, ва CdZnTe хажмида электрстатик потенциаллар ўрқачи сифатида ўтказувчанлик характерини ўзгартиради.

Хусусан, монокристалларда оқиш сатхлари ҳосил бўлади, яъни энергия қийматлари, қайсиларида ўтказувчанлик электронлари ташқи майдон кучлари чизиқларига бурчак остида ҳаракат қилиб туннеллашмайди, айнан электрстатик потенциаллар ўрқачларини айланиб ўтади.

Учинчи бобда **“Те-CdTe структурасининг шаклланиши, импульсли лазерли тоблашда In-CdTe структурасида масса ташилиши ва тўқнашув тўлқини”** ўрганилган. Ҳамда CdTe сиртида кимёвий емириш ва импульсли лазер тоблаш натижасида теллур пленкасининг ҳосил бўлиши кўрилган.

Те-CdTe структурасида узиб-уланиш эффекти кўрсатилган ва бу эффектнинг механизми таклиф қилинган. Берилган CdTe кристаллининг структурасига



Юқори омлик ҳолатдан (1. чиз.) кичик омлик ҳолатга ўтиш (2 чиз)

3 расм. ВАХ структуры Te-CdTe:In
(ρ CdTe = 10^5 Ом·см при 300 К)

ва ўтказувчанлик типига қарамасдан уни қувват зичлиги $I=3\div 5$ МВт/см², $\tau_{\text{имп}} = 20$ нс рубинли лазер билан тоблагандан сўнг Те-CdTe структураси ҳосил бўлади, қайсики электрон узиб-уланиш хусусиятига бўлиб ва унинг асосида хотирали узиб-уловчи элемент яшаш мумкин. Узиб-уланишнинг бошланғич қиймати берилган кристаллининг қаршилигига боғлиқ. In/Te-CdTe/In узиб-уловчи структуранинг вольт-ампер характеристикаси олинган (3 расм). CdTe монокристалларининг сиртида наноўлчамли кимёвий боғланмаган теллур билан тўйиниш механизми икки фаза чегарасида локаллашган кетма-кет кимёвий реакциялардур.

CdTeнинг полировка қилувчи бромли эритма билан кимёвий реакцияси икки стадияли характерга эга ва CdTe

сиртида кимёвий эркин теллурнинг ажралиш реакцияси тезлигининг тетрабромид теллур бирикмасига айланиш тезлигидан устунлиги ҳисобига амалга ошади.

CdТенинг бромли эритма билан реакцияси қуйидаги умумий тенглама билан ифодиланади:



CdBr_2 реакция махсулоти кристаллогидратдан иборат ва элементар Те билан солиштирганда нисбатан ажралиб турувчи асосий хусусияти намоён қилиб эритма билан ўзаро реакцияси тез бўлиб тезроқ эрийди. Шунинг учун сиртнинг ортикча бўлган теллур билан тўйиниши чучук эритмада унинг эрувчанлигининг нисбатан камлиги билан шартланади.

In-CdTe структурада индий томонидан наносекундли лазер билан тоблангандаги масса кўчиш механизмлари муҳокама қилинган.

CdTe импульсли лазер таъсирида дефект ҳосил бўлиши ва масса кўчиш механизмларидан бири зарбли тўлқин фронтида атомларнинг кўпмарталик индивидуал тўқнашиши, бунда зарбли тўлқин фронти орқали термодинамик катталиклар сиртки узлуксизликлар узилиши орқали модда оқими оқади.

Зарбли тўлқин деб фронти «тўнкарилган» тўлқин тушунилади, қайсики моддада ҳаракатланувчи сирти ажралган узлуксиз босим, ҳарорат ва бошқа катталиклар. Термик таъсири зонасидан ташқари, зарбли тўлқин шаклланиши ва ҳаракатланиши онда фронт соҳасида дефектларнинг интенсив генерацияланиши содир бўлади, қаерда структуравий ва нуктали дефектлар концентрацияси максимуми намоён бўлади.

Зарбли тўлқиннинг индийда ва CdTe ҳосил бўлиш чуқурлиги уларнинг юзасига импульсли лазер таъсирида қуйидаги ифода билан ҳисобланиши мумкин

$$l_{\text{yB}} = \frac{2c_l^2 \tau_{\text{um}}}{\zeta(m+1)} \left[\frac{2\rho}{\bar{\chi}(\gamma-1)(1-R)E\alpha_\lambda} \right]^{1/2}$$

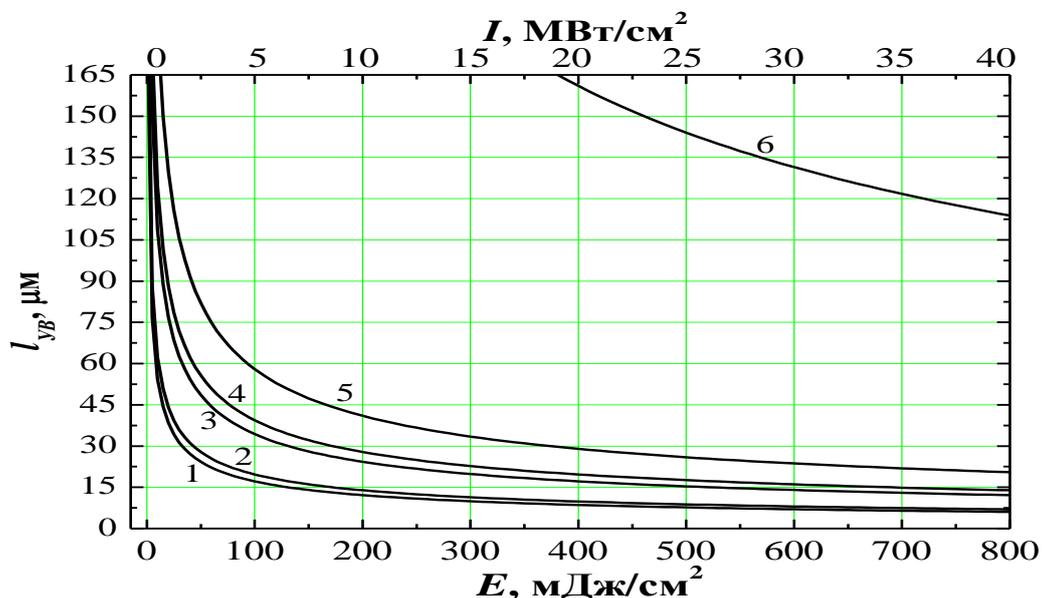
Бу ерда: c_l – бўйлама акустик тўлқиннинг тезлиги, τ_{um} – лазер импульсининг узунлиги, ρ – зичлик, ζ – сиртки катламнинг тезлиниш бирлиги параметри, m – изэнтропа кўрсаткичи, $\bar{\chi}$ – импульс фронти бузилишлари коэффицентининг эффективлиги– адиабата кўрсаткичи, R – қайтариш коэффиценти, E – лазер импульсининг энергия зичлиги, α_λ – оптик ютилиш коэффиценти. $\bar{\chi} = 1$, $\zeta = 1$, $m = 3$, $\gamma = 5/3$.

4 расмда CdTe ва индийда лазер импульсининг энергия зичлигига қараб зарбли тўлқин ҳосил бўлиши чуқурлиги ҳисоби келтирилган.

Зарбли тўлқин ҳосил бўлиши чуқурлигининг l_{yB} ҳисоби шуни кўрсатдики, бундай тўлқин тобланининг $E = 10\text{-}500$ мДж/см² технологик режимида 7 мкм гача индий пленкасида ҳосил бўлмайди (4 расм), ва In қалинлиги 30-400 нм бўлганда CdTe кристали ҳажмида индий ўтиш чуқурлигидан анча кўп масофада зарбли тўлқин ҳосил бўлади. CdTeда зарбли тўлқиннинг ҳосил

бўлишида ва харакатида ҳамда ҳосил бўлишидан олдин босим градиентининг узвий ошиши дислокациялар ҳосил бўлишига олиб келади.

Чуқурлик билан дислокациялар зичлиги ошиб боради ва зарбли тўлқин ҳосил бўладиган жойда максимал қийматга эга.



Индей учун $R = 0.6$ (1 и 2) ва $R = 0.9$ (3 и 4), CdTe учун $R = 0.43$ (5 ва 6) (1, 3, 5) – эксимерли; (2, 4, 6) – рубинли

4 расм. In (1-4) ва CdTe (5 и 6) ультра товуш ҳосил бўлишининг чуқурлиги хар хил лазерларнинг импульсли энергиясининг чуқурлиги

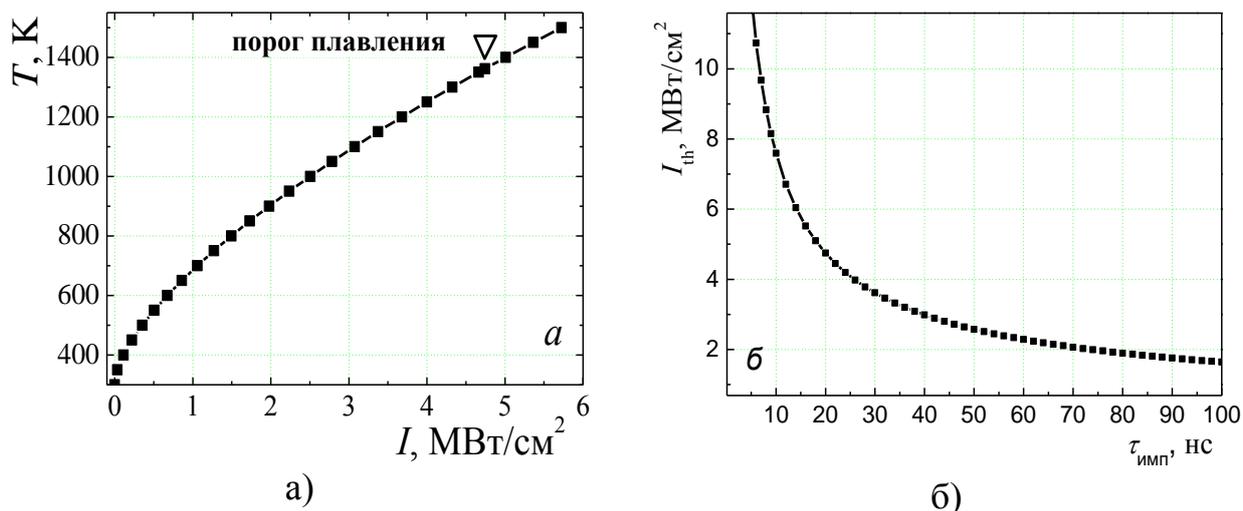
In-CdTe структурасида наносекундли лазер таъсирида In атомларининг CdTe тез ва чуқур кириши босим ва термодиффузия механизми ҳисобига босим ва харарат градиенти билан стимуллаштирилган индей атомларининг CdTeга кўчиши, ҳамда иссиқлик деформациясида йиғилган босим тарқалишида Inга фазовий ўтишда, парлар ва “зарбли” тезликдаги плазмалар ҳосил бўлиши билан тушунтирилади.

Рубинли лазер билан наносекундли таъсир қилингандаги CdTe сиртки температураси ҳисобланган.

5 расмда рубинли лазер импульсининг интенсивлиги (а), ҳамда импульс узунлиги қараб CdTe эрий бошлаши (б) температураларининг математик ҳисоби келтирилган. Ҳисоблаш натижаларида аниқланганки, конкрет берилган тоблаш турида (масалан, табиий бўлиниши), $I_{пор}$ нинг қийматига, кўзгалган электрон-ковак плазманинг вақтли ва параметрлари эмас, иссиқлик-физик параметрларининг хароратга боғлиқлиги ахамиятли улуш беради.

c_p , χ , ρ катталиклари харорат билан 0 дан 1092 °C гача ўнлаб процентларга ўзгаради.

Кўриниб турабдики, импульс узунлигининг 5нс дан 100 нс оралигида $I_{пор}$ 12 МВт/см² дан то 1,7 МВт/см² гача ўзгаради, яъни 7 маротаба. Импульс узунлигининг (20 нс) ± 5 нс га ўзгаришида $I_{пор}$ 4 до 5,75 МВт/см² гача ўзгаради. 20 нс $I_{пор} = 4,74$ МВт/см².



5 расм. CdTe учун рубинли лазернинг (б) импульс узунлиги $\tau_{\text{имп}}$ ва эриш чегараси $I_{\text{пор}}$ ва харолат интенсивлигига (а) боғлиқлиги

Тўртинчи бобда «Импульсли лазер таъсирида GaAs ва GaSe дефектлар ҳосил бўлиши ва ночизиқли эффектлар» GaAs яримўтказгичини на фақат ёруғнинг термик таъсири позициясида, узоқ харакатли эффектлар натижалари кўрилган, яъни импульс вақтида тоблаш зонаси иссиқлик диффузияси узунлигидан катта, масофада сиртки хоссаларнинг ўзгариши кўриб чиқилган.

Тартибсизлашган кристалларни текшириш учун ёруғнинг комбинацион сочилиши ишлатилган, қайсики кристал сиртки қатлами аморфизацияланиши даражасини ва 20 нм ўлчамли нанокристалларда фонлар локализациясини аниқлаш имконини беради.

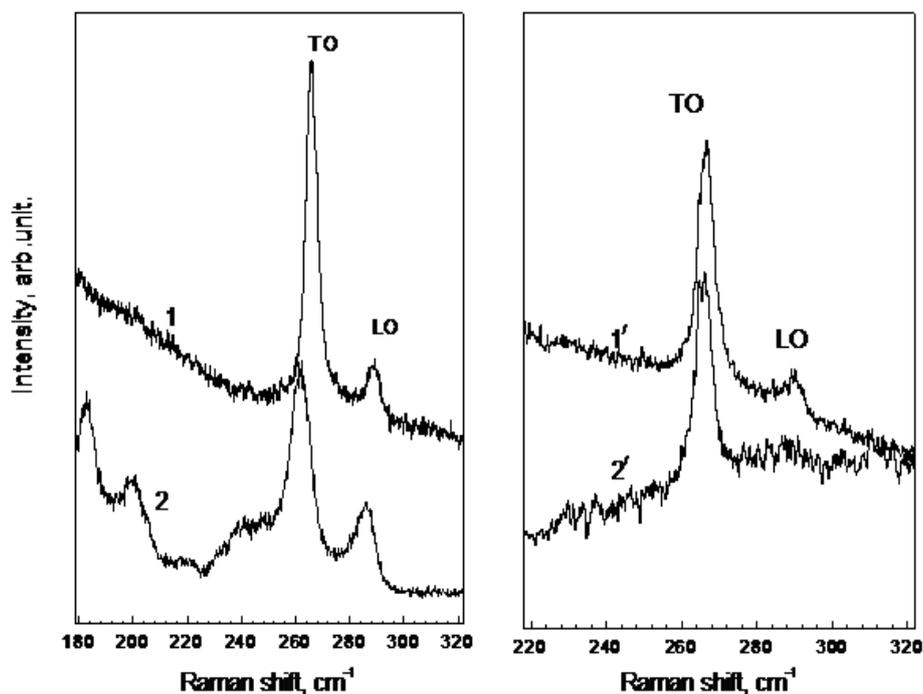
Ўстириш жараёнида Si билан лигерланган GaAs кристаллари тадқиқ қилинган. Ёруғликнинг комбинацияли сочилиши спектрлари 488 нмли қуввати $\sim 100 \text{ мВт}$ ва $T=300\text{K}$ Ag^+ -лазери нурлари билан қўзғатилган. 6 расмда берилган намунани (1 ва 1' чиз.) ва тобланган (2 ва 2' чиз.) намунани зонада (1,2 чиз.) ва тоблаш зонасидан ташқарида (кр. 1', 2') Ёруғликнинг комбинацияли сочилиши спектрлари келтирилган. Бу геометриядаги намунада ТО-фонон чизиғи LO-фононнинг интенсивлик чизиғидан анча устун.

Намунани эриш чизиғидан паст қувватда $D = 0,5 \text{ Дж}/\text{см}^2$ да тоблагандан сўнг Ёруғликнинг комбинацияли сочилиши спектрида қуйидаги ўзгаришлар кузатилаяпти:

- тоблаш зонасида LO- ва ТО- фонлар чизиқларининг интенсивлиги камаяди, кичик частота томонга силжийди ва уларнинг ахамиятли кенгайиши рўй беради;

- LO- ва ТО- фонлар чизиқлари интенсивлигига тенгдош аморли GaAs хос $183, 200$ и 245 см^{-1} ли чизиқлар пайдо бўлаяпти;

- тоблаш зонасидан ташқарида LO- ва ТО- фонлар силжиши, тоблаш зонасига қараганда, кичик частоталар томонига кам силжияпти.



1,2 ва 1', 2' чизиклар тоблаш зонасида ва ундан ташқарида ўлчанган

6 расм. Рубин лазерни билан $0,5 \text{ Дж/см}^2$ дозада тоблашдан олдин (1 ва 1' чиз.) ва тоблангандан кейинги (2 и 2' чиз.) [111] ориентацияли n-GaAs:Si кристалларининг КРС спектри

LO- ва TO- фононлар чизиклари параметрларининг кузатилаётган ўзгариши сиртки қатлам деформацияси билан боғлиқ. Импульсли лазер тоблашда узоқ ҳаракатли эффект топилган, қайсики яримўтказгичга лазер таъсирида деформацион механизмнинг ахамиятли ролидан дарак беради.

Ночизикли эффектлар ўрганилган – икки фотонли ютилиш, индуцирланган ютилиш, GaSeда ёруғланиши ва ёруғликнинг комбинацион сочилиши.

ϵ -GaSe кристалларни зичлик қуввати намуналар юзасининг бузилишидан кам бўлган рубин лазер импульслари билан тоблаш бошқа политип составли (γ -политип) кристалл соҳалари ҳосил бўлишига олиб келади.

Диссертациянинг бешинчи боби «CdTe ва GaAs импульсли лазерли тоблаганда ва GaN структурали ёғду диодларидан ток ўтишидаги акустик эмиссия» га бағишланган, қайсики дефектлар ҳосил бўлишини ва деградациясини бузилмас назорат қилиш учун муҳим ахамиятга эга.

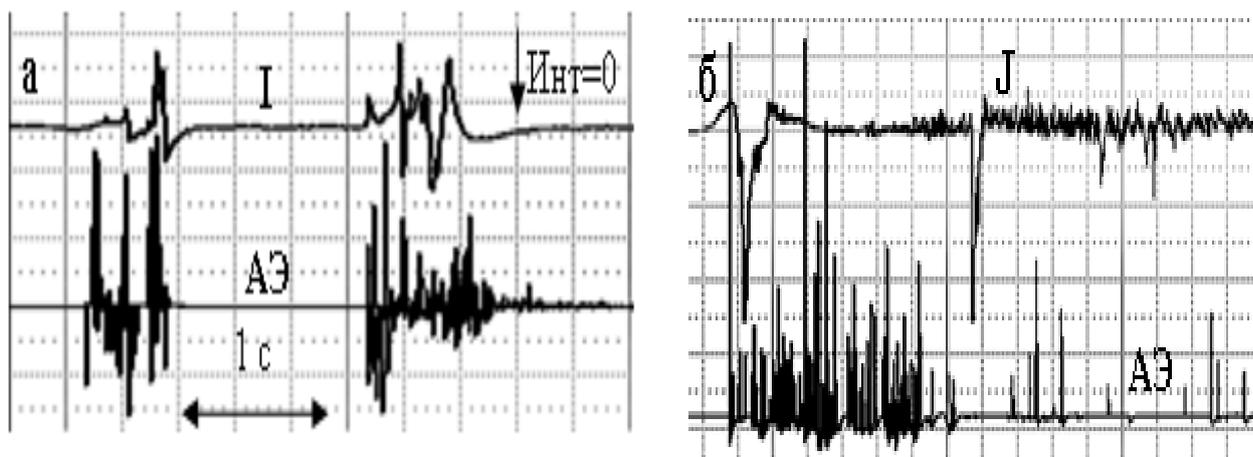
InGaN, AlGaIn, GaN асосидаги гетероструктурали ёғду диодларини критик режимда эксплуатация қилиш ва тайёрлаш муаммоларидан бири хажмдаги ўтказувчанликнинг нобиржинслилиги, қайишқоқлик ўзгармаслари модулларининг фарқлилиги, гетероўтиш чегарасида решеткалар доимийси ва термик кенгайиш коэффициентлари, иссиқтарқатувчи ва актив муҳитнинг иссиқлик қаршилиги, қайсики ҳароратларнинг сезиларли градиентига ва ток ўтишида (10^7 Пагача) сезиларли термомеханик кучланишларга олиб келади.

Бу деградацияни салмоқли тезлаштиради, ФИК ва ишлаш вақтини камайтиради. Механик кучланишларнинг релаксацияси акустик эмиссия билан бирга намоён бўлади – бу қайишқоқ акустик тўлқинларнинг материал

структураси динамик ўзгаришидаги нурланиш ходисаси. Акустоэмиссия сигналлари пьезодатчик ва АФ-15 асбоби билан 200 – 500 кГц частотада 76 дБ кучайтиришда компьютерда регистрация қилинган.

7 расмда кванли чиқиш корреляцияси (а), ток флуктуациялари (б) ва акустик эмиссия келтирилган. Акустик эмиссия сигналларининг вақтли группа чегарасига (акустик эмиссия ходисалари) бирдан бир ёрилувчи ток флуктуацияси тўғри келади, энг катта узлуксиз ток шовқини зичлиги кечроқ содир бўлади – акустик эмиссиянинг сўнишида.

Кўп ҳолатларда квант чиқиш флуктуацияси билан вақт корреляцияси кузатилади, қайсики акустик эмиссиянинг узлуксиз сигналлари группасига жавоб беради.



7 расм. Кескин деградация пайтида токи I (а) ва зичлиги J (б) 110 A/cm^2 бўлганда InGaN/GaN гетероструктурада квантли чиқиш флуктуацияси, акустик эмиссиянинг корреляцияси

Акустик эмиссия билан электрик ва люминесценли характеристикалари ўзаро боғлиқлиги ёғду диодларидан критик зичликдаги тўғри ток ўтишида структурали узлуксиз дефектлар гетероструктураларнинг актив сохаларида пайдо бўлиши жараёни аниқланган.

CdTe ва GaAs интенсивли наносекундли лазер билан тоблпаганда акустик нурланиш жараёнлари ўрганилган.

Эришда хажмнинг кескин ўзгаришида, иссиқ плазманинг булутларининг кенгайиши ва нотенгмуванатли парларнинг юзага таъсирида, ҳамда дислокациялар пайдо бўлишида ва фазовий қаттиқ жисм – суюқ жисм ўзгаришларида акустик импульслар генерацияланади.

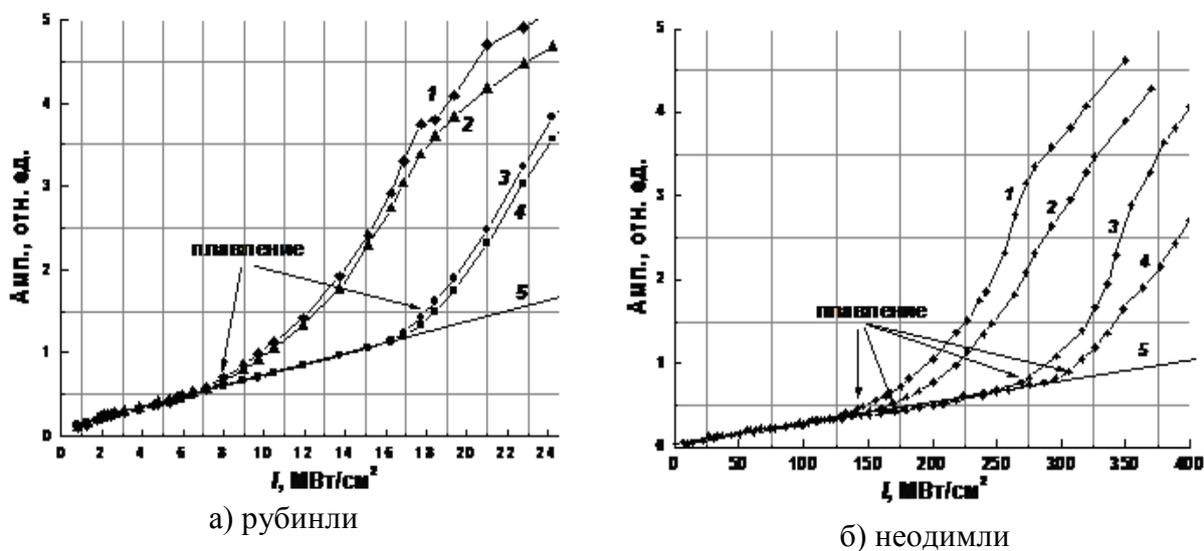
Монокристаллар сиртининг эрий бошлаш чегаралари бир марталик наносекундли лазер билан таъсир қилганда акустик акси интенсивлиги амплитудасининг ночизикли боғланишидан топилган

8 расмда рубинли лазер $A(I)$ нурланиши интенсивлигининг акустик сигнал амплитудасига боғлиқлиги келтирилган. Бир марталик тоблаш режимида $A(I)$ боғлиқлигининг чизикли сохасида 7 МВт/см^2 гача CdTe учун ва 17 МВт/см^2 гача GaAs учун, қайсинда сиртнинг эриши рўй бермайди,

стационар бўлмаган киздиришда термик кенгайиш ҳисобига фототермо-акустик сигнал – акустик акс бор.

$I = 8-24 \text{ МВт/см}^2$ CdTe учун ва $I = 18- 24 \text{ МВт/см}^2$ GaAs учун $A(I)$ боғланиш ночизиқли бўлаяпти, қайсики сиртки қатламнинг эриш жараёни ҳисобига акустик нурланиш кўшимча механизми билан боғлиқ.

Чизиқли аппроксимациянинг кесими (5 -чизиқ) ночизиқли $A(I)$ боғлиқликнинг бошланиши CdTe ва GaAs сиртий қатламлари эриш I_{nop} тбошланиши деб баҳоланади, қайси CdTe (111) учун $8\pm 0.4 \text{ МВт/см}^2$ ва GaAs (111) учун $18\pm 0.4 \text{ МВт/см}^2$ таўкил қилади.



а) рубинли
 б) неодимли
 CdTe (111) кристалларини бир (1) ва хар хил (2) соҳасини тоблаш.
 GaAs (111) кристалларини бир (3) ва хар хил соҳасини (4) тоблаш.
 5 - чизиқли аппроксимация

Рис. 8. Зависимость амплитуды акустического сигнала от интенсивности импульса различных лазеров

8б расмда $A(I)$ боғлиқликлари импульсли неодим лазери таъсирида келтирилган, яъни текширилувчи материалларнинг шаффофлик соҳаси. Бунда ёруғнинг фундаментал ютилиши йўқлиги сабабли нурланиш эркин ташувчиларда ютилади, фоноларда, решетканинг структурали дафектларида ва шунинг учун ёруғнинг ютилиш чуқурлиги иссиқлик таркалиши чуқурлигидан кўп. Бу ҳолатда эриш бошланиши чизиғи дафектлар концентрациясига ва сиртки қатлам эркин ташувчиларига кучли боғлиқ.

Худди шундай, аппроксимациянинг кесими (расм 8б, 5 чизиқ) ночизиқли боғлиқликнинг $A(I)$ бошланиши билан I_{nop} эриш бошланиши чизиғини CdTe ва GaAs сиртки қатлами учун неодим лазери таъсирида аниқлайди.

Бир марталик режимда I_{nop} қиймати CdTe (111) учун (2 чизиқ) $170\pm 5 \text{ МВт/см}^2$ ва GaAs (111) (4 чизиқ) $310\pm 5 \text{ МВт/см}^2$ га тенг.

ХУЛОСА

Яримўтказгичли кристалларни наносекундли лазерли ишлов бериш жараёнларини тадқиқ қилиш асосида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. CdMgTe ни дозали импульсли лазерли нурлантиришда кристалнинг сиртки сохасида тақиқланган зонаси катта бўлган қатлам ҳосил бўлиши кўрсатилган, яъни бу усул билан гетероўтиш олиш технологияси традицион технологиялардан афзаллиги тажрибада кўрсатилган.

2. In-CdTe структурани наносекундли лазер билан нурлантирилганда In атомларининг CdTe чуқурроқ ва тез ўтиши баро – термодиффузия механизмлари ҳисобига салмоқли босим ва харорат градиентлари ҳосил бўлиши топилган.

3. Интенсив бародиффузия иссиқлик деформациясида қўшма босим, In да фазоли ўтиш ва парлар ҳамда “зарбли” тезликли плазмалар ҳосил қилиш йўли билан CdTe да киришмалар жойлашишини бошқариш усули ишлаб чиқилган.

4. In қалинлиги 30 нм бўлган In-CdTe структурани қуввати $E = 100$ мДж/см² бўлган наносекундли лазер билан нурлантириш асосида хотирали узиб-улаш хусусиятига эга бўлган структуралар олиш технологияси ишлаб чиқилган.

5. Парда - In/CdTe структураси ва CdTe нинг наносекундли рубинли лазер билан нурлантирилганда CdTe эрий бошлаш жадаллигини берилган нурлантиришнинг тури учун иссиқлик физик параметрларининг хароратдан ва рубинли лазерли импульси давомийлигини ($\tau_{\text{имп}} = 5 \div 20$ нс) бошқариш мумкинлиги тажрибада аниқланган.

6. CdTe ва GaAs монокристал бирикмаларининг локал лазерли индукцияланган эриш жараёни индукцияланган акустик жавобнинг 20÷2000 кГц оралиғида наносекундли лазер нурланиши жадаллигининг амплитудага ночизиқли боғлиқлиги билан аниқланиши топилган.

7. Акустик жавобнинг амплитудасининг ўзгариши бўйича аниқланган монокристалларнинг эрий бошлаши бир марталик $\lambda=0,694$ мкм наносекундли (20 нс) нурлантиришда (111) CdTe қирраси учун $8 \pm 0,4$ МВт/см² ва (111) GaAs қирраси учун $18 \pm 0,4$ МВт/см² ҳамда кристалларнинг шаффофлик сохасида ($\lambda= 1,06$ мкм) бир марталик (15 нс) ёруғлик билан нурлантирилганда эрий бошлаши CdTe (111) учун 170 ± 5 МВт/см² ва GaAs (111) учун 310 ± 5 МВт/см² ни ташкил қилиши аниқланган.

8. ϵ -GaSe кристалларини зичлик қуввати, намуналар сирти бузилишидан кичик бўлган, рубин лазерли импульслари билан нурлантирилганда кристалларда бошқа политип таркибли (γ -политип) соҳалар ҳосил бўлиши топилган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.27.06.2017.FM/Т.34.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ,
ИНСТИТУТЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,
САМАРКАНДСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

КАРАКАЛПАКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ДАУЛЕТМУРАТОВ БОРИБАЙ КОПТЛЕУОВИЧ

**ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ
ОБРАБОТКИ КРИСТАЛЛОВ Cd(Me)Te И Ga(As, Se, N)**

01.04.10. – Физика полупроводников

**АВТОРЕФЕРАТ ДОКТОРСКОЙ (DSc) ДИССЕРТАЦИИ
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

ТАШКЕНТ – 2017

Тема докторской диссертации зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В 2017.1.DSc/T29

Докторская диссертация выполнена в Каракалпакском государственном университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета по адресу fti-kengash.uz и Информационно-образовательном портале “ZiyoNet” (www.ziyo.net).

Научный консультант: **Власенко Александр Иванович**
доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Гнатенко Юрий Павлович**
доктор физико-математических наук, профессор

Касимахунова Анархан Мамасадиқовна
доктор технических наук, профессор

Рахматов Ахмад Зайнидинович
доктор технических наук, с.н.с.

Ведущая организация: **Ташкентский университет информационных технологий**

Защита состоится «___» _____ 2017 г. в _____ часов на заседании Научного совета DSc.27.06.2017.FM/T.34.01 при Физико-техническом институте, Институте Ионно-плазменных и лазерных технологий, Самаркандском государственном университете по адресу: 100084, г.Ташкент, ул.Бодомзор йўли – 2б. Тел/Факс: (+99871) 235-42-91. E-mail: lutp@uzsci.net.

Докторская диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Физико-технического института за № 04, с которой можно ознакомиться в ИРЦ по адресу: 100084, г.Ташкент, ул.Бодомзор йўли – 2б. Тел/Факс: (+99871) 235-30-41.

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2017 года.
(протокол рассылки № ___ от _____ 2017 года)

С.Л. Лутпуллаев

Председатель одноразового научного совета по присуждению учёных степеней, д.ф.-м.н., профессор

А.В. Каримов

Ученый секретарь одноразового научного совета по присуждению учёных степеней, д.ф.-м.н., профессор

С.А. Бахрамов

Председатель научного семинара при одноразовом научном совете по присуждению учёных степеней, д.ф.-м.н., профессор

Введение (аннотация докторской диссертации)

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире на сегодня в связи с широким использованием импульсного лазерного облучения для обработки (модификации) различных полупроводников и структур чрезвычайно важным является целенаправленное использование лазерных импульсов для термообработки, отжига, очистки поверхности, легирования, рекристаллизации, нанесения тонких слоев, абляции, распыления с поверхности и наноструктурирования полупроводников, которые используются при изготовлении фотодиодов, детекторов рентгеновского и гамма - излучения, ИК - сенсоров на основе твердых растворов A^2B^6 . В этом аспекте развитие технологии импульсного лазерно-индуцированного твердофазного и жидкофазного (при превышении температуры плавления полупроводника) легирования полупроводников является одним из перспективных направлений.

За годы независимости учеными нашей страны особое внимание обращено контролируемому введению примесей в полупроводник, формированию омических и выпрямляющих контактов, а также инверсных и варизонных слоев с заданными электрическими параметрами, управлению фотоэлектрическими и оптическими характеристиками полупроводниковых структур путем лазерного облучения. В этом направлении по управлению процессами сегрегации, диффузии и растворимости примеси лазерной обработкой, в отличие от типичных методов, достигнуты существенные результаты. На основе Стратегии действий дальнейшего развития Республики Узбекистан наиболее важным является повышение эффективности полупроводниковых приборов за счет внедрения новых технологий вытекающих из практических исследований разрабатываемых полупроводниковых приборов при внешних воздействиях.

На сегодня в мире при получении модифицированных структур с улучшенными параметрами удачный выбор технологии и методики обработки полупроводников и структур на их основе имеет важное значение. В этом аспекте использование методов импульсной лазерной обработки кристаллов и полупроводниковых структур, направленных на управление механизмами и закономерностями диффузии, акустического отклика и ударной волны при наносекундном лазерном облучении двойных и тройных твердых растворов; определение температуры, давления и распределения примесей при наносекундном лазерном облучении двойных и тройных твердых растворов для оптимизации методов импульсной лазерной обработки полупроводниковых кристаллов обеспечивающих новые фотоэлектрические свойства поверхностям полупроводников; установление взаимосвязи акустической эмиссии и изменений люминесцентных и электрических характеристик в светодиодных структурах на основе нитрида галлия при прохождении тока. Научно-исследовательские работы, проводимые в выше приведенных направлениях, указывают на актуальность темы данной диссертации.

Настоящая диссертация служит выполнению в определенной степени задач, обозначенных в Постановлениях Президента Республики Узбекистан

№-ПП-1442 «О приоритетах развития промышленности республики Узбекистан в 2011 - 2015 годах» от 15 декабря 2010 года и №-ПП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организаций, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности» от 17 февраля 2017 года а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Диссертация выполнена в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики Узбекистан III «Энергетика, энерго- ресурсосбережение, транспорт, машино- и приборостроение; развитие современной электроники, микроэлектроники, фотоники, электронного приборостроения».

Обзор международных научных исследований по теме диссертации¹. Исследования вопросов по улучшению технологии и оптимизации параметров детекторов рентгеновского и гамма- излучения путем лазерного облучения ведутся в ведущих центрах и университетах, в том числе, National Center for Biotechnology Information (США), Shizuoka University (Япония), а исследования нелинейно-оптических процессов проводятся в университете Вильгельма Вестфалише (Мюнстер, Германия), Центра передовых технологий им. Раджа Рамана (Индор, Индия), Имперского Колледжа (Лондон, Великобритания), Физико-химического института Рокасолано (Мадрид, Испания), Национального института научных исследований (Монреаль, Канада), в Ташкентском государственном техническом университете и Самаркандском государственном университете и ряда других научных центрах мира.

В мире в результате проведенных исследований по разработке методик импульсного лазерного легирования путем облучения структуры получены ряд научных результатов, в том числе разработаны технологии изготовления диодов с резким *p-n* переходом (Lapp Kabel и Карлсруэ, Германия), выполнен ряд исследований по получению наноструктурированных полупроводниковых материалов (РОСНАНО. Россия) и изучению лазерно-индуцированных фазовых переходов (University of Wisconsin Madison, США), (University Pierre et Marie Curie, Франция) (Forschungszentrum Julich Германия), Национальный Университет Узбекистана, Самаркандский государственный университет, Узбекистан).

В настоящее время проводятся научно-исследовательские работы по применению детекторов в ядерной медицине, а также для контроля радиационного загрязнения окружающей среды после отработки ядерного горючего и в работах ученых Mehendale S.C., Mishra S.R. из Индии проводили анализ нелинейно-оптических параметров суспензий наночастиц

¹ Обзор международных научных исследований по теме диссертации проведен на основе Progress in the Development of CdTe and CdZnTe Semiconductor Radiation Detectors for Astrophysical and Medical Applications. Review // Sensors. – 2009. No. 9. – P. 3491-3526; IEEE Transactions on Nuclear Science. – 2011. Vol. 58. Issue 5. Part 2. – P. 2363-2370; Physica Status Solidi (C). – 2009. № 1. – P. 209-212 и других источников.

металлов в поле наносекундного излучения маломощной световой волны, где нелинейные-оптические отклики обусловлены тепловой нелинейностью коллоидного раствора наночастиц.

Степень изученности проблемы. В мировой практике при получении различных тонких пленок, квантовых ям и гетероструктур используется технология импульсного лазерного осаждения, обеспечивающая бескапельное осаждение и управление энергетическим спектром осаждаемых частиц. Разрабатываются новые подходы в реализации импульсного лазерного синтеза материалов и структур, направленных на синтез эпитаксиальных пленок, пригодных для создания структур нанофотоники и спинотроники.

Работы ученых Lagally M.G., Swartzentruber B.S. (США) и Aqua J.-N (Франция), а также Voigtlander B. (Германия) посвящены разработке приемников излучения для фотоники на основе соединений кремния-германия и других гетероструктур с квантовыми ямами. Однако проблемы снижения уровня их шумов и улучшения спектрометрических характеристик требуют дальнейшей доработки.

До сегодняшнего дня большой вклад на решение комплекса проблем по технологии получения полупроводниковых структур с нановключениями и узкозонных твердых растворов внесли ученые СНГ, в том числе: П.Е. Мозоль, Е.А. Сальков (Институт полупроводников АН УССР), В.М. Фальченко, В.Ф. Мазанко, Д.С. Герцрикен (отдел физики нестационарного массопереноса Института металлофизики НАНУ), М.М. Берченко (Национальный университет “Львовская политехника”), коллектив научно-исследовательской лаборатории новых технологических разработок (детекторы CdTe) Харьковского физико-технического института, Л.А. Косяченко (Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича), В.И. Емельянов (МГУ), В.И. Иванов-Омский (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН), М.Н. Либенсон (Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова), В.А. Янушкевич.

В течение последнего десятилетия, CdTe и кадмий цинк теллурид вызывает возрастающий интерес как датчик рентгеновского и гамма лучей. Наряду с традиционными спектрометрами, изготовленными на кремния (Si) и германия (Ge), датчики на основе CdTe и CdZnTe тоже показывают высокую эффективность обнаружения и хорошие параметры при комнатной температуре. Вместе с тем явление быстрого массопереноса, или высокой подвижности атомов в кристаллах при импульсном лазерном облучении наносекундными импульсами имеет огромное прикладное значение для импульсного лазерного легирования CdTe, CdZnTe путем облучения структуры пленка металла - полупроводник в связи с технологичностью, воспроизводимостью и простотой в управлении необходимыми параметрами при изготовлении приборных структур.

В работах авторов К.П. Абдурахманова, Т.М. Разикова и Н.Х. Юлдашева приведены результаты исследования остаточных глубоких центров в структурах металл–диэлектрик–полупроводник ёмкостным методом, а также фундаментальных аспектов рекомбинационного и

генерационного процессов в теллуриде кадмия и его соединениях. Однако физические механизмы и особенности процессов массопереноса (диффузии) в структурах пленка металла - полупроводник при нс-ИЛО на сегодня остаются невыясненными.

Также требуют своего решения проблемы контролируемого преобразования структуры приповерхностных слоев Cd(Me)Te и Ga(As,Se,N) с помощью импульсно лазерной обработки для эффективного управления их фотоэлектрическими, люминесцентными и оптическими свойствами.

Связь темы диссертации с научными исследованиями высшего учебного заведения, в которой выполнена диссертационная работа.

Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ проекта Нукусского государственного педагогического института и на основании договора содружества между ИФП им. В.Е. Лашкарева НАН Украины по теме № 2.1.1/17 “Разработка и создание акусто-эмисионного экспресс-метода контроля и прогнозирования надежности полупроводниковых материалов и структур“ на 2008 – 2017 года и Каракалпакским государственным университетом.

Целью исследования является оптимизация процессов лазерной наносекундной обработки полупроводниковых кристаллов Cd(Me)Te и Ga(As, Se, N) и изучение в них процессов дефектообразования, диффузии, ударно-волнового процесса, акустической эмиссии и нелинейных оптических эффектов.

Задачи исследования:

изучить возможность использования в технологии лазерной обработки процессов диффузии, акустического отклика и ударной волны при наносекундном лазерном облучении CdTe, тройных твердых растворов на основе CdTe и структуры In/CdTe;

разработать технологию изготовления Te – CdTe структуры обладающей свойствами переключения и памяти путем наносекундной лазерной обработки;

разработать способы неразрушающие состояние приповерхностного слоя полупроводников после импульсной лазерной обработки;

оптимизировать режимы импульсной лазерной обработки CdTe, CdZnTe, CdMgTe, CdHgTe полупроводников для получения новых фотоэлектрических свойств поверхностей путем наносекундного лазерного облучения;

рассчитать температуру, давление и их градиенты при наносекундном лазерном облучении CdTe, тройных твердых растворов на основе CdTe и структуры In/CdTe для оптимизации методов импульсной лазерной обработки данных кристаллов;

установить взаимосвязь акустической эмиссии и изменений люминесцентных и электрических характеристик в светодиодных структурах на основе GaN при прохождении тока для их диагностики и прогнозирования надежности.

Объектами исследования являются подвергнутые импульсному лазерному облучению полупроводники Cd(Me)Te, Ga(As, Se, N).

Предмет исследования включает процессы дефектообразования, массопере-носа, ударной волны, акустической эмиссии при наносекундном лазерном облучении сложных полупроводников.

Методы исследования – комбинационное рассеяние света, фотопроводимость, фотолюминесценция, электролюминесценция, оптическое пропускание, двух-фотонное поглощение, индуцированное поглощение и просветление, Оже-анализ, послойное и селективное травление, методы изучения морфологии поверхности, вольт-амперные, вольт-фарадные характеристики, метод акустической эмиссии, теоретические расчеты.

Научная новизна исследования:

показано, что обработка высокоомных кристаллов CdTe, CdZnTe наносекундными импульсами рубинового лазера позволяет улучшить состояние поверхности;

найжены условия увеличения чувствительности и уменьшения скорости поверхностной рекомбинации, а также изменения спектрального диапазона фотолюминесценции и фотопроводимости;

разработан акустоэмиссионный метод установления порогов плавления полупроводниковых кристаллов, в частности CdTe и GaAs по изменению амплитуды и энергии акустического излучения при импульсном лазерном облучении;

предложен метод изготовления структуры Te-CdTe со свойством электронного переключения с памятью путем наносекундного лазерного облучения CdTe;

установлено, что на основе механизмов акустического излучения можно определить порог плавления монокристаллов полупроводников при импульсном лазерном облучении CdTe и GaAs.

установлены закономерности и методы оптимизации импульсной лазерной обработкой поверхности полупроводников для использования в технологии лазерной обработки CdTe, TP на его основе, GaAs, GaSe.

Практические результаты исследования:

улучшение состояния поверхности высокоомных кристаллов CdTe, CdZnTe путем обработки наносекундными импульсами рубинового лазера можно использовать при лазерной обработке редких материалов;

разработанный акустоэмиссионный экспресс метод обеспечения надежности и стабильности параметров полупроводниковых материалов и структур может быть использован для группировки светоизлучающих диодов.

Достоверность результатов исследований подтверждается применением современных научных и технологических методов, стандартных и апробированных методик контроля. Результаты и выводы обосновываются на физических представлениях, основанных на теоретических и экспериментальных данных. Достоверность экспериментальных данных обеспечивается использованием комплексных независимых методик измерения и обработки данных, а также их соответствием современным понятиям физики и техники полупроводников и изделий на их основе.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная ценность исследований заключается в том, что изучение механизмов массопереноса, диффузии, плавления, абляции, дефектообразования, ударно-волновых процессов при мощном импульсном облучении полупроводников и структур пленка металла - полупроводник важно для понятия сверхбыстрых одновременно протекающих физических нелинейных процессов при мощном наносекундном лазерном облучении кристаллов.

Практическая ценность работы состоит в том, что установленные доминирующие механизмы массопереноса и расчеты температур, градиентов давления в полупроводниках CdMeTe при импульсной лазерной обработке позволяют проводить целенаправленную модификацию свойств и получать новые слои и структуры с уникальными оптическими, фотоэлектрическими свойствами, которые будут применяться в различных сенсорах и детекторных приборах.

Внедрение результатов исследования. На основе результатов изучения влияния импульсной лазерной обработки кристаллов и нелинейных оптических эффектов на процессы диффузии и дефектообразования:

разработанные акустоэмиссионные экспресс методы контроля и прогнозирования надежности полупроводниковых материалов использованы при отборе InGaN светодиодов для серийного производства энергоэффективных светодиодных светильников (Справка Полтавского Национального технического университета от 15 августа 2016 г.). Применение полученных результатов позволило повысить коэффициент светоотдачи светильников на 3%;

полученные результаты по механизмам массопереноса при наносекундном лазерном твердофазном легировании CdTe Индием; коэффициенты массопереноса Индия в CdTe; причины локального плавления соединений монокристаллов CdTe и GaAs; установленные пороги плавления поверхности монокристаллов при однократном наносекундном (20 нс) облучении с $\lambda=0.694$ мкм; установленная взаимосвязь между процессами возникновения акустической эмиссии и изменениями люминесцентных и электрических характеристик гетероструктур на основе GaN использованы при выполнении гранта Каракалпакским государственным университетом имени Бердаха Ф-2-ОТ-1-10079 «Особенности лазерно-индуцированных нелинейных процессов дефектообразования в полупроводниках» 2011-2016 г. (Справка Комитета по координации развития науки и технологий Республики Узбекистан от 21 февраля 2017 г.). Использование научных результатов позволило разработать неразрушающий экспресс-метод контроля и прогнозирования надежности светодиодов.

результаты, полученные по механизмам переноса массы атомов индия в теллурид кадмия, и Рамановского рассеяния для материалов индия и теллура использованы в зарубежных журналах (Journal of Applied Physics 119, 024106 (2016) 10.1063/1.4937996; Chem. Mater., 2014, 26 (7), pp 2313-2317; Sensors and Actuators B: Chemical. Volume 191, February 2014, Pages 673-680) для определения глубины образования ударной волны.

Апробация результатов исследования: Результаты исследования апробированы на 17 международных и 5 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследований. По теме диссертации опубликовано 40 научных работ: из них 17 статей в журналах рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, получен 1 патент на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 208 страниц.

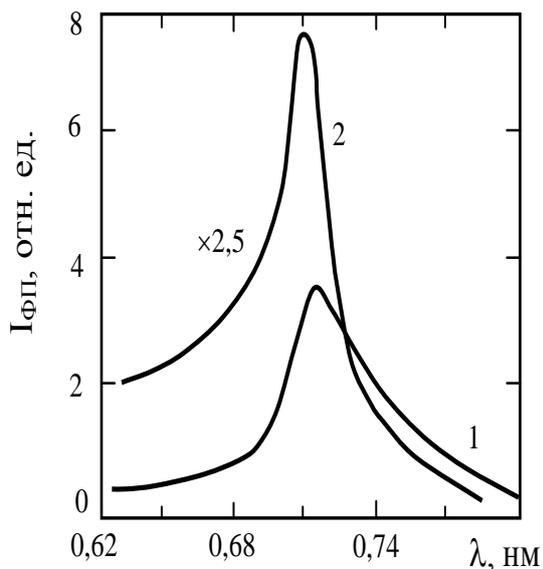
ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность проблемы и темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи, научная новизна и практическая значимость работы, приведены сведения о внедрении результатов исследования.

В первой главе анализируется **“Состояние проблемы и перспективы развития методов импульсной лазерной обработки сложных полупроводников и структур на их основе”** на основе литературных данных. Для эффективного управления фотоэлектрическими, электрическими, люминесцентными и оптическими свойствами, для контролируемого преобразования структуры приповерхностных слоев сложных полупроводников Cd(Me)Te и Ga(As, Se, N) нужно оптимизировать методы ИЛО. Для этого необходимо решить целый комплекс проблем для установления и описания физических механизмов и процессов, а также предложить эффективные методы неразрушающего контроля быстропротекающих процессов при ИЛО. На основе анализа имеющихся экспериментальных и теоретических данных сформулирована постановка задачи.

Вторая глава под названием **“Изменение структурных и фотоэлектрических свойств полупроводниковых твердых растворов на основе CdTe и структур при наносекундном лазерном облучении”**, посвящена рассмотрению влияния уровня фонового загрязнения на электрические неоднородности в расплавных монокристаллах CdTe и CdZnTe.

Наблюдаемое смещение максимума фотопроводимости $Mg_{0,20}Cd_{0,80}Te$ в область более коротких длин волн, в нашем случае на 8 нм (рис.1), свидетельствует о том, что в приповерхностной области кристалла образуется слой с большей шириной запрещенной зоны, этому соответствует уменьшение содержания более узкозонной компоненты CdTe.



1-до облучения; 2-после облучения

Рис.1. Спектры ФП $Mg_{0,20}Cd_{0,80}Te$ ($T=300\text{ K}$) до и после облучения дозой $D = 4\text{ Дж/см}^2$ (при $I = 20\text{ МВт/см}^2$)

значения $I_{\text{п}}$ (зависящего от состояния поверхности, степени однородности образцов и т.д.).

Изучены фотоэлектрические и электрические свойства высокоомных p - $CdTe$ и монокристаллов $CdZnTe$ и барьерных структур на их основе до и после облучения лазером в различных условиях. Облучение образцов наносекундными импульсами рубинового лазера осуществляется двумя различными способами. В первом случае кристаллы $Cd(Zn)Te$ подвергались действию лазерного излучения непосредственно по поверхности. Облучение в определенном диапазоне интенсивности привели к снижению поверхностной рекомбинации и увеличению фотопроводимости сигнала. Была сформирована поверхностная область с более широкой запрещенной зоной в кристаллах $CdZnTe$. Во втором случае образцы облучались со стороны, предварительно покрытой относительно толстой легирующей пленкой индия, что вызвало выпрямление ВАХ и в результате лазерноиндуцированного легирования тонкой $Cd(Zn)Te$ поверхностной области и формирования встроенного p - n перехода. Обсуждается применение изготовленных M - p - n структурированных $In/Cd(Zn)Te/Au$ диодов для гамма-детекторов.

Для $Cd_xHg_{1-x}Te$ с $x \sim 0,2$, которые являются базовыми материалами ИК фотоэлектроники для спектрального диапазона $8 \div 12\text{ мкм}$, доминирующими механизмами образования неоднородностей являются, в частности, значительное расхождение между кривыми солидуса и ликвидуса в фазовых диаграммах и, как следствие, высокая способность к сегрегации, большая летучесть и высокая упругость паров ртути (Hg), гравитационная сегрегация, ретроградная растворимость теллура (Te) и т.д.

В работе выяснено, что преципитаты собственных компонент в КРТ имеют различные формы: включения Te имеют удлиненные формы;

Оценка возрастания величины ширины запрещенной зоны по спектрам ФП, а также результаты исследований ФЛ и спектров комбинационного рассеяния света твердых растворов $Mg_{0,20}Cd_{0,80}Te$ позволяют заключить, что компонентный состав облученного кристалла изменяется в приповерхностном слое на 3%. Облучение импульсами излучения рубинового лазера кристаллов $Mg_{0,20}Cd_{0,80}Te$ приводило к увеличению их равновесной проводимости ($\sigma_{\text{т}}$) и фотопроводимости ($\sigma_{\text{св}}$) в $10 \div 10^3$ раз. Эти изменения наступают при облучении кристаллов импульсами лазерного излучения с плотностью мощности выше некоторого порогового

сфероподобный рельеф поверхности связывается с наличием свободной ртути (рис. 2).

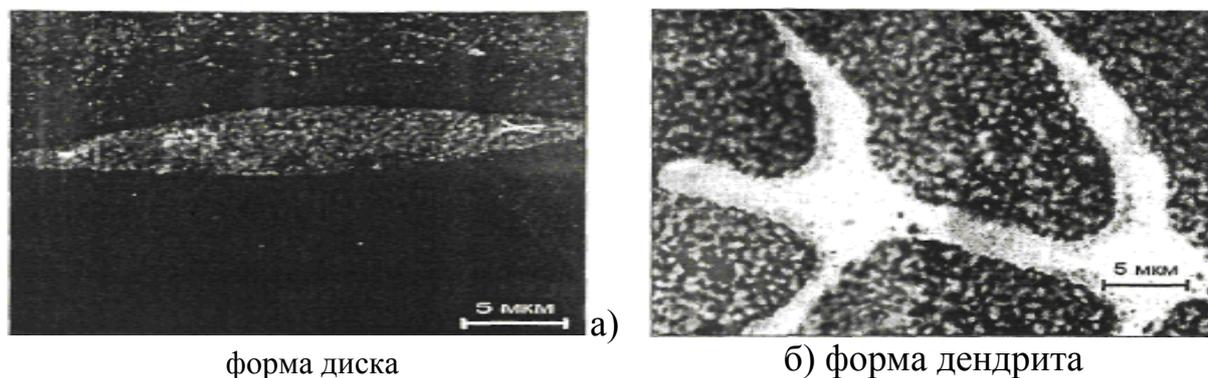
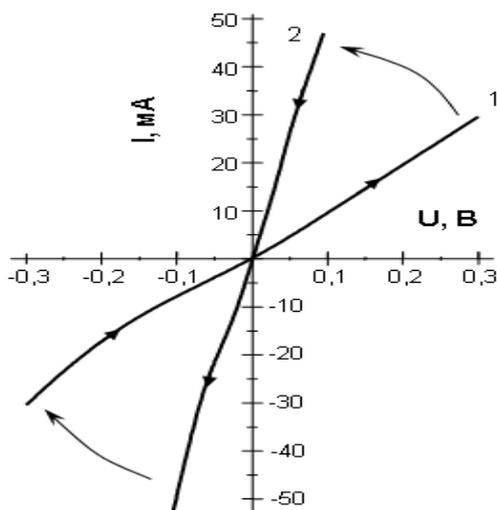


Рис. 2. Фотографии поверхности образцов КРТ с выделениями Те в характеристических лучах Те в различных формах

На основе анализа уравнения для свободной энергии показано, что преципитаты Те образуются в условиях увеличения энергии упругих напряжений, включение Нг - в условиях увеличения энергии поверхностного натяжения.

Также были проанализированы особенности высокоомного состояния монокристаллов CdZnTe с образованием канальной проводимости. Пространственно неоднородное распределение заряженных фоновых доноров и акцепторов в кристаллической решетке сопровождается соответствующей модуляцией электростатического потенциала в объеме кристалла. Наличие протяжных электрических барьеров с сильно обедненными областями, которые ведут себя как диэлектрик, и горбов электростатического потенциала в объеме CdZnTe существенно изменяет характер проводимости. В частности, в монокристаллах появляются уровни протекания, т.е. значение энергии, при которых электроны проводимости, которые двигаются под углом к силовым линиям внешнего поля, не туннелируют, а огибают горбы электростатического потенциала.

В третьей главе изучено **“Формирование структуры Те-CdTe, массоперенос и ударная волна в структуре In-CdTe при импульсном лазерном облучении”**. А также процессы образования пленки теллура на поверхности CdTe при ИЛО и химическом травлении. Продемонстрирован эффект переключения в структуре Те-CdTe и предложен механизм данного эффекта. Независимо от типа проводимости и кристаллической структуры исходного CdTe после его облучения рубиновым лазером с плотностью мощности $I=3\div 5\text{МВт/см}^2$, $\tau_{\text{имп}} = 20$ нс. образуется структура Те-CdTe, которая обладает свойством электронного переключения с памятью и на основе которой возможно создание переключающего элемента с памятью. Величина порога переключения зависит от сопротивления исходного кристалла. Получены ВАХ переключающей структуры In/Te-CdTe/In (рис.3). Установлено, что основным механизмом обогащения поверхности монокристаллов CdTe избыточным химически несвязанным теллуром с образованием наноразмерного

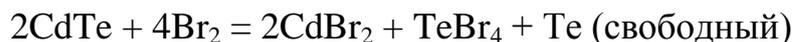


Переключение из высокоомного состояния (кр. 1) в низкоомное (кр.2)

Рис.3. ВАХ структуры Te-CdTe:In
($\rho_{\text{CdTe}} = 10^5 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ при 300 К)

слоя есть последовательные химические реакции, локализованные на границе раздела двух фаз.

Химическая реакция CdTe с полирующим бромным раствором имеет двухстадийный характер и выделение химически свободного теллура на поверхности CdTe происходит за счет значительного превышения скорости прямой реакции выделения химически несвязанного теллура скорости реакции связывания свободного теллура в соединение тетрабромид теллура. Полное взаимодействие CdTe с полирующим бромным раствором носит двухстадийный характер и описывается общим уравнением:



Продукт реакции CdBr_2 является кристаллогидратом и, проявляя более выраженные основные свойства в сравнении с элементарным Te, растворяется намного быстрее вследствие повышенной интенсивности взаимодействия с растворителем. Поэтому эффект обогащения поверхности избыточным теллуrom обусловлен относительным уменьшением его растворимости в кислом растворе.

Проанализированы механизмы массопереноса в структуре In-CdTe при наносекундном лазерном облучении со стороны индия.

Одним из механизмов массопереноса и дефектообразования в CdTe при ИЛО является многократное индивидуальное столкновение атомов на фронте ударной волны (УВ), при этом через фронт УВ как через поверхность разрыва непрерывности термодинамических величин течёт поток вещества. Под ударной волной будем понимать волну с «опрокинутым» профилем (фронтом), который является движущейся в веществе поверхностью разрыва непрерывности давления, плотности, температуры и других величин. Кроме зоны термического воздействия, наиболее интенсивная генерация дефектов происходит именно в области фронта ударной волны в момент ее формирования и движения, где и наблюдается максимум концентрации точечных и структурных дефектов.

Глубина образования ударной волны в индии и CdTe при воздействии на их поверхность лазерного импульса может быть рассчитана по выражению

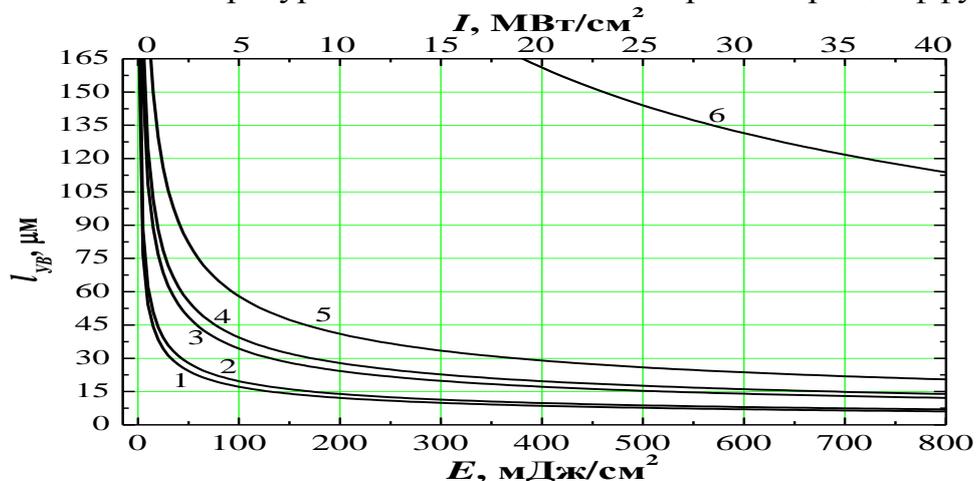
$$l_{\text{УВ}} = \frac{2c_l^2 \tau_{\text{умн}}}{\zeta(m+1)} \left[\frac{2\rho}{\bar{\chi}(\gamma-1)(1-R)E\alpha_\lambda} \right]^{1/2}$$

где c_l – скорость продольной акустической волны, $\tau_{имп}$ – длительность лазерного импульса, ρ – плотность, ζ – параметр величины ускорения поверхностного слоя, m – показатель изэнтропы, $\bar{\chi}$ – эффективное значение коэффициента искажения фронта импульса, γ – показатель адиабаты, R – коэффициент отражения, E – плотность энергии лазерного импульса, α_λ – коэффициент оптического поглощения. $\bar{\chi} = 1$, $\zeta = 1$, $m = 3$, $\gamma = 5/3$. На рис. 4 приведен расчет глубины образования ударной волны в индии и CdTe в зависимости от плотности энергии лазерного импульса.

Расчет глубины образования ударной волны $l_{УВ}$ указывает на то, что такая волна при технологических режимах облучения $E = 10-500$ мДж/см² не возникает в пленке индия толщиной до 7 мкм (рис. 4), и при толщине In 30-400 нм формируется уже в объеме кристалла CdTe на расстоянии, которое намного превышает глубину проникновения индия.

Показано, что ударная волна в CdTe при образовании и движении, а также перед возникновением – за счет постепенного увеличения градиента давления – приводит к образованию дислокаций. Плотность дислокаций увеличивается с глубиной и максимальна в месте образования ударной волны.

Установлено, что глубокое и быстрое проникновение атомов In в CdTe при наносекундном лазерном облучении структуры In-CdTe объясняется переносом в CdTe атомов индия, стимулированного значительными градиентами давления и температуры за счет механизма баро- и термодиффузии а



Для индия $R = 0.6$ (1 и 2) и $R = 0.9$ (3 и 4), для CdTe $R = 0.43$ (5 и 6) (1, 3, 5) – эксимерный; (2, 4, 6) – рубиновый

Рис. 4. Глубина образования УВ в In (1-4) и CdTe (5 и 6) в зависимости от плотности энергии импульса различного лазера

также суммарным давлением отдачи при тепловой деформации, фазовом переходе в In и при образовании паров и плазмы с “ударными” скоростями.

Рассчитана температура поверхности CdTe при наносекундном облучении рубиновым лазером.

На рис. 5 приведен математический расчет температуры от интенсивности (a), а также порога плавления CdTe в зависимости от

длительности импульса рубинового лазера (б). При расчетах выявлено, что при конкретно заданном виде обработки (например, естественное скалывание), значительный вклад в значение $I_{\text{пор}}$ дает зависимость теплофизических параметров от температуры, а не временные и другие параметры возбужденной электронно-дырочной плазмы. Величины c_p, χ, ρ изменяются с температурой от 0 до 1092 °С на десятки процентов.

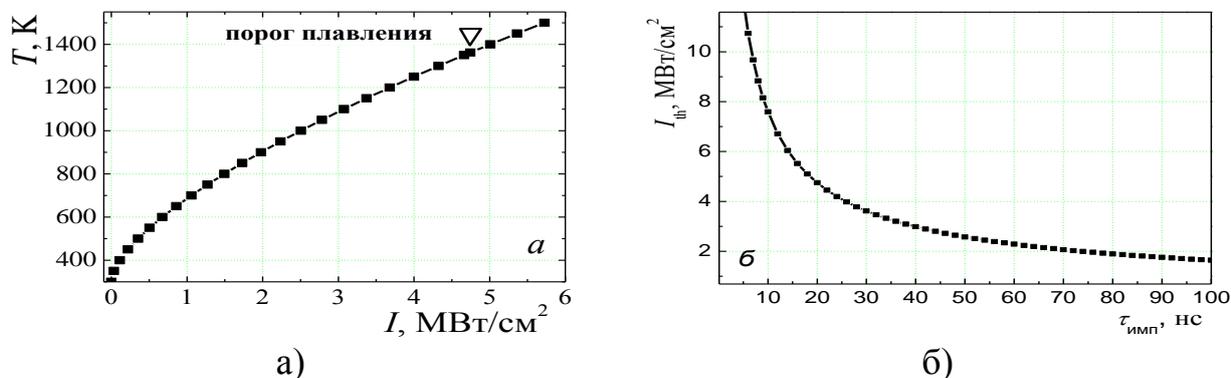


Рис. 5. Зависимость температуры от интенсивности (а) и порога плавления $I_{\text{пор}}$ от длительности импульса $\tau_{\text{имп}}$ (б) рубинового лазера для CdTe

Видно, что в пределах длительности импульса от 5нс до 100 нс $I_{\text{пор}}$ изменяется от 12 МВт/см² до 1,7 МВт/см², то есть в 7 раз. При изменении длительности импульса (20 нс) на ± 5 нс величина $I_{\text{пор}}$ изменяется от 4 до 5,75 МВт/см². При 20 нс $I_{\text{пор}} = 4,74$ МВт/см².

В четвертой главе “Дефектообразование и нелинейные эффекты в GaAs и GaSe при импульсном лазерном облучении” рассмотрены результаты облучения полупроводника GaAs не только с позиций термического воздействия света, деформаций, рассмотрен эффект дальнего действия, т.е. изменение поверхностных свойств на расстояниях от зоны облучения, значительно превышающих длины диффузии тепла за время импульса.

Для исследования разупорядоченных кристаллов используется комбинационное рассеяние света, которое позволяет определить степень аморфизации приповерхностного слоя кристалла и локализацию фононов в нанокристаллах размером ~ 20 нм.

Исследованы кристаллы GaAs, легированные Si в процессе роста. Спектры комбинационного рассеяния света возбуждались излучением Ar^+ -лазера с длиной волны 488 нм при мощности ~ 100 мВт и $T=300\text{K}$. На рис. 6 представлены спектры комбинационного рассеяния света исходного (кр.1 и 1') и облученного (кр.2 и 2') образца в зоне (кр.1,2) и вне зоны (кр. 1', 2') облучения. В этой геометрии образца линия ТО-фонона значительно превышает интенсивность линии LO-фонона. После облучения плотностью мощности ниже порога плавления образца дозой $D = 0,5$ Дж/см² наблюдаются следующие изменения в спектрах КРС:

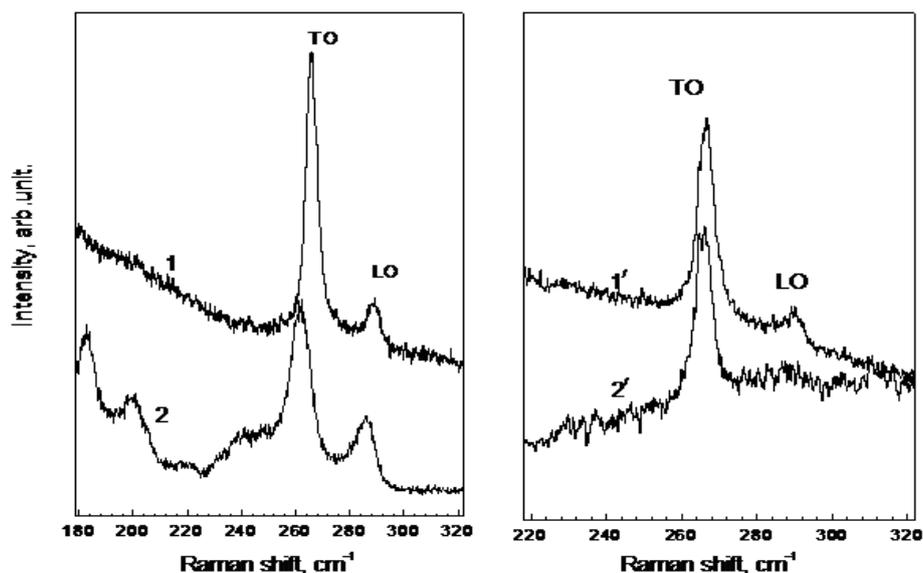
— в зоне облучения интенсивности линий LO- и TO- фононов уменьшаются, сдвигаются в сторону более низких частот и происходит их значительное уширение.

— появляются линии 183, 200 и 245 cm^{-1} , характерные для аморфного GaAs интенсивность, которых сравнима с интенсивностью линий LO- и TO-фононов.

— вне зоны облучения происходит меньший сдвиг положения линий LO- и TO- фононов в сторону более низких частот, чем в зоне облучения.

Наблюдаемые изменения параметров линии LO- и TO- фононов обусловлены деформацией приповерхностного слоя. Обнаружен эффект дальнего действия при импульсной лазерной обработке, что свидетельствует о существенной роли деформационных (нетепловых) механизмов лазерного воздействия на полупроводники.

Изучены нелинейные эффекты – двух-фотонное поглощение, индуцированное поглощение, просветление и комбинационное рассеяние света в GaSe. Облучение кристаллов ϵ -GaSe импульсами рубинового лазера с плотностью мощности ниже порога разрушения поверхности образцов приводит к образованию в кристаллах областей с другим политипным составом (γ - политипа).



Кривые 1,2 и 1', 2' измерены в зоне и вне зоны облучения

Рис. 6. Спектры комбинационного рассеяния света кристаллов n-GaAs:Si ориентации [111] исходного (кр.1 и 1') и облученного (кр.2 и 2') рубиновым лазером дозой 0,5 Дж/см²

Пятая глава посвящена “Акустической эмиссии при прохождении тока в светодиодных GaN структурах и импульсном лазерном облучении CdTe и GaAs”, поскольку это важно для неразрушающего контроля дефектообразования и деградации.

Одной из существенных проблем изготовления и эксплуатации при критических режимах светодиодных гетероструктур на основе соединений

InGaN, AlGaN, GaN является неоднородность проводимости в объеме, разность модулей упругих постоянных, коэффициентов термического расширения и постоянных решеток на границах гетеропереходов, теплового сопротивления активной среды и теплоотвода, что приводит к значительному градиенту температур и соответственно значительным термомеханическим напряжениям (до 10^7 Па) при протекании тока. Это значительно ускоряет деградацию, снижает КПД и продолжительность функционирования. Релаксация механических напряжений сопровождается акустической эмиссией – это явление излучения упругих акустических волн при динамической перестройке структуры материала.

Сигналы акустической эмиссии регистрировались пьезодатчиком и акустоэмиссионным прибором АФ-15 в полосе частот 200 – 500 кГц при усилении до 76 дБ и поступали на компьютер. На рис.7 представлены корреляции квантового выхода (а), флуктуаций тока (б), и акустической эмиссии. Временным границам группы сигналов акустической эмиссии (события акустической эмиссии) соответствуют значительные единичные взрывные флуктуации тока, а наибольшая плотность непрерывного токового шума достигается позднее - при затухании акустической эмиссии. В большинстве случаев наблюдается временная корреляция между флуктуациями квантового выхода, которые отвечают группам сигналов непрерывной акустической эмиссии.

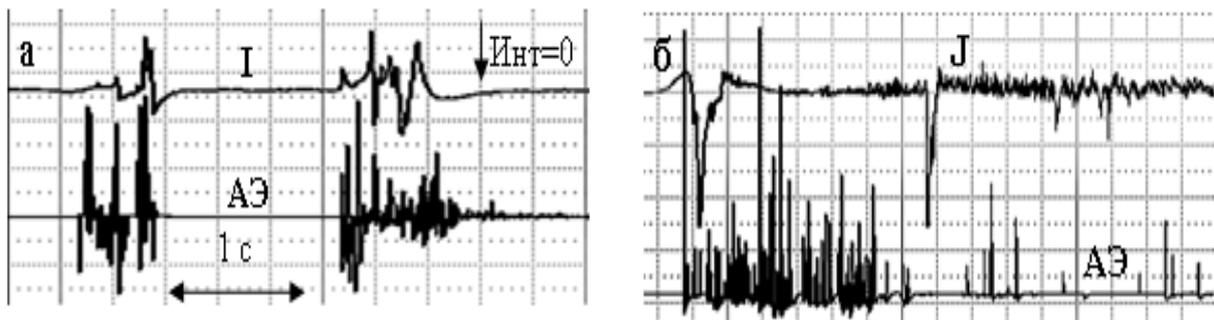


Рис. 7. Корреляция акустической эмиссии, флуктуаций квантового выхода I (а) и тока J (б) в InGaN/GaN гетероструктуре при 110 А/см^2 в момент резкой деградации

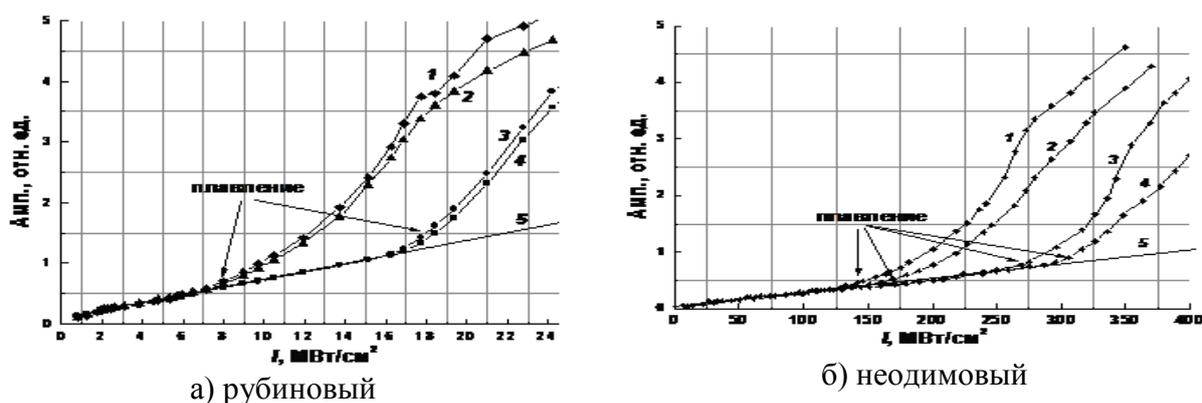
Было установлено, что взаимосвязь между акустической эмиссией и изменениями электрических и люминесцентных характеристик светодиодных структур при протекании критических плотностей прямого тока указывает на процесс возникновения структурных протяженных дефектов (источников акустической эмиссии) преимущественно в активной области гетероструктур.

Также изучены механизмы акустического излучения при интенсивном наносекундном лазерном облучении CdTe и GaAs. Акустические импульсы генерируются при резком изменении объема при плавлении, воздействии неравновесных паров на поверхность и расширением облака горячей плазмы, а также акустической эмиссией при зарождении дислокаций и при фазовых

преобразованиях *твердое тело- жидкость и жидкость - твердое тело*. Установлены пороги плавления поверхности монокристаллов при однократном наносекундном лазерном облучении по нелинейной зависимости амплитуды акустического отклика от интенсивности.

На рис. 8а приведены зависимости амплитуды акустического сигнала от интенсивности излучения рубинового лазера $A(I)$. В режиме однократного облучения, в линейной области зависимости $A(I)$ до 7 МВт/см^2 для CdTe и 17 МВт/см^2 для GaAs, при котором еще отсутствует плавление поверхности, акустическим откликом есть фототермоакустический сигнал за счет термического расширения при нестационарном нагревании. В области $I = 8\text{-}24 \text{ МВт/см}^2$ для CdTe и $I = 18\text{-}24 \text{ МВт/см}^2$ для GaAs зависимость $A(I)$ становится нелинейной, что обусловлено дополнительными механизмами акустического излучения за счет процесса плавления приповерхностного слоя.

Сечение линейной аппроксимации (кривая 5) с началом нелинейной зависимости $A(I)$ оценивается как порог плавления $I_{\text{пор}}$ приповерхностного слоя CdTe и GaAs, что составляет $8 \pm 0.4 \text{ МВт/см}^2$ для CdTe (111) и $18 \pm 0.4 \text{ МВт/см}^2$ для GaAs (111).



а) рубиновый
 Облучение кристалла CdTe (111) в одну область (1) и в разные области (2).
 Облучение кристалла GaAs (111) в одну область (3) и в разные области (4).
 5 - линейная аппроксимация

Рис. 8. Зависимость амплитуды акустического сигнала от интенсивности импульса различных лазеров

На рис.8б приведены зависимости $A(I)$ при облучении импульсами неодимового лазера, т.е. в области прозрачности исследуемых материалов. При этом из-за отсутствия фундаментального поглощения света излучение будет поглощаться на свободных носителях, фонах, на структурных дефектах решетки и поэтому глубина поглощения света большая, чем глубина распространения тепла. Порог плавления в этом случае сильно зависит от концентрации дефектов и свободных носителей в приповерхностном слое.

Аналогично, сечение аппроксимации (кривая 5 на рис. 8 б) с началом нелинейной зависимости $A(I)$ определяет порог плавления $I_{\text{пор}}$ приповерхностного слоя CdTe и GaAs при облучении неодимовым лазером. В однократном режиме значение $I_{\text{пор}}$ равно $170 \pm 5 \text{ МВт/см}^2$ для CdTe (111) (кривая 2) и $310 \pm 5 \text{ МВт/см}^2$ для GaAs (111) (кривая 4)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований по изучению процессов лазерной наносекундной обработки полупроводниковых кристаллов сделаны следующие выводы:

1. Экспериментально показано, что при дозовом импульсном лазерном облучении CdMgTe в приповерхностной области кристалла образуется слой с большей шириной запрещенной зоны, то есть этот способ получения гетерослоя обладает преимуществом по сравнению с традиционной технологией.

2. Найдено, что глубокое и быстрое проникновение атомов In в CdTe при наносекундном лазерном облучении структуры In-CdTe объясняется значительными градиентами давления и температуры за счет механизма баро- и термодиффузии.

3. Разработан способ управления распределением примесей в CdTe путем создания паров «ударных» скоростных плазм и фазовых переходов в In, дополнительного давления при интенсивной бародиффузии тепловой деформации.

4. Разработана технология получения In-CdTe структуры с 30 нм толщиной In обладающей свойством памяти и переключения путем облучения наносекундным лазером мощностью $E = 100$ мДж/см².

5. Экспериментально установлено, что значением пороговой интенсивности плавления CdTe и структуры пленка In/CdTe при наносекундном облучении рубиновым лазером для заданного вида обработки можно управлять зависимостью теплофизических параметров от температуры и длительности импульса рубинового лазера ($\tau_{\text{имп}} = 5 \dots 120$ нс).

6. Экспериментально показано, что процесс лазерно-индуцированного локального плавления соединений монокристаллов CdTe и GaAs определяется нелинейной зависимостью амплитуды индуцированного акустического отклика в диапазоне 20 – 2000 кГц от интенсивности наносекундного лазерного излучения.

7. Установлено, что порог плавления поверхности монокристаллов при однократном наносекундном (20 нс) облучении с $\lambda=0,694$ мкм, определенный по изменению амплитуды акустического отклика, составляет $8 \pm 0,4$ МВт/см² для грани (111) CdTe и $18 \pm 0,4$ МВт/см² для грани (111) GaAs; при однократном наносекундном (15 нс) облучении светом в области прозрачности кристаллов ($\lambda=1,06$ мкм) порог плавления составляет 170 ± 5 МВт/см² для CdTe (111) и 310 ± 5 МВт/см² для GaAs (111).

8. Найдено, что облучение кристаллов ϵ -GaSe импульсами рубинового лазера с плотностью мощности ниже порога разрушения поверхности образцов приводит к образованию в кристаллах областей с другим политипным составом (γ -политип).

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING OF THE SCIENTIFIC DEGREES
DSc.27.06.2017.FM/T.34.01 AT PHYSICOTECHNICAL INSTITUTE,
INSTITUTE OF ION-PLASMA AND LASER TECHNOLOGIES,
SAMARKAND STATE UNIVERSITY**

NUKUS STATE PEDAGOGICAL INSTITUTE

DAULETMURATOV BORIBAY KOPTLEUOVICH

**OPTIMIZATION OF THE METHODS OF PULSED LASER
PROCESSING OF Cd(Me)Te and Ga(As, Se, N) CRYSTALS**

01.04.10 – Physics of semiconductors

**ABSTRACT OF DOCTORAL DISSERTATION (DSc)
ON TECHNICAL SCIENCES**

TASHKENT–2017 year

Subject of doctoral dissertation is registered in the Higher Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan in B2017.1. DSc /T9

The doctoral dissertation carried out at the Karakalpak State university.

Abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian and English) is available on the web page of the Scientific Council at fti-kengash.uz and educational and informational-portal "ZiyoNet" in address www.ziynet.uz

Scientific consultant:	Vlasenko Aleksandr Ivanovich Doctor of physical and mathematical sciences, professor
Official Reviewers:	Gnatenko Yuriy Pavlovich Doctor of physical and mathematical sciences, professor Abdukadirov Mukhitdin Abdurashidovich Doctor of sciences in technics, professor Kasimaxunova Anarxan Mamasadikovna Doctor of sciences in technics, the senior scientific
Lead organization:	Tashkent University of information technologies

Defense will take place «___» _____2017 at _____ at the meeting of Scientific council number DSc.27.06.2017.FM/T.34.01 at Physicotechnical Institute, Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Samarkand State University (Address: 100084, Uzbekistan, Tashkent city, 2b, Bodomzor yoli str., Phone: (99871) 235-42-91, e-mail: lutp@uzsci.net, Meeting Room of Physicotechnical Institute).

Doctoral dissertation is possible to review in Information-resource centre at Physicotechnical Institute (is registered № _____) (Address: 100084, Uzbekistan, Tashkent city, 2b, Bodomzor yoli str., Phone: (99871) 235-42-91).

Abstract of dissertation sent out on «___» _____ 2017.

(mailing report № _____ on «___» _____ 2017).

S.L.Lutpullaev

Chairman of scientific council on award of scientific degrees, doctor of sciences in physics and mathematics, professor

A.V.Karimov

Scientific secretary of scientific council on award of scientific degrees, doctor of sciences in physics and mathematics, professor

S.A.Bakhramov

Chairman of scientific Seminar under Scientific council on award of scientific degrees, doctor of sciences in physics and mathematics, professor

INTRODUCTION (abstract of DSc thesis)

Topicality and necessity of the thesis. Upon production of the modified structure with improved parameters, a good choice of technologies and methods of processing of semiconductors and structures based on them is important. For example, the use of pulse laser treatment of crystals and semiconductor structures can control the mechanisms and laws of diffusion. Moreover, nanosecond laser irradiation of binary and ternary solid solutions of semiconductor crystals makes it possible to receive an acoustic response and shock wave, to define the temperature, pressure and impurities distribution, providing new photovoltaic properties of semiconductor surfaces. The use of gallium nitride allows learning the correlation of acoustic emission and changes of luminescent and electrical characteristics in the LED structures when passing current. Research work carried out in the above directions indicate the relevance of the topic of the dissertation.

Relevant research priority areas of science and developing technologies of the Republic. This thesis performed in accordance with the priority areas of science and technology of the Republic of Uzbekistan. See section III «Energetics, energy and resource economy, transport, mechanical engineering and instrumentation; the development of modern electronics, microelectronics, photonics, electronic instrument engineering."

A review of international research on the topic of the thesis¹. Research of laser irradiation to improve technology and optimize the parameters of X-ray and gamma-ray detectors conducted in leading scientific centers, including National Center for Biotechnology Information (USA) and Shizuoka University (Japan), Tashkent State Technical University, and Samarkand State University.

Problem development status. The decisions of a problem of controllable transformation of structure require (demand) superficial layers Cd (Me) Te and Ga (As, Se, N) with the help of laser processing for effective management of their photo-electric, electrical, luminescent and optical properties.

Relevance of the dissertation research to the plans of scientific-research works. The dissertation research is carried out within the framework of the plan of scientific research for the project P-18.52 "Exploring the technology of obtaining silicon wafers for intended solar cells", Nukus State Pedagogical Institute, and on the basis of collaboration between the V.E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine on the theme № 2.1.1/17 "Development and creation the acoustic-emission rapid method for monitoring and predicting the reliability of semiconductor materials and structures" for 2008-2017 years and Karakalpak State University.

The aim of research work is process optimization of nanosecond laser processing of semiconductor crystals of Cd (Me) Te and Ga (As, Se, N) and the

¹ A review of international research on the topic of the thesis was carried out on the basis of Progress in the Development of CdTe and CdZnTe Semiconductor Radiation Detectors for Astrophysical and Medical Applications. Review // Sensors. – 2009. No. 9. – P. 3491-3526; IEEE Transactions on Nuclear Science. – 2011. Vol. 58. Issue 5. Part 2. – P. 2363-2370; Physica Status Solidi (C). – 2009. № 1. – P. 209-212 and other sources.

study defect formation, diffusion, shock-wave process, acoustic emission and non-linear optical effects there.

The subject of research - the compound semiconductors Cd(Me)Te, Ga(As, Se, N) under pulse laser treatment.

The object of study - the processes of defect formation, mass transfer, the shock wave, the acoustic emission under nanosecond laser irradiation of Cd (Me) Te, Ga (As, Se, N).

Methods of the research: Raman scattering, photoconductivity, photoluminescence, electroluminescence, optical transmission, the two-photon absorption, induced absorption and bleaching, Auger analysis, stratified and selective etching, methods for studying the surface morphology, the current-voltage, voltage-farad characteristics, acoustic emission method, theoretical calculations.

Scientific novelty of the research work

it is shown that the treatment of high-resistance crystals of CdTe, CdZnTe by nano-second pulses of a ruby laser makes it possible to improve the state of the surface;

the conditions for increasing the sensitivity and reducing the rate of surface recombination, as well as changes in the spectral range of photoluminescence and photoconductivity, are found;

an acoustoemission method for determining the melting thresholds of semiconductor crystals, in particular, CdTe and GaAs, is developed from the change in the amplitude and energy of acoustic radiation during;

a method for fabricating a Te-CdTe structure with the electronic memory switching feature by nanosecond laser irradiation of CdTe is proposed;

it is established that on the basis of acoustic emission mechanisms it is possible to determine the melting threshold of single crystals of semiconductors under pulsed laser irradiation of CdTe and GaAs;

regularities and methods of optimization by pulsed laser surface treatment of semiconductors for use in the technology of laser processing of CdTe, TP based on it, GaAs, GaSe.

Practical results of research work

It has been shown that treatment of high impedance crystal CdTe, $Cd_xZn_{1-x}Te$ with $x=0,1$ и $x=0,04$ under nanosecond ruby laser pulses can improve the condition of the surface: to increase the sensitivity and to reduce the surface recombination velocity, as well as change the spectral range of photoluminescence and photoconductivity.

It was proposed a method for the manufacture of Te-CdTe structure with electronic switching property with memory by nanosecond laser irradiation of CdTe.

.Discovered patterns and the optimization of method PLI for semiconductorsurface can be used in laser processing technology of CdTe, solid solution based on it, as well as GaAs, GaSe.

Authenticity of the obtained results is confirmed by the use of modern scientific and technological methods, standard and proven monitoring techniques.

The results and conclusions are justified on physical performances based on theoretical and experimental data. The reliability of the experimental data provided by the use of comprehensive independent data measurement and processing techniques, as well as their compliance with modern concepts of physics and technology of semiconductors and products based on them.

Scientific and practical value of the research results.

The scientific value of the research lies in the fact that the study of the mechanisms of mass transfer, diffusion, melting, ablation, defect formation, shock-wave processes under the powerful pulsed irradiation of semiconductors and such structures as the film of metal-semiconductor is important for the correct description of ultrafast simultaneously occurring physical nonlinear processes under the powerful nanosecond laser irradiation of crystals.

The practical value of the work lies in the fact that in semiconductors CdMeTe the ascertained dominant mechanisms of the mass transfer, calculations of heat and pressure gradients during PLI allow a targeted modification of properties and get new layers and structures with unique optical, photovoltaic properties that will be used in a variety of sensors and detector devices .

Implementation of the research results.

Based on the results of studying the effect of pulsed laser processing of crystals and nonlinear optical effects on diffusion and defect formation processes:

the developed acousto-emission express methods of monitoring and predicting the reliability of semiconductor materials were used in the selection of InGaN LEDs for the serial production of energy-efficient LED luminaires (Reference of Poltava National Technical University, August 15, 2016). Application of the obtained results allowed to increase the light output coefficient of luminaires by 3%;

the results obtained for mass transfer mechanisms for nanosecond laser solid-state doping with CdTe by Indium; the mass transfer coefficients of Indium in CdTe; the causes of local melting of compounds of CdTe and GaAs single crystals; established thresholds for the melting of the surface of single crystals with a single nanosecond (20 ns) irradiation with $\lambda = 0.694 \mu\text{m}$; the established relationship between the processes of acoustic emission generation and changes in luminescent and electrical characteristics of GaN-based heterostructures were used in the implementation of the grant by Karakalpak State University of Berdakh F-2-OT-1-10079 "Peculiarities of laser-induced nonlinear processes of defect formation in semiconductors" 2011-2016 (Reference of the Committee for the Coordination of the Development of Science and Technology of the Republic of Uzbekistan of February 21, 2017). The use of scientific results allowed to develop a nondestructive express method of monitoring and predicting the reliability of LEDs.

The results obtained by the mechanisms of the mass transfer of Indium atoms to cadmium telluride and the Raman scattering for Indium and Tellurium materials have been used in foreign journals (Journal of Applied Physics 119, 024106 (2016) 10.1063 / 1.4937996; Chem. Mater., 2014, 26 (7), pp 2313-2317, Sensors and Actuators B: Chemical, Volume 191, February 2014, Pages 673-680) to determine the depth of shock wave formation.

Approbation of the research results. Results of the research work have been discussed at international 17 and republican 5 scientific and practical conferences.

Publication of the results. The main results of the dissertation are published in 17 research papers, 3 papers are in English language, 1 book (monograph), and 9 conference Proceedings.

Publication of the research results. 40 scientific works were published on the thesis theme, including 17 articles in journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for the publication of basic scientific results of doctoral theses. There is 1 utility model patent.

The structure and scope of the thesis. The thesis consists of an introduction, five chapters, conclusion and bibliography. Totally there are 208 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Даулетмуратов Б.К., Бекбергенов С.Е., Аметов Б.Т., Даулетмуратов Б.Б. Дефектообразование в CdTe при распространении ударной волны вследствие лазерного облучения // Узбекский физический журнал. – 2015. – Т.17, № 3, - С. 153-160. (01.00.00.№5)
2. Dauletmuratov B.K. Features of a shock wave in CdTe by pulsed laser irradiation // Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. – 2011. – Vol. 14, No 1. – P. 130-134. (01.00.00.№7)
3. Baidullaeva A., Dauletmuratov B.K. Veleschuk V.P., Vlasenko A.I., Gnatyuk V.A., Levytskyi S.N., Aoki T. Mechanisms of mass transfer of indium in CdTe under nanosecond laser irradiation // Ukr. J. Phys. 2011. Vol. 56, No 2. (01.00.00.№51)
4. Veleschuk V.P., Baidullaeva A., Vlasenko A.I., Gnatyuk V.A., Levytskyi S.N., Lyashenko O.V Dauletmuratov B.K. and Aoki T. /Mass Transfer of Indium in the In-CdTe Structure under Nanosecond Laser Irradiation / Physics of the Solid State Vol. 52, No.3, 2010 p.469-476 (№11. Springer, IF-0,727)
5. Gnatyuk V.A., Aoki T., Vlasenko O.I., Levytskyi S.N. Lambropoulos C.P. Dauletmuratov B.K./Modification of the surface state and doping of CdTe and CdZnTe crystals by pulsed laser irradiation / Applied Surface Science. – 2009. – Vol. 255, N24 – P. 9813-9816. (IF – 3.15)
6. Ляшенко О.В., Власенко А.И., Байдуллаева А., Велещук В.П., Даулетмуратов Б.К. / Корреляция акустической эмиссии при токовой нагрузке светодиодов в InGaN/GaN с изменениями их люминесцентных и электрических характеристик/ Узбекский физический журнал. – 2008. – Т.10, № 3, - С. 196-203 (01.00.00.№5)
7. Муминов Р.А., Фомин А.В., Кравецкий М.Ю., Даулетмуратов Б.К., Пащенко Г.А. Особенности морфологии поверхности подложек, изготовленных из слитков CdTe резкой химическим растворением // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. Ташкент. – 2008, №3 –С. 21-27. (01.00.00.№7)
8. Baidullaeva A., Veleschuk V.P, Vlasenko A.I., Lyashenko O.V., Mozol P.O., Dauletmuratov B.K./ Effect of Melting on the Acoustic Response of CdTe and GaAs Subjected to the Pulsed Laser Irradiation/ Semiconductors, 2008 p, Vol.42, No. 3, pp. 281-285, Pleiades Publishing, Ltd., 2008 (№11. Springer, IF-0,603)
9. Даулетмуратов Б.К. Лазерно - индуцированное изменение фотоэлектрических свойств $Mg_{0,20}Cd_{0,80}Te$ // Узбекский физический журнал. – 2008. – Т.10, № 6 – С. 401-405. (01.00.00.№5)

10. Байдуллаева А., Борщ В.В., Велешук В.П., Власенко А.И., Даулетмуратов Б.К., Левицкий С.Н., Мозоль П.Е. Структура Te-CdTe со свойством электронного переключения с памятью // Технология и конструирование в электронной аппаратуре ТКЭА. – 2007. – 5(71) – С. 40-43. . (01.00.00.№46)
11. Байдуллаева А., Велешук В.П., Власенко А.И., Ляшенко О.В., Даулетмуратов Б.К., Чуприна Р.Г. Сопоставление процессов акустической эмиссии и флюктуаций квантового выхода и тока в гетероструктурах // Вестник Киевского университета, сер. физ.-мат. науки. – 2007, № 3 – С. 269-272. . (01.00.00.№10)
12. Baidullaeva A., Vlasenko Z.K., Kuzan L.F. Dauletmuratov B.K. and Mozol P.O./ Specific Features of the Spectra of Nonlinear Optical Absorption in Nonstoichiometric and Ni Doped GaSe Single Crystals / ISSN 1063-7826, Semiconductors, 2006, Vol. 40. No. 4. pp.391-393 (№11. Springer, IF: 0.603)
13. Baidullaeva A., Vlasenko Z.K., Kuzan L.F. Dauletmuratov B.K. and Mozol P.O./ Raman Spectra of the Laser-Irradiated GaSe Single Crystals/ Semiconductors, Vol. 39, No. 4, 2005, pp.381-384. (№11. Springer, IF: 0.603)

II бўлим (II часть; II part)

- 14 Власенко А.И., Велешук В.П., Власенко З.К., Киселюк М.П., Борщ В.В., Борщ Е.Б., Шульга А.В., Пугач М.В., Нелюба Д.М., Даулетмуратов Б.К. ”Энергосберегающая установка для обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением”, патент Украины № 104519 на полезную модель, дата публикации 10.02.2016.
- 15 Тагаев М.Б., Беляев С.В., Велешук В.П., Даулетмуратов Б.К./ Влияние уровня фонового загрязнения на электрические неоднородности в расплавленных монокристаллах CdTe и Cd_{1-x}Zn_xTe/ Вестник Каракалпакского Государственного Университете им. Бердаха. Нукус 2009. - № 1. – С. 11-16.
- 16 Велешук В.П., Власенко А.И., Ляшенко О.В., Байдуллаева А Даулетмуратов Б.К./ Акустическая эмиссия и изменения люминесцентных и электрических характеристик гетероструктур InGaN/GaN при токовой нагрузке/ Физика и химия твердого тела. – 2008. – Т.9, № 1 – С. 169-174.
- 17 Власенко А.И., Власенко З.К., Левицкий С.М., Курило И.В., Рудый И.О., Даулетмуратов Б.К./ Особенности образования преципитатов в твердых растворах CdHgTe / Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. – 2006, вып. 41 – С. 60–66.
- 18 Байдуллаева А., Борщ В.В., Власенко З.К., Вуйчик Н.В., Мозоль П.Е., Велешук В.П. Даулетмуратов Б.К./ Влияние импульсного лазерного излучения на спектры комбинационного рассеяния света в n – GaAs / Оптоэлектроника и полупроводниковая техника.–2006, вып. 41–С.87-91

- 19 Baidullaeva A., Vlasenko O.I., Mozol P.O., Dauletmuratov B.K. Pobirovsky P.V. Photoluminescence of CdTe:In Irradiated by Ruby Laser Pulses of Nanosecond Duration / IEEE Conference, Rome 2004. - p. 2 .
- 20 Байдуллаева А., Борщ В.В., Власенко А.И., Велешук В.П., Мозоль П.Е., Даулетмуратов Б.К / Структурное изменение приповерхностного слоя кристаллов CdTe и GaAs при релаксации фотостимулированных упругих напряжений /Материалы международной научно-практической конференции "Структурная релаксация в твердых телах" 23-25 мая, 2006 г., Винница, Украина. – С. 283-284.
- 21 Беляев С.В., Муминов Р.А., Стронский А.В. Даулетмуратов Б.К./ Флуктуации фоновых примесей и особенности электропроводности высокоомных монокристаллов $Cd_{1-x}Zn_xTe$ /Труды V Межн. научн. конф. "Радиационно-термические эффекты и процессы в неорганических материалах" 28 июля – 4 августа 2006 г. Томск, Россия. – С. 261-264.
- 22 Veleschuk V.P., Baidullaeva A., Vlasenko A.I., Lyashenko O.V., Dauletmuratov B.K., Lyashenko I.O./ Melting threshold and plasma occurrence in binary compounds under the ruby laser radiation/7th International Young Scientists Conference SPO 2006 Optics and High Technology Material Science. - October 26-29, 2006, Kiev, Ukr. – P. 130.
- 23 Велешук В.П., Власенко А.И., Ляшенко О.В., Байдуллаева А. Даулетмуратов Б.К./ Естественное старение светоизлучающих структур на основе соединений A^3B^5 / Конференция молодых ученых по физике полупроводников "Лашкаревские чтения" г. Киев, 21-23 апреля 2008 г. - с.128 – 129.
- 24 Байдуллаева А., Велешук В.П., Власенко А.И., Ляшенко О.В., Мозоль П.Е. Даулетмуратов Б.К. /Установление по изменению индуцированного акустического отклика порогов плавления поверхности CdTe, GaAs и Si при наносекундном лазерном облучении/ III международная научно-практическая конференция "Материалы электронной техники и современные информационные технологии МЭТИТ-3", Кременчуг, 21-23 мая 2008 г., - С. 48-49.
- 25 Байдуллаева А, Бойко Н.И., Власенко А.И., Емельянов В.И., Велешук В.П., Мозоль П.Е., Даулетмуратов Б.К., Литвин О.С./ Формирование упорядоченных наноструктур на поверхности кристалла CdTe при многоимпульсном лазерном облучении/ Наноструктурные материалы-2008, Беларусь-Россия-Украина. I международная научная конференция. Минск, 22-25 апреля 2008 г. - С. 46.
- 26 Ivanov V.I., Belyaev S.V., Dauletmuratov B.K / Influence of Atmospheric Oxygen on the State of the Surface of CdTe, $Cd_{1-x}Zn_xTe$ Single Crystals/ XXXVII International School on the Physics of Semiconducting Compounds. Jaszowiec, Warsaw 2008. – P. 153.
- 27 Ivanov V.I., Belyaev S.V., Dauletmuratov B.K/ Local Impurity Inhomogenities in the High-resistance CdTe Monocrystals./ XXXVII International School on the Physics of Semiconducting Compounds. Jaszowiec, Warsaw 2008. – P. 154.

- 28 Gnatyuk V.A., Aoki T., Vlasenko O.I., Levytskyi S.N., Lambropoulos C. Dauletmuratov B.K/ Modificachion of the Surface State and Doping of CdTe and CdZnTe Crystals by Pulsed Laser Irradiation/6th International Conference on Photo-Excited Processes and Applications 9-12 Sep. 2008, Sapporo, Hokkaido, Japan. – P.139.
- 29 Власенко А.И., Велешук В.П., Власенко З.К., Левицкий С.Н., Гнатюк В.А., Киселюк М.П., Даулетмуратов Б.К./ Возникновение и распространение ударной волны в CdTe при импульсном лазерном облучении/ Материалы международной научно - практической конференции “Структурная релаксация у твердых телах”. - Винница, Украина, 26-28 мая, 2015 г. – С. 173-175.
- 30 Байдуллаева А., Бойко Н.И., Власенко А.И., Даулетмуратов Б.К. Мозоль П.Е./ Дальнейшее влияние импульсного лазерного облучения на процессы формирования наноструктур в кристаллах р-CdTe./ XII Международная конференция по физике и технологии тонких пленок и наноструктур.18- 23 мая 2009, Ивано-Франковск, Украина. С.
- 31 Veleschuk V.P., Baidullaeva A., Vlasenko A.I., Gnatyuk V.A., Levytskyi S.N., Ivlev G.D., Gatskevich E.I., Dauletmuratov B.K / Masstransfer of indium in In/CdTe structures at nanosecond laser irradiation/10th International young scientists conference Optics and high technology Material Science-SPO 2009 October 22-25 Kiev. - P. 114-115.
- 32 Байдуллаева А., Бойко Н.И., Власенко А.И., Велешук В.П., Мозоль П.Е., Даулетмуратов Б.К./ Образование дефектов в монокристаллах р-CdTe лазерно-индуцированной ударной волной/ Актуальные проблемы физики твердого тела. Сборн. докладов Международной научной конференции. 20-23 октября 2009 г., Минск.
- 33 Велешук В.П., Байдуллаева А., Власенко А.И., Даулетмуратов Б.К. Бойко Н.И./ Формирование наноструктур, стимулированное поверхностными акустическими волнами при наносекундном лазерном облучении CdTe./ 8-я Международная научно-техническая конференция “Квантовая Электроника” (КЭ' 2010), 22-25 ноября 2010 г., Минск, Беларусь. - С. 181.
- 34 Даулетмуратов Б.К./ Образование бистабильной структуры с памятью при импульсном лазерном облучении CdTe/ Конференция молодых ученых по физике п/п-ков с международным участием «Лашкаревские чтения», 12-14 апреля 2011 г. Киев. – С. 33-34.
- 35 Dauletmuratov B.K. / Depths of the shock wave and defects-formation in CdTe at pulsed laser irradiation/ Конференция молодых ученых по физике п/п-ков с международным участием «Лашкаревские чтения», 12-14 апреля 2011 г. Киев. – С.28 – 29.
- 36 Dauletmuratov B.K./ An electronic switching structure Te-CdTe, formed under pulsed laser irradiation of CdTe/ Materials ICPTTFN-XIII International Conference Physics and technology in films and nanosystems Vol. 2, 16-21 May 2011, Ivano-Frankivsk, Ukraine.

- 37 Dauletmuratov B.K./ Механизм распространения ударной волны в CdTe при лазерном импульсном облучении/ Республиканская конференция “Фотоэлектрические и теплофизические основы преобразования солнечной энергии”, Узбекистан, г. Фергана, 2011.
- 38 Даулетмуратов Б.К / Features of a shock wave in CdTe by pulsed laser irradiation/ Лазерные технологии. Лазеры и их применение”, – Украина, Трускавец, 21-23 июня 2011.– С.55.
- 39 Даулетмуратов Б.К./ Механизм распространения и глубина образования ударной волны в CdTe при лазерном импульсном облучении/ Сборник материалов “Гомельский научный семинар по теоретической физике, посвященный 100-летию со дня рождения Ф.И. Федорова”. - Белоруссия, ГГУ им. Ф.Скорины. - 20-22 июня 2011 г. - С. 223-226.
- 40 Байдуллаева А., Велешук В.П., Власенко А.И., Гнатюк В.А., Даулетмуратов Б.К., Левицкий С.М., Лященко О.В., Мозоль П.О./ XII Международная конференция по физике и технологии тонких пленок и наноструктур. 18- 23 мая 2009, Ивано-Франковск, Украина. С. 207- 208.

Автореферат “Тил ва адабиёт таълими” журнали таҳририятида таҳрирдан
ўтказилди (12.02.2017 йил)

Бичими 60x84¹/₁₆. Ризограф босма усули. Times гарнитураси.
Шартли босма табағи: 3,75. Адади 100. Буюртма № 20.
«ЎзР Фанлар Академияси Асосий кутубхонаси» босмахонасида чоп этилган.
Босмахона манзили: 100170, Тошкент ш., Зиёлилар кўчаси, 13-уй.