ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.30.05.2018.FM/T.65.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ

ШАЙИМОВ ФАЙЗУЛЛО ФАТУЛЛАЕВИЧ

GaAs НИНГ НОЧИЗИҒИЙ ХОССАЛАРИ ВА УНИНГ ҚАТТИҚ ЖИСМЛИ ВА СУЮҚЛИКЛИ ЛАЗЕРЛАРДА ҚЎЛЛАНИЛИШИ

01.04.11 – Лазер физикаси

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2018

УДК:548.0:535.34

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам

Contents of dissertation abstract of the doctor of philosophy (PhD) on physical-mathematical sciences

Шайимов Файзулло Фатуллаевич
GaAs нинг ночизиғий хоссалари ва унинг қаттиқ жисмли ва суюқликли лазерларда қўлланилиши 3

Шайимов Файзулло Фатуллаевич
Нелинейные свойства GaAs и применение его в твердотельных и жидкостных лазерах ……..……... 21

ShayimovFayzulloFatullayevich
Nonlinear properties of GaAs and its application in solid-state and liquid lasers…… 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати
Список опубликованных работ
List of published works……..……..……..…….. 43

ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.30.05.2018.FM/T.65.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ

ШАЙИМОВ ФАЙЗУЛЛО ФАТУЛЛАЕВИЧ

GaAs НИНГ НОЧИЗИҒИЙ ХОССАЛАРИ ВА УНИНГ ҚАТТИҚ ЖИСМЛИ ВА СУЮҚЛИКЛИ ЛАЗЕРЛАРДА ҚЎЛЛАНИЛИШИ

01.04.11 – Лазер физикаси

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2018

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2017.2.PhD/FM89рақами билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ион- плазма ва лазер технологиялари институтида бажарилган

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида (www.iplt.uz)ҳамда «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:	**Бахрамов Сагдилла Абдуллаевич** физика-математика фанлари доктори, профессор, академик
Расмий оппонентлар:	**Кадиров Мумин Кадирович** физика-математика фанлари доктори
	Сапаев Усмон Каландарович физика-математика фанлари доктори
Етакчи ташкилот:	**Ўзбекистон Миллий университети**

Диссертация ҳимояси Ион-плазма ва лазер технологиялари институти ҳузуридаги илмий даражалар берувчиDSc.30.05.2018.FM/T65.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2018 йил «____»_____ соат _____ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100125, Тошкент шаҳри, Дўрмон йўли кўчаси, 33-уй. Тел/факс: (+99871) 262-32-54, e-mail:info@iplt.uz, Ион-плазма ва лазер технологиялари институти мажлислар зали)/

Диссертация билан Ион-плазма ва лазер технологиялар институти Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (_____ рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100125, Тошкент шаҳри, Дўрмон йўли кўчаси, 33-уй. Тел: (+99871) 262-31-69.

Диссертация автореферати 2018 йил «____» _____ куни тарқатилди.

(2018 йил «____» _____даги_____ рақамли реестр баённомаси)

Х.Б.Ашуров
Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш раиси, т.ф.д., катта илмий ходим

Д.Т. Усманов
Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш илмий котиби, ф.-м.ф.д, катта илмий ходим

Б.Е. Умирзақов
Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш қошидаги илмий семинарраиси, ф.-м.ф.д., профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Бугунги кунда дунёда лазер нурланиши таъсирига асосланган технологиялар, қурилмалар яратиш долзарб вазифалардан бири бўлиб қолмоқда. Бу эса ўз навбатида лазер нурланиши характеристикаларига маълум талаблар қўяди. Лазер резонтори асллигини модуляциялаш орқали турли хил хусусиятларга эга лазер нурланишини олиш истиқболли йўналишлардан бири ҳисобланади.Жумладан, лазер резонаторларида тўйинувчи ютувчи ярим ўтказгичли кристал GaAsнинг қўлланилиши, юқорида кўрсатилган талабларни нафақат ижобий ҳал қилади, балки ушбу қурилмалар конструкциясини соддалашишига, тан нархини камайишига олиб келади. Шу сабабли ушбу кристалларнинг оптик хоссаларини ўрганиш, уларнинг лазер қурилмаси нурланиши жараёнига таъсирини тадқиқ этиш лазер технологиялари соҳасининг асосий вазифаларидан бири бўлиб қолмоқда.

Ҳозирги вақтда дунёнинг нуфузли илмий текшириш марказлари, резонатор асллигини модуляциялаш ва модалар синхронизацияси режимида генерацияни амалга оширувчи, аслликни актив модуляциялашга нисбатан конструкцияни соддалаштирувчи, эффективлик, ишончлиликни яхшилашга ва лазер манбаси тан нархини камайтиришга имкон берувчи, лазер резонаторларида тўйинувчи ютгичларни қўллашга эътибор қаратмоқдалар. Бу ушбу методларга асосланган лазер системалари микроэлектроникада, материалларни лазерли қайта ишлашда, наноматериаллар олишда, микроструктурали изланишларда, химия, биология, тиббиёт ва бошқаларда қўлланилиши билан боғланган.

Ўзбекистон Республикасида сўнгги йилларда илмий-текшириш фаолияти материал-техник потенциалини мустаҳкамлашва эффективлигини ошириш йўналишида сезиларли ишлар қилинди. Яқин йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантириш ҳаракатлар Стратегиясида фан ва таълим соҳасини ривожлантиришнинг муҳим йўналиши сифатида – олий таълим муассасалари ва илмий – текшириш институтларида илмий-текшириш ва инновацион фаолиятини рағбатлантириш белгиланган. Шунинг учун, фан ва техника соҳасида истиқболли лазер технологияларини жорий этишга йўналтирилган ишланмалар, Республика экспортни кўзда тутувчи маҳсулотлар ишлаб чиқариш потенциалини ошириш учун муҳим аҳамиятга эга.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 07 феврал 2017 йилдаги «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш ҳаракатлар Стратегияси тўғрисида» ги ПҚ-4947 сонфармонида, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2008 йил 15 июлдаги «Инновацион лойиҳалар ва технологияларни ишлаб чиқаришга қўллашни рағбатлантириш бўйича чора-тадбирлар тўғрисида» ги ПҚ-916 сонли, 2010 йил 15 декабрдаги «Ўзбекистон Республикаси саноатини 2011-2015 йилларда ривожланиш истиқболлари тўғрисида»ги ПҚ-1442 сонли, 2017 йил 17 декабрдаги «Фанлар академияси фаолияти, илмий-тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ПҚ-2789 сонли қарорларидаги ҳамда ушбу соҳада қабул қилинган бошқа

норматив-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада мос келади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланиши устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан фа технологиялар ривожланишининг: ППИ-3–«Энергетика, энергия ресурсларни тежаш, транспор, машина ва асбобсозлик; замонавий электроника, микроэлектроника, фотоника, электрон асбобсозлик ва мехатроникани ривожлантириш» ва ППИ-4 «Қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш методлари, нанотехнология, фотоника ва бошқа илғор технологиялар асосида технология ва қурилмалар яратишни ривожлантириш» устувор йўналишларига мувофиқ бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Турли хорижий илмий марказлари томонидан пассив элементларни тескари манфий боғланиш элементи ва резонатор асллиги модулятори сифатида қўллашга доир бир қатор илмий тадқиқотлар бажарилган.

Ярим ўтказгичли ютгичлар, хусусан GaAs ни ночизиғий оптик характеристикалари таҳлили шуни кўрсатдики, бундай кристалларни резонатор элементи сифатида қўлланилиши улкан истиқболга эгадир.

Ушбу йўналишда хорижлик олимлар Z.Zhang, Y.Wang, D.Shen, J. Gu изланишлар олиб боришган. Мамлакатимиз олимларидан С.А. Бахрамов, Ш.Д. Пайзиев ва бошқалар бу соҳада муҳим аҳамиятли натижаларни қўлга киритишган.

Ҳозирги кунда бу каби кристалларда лазер нурланиши таъсирида нуқсонлар пайдо бўлиши ва улардаги оптик хусусиятларининг ўзгариши орасида ўзаро боғлиқлик борлиги экспериментал ва назарий тадқиқотларда кўрсатиб берилган.

Спектроскопия ва физикавий электроника замонавий усулларининг қўлланилиши, ушбу кристалларда лазер нури интенсивлиги қийматига боғлиқ ҳолда индуцирланган нуқсонлар пайдо бўлишига доир бир неча муваффақиятли физикавий механизмлар яратилишига олиб келди.

Ушбу тадқиқот иши бошланишидан олдин арсенид галлий кристаллининг лазер резонаторларида ишлатилганда импульслар вужудга келиш механизмлари тўлиқ тушунтирилмаган ва резонатор ички нурланиши таъсирида кристалл оптик хоссаларининг ўзгариши ҳақида маълумотлар мавжуд эмас эди. Шу сабабдан, лазер қурилмасининг иш жараёнида ярим ўтказгичли ютгичларнинг оптик хусиятларини ўзгариши ва унинг лазер нури характеристикаларига таъсирини ўрганиш муҳимдир.

Тадқиқотнинг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасаси илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ион-плазма ва лазер технологиялари интитутининг ФА-Ф2-Ф048 рақамли «Атомли, молекулали ва супрамолекулали системаларда оптикавий ва ночизиқ оптикавий ҳодисаларни тадқиқот этиш» (2007-2009), ФА-А4-Ф045 рақамли «Ҳар хил актив элементларни синаш учун Катта Қуёш Печида қуёш дамлашли лазернинг универсал стендини яратиш» (2015-2017) илмий-тадқиқот лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади резонатор ички нурланишига учраган ярим ўтказгичли ютгичлар ночизиғий хоссаларининг лазернинг чиқиш параметрларига таъсирини аниқлашдан иборат.

Тадқиқот вазифалари:

намуналарни оптик бузилиш бўсағасидан паст интенсивликли лазер импульслари билан нурлантирилганда нуқсон ҳосил бўлишини резонатор ички методикасини ишлаб чиқиш;

лазернинг ишлаш жараёнида, чиқувчи ойна сифатида қўлланиладиган ярим ўтказгичларда дефектлар ҳосил бўлишини ўрганиш;

резонаторларда чиқувчи ойна сифатида қўлланиладиган ярим ўтказгичларда дефектлар концентрацияси ўзгаришининг импульсли лазернинг чиқувчи параметрларига боғлиқлигини ўрганиш;

қуёшдан дамланадиган лазерларда актив муҳит сифатида суюқликли люминесцент муҳитларни қўллаш имкониятларини ва аслликни модуляциялаш учун қуёш лазерлари резонаторларида тўйинувчи ярим ўтказгичли ютувчиларни қўллаш имкониятини ўрганиш.

Тадқиқотнинг объектисифатида GaAs монокристали, қаттиқ жисмли ва суюқликли неодимли лазерлар қўлланилган.

Тадқиқотнинг предмети арсенид галлий кристалининг физик параметрлари, неодим актив элементли лазерлар, лазер импульслари ҳосил бўлиш йўллари, модуляция методлари, арсенил галлий кристалидаги нуқсонларнинг лазер чиқувчи параметрларига таъсиридир.

Тадқиқотнинг усуллари. GaAs кристали ночизиғий хоссаларининг лазер чиқувчи характеристикаларига таъсирини ўрганишда, GaAs кристали юзасига тушадиган, лазер нурланиши интенсивлиги ўзгариши билан дефектлар концентрацияси ўсиши учун кристалнинг резонатор ичи нурланишига асосланган метод қўлланилган. Тўйинувчи ютувчининг ишлаш эффективлигининг оптимал қийматига эришиш учун ҳар хил телескоплаш коэффициентли телескоплар қўлланилган. Импульслар кетма-кетлигини регистрация қилиш учун жавоб вақти 0.5 нс бўлган тез ишловчи ЛФД-2 фотодиоди ва 150 МГц чизиқли RIGOL фирмасининг DS5152C хотирада сақловчи сонли осциллографи ишлатилган. Жараённи моделлаштиришнинг сонли усуллари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

Биринчи марта, лазер резонаторларида чиқувчи ойна ва тўйинувчи ютувчи сифатида ишлатилган ярим ўтказгичли GaAs кристалларида, юқори интенсивликли резонатор ички нурланиши натижасида нуқсонлар концентрациясининг ўсиши экспериментал аниқланган;

лазерлар резонаторларида чиқувчи ойна ва тўйинувчи ютувчи сифатида фойдаланилган ярим ўтказгичларнинг юза қатламларида лазерларнинг ишлаш жараёнида нуқтавий нуқсонлар ҳосил бўлиши тўғрисида информация олиш имкониятини берувчи тадқиқотнинг солиштирма методикаси яратилган;

натижалари эксперимент натижалари билан қониқарли даражада мувофиқ тушувчи, нуқсонлар концентрациясининг лазернинг чиқувчи параметрларига таъсирини ўрганиш бўйича сонли тажрибаларни ўтказиш учун математик модель яратилган;

биринчи марта қуёш лазерлари дамлаш эффективлигининг параболик концентратор қамраш бурчагига боғлиқлиги аниқланган;

суюқликли қуёш лазерининг математик модели яратилди ва давомийлиги 1 мс бўлган, қуёш нурланишининг тўпланган оқимида импульсли дамлашда суюқликли лазернинг чиқувчи қуввати ва актив муҳитнинг юқори лазер сатҳи зичлигининг вақтга боғлиқлиги аниқланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

лазерларнинг ишлаш жараёнида, қаттиқ жисмли лазерларнинг резонаторларида чиқувчи ойна ва тўйинувчи ютувчи сифатида ишлатиладиган ярим ўтказгичли кристалларда нуқсонлар ҳосил бўлиши экспериментал тадқиқотлари учун яратилган қиёсий методикада узун цуглар олиш учун лазернинг оптимал параметрлари аниқланган;

люминесцент суюқликларнинг актив муҳит сифатида қўллаш бўйича олинган сонли экспериментлар натижалари қуёшда дамланадиган лазерлар яратиш имконини беради. Оксихлорид фосфорли суюқликли қуёш лазерларида дамлаш эффективлиги нисбатан юқори қийматларга эришадиган лазер узеллари параметрларининг оптимал қийматлари аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги ўлчашнинг замонавий метод ва воситалари комплекслари қўлланганлиги, квант тушунчалари асосида олинган қонуниятларни сонли ва аналитик кўриб чиқиш, эксперимент натижаларининг математик моделлари билан мос келиши ва умумфизикавий тушунчалар ва бошқа ишларнинг натижаларига мос келишига асосланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти лазер резонаторларида ярим ўтказгичли кристал арсенид галлийни бир вақтнинг ўзида резонатор асллигини модуляцияловчи, тескари манфий боғланиш элементи ва чиқувчи ойна сифатида ишлатилганда, унда резонатор ички нурланиши таъсирида нуқсонлар концентрациясининг ошиши аниқланган,бунда биринчи навбатда, лазер нурланиши характеристикалари ўзгаришини кузатиш асосида хамда лазер чиқувчи нурланиши характеристикаларининг тўйинувчи ютувчи кристаллар бир фотонли ютиш коэффициенти қиймати ўзгаришига боғлиқлигини сонли таҳлил этиш, ўрганиш имконини яратади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти шундаки, экспериментал ва сонли тадқиқотлар натижалари оптика, лазер физикаси ва сирт физикаси соҳаларида амалий аҳамиятга эга ва ушбу соҳалар жараёнлари ҳақидаги тушунчаларни чуқурлаштиришга хизмат қилади. Қуёш лазерларида актив элемент сифатида суюқ актив муҳитларнинг ишлатилиши бўйича сонли эксперимент натижалари, қуёшда дамланадиган қувватли лазерлар ишлаб чиқиш имконини беради.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Лазер резонатори ички нурланиши натижасида тўйинувчи ютувчилар сиртида нуқтавий нуқсонлар ҳосил бўлиши бўйича тадқиқот натижалари асосида:

Пассив тескари манфий боғланишли, модалар синхронизацияси режимида ишловчи лазерларнинг генерацион характеристикаларига, яримўтказгич GaAs нинг таъсири, хусусан унинг лазер резонатори асллигини модуляция қилиш

натижасида олинадиган импульслар ҳамда параболик концентраторлардаги қуёш лазерлари резонаторлари асллигини модуляциялаш бўйича олинган натижалар ФА-А-16-Ф028 рақамли «Катта Қуёш Печида маҳаллий хом ашё ва ишлаб чиқариш чиқиндиларига асосланган шиша-керамик буюмлар ишлаб чиқариш технологиясини яратиш ва улар асосида ситал намуналарни тайёрлаш» амалий лойиҳасида ҳамда И-2-ФА-0-16498 рақамли «Тўқимачилик саноати учун ситал ип йўналтиргичларни ишлаб чиқариш технологиясини ўзлаштириш» инновацион лойиҳаларда ситалл материалларни қайта ишлашда фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Фанлар академиясининг 2018 йил 7 сентябрдаги 2/1255-2387-сон маълумотномаси). Илмий натижалардан фойдаланиш қалинлиги 0.5-1мм бўлган ситалл материалларни самарали қайта ишлаш, хусусан юқори аниқликдаги тешиклар ҳосил қилиш имконини берган;

лазер нурланиши таъсири натижасида GaAs кристалидаги антиструктурали нуқсонлар ҳосил бўлиши бўйича олинган натижалардан ФА-А3-Ф059 рақамли «Наносекундли қайта уланувчи кремний карбидида p-n ўтишни яратиш ва қаттиқ фазали диффузион легирлаш технологиясини ишлаб чиқиш» амалий лойиҳасида SiC кристалида нуқсонлар ҳосил бўлишини ўрганишда фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Фанлар академиясининг 2018 йил 7 сентябрдаги 2/1255-2388-сон маълумотномаси). Илмий натижалардан фойдаланиш GaAs ва SiC кристаллари нуқсонларининг умумий ўхшаш хусусиятлари асосида кремний карбидида антиструктурали нуқсонлар ҳосил бўлиш механизмларини аниқлаш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертациянинг асосий натижалари 2 та халқаро ва 10 та республика конференцияларида маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.Диссертациянинг асосий мазмуни 17 илмий ишларда, улардан 5 таси илмий мақолалар, шу жумладан, Ўзбекистон Республикаси олий аттестация комиссияси томонидан тавсия қилинган 4 та халқаро ва 1 та маҳаллий журналларда нашр этилган.

Диссертациянинг тузилишии ва ҳажми. Диссертация кириш қисми, тўрт боб, хулоса, 105 номли ишлатилган адабиётлар рўйхатидан тузилган. Иш 109 бетда ифодаланган, 30 та расм ва 1 та жадвални ўз ичига олган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида танланган тадқиқот мавзусининг илмий ва амалий аҳамияти, унинг долзарблиги асосланган, ҳимояга олиб чиқилаётган асосий қоидалар шакллантирилган, олинган натижаларнинг илмий янгилиги, илмий ва амалий аҳамияти баён этилган.

Диссертациянинг **«Қаттиқ жисмли лазерлар резонаторларида GaAs кристалининг қўлланилиши бўйича экспериментал ва назарий ишлар обзори»** деб номланган биринчи бобида лазер резонаторларида GaAs кристалидан тўйинувчи ютгич сифатида фойдаланишга бағишланган тадқиқотлар бўйича илмий адабиётларда келтирилган маълумотлар баён этилган ва таҳлил қилинган. Лазер нури таъсирида ярим ўтказгичларда

дефектлар ҳосил бўлишига бағишланган амалий ишлар кўриб чиқилди ва бузилишнинг оптик чегарасидан паст ва юқори бўлган шароитларда дефектлар ҳосил бўлишини тушинтириб берадиган назарий моделлар тушунтириб берилган. Юқорида баён этилган ишларни таҳлил қилиш натижасида, лазернинг иш жараёнида GaAs кристаллида резонатор ичидаги нурланиш туфайли дефектлар ҳосил бўлиши мумкинлиги тахмин қилинди. Ушбу таҳминдан келиб чиқиб диссертация ишининг асосий вазифалари шакллантирилган.

Диссертациянинг **«Экспериментал қурилма ва эксперимент методикаси»** деб номланган иккинчи боби экспериментал лазер қурилмасининг тузилишини баён этишга ва ночизиқли элемент сифатида фойдаланилаётган ярим ўтказгичларда резонатор ичидаги нурланиш туфайли дефектлар ҳосил бўлишини тадқиқ этиш усулларини таърифлашга бағишланган.

Экспериментал лазер қурилма қуйидаги қисмлардан ташкил топган: лазер резонатори 100% қайтарувчи ясси кўзгудан ва чиқарувчи кўзгу сифатида ишлатилган GaAs кристалидан ҳосил қилинган. GaAs кристалининг қайтариш коэффициенти 1.064 мкм тўлқин узунлигидаги генерацияда R~50% ни ташкил этган. Актив элемент сифатида ўлчамлари ø5х65 мм бўлган Nd:YAG кристаллидан фойдаланилган. Nd:YAG монокристаллини оптик дамлаш ИФП – 800 лампаси орқали амалга оширилган. Лампанинг нурланиши цилиндрсимон кварц қайтаргич билан Nd:YAG монокристаллига фокусланган. Фаол муҳитдаги исталмаган иссиқлик таъсирларини чеклаб ўтиш мақсадида, ёпиқ контурдаги БО – 1 сув билан совутиш тизимидан фойдаланилган. Совутиш учун хромат калийнинг дистилланган сувдаги 2% эритмасидан фойдаланилган, у дамлаш лампасининг ультрабинафша нурланишини ютади, фаол элементнинг бузилиб кетишидан сақлайди. Генерация дастасининг кўндаланг кесимини ўзгартириш учун диаметри ўзгартириладаган диафрагмадан фойдаланилган. Пассив тескари манфий боғланишни амалга ошириш учун тўйинувчи ютгичлардаги икки фотонли ютилиш ҳодисасидан фойдаланилган. Маълумки, икки фотонли ютилиш нурланишнинг юқори интенсивликларида кузатилади. Резанатор ичидаги нурланиш интенсивлигини ошириш учун GaAs кристали сиртида, линзалар тизимидан иборат телескопдан фойдаланилган. Экспериментлар вақтида телескоплаш коэффициенти k=2 дан k=5 гача бўлган телескоплардан фойдаланилган. Дамлаш импульсларининг такрорланиш коэффициенти 1 Гц, резонаторнинг геометрик узунлиги L=1,5 м бўлган.

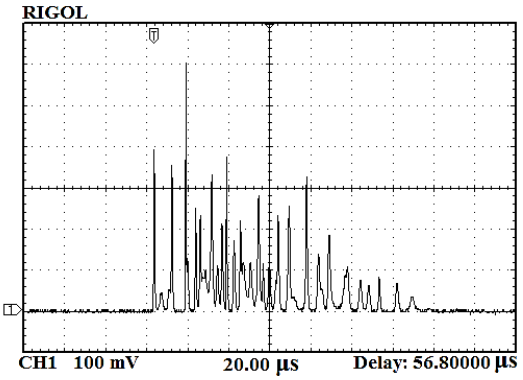
Чиқишдаги нурланишни қайд этиш учун жавоб вақти ~0.5нс бўлган ЛФД-2 фотодиодидан ва RIGOL фирмасининг DS5152C рақамли осциллографидан, 150МГц фойдаланилган.

Диссертациянинг **«Қаттиқ жисмли лазерлар генерацияси чиқувчи параметрларига GaAs кристали нуқсонларининг таъсири»** деб номланган учинчи бобида GaAs кристалининг резанатор ички нурланиши таъсирида ўтказиш қобилиятининг ўзгариши батафсил тадқиқ этилган. GaAs кристалида YAG:Nd импульсли лазерининг, оптик бузилишнинг чегаравий интенсивлигига яқин импульсли нурланишлар таъсирида дефектлар ҳосил бўлиши таҳлил қилинган.

3.1.-параграфда диссертация иши доирасида GaAs кристалидан чиқувчи кўзгу сифатида фойдаланиб, дефектлар ҳосил бўлишини резонатор ичида тадқиқ этиш бўйича олинган натижалар келтирилган. GaAs кристали билан линза комбинациясини резонатор ичида ишлатиш, лазернинг ишлаш вақтида хам кристалдаги дефектлар концентрациясини ошириши тахмин қилинган.

Ушбу жараён GaAs кристали оптик хусусиятларининг ўзгаришига олиб келиб, лазернинг чиқишдаги хусусиятларига таъсир этиши мумкин. GaAs кристаллида содир бўлаётган жараёнлар механизмини аниқлаш учун, диафрагма диаметрининг ва линзалар тизими телескоплаш коэффициентининг ва резонатор узунлигининг турли хил қийматларида лазер ишлаш вақтининг турли муддатлари учун бир қанча тажрибалар ўтказилган.

Кўп сонли тажрибалар шуни кўрсатдики, лазер ишлашининг дастлабки босқичларида тасодифий импульслар кетма-кетлиги, асллигини қисман модуляция қилиниб, телескоплаш коэффецентига боғлиқ бўлмаган холда деярли модалар синхронизация қилинмай кўп модали режимда генерация бўлиши кузатилган. 1- расмда телескоплаш коэффициенти 1 (телескоп йўқ), резонатор узунлиги 1.5м ва диафрагма очиқ бўлганида дамлашнинг битта импульси учун чиқишдаги нурланиш импульсининг кетма-кетлиги келтирилган.



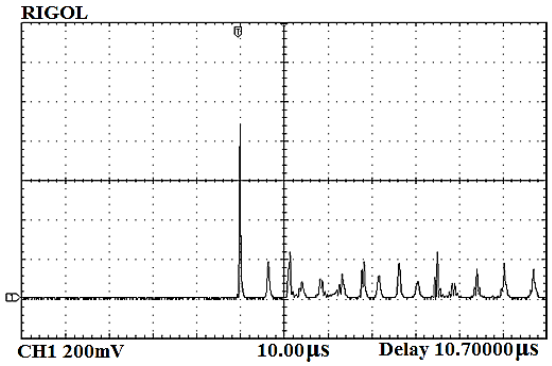
1-расм. *k*=1 бўлганида нурлантирилмаган GaAs кристали билан нурланишнинг чиқишдаги импульслари кетма-кетлиги. Ёйилганлик 20 мкс/бўлим

1-расмдан импульсларнинг турли хил амплитудалар ва вақт ичидаги тасодифий кетма-кетликларга эга эканлиги кўриниб турибди. Битта импульснинг давомийлиги кейинчалик кичик фарқ билан ўзгарган ва тахминан 400нс ни ташкил этди.

Телескоплаш коэффициентининг турли қийматлари билан олиб борилган тажрибалар бошланишида катта аниқлик билан созлаш генерация режимининг жиддий ўзгаришига олиб келмади, яъни модалар синхронизацияси амалга ошмади. Бу GaAs кристалли пластинасидаги дефектлар концентрациясининг етарли даражада юқори эмаслиги туфайли деб тахмин қилинди. Тажрибалар резонаторнинг турли хил узунликлари учун ўтказилди. Телескоплаш коэффициенти k =1 дан 5 гача ўзгартирилди.

k = 3 бўлганида лазер ~30 минут давомида асллигини модуляция қилиб, аммо модаларни синхронизация қилмай импульслар чиқарди, сўнгра ички структурали, яъни модалари синхронизация қилинган импульслар ҳосил бўлди. Вақт ўтиши билан резонаторнинг модаларни синхронизация қилиш сифати

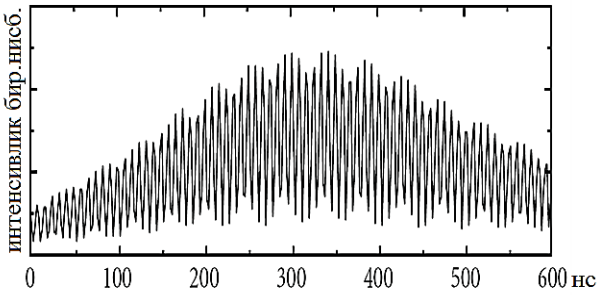
яхшиланди. Тахминан лазер 1.5 соат 1 Гц частота билан ишлаганидан сўнг, созлашдаги кичик ўзгаришлар билан 2- расмда келтирилган натижалар олинган.



2-расм. *k*=3 бўлганида лазер 1.5 соат ишлаганидан сўнг лазер нури импульсларининг кетма-кетлиги.

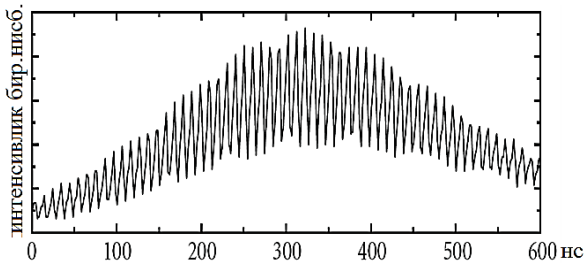
Бунда биринчи импульснинг шакли келгусида дамлашнинг хар бир импульсида етарлича юқори аниқлик билан ишлаб чиқарилди.

Цугдаги алоҳида импульсларнинг давомийлиги тахминан 5нс, улар орасидаги оралиқ ~8 нс, ва бу резонаторни тўлиқ ўтиш вақтига мос келади. (3-расм).



3-расм. *k*=3 бўлганида модалар синхронизацияси режимидаги биринчи импульснинг кенгайтирилган кўриниши. Ёйилганлик 50 нс/дел.

Резонатор ичидаги нурланиш сабабли дефектлар концентрациясининг ортиши ҳақидаги тахминни қўшимча равишда яна текшириш мақсадида, лазер созланишини бузмаган холда телескоп олиб ташланди, яъни телескоплаш коэффициенти 1 тенг бўлган режимга ўтиш амалга оширилди.



4-расм.Телескоп олиб ташланганидан кейинги олинган битта импульснинг кенгайтирилган кўриниши. Ёйилганлик 50 нс/бўлим.

Шундай қилиб, GaAs кристалининг нурлантирилган, тахмин қилинганидек дефектлар концентрацияси ортган қисмидан фойдаланиш таъминланди. Тахмин қилинганидек лазер модалар синхронизацияси режимида барқарор ишлашни давом эттирди ва импульсрлар цугини генерация қилди, улардан бири 4-расмда келтирилган.

Бу турдаги тажрибалар резонаторнинг бошқа узунликлари учун ҳам ўтказилди ва шу турдаги натижалар олинди. Бу GaAs кристалини оптик бузилиш чегарасидан паст интенсивликларда лазер резонаторларида ишлатиш

сирти бузилмаган ҳолда дефектлар концентрациясининг ортишига сабаб бўлади деб тасдиқлашга асос бўлади. Дефектлар ҳосил бўлиш жараёни тўйиниш характерига эга, тўйиниш даражаси лазер нурланиши интенсивлигига боғлиқ ва ҳосил бўлган нуқсонлар концентрацияси ушбу тўйинган нуқсонлар концентрациясини ҳосил қилган интенсивликка тенг ёки камроқ бўлган интенсивликларда турғундир.

3.2-параграфда олинган эксперимент натижаларини миқдорий таҳлил қилиш учун ва GaAs кристалида нуқсонлар ҳосил бўлиши ҳақида ахборот олиш учун, ҳамда қилинган тахминларни қўшимча текширувдан ўтказиш учун лазер генерацияси жараёни моделлаштирилди ва сонли тажрибалар ўтказилди.

Генерация жараёнини моделлаштиришда якка импульснинг резонаторнинг ҳар бир элементидан ўтишдаги импульс формасини ўзгариши кузатилиб борилади. Бунда ҳар бир элемент ўтказувчанлиги учун мос ифода қўлланилди ва уларнинг нурланиш параметрларига таъсири анализ қилинди. GaAs нинг энергетик сатҳларидан фойдаланиб ва релаксация вақтини ҳисобга олиб, юқоридаги жараёнларни тавсифлайдиган асосий тенгламалар ёзилди. Интенсивлик учун тенглама қуйидаги кўринишда ёзилди:

$$dI/dz = -\alpha I - \beta I^2 - n\sigma_{fc} I \qquad (1)$$

Бу ерда $\alpha = \sigma_n(N - N^+) + \sigma_p N^+$ бир фотонли ютиш коэффициенти, σ_{fc} эркин ташувчилардаги ютиш кесими.

(1) тенгламани ечиб GaAs кристали ўтказиши учун ифодани ҳосил қилиш мумкин:

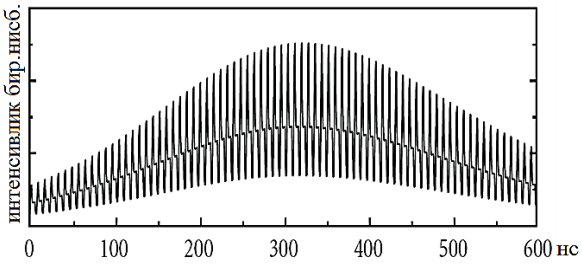
$$T = \frac{\exp[-(\alpha + n\sigma_{fc})z]}{1 + \left[\beta I_0(t)/(\alpha + n\sigma_{fc})\right]\{1 - \exp[-(\alpha + n\sigma_{fc})z]\}} \qquad (2)$$

Импульслар ҳосил бўлиши ва эволюцияси, кристалдаги нуқсонлар концентрациясини ҳар хил қийматларида, резонатор бўйлаб ўтиш номерига боғлиқ ҳолда тадқиқ этилди. Моделда қуйидаги параметрлар ишлатилди:

β=30 см/ГВт, σ_n=10^{-16} см^2, $\sigma_p = \sigma_n/10$, σ_{fc}=6×10^{-18} см^2. Тўлиқ ўтишдаги тўйинмаган йўқотишлар, ички йўқотишлар ва чиқувчи ойна ўтказиши туфайли бўлган йўқотишлар 50% деб ҳисобланди. Ҳисоблашларда телескоплаш коэффициенти қийматлари 1 дан 3.3 гача ва GaAs пластинкаси нуқсонлари концентрацияси лазернинг бошқа параметрлари ўзгартирилмасдан ўзгартирилди.

5-расмда k=3.3 учун GaAs кристалида нуқсонлар концентрацияси ошганда жараённи моделлаштириш натижасида олинган импульс кўрсатилган. Ушбу натижа 3-расмда кўрсатилган эксперимент натижаси билан қониқарли мос тушади. Кўриниб турибдики, импульс модуляция чуқурлиги 60-70% ли наносекунд режимидаги субимпульслар цугини ифодалайди. Сонли тажриба натижалари кристалдаги нуқсонлар концентрациясининг ошиши билан модуляция чуқурлиги ошишини кўрсатди.

Тажриба натижаларининг нурлантиришдан сўнг телескопсиз ҳол учун, сонли тажрибаларнинг нурлантирилмаган кристалда нуқсонлар концентрациясининг ўн марта ошгандаги натижалари билан қониқарли мос тушиши кўрилди.



Расм 5. GaAs да нуқсонлар концентрацияси 5 марта оширилганда моделлаштириш натижасида олинган генерациянинг синхронлашган импульслари.k=3

Адабиёт маълумотлари ва ўтказилган тажриба натижаларини анализ қилиш қилиш асосида хулоса қилиш мумкинки, GaAs кристалида тузилишида интенсивлиги оптик бузилиш яқинида ва ундан кам бўлган резонатор ички нурланиши таъсири остида, нуқсонлар концентрациясининг ўсиши туфайли ўзгариш содир бўлади ва ўз навбатида кристалнинг тўйинувчи ютувчи хоссаси ўзгаради. Тажриба натижаларининг ҳисоб натижалари билан қониқарли мос тушиши, Nd:YAG лазерининг иш жараёнида чиқувчи ойна сифатида ишлатилган GaAs кристалида нуқсонлар концентрациясининг ўсиши ва GaAs кристалида нуқсонлар концентрацияси ўсиши билан резонатордаги модалар синхронизацияси сифати яхшиланиши билан тасдиқланади. Лазер нурланиши билан олинган тўйинувчи ютувчилар, қаттиқ жисмли ва бошқа лазерларда пассив модалар синхронизацияси учун муваффақиятли ишлатилиши мумкин.

Диссертациянинг **«Суюқликли лазерлар мисолида қуёш лазерларида GaAs кристалининг қўлланиш имкониятлари»** деб номланган тўртинчи боби ҳар хил концентраторларда суюқликли лазерлар яратиш имкониятлари тадқиқотларига ва ушбу лазерларда GaAs кристалининг қўлланилишига бағишланган. 4.1- параграфда неодимли оксихлорид фосфор асосида импульсли суюқ лазер модели ишлаб чиқилган ва Катта Қуёш Печи шароитларида нурланиш олиш имкониятлари тадқиқ этилган.

Маълумки, Катта Қуёш Печи фокусида 1м^2 юзага тўғри келадиган максимал қувват ~1 МВт ни ташкил этади. Бунда гелиостатларнинг компьютер бошқаруви ёрдамида, фокусда, интенсивлиги 100Вт/см^2 га мос келадиган қуёш ёруғлиги оқими текис тақсимотини олиш қийин эмас. Фокусда, бир қатор, ички диаметри 1.5 см ли узунлиги 100 см ли актив муҳит билан тўлдирилган цилиндрик кварц кюветалар ўрнатиш мумкин. Қуёш нурланишини эффектив йиғиш учун кювета диаметридан кенглиги 2-3 марта катта бўлган, тўғри бурчакли формадаги иккилламчи концентраторларни қўллаш мумкин. Ушбу ҳолда фокусда 25 тача кювета жойлаштириш мумкин. Шунингдек, фокус юзаси кенглиги икки марта қисқарадиган 0.5 м^2 ли юзада қуёш нурланиши интенсивлиги 200 Вт/см^2 бўладиган ҳол кўриб чиқилган.

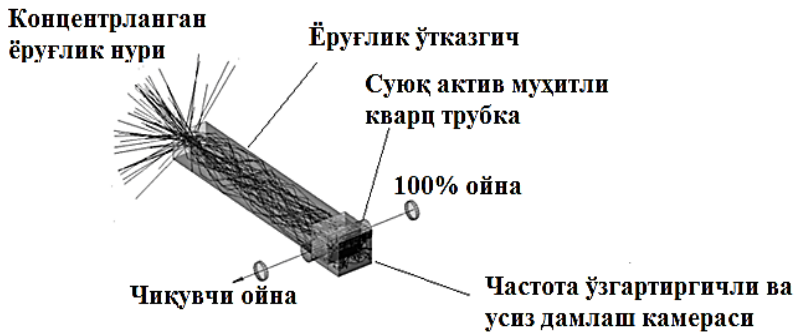
Ютилган қувватни ва актив элементда сатҳлар зичлиги инверсияси тақсимотини ҳисоблаш учун Монте-Карло методи қўлланилди. Иккиламчи концентраторли вариант кўриб чиқилди. Ушбу ҳисоб-китоблар натижаларининг кўрсатишича, дамлаш эффективлиги 0.08 га тенг бўлди ва кейинги ҳисоблашларда ушбу қиймат фойдаланилди.

Лазер нурланиши қувватининг вақтга боғлиқлигини олиш учун маълум тезлик тенгламалари қўлланилди. Оксихлорид фосфор асосидаги неодимли

актив муҳитда, актив марказлар, генерация маълум тўрт сатҳли схема бўйича бўладиган неодим ионларидир. Тезлик тенгламаларини сонли ечиш учун Адамс методи қўлланилди. Сонли экспериментлар натижалари шуни кўрсатдики, алоҳида чўққиларнинг чиқувчи қуввати бир неча ўнлаб киловатт, бироқ нурланишнинг ўртача қуввати ≈1.3 кВт. Қуёш нурланиши интенсивлиги 100 Вт/см^2 да, резонатор узунликлари 50, 100 см бўлган ҳол учун чиқувчи ойнанинг оптимал ўтказиш коэффициенти мос ҳолда 0.05, 0.09 га тенг. Қуёш нурланиши интенсивлиги 200 Вт/см^2 бўлганда, 50 см узунликдаги резонатор учун у 0.08 га тенг бўлди. Қуёш нурланиши интенсивлиги 200 Вт/см^2 бўлганда, импульсдаги ўртача чиқувчи лазер нурланиши қуввати 1.66 кВт гача етади. Бунда, лазер чиқувчи энергиясини концентратор фокал текислигига тушадиган қуёш нурланиши энергиясига нисбати сифатида аниқланадиган лазернинг ФИКи 4.2% гача ошади.

4.2-параграфда кичик габаритли параболик (parabolic-dish) концентраторлари фокусида концентрланган қуёш нурланишида дамлаш учун актив муҳит сифатида оксихлорид фосфор асосидаги неодимли суюқ лазер материалини қўллаш имконияти тадқиқ этилган. Қуёш нурланиши частота ўзгартиргичлари қўллаш билан унинг эффективлигини ошириш имкониятлари ўрганилган. Тадқиқотлар Монте-Карло ва нурларни кузатиш методлари қўлланилган модел асосидаги сонли усуллар ёрдамида олиб борилди.

Ушбу аниқҳол тадқиқоти бош мақсади қуёш энергиясини лазер нурланиши энергиясига айлантириш эффективлигини ошириш учун, қуёш спектри қисмини спектрал силжитишга асосланган йўлни демонстрация қилишдир. Моделлаштириш фокус масофаси 0.9 м бўлган, 2 метрли параболик концентратори учун олиб борилди. Кўриб чиқилган лазер системаси схемаси 6-расмда келтирилган.



6-расм. Лазер системаси схемаси.

Кўндаланг дамлашли схема кўриб чиқилди. Расмдан кўриниб турибдики, схемада вазифаси актив муҳитнинг ўқи бўйлаб бир жинсли дамлашни таъминлаш бўлган ёруғлик ўтказгич мавжуд. Схема тўғри бурчакли дамлаш камераси билан таъминланган.

Бу камера ичида тўғри бурчак шаклидаги частота ўзгартиргичи деб номланадиган қўшимча элементни қўллаш учун зарурдир. Частота ўзгартиргичининг вазифаси актив муҳит ютмайдиган қуёш спектри қисмини, актив муҳит кучли ютиш полосаларига эга бўлган, бу орқали лазернинг дамлаш эффективлиги ошириладиган частота диапазонига суришдан иборат. Частота ўзгартиргичи сифатида, кўриш диапазонининг 400 ва 600 нм атрофида иккита

кенг ютиш полосаларига ва неодимли актив муҳит ютиш полосалари билан яхши қопланадиган 800 нм атрофида нурланиш спектрига эга бўлган, Cr:LiCAF кўрилди. Ёруғлик ўтказгичнинг кўндаланг ўлчамлари 22x14x120мм эди. Актив муҳитнинг дамлаш камерасидаги ўлчамлари диаметрда 10мм ва узунлик бўйлаб 22мм бўлган эди. Кварц трубкасининг узунлиги 40мм. Унинг иккала ён томонининг юзаси акс-қайтарувчи қопламалар билан қопланган. Суюқ актив муҳит иссиқлик алмаштириб берувчи қурилма орқали айлантириб бериш билан совутилади деб қаралди. Қўшимча дамлаш камераси ва актив муҳит (кварц трубка орқали) учун сувли совутиш ишлатилади. Дамлаш камераси ўзида ички ўлчамлари 22x14x14мм бўлган қутини ифодалаган. Қутининг ички юзаси қайтариш коэффициенти 97% бўлган кумуш қопламали кўзгудек деб қаралди.

Ҳисоблаш ишлари икки босқичда олиб борилди. Биринчи босқичда дамлаш эффективлиги, яъни актив муҳитда ютиладиган фотонлар миқдорининг, концентраторда тушадиган қуёш фотонлари миқдорига нисбати топилди. Ушбу ҳисоблашлар, Монте-Карло ва нурларни кузатиш методлари қўлланилган модел орқали олиб борилди. Кейинги босқичда, тўрт сатҳли лазерлар учун маълум бўлган ифодани қўллаган ҳолда кирувчи қуёш нурланиши қувватига боғлиқ чиқувчи лазер нурланиши қуввати баҳоланди:

$$P_{out} = (\gamma_2 / 2\gamma)\eta_p (P - P_{\text{thr}}) \qquad (3)$$

Бу ерда γ_2 - чиқувчи ойна ўтказиши ҳисобидаги логарифмик йўқотишлар, 2γ-резонатор ичидаги тўлиқ йўқотишлар (total round-trip loss), η_p-дамлаш эффективлиги, P_{out}, P, P_{thr}- мос равишда лазердан чиқувчи қувват, дамлаш қуввати ва бўсағавий қувват. Ҳисоблашлар чиқувчи ойнанинг 98% ли қайтариш коэффициенти учун қилинган эди.

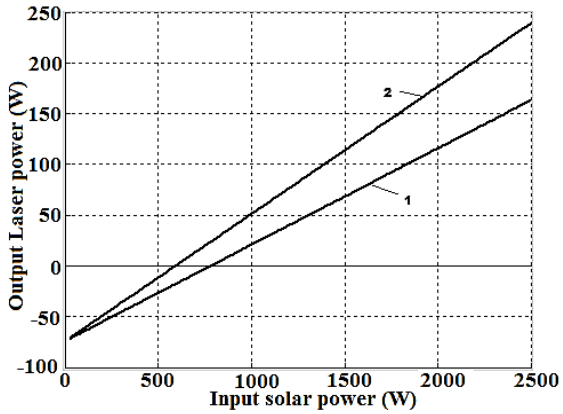
Ҳисоблашлар икки, частота ўзгартиргичи ва усиз ҳоллари учун олиб борилди ва натижалар таққосланди. Частота ўзгартиргичли ҳолида, 22x14x3мм ўлчамли Cr:LiCAF пластинкаси, системанинг ўнг охиридаги дамлаш камераси ичида ўрнатилган деб олинди (6-расмга қаранг).

Ишлаб чиқилган моделнинг асосий қисми геометрик оптикани қўллаган ҳолда фотоннинг система элементлари билан кесишиш нуқталари кетма-кетлигини аниқлаш ва Монте-Карло методида қайтиш, синиш, ютилиш ва нурланиш жараёнларини моделлаштиришдан иборат.

Системадаги жараёнларни моделлаштириш натижасида дамлаш эффективлиги частота ўзгартиргичисиз 0.125 га ва частота ўзгартиргичи билан 0.165 га тенглиги аниқланди. Ушбу натижалар асосида иккинчи босқичда, кўриб чиқилган икки ҳолат учун лазердан чиқувчи қувватнинг қуёш нурланиши кирувчи қувватига боғлиқлиги олинди.

7-расмдан кўриниб турибдики, частота ўзгартиргичнинг қўлланилиши қуёш энергиясини лазер энергиясига айлантириш эффективлигини 40% дан кўпроққа оширади. Бироқ, кўриб чиқилган ушбу схема бўлиши мумкин бўлган вариантларнинг биридир. Шу сабабли, натижаларни янада яхшилаш нуқтаи назаридан, бошқа вариантларни кўриб чиқиш мақсадга мувофиқдир. Шундай бўлсада, ушбу тадқиқотнинг натижалари, частота ўзгартиргичларнинг қўлланилиши қуёш энергиясини лазер энергиясига айлантириш

эффективлигини ошириш учун истиқболли усуллардан бири эканлигини кўрсатади.



Расм 7. Чиқувчи қувватнинг кирувчи қувватга частота ўзгартиргичисиз (1) ва частота ўзгартиргичли (2) лазер учун боғлиқлиги.

4.3 параграфдамлаш эффективлигининг лазер системаси параметрларига боғлиқлигини тадқиқ этишга ва ушбу тадқиқот натижалари асосида параболик концентратордаги қуёш лазерлари узелларининг ҳар хил параметрлари орасидаги оптимал муносабатни аниқлашга бағишланган.

Таъкидлаш лозимки, ушбу ишда кўндаланг дамлашли параболик концентратордаги қуёш лазери схемаси кўриб чиқилган. Бу параболик концентратордаги қуёш лазерларида муваффақиятли қўллаш мумкин бўлган, ишончли дамлаш схемаларидан бири ҳисобланади. Параболик концентраторларда фокус диаметри қоплаш бурчагига боғлиқ бўлади. Шундай экан, генерация бўсағасига эришиш учун, фокус диаметрини ўзгартириб, актив муҳитга йўналган юқори қуёш нурланиши концентрациясини олиш мумкин.

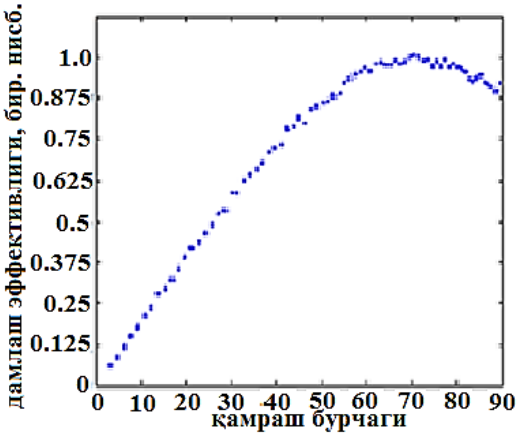
Ушбу ишда дамлаш эффективлигининг параболик концентратор қоплаш бурчагига, иккиламчи концентратор ўлчамларига ва актив муҳит узунлигига боғлиқлигини аниқлаш бўйича сонли экспериментлар ўтказилди. Моделда ютилган қувватни, зичлик инверсиясини тақсимотини ҳисоблаш ва дамлаш эффективлигини аниқлаш учун Монте-Карло статистик методи ва нурларни кузатиш методи қўлланилди.

Параболик концентратордаги қуёш лазерлари узеллари параметрлари оптимал муносабатларини аниқлаш учун сонли экспериментлар қуйидаги алгоритмда олиб борилди:

1) Қоплаш бурчаги ўзгартирилиб, бурчакнинг ҳар бир қиймати учун дамлаш эффективлиги ҳисобланди. Шу йўсинда, дамлаш эффективлигининг параболик концентраторнинг ушбу параметрига боғлиқлиги олинди ва оптимал қиймати аниқланди. Бунда, лазер системаси узелларининг бошқа параметрлари ўзгармади (масалан, концентратор радиуси, иккиламчи концентратор форма ва ўлчамлари, актив муҳитнинг қалинлиги ва узунлиги).

2) Иккиламчи концентраторнинг баландлиги симметрик оширилиб ва бошқа параметрлар ўзгартирилмасдан, дамлаш эффективлигининг иккиламчи концентратор ўлчамларига боғлиқлиги олинди. Бунда концентраторнинг қоплаш бурчаги экспериментнинг биринчи этапида аниқланган оптимал қийматига тенг деб олинди.

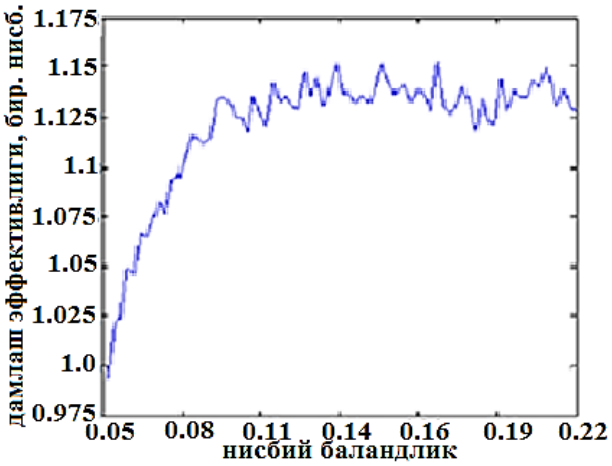
3) Актив муҳитнинг узунлиги симметрик оширилиб (мос равишда иккиламчи концентратор кенглиги ошади), тегишли боғланиш олинди. Параболик концентраторнинг қоплаш бурчаги ва иккиламчи концентраторнинг баландлиги, олдинги этапларда аниқланган оптимал қийматларга тенг бўлди.



8-расм. Қуёш лазери дамлаш эффективлигининг параболик концентратор қамраш бурчагига боғлиқлиги.

8-расмда радиуси 1.5м бўлган параболик концентратор учун сонли экспериментларнинг биринчи босқичи натижаси келтирилган.

Кўриниб турибдики, дамлаш эффективлигининг қиймати параболик концентратор қоплаш бурчагига жиддий боғлиқ. Ушбу концентратор учун оптимал қоплаш бурчаги ~70° га тенг бўлди.



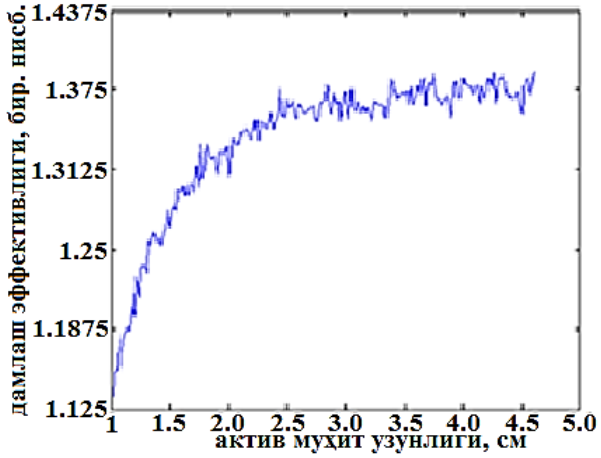
Расм 9. Дамлаш эффективлигининг иккиламчи тўғри бурчакли концентраторнинг нисбий баландлигига боғлиқлиги.

9-расмда (иккинчи босқич) дамлаш эффективлигининг, иккиламчи концентратор баландлигининг фокус диаметрига нисбати сифатида аниқланадиган нисбий баландликка боғлиқлиги кўрсатилган.

Шуни таъкидлаш жоизки, дамлаш эффективлигининг минимал қиймати олдинги боғланишнинг максимал қийматига мос келади. Буни сонли экспериментнинг олдинги босқичи натижаси, яъни қоплаш бурчаги қиймати сифатида унинг оптимал қиймати 70° олинганлиги таъминлади.

Иккиламчи концентратор нисбий баландлигининг оптимал қиймати ~0.16 га тенг бўлди. Ушбу қуёш лазери системаси учун учинчи босқич натижаси 10 – расмда кўрсатилган. Бу ерда ҳам, дамлаш эффективлигининг минимал қиймати сонли тажрибанинг иккинчи босқичини бажаришда олинган дамлаш эффективлигининг максимал қийматига тенг бўлганлиги кўриниб турибди.

Ушбу босқични бажаришда ҳисоблашларда қоплаш бурчаги ва иккиламчи концентратор нисбий баландликлари учун сонли экспериментнинг олдинги босқичлари оптимал қийматларидан фойдаланилган.Кўриниб турибдики, актив элементнинг узунлиги 3-4см бўлганда дамлаш эффективлиги ўзининг энг катта қийматига эришади.



Расм 10. Дамлаш эффективлигининг актив элемент узунлигига боғлиқлиги.

Шу йўсинда, дамлаш эффективлигининг энг катта қийматига эришиш нуқтаи назаридан ушбу лазер системаси учун узеллар параметрлари орасидаги оптимал боғланишни аниқладик.

1-жадвалда радиуснинг ҳар хил қийматларида концентраторлар учун сонли тажрибалар натижалари келтирилган.

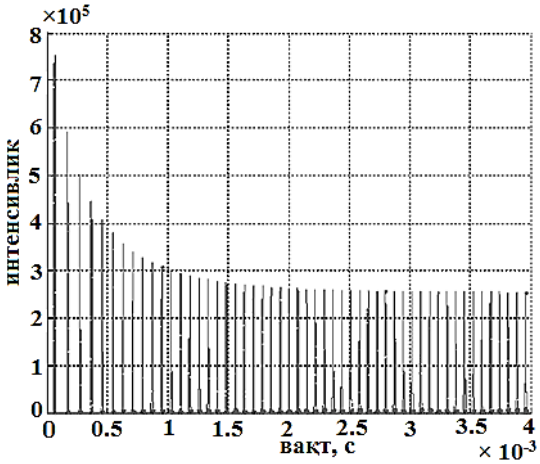
1-жадвал.

Параболик концентраторлардаги қуёш лазери оптимал параметрлари

Концентратор радиуси, см	Концентра-тор оптимал қоплаш бурчаги	Концентратор оптимал параметри p	Иккиламчи концентратор нисбий баландлиги оптимал қиймати	Актив муҳит оптимал узунлиги, см	Фокус диамет-ри,см	Дамлаш эффективл игининг максимал қиймати, %
25	32°	89.30	0.71	1.00	1.06	15.9
50	39.60°	138.90	0.39	1.30	1.90	14.6
75	48.80°	165.50	0.26	1.40	2.84	13.25
100	58.50°	178.60	0.25	1.90	4.24	12.3
125	67.20°	188.30	0.17	2.30	6.66	11.6
150	70.50°	212.30	0.16	3.50	9.10	10.9
175	75.30°	226.85	0.14	4.00	13.76	10.4
200	78.00°	253.00	0.11	5.00	19.60	9.6

Олинган натижалар дамлаш эффективлигининг лазер системаси ўлчам ва геометрик формасига боғлиқлигини кўрсатади. Таъкидлаш жоизки, концентраторларнинг радиуси ошиши билан дамлаш эффективлигининг максимал қиймати камайади. Бу фокус диаметри концентратор радиусига тўғри пропорционаллиги ва бунинг натижасида актив элемент томонидан концентрланган қуёш нурланишини қоплаш даражаси камайиши билан изоҳланиши мумкин.

4.4 параграф, суюқликли қуёш лазерларида GaAs кристалининг қўлланилиши бўйича сонли тажрибаларга бағишланган.



Расм 11. GaAs кристалида нуқсонлар концентрацияси $1.2 \cdot 10^{16}$ бўлган ҳолда чиқувчи нурланишнинг вақтга боғланиши. Дамлаш қуввати 2500 Вт.

Сонли тажрибалар натижалари қуёшда дамланадиган суюқликли лазерлар резонаторларида GaAs кристалининг тўйинувчи ютувчи сифатида қўлланилиши, эркин генерацияда олинадиган импульсларга нисбатан қисқарган импульслар олиш имкониятини беради (11-расм). Маълумки, GaAs кристалисиз резонаторларда импульс давомийлиги тобора ошади ва охир-оқибат генерациянинг узлуксиз режимига ўтади, GaAs кристалининг чиқувчи ойна сифатида қўлланилиши эса стабиль импульслар кетма-кетлигини олиш имкониятини беради.

ХУЛОСА

1. Кристалдаги нуқсонлар концентрациясининг лазер чиқувчи параметрларига таъсирига асосланган, лазер резонаторларида тўйинувчи ютувчи сифатида қўлланиладиган ярим ўтказгичли кристалларда нуқтавий нуқсонлар ҳосил бўлиши тадқиқ этишнинг янги методикаси ишлаб чиқилди. Ушбу метод лазернинг ишлаш жараёнида нуқсонлар концентрацияси ўзгаришини кузатиш имкониятини беради.
2. Лазер резонаторларида чиқувчи ойна ва тўйинувчи ютувчи сифатида қўлланиладиган ярим ўтказгич GaAs кристалида нуқсонлар концентрацияси ўзгариши тадқиқ этилди.
3. $POCl_3$-$SnCl_4$-Nd^{3+} суюқ актив муҳит мисолида, қуёш дамлашли лазерларда актив муҳит сифатида суюқ люминесцент муҳитларнинг қўлланилиши имкониятлари тадқиқоти бўйича сонли тажрибалар ўтказиш учун компьютер модели яратилди.
4. Биринчи марта қуёш лазерлари дамлаш эффективлигини параболик концентратор қамраш бурчагига боғлиқлиги кўрсатилди.
5. Кичик параболик концентраторларда суюқ актив муҳитлар асосида лазер яратиш имконияти ўрганилди ва қуёш нурининг ташқи айлантиргичлари ишлатилганда айлантириш эффективлиги 10% га ошиши мумкинлиги кўрсатилди. GaAs кристалининг қуёшда дамланадиган лазерларда тўйинувчи ютувчи сифатида фойдаланиш, лазерни асллик модуляцияланган режимда ишлаш ва ҳар хил узунликдаги стабиль импульслар кетма-кетлигини нурлаш имконини беради.

НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.30.05.2018.FM/T.65.01
ПО ПРИСУЖДЕНИЕ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТА ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ИНСТИТУТ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ШАЙИМОВ ФАЙЗУЛЛО ФАТУЛЛАЕВИЧ

НЕЛИНЕЙНЫЕ СВОЙСТВА GaAs И ПРИМЕНЕНИЕ ЕГО В ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ И ЖИДКОСТНЫХ ЛАЗЕРАХ

01.04.11 – Лазерная физика

АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИМ НАУКАМ

Ташкент – 2018

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № B2017.2.PhD/FM89.

Диссертация выполнена в Институте ионно-плазменных и лазерных технологий.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский,английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета по адресу www.iplt.uzи Информационно-образовательном портале «Ziyonet» адресу www.ziyonet.uz.

Научныйруководитель:	**Бахрамов Сагдилла Абдуллаевич** доктор физико-математических наук, профессор, академик
Официальные оппоненты:	**Кадиров Мумин Кадирович** доктор физико-математических наук
	Сапаев Усмон Каландарович доктор физико-математических наук
Ведущая организация:	**Национальный университет Узбекистана**

Защита диссертации состоится «___»_____2018 г.в_____часов на заседании Научного совета DSc.30.05.2018.FM/T65.01 при Институте ионно-плазменных и лазерных технологии по адресу: 100125, г.Ташкент, ул. Дурмон йули, 33. Тел/Факс: (+99871) 262-32-54, e-mail: info@iplt.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института ионно-плазменных и лазерных технологий (зарегистрирована за №_____), по адресу: 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 33. Тел.:(+99871) 262-31-69.

Автореферат диссертации разослан «_____»_____2018 г.

(реестр протокол рассылки №___от «_____» _____2018 г.)

Х.Б. Ашуров
председатель Научного совета по присуждению учёных степеней, д.т.-н., старший научный сотрудник

Д.Т. Усманов
учёный секретарь Научного совета по присуждению учёных степеней, д.ф.-м.н., старший научный сотрудник

Б.Е. Умирзаков
председатель научного семинара при Научном совете по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время в мире создание технологий и устройств, основанные на воздействии лазерного излучения, остаются одной из актуальных задач.Это, в свою очередь, устанавливает определенные требования к характеристикам лазерного излучения. Одной из перспективных направлением получения лазерного излучения с различными характеристиками является модуляция добротности резонаторов лазера. В частности, использование поглощающего полупроводникового кристалла GaAs в лазерных резонаторах не только решает вышеуказанные требования, но и упрощает проектирование этих устройств и снижает их стоимость. Поэтому изучение оптических свойств этих кристаллов и их влияние на процесс излучения лазерного устройства остаются одной из основных задач в области лазерной технологии.

В настоящее время в мире, известные исследовательские центры сосредоточены на применение насыщаюших поглотителов в резонаторах лазеров, осуществляюшие модуляцию добротности резонатора и режим генерации с синхронизацией мод, позволяющий значительно упростить конструкцию, способствовать улучшению эффективности, надежности, и уменьшающий стоимость лазерного источника по сравнению с активной модуляцией добротности. Это связано с тем, что лазерные системы, основанные на этих методах, используются в микроэлектронике, лазерной обработке материалов, для получения наноматериалов, микроструктурных исследованиях, химии, биологии, медицине и другие.

В Республике Узбекистан за последние годы проведена значительная работа, направленная на укрепление материально-технического потенциала и повышение эффективности научно-исследовательской деятельности. В Стратегии действии по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на предстоящие годи в качестве важнейших направлений развития сферы образования и науки – стимулирование научно-исследовательской и инновационной деятельности в высших образовательных учреждениях и научно-исследовательских институтах. Поэтому разработки, направленные на внедрение перспективных лазерных технологий в отрасли науки и техники, имеют важное значение для увеличение потенциала Республики в производстве экспорто-ориентированных продукции.

Данное диссертационное исследование в определённой степени соответствует задачам, предусмотренным в Указе Президента РУз № УП-4947 «О Стратегии действии по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 07 февраля 2017 года, в Постановлениях Президента РУз за № ПП-916 «О дополнительных мерах по стимулированию внедрения инновационных проектов и технологии в производство» от15 июля 2008 года, за № ПП-1442 «О приоритетах развития промыщленности Республики Узбекистан в 2011-2015 годах» от 15 декабря 2010 года, за № ПП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности»

от 17 февраля 2017 года, а также других нормативно-правовых документах, принятых данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Исследовательская работа выполнена в соответствие с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики Узбекистан: ППИ-3 – «Энергетика, энерго-ресурсосбережение, транспорт, машино и приборостроение: развитие современной электроники, микроэлектроники, фотоники, электронного приборостроения и мехатроники» и ППИ-4 «Развитие методов использования возобновляемых источников энергии, создание технологий и устройств на основе нанотехнологий, фотоники и других передовых технологий».

Степень изученности проблемы. Различными зарубежными исследовательскими центрами были проведены ряд научных исследований по использованию пассивных элементов в качестве элемента отрицательного обратной связи и как модулятор добротности резонатора. Анализ нелинейно оптических характеристик полупроводниковых поглотителей, в частности GaAs, показал, что использование таких кристаллов как элемент резонатора, имеет большие перспективы. Из зарубежных ученых Z.Zhang, Y.Wang, D.Shen, J. Gu проводили исследование в этом направлении. Были получены весомые научные результаты учеными наших стран С.А. Бахрамовым, Ш.Д. Пайзиевым и др.

В настоящее время экспериментальные и теоретические исследования показали наличие взаимосвязи между образовании дефектов в таких кристаллах и измениние их оптических свойств. Применение современных методов спектроскопии и физической электроники привело к созданию успешных физических механизмов по формированию индуцированных дефектов в зависимости от значения интенсивности лазерного излучения.

До начала наших исследований по использованию кристалла арсенида галлия в резонаторах лазеров, механизм формирования импульсов не было полностью изучено и не было данных об изменения оптических свойств кристалла под воздействием внутрирезонаторного излучения. Поэтому, изучение изменение оптических свойств полупроводниковых поглотителей и влияние его к характеристикам лазерного излучения в процессе работы лазера, является актуалным.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертационная работа. Диссертационная работа выполнена в рамках исследований следующих проектов Института ионно-плазменных и лазерных технолигий АН РУз: № ФА-Ф2-Ф048 «Исследование резонансных оптических, нелинейно-оптических явлений в атомарных, молекулярных и надмолекулярных системах» (2007-2009) и № ФА-А4-Ф045 «Разработка универсального стенда лазера с солнечной накачкой на БСП для проведения испытаний различных активных элементов» (2015-2017).

Целью исследования является определение влияния нелинейных свойств полупроводниковых насыщающихся поглотителей подвергнутых внутрирезонаторному облучению, на выходные параметры лазеров.

Задачи исследования:

разработка методики внутрирезонаторного исследования дефектообразования при облучении образцов лазерными импульсами с интенсивностью ниже порога оптического разрушения;

исследование формированиея дефектов в полупроводниках, используемых в качестве выходного зеркала, в процессе работы лазера;

исследование влияния изменения концентрации дефектов в полупроводниках, используемых в качестве выходного зеркала в резонаторах, на выходные параметры импульсного лазера;

исследование возможности использования жидкостных люминесцентных сред в качестве активной среды в лазерах с солнечной накачкой и возможности применения насыщающихся полупроводниковых поглотителей в резонаторах солнечных лазеров для модуляции добротности резонатора.

Объектами исследования является монокристаллы GaAs, твердотельные и жидкостные неодимовые лазеры.

Предметом исследования являются физические параметры кристалла арсенида галлия, лазера на неодимовых активных элементах, способы формирования лазерных импульсов, методы модуляции, анализ влияния дефектов кристалле арсенида галлия на выходные параметры лазера

Методы исследования. При изучении влияния нелинейных свойств кристалла GaAs на выходные характеристики лазера использован метод, основанный на внутрирезонаторном облучении кристалла для увеличения концентрации дефектов с изменением интенсивности лазерного излучения, падающего на поверхность кристалла GaAs. Чтобы достичь оптимальной величины эффективности работы насыщающегося поглотителя использовались телескопы с разными коэффициентами телескопирования. Для регистрации импульсной последовательности использовался быстродействующий фотодиод ЛФД-2 с временем отклика 0.5нс и запоминающий цифровой осциллограф фирмы RIGOL DS5152C с полосой 150МГц. Использовано численные методы моделирования процесса.

Научная новизна исследования заключается в следующим:

впервые экспериментально показано увеличение концентрации дефектов в полупроводниковых кристаллах GaAs, использованных в качестве выходного зеркала и насыщающегося поглотителя в резонаторах лазеров, под воздействием внутрирезонаторного излучения высокой интенсивности;

разработана сравнительная методика исследования образования точечных дефектов на поверхностном слое полупроводников применяемых в качестве выходного зеркала и насыщающегося поглотителя в резонаторах лазеров, которая дает возможность получить информацию о формировании дефектов в процессе работы лазеров;

разработана математическая модель для проведения численных экспериментов по исследованию влияния концентрации дефектов GaAs на выходные параметры лазера, результаты которой удовлетворительно согласуются с результатами эксперимента;

впервые установлено зависимость эффективности накачки от угла раскрытия параболического концентратора для солнечных лазеров;

разработана математическая модель жидкостного солнечного лазера. Показано временная зависимость выходной мощности жидкостного лазера и населенности верхнего лазерного уровня активной среды при импульсной накачке концентрированным потоком солнечного излучения длительностью 1 мс.

Практические результаты исследования:

в разработанной сравнительной методике для проведения экспериментальных исследований образования дефектов в полупроводниковых кристаллах, используемых в качестве выходного зеркала и/или насыщающегося поглотителя в резонаторах твердотельных лазеров, в процессе работы лазера, определено оптимальные параметры лазеров для получения удлиненных цугов;

полученные результаты численных экспериментов по применению люминесцентных жидкостей в качестве активной среди позволяет создание жидкостных лазеров с солнечной накачкой. Определена оптимальные параметры узлов лазерной системы, при которых эффективность накачки достигает наибольшие значения на жидкостных солнечных лазерах с оксихлорид фосфором.

Достоверность результатов исследования обусловлена использованием комплекса современных методов и средств измерений; численной и аналитической проработкой полученных закономерностей на основе квантовых представлений, согласованностью экспериментальных результатов с математическими моделями и соответствием с общефизическими представлениями и результатами других работ.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследований заключается в определение увеличения концентрации дефектов в кристалле арсенида галлия, использованного в качестве модулятора добротности резонатора, элемента отрицательной обратной связи и выходного зеркала вследствие внутрирезонаторного излучения, главным образом, на основании наблюдения изменения характеристик лазерного излучения, а также, проведении численного анализа зависимости характеристик выходного излучения лазера от изменения значения коэффициента однофотонного поглощения насыщающегося поглотителя.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что полученные результаты экспериментальных и численных исследований в данном исследовании имеют практические значения в области оптики, лазерной физики и физики поверхности, и дают возможность углубления представлений об этих процессах. Результаты численных экспериментов по применению жидких активных сред в качестве активного элемента в солнечных лазерах позволяют разрабатывать мощные лазеры с солнечной накачкой.

Внедрение результатов работы. На основе результатов исследований по образованию точечных дефектов на поверхности насыщающихся поглотителей вследствие воздействия лазерного излучения в процессе работы лазеров:

полученные научные результаты по влиянию полуповодника GaAs на генерационные характеристики лазеров работающих в режиме пассивной отрицательной обратной связи, с синхронизацией мод, в частности полученные импульсы в результате модуляции добротности резонаторов лазера, а также результаты по модуляции добротности резонаторов солнечных лазеров на

параболических концентраторах использовались для переработки ситалловых материалов при выполнении прикладного проекта ФА-А-16-Ф028 «Разработка технологии получения стеклокристаллических материалов на Большой Солнечной Печи на основе местного сырья и отходов производства, а также изготовление ситалловых образцов изделий на их основе», а также при выполнение инновационного проекта И-2-ФА-0-16498 «Освоение технологии изготовления ситалловых нитеводителей для текстильной отрасли» (Справка №2/1255-2387 Академии наук Республики Узбекистан от 7 сентября 2018 года). Использование научных результатов позволило эффективно перерабатывать ситалловых материалов с тольщиной 0.5-1 мм , в частности создании отверстий с высокой точности;

научные результаты по образование антиструктурных дефектов в кристалле GaAs в результате воздействия лазерного излучения использовались для изучения образования дефектов на SiC при выполнении прикладного проекта ФА-А3-Ф059 «Создание p-n перехода в карбиде кремние с наносекундным переключением и разработка технологии твердофазного диффузионного легирования» (Справка №2/1255-2388 Академии наук Республики Узбекистан от 7 сентября 2018 года). Использование научных результатов позволило определить механизм образование антиструктурных дефектов в карбиде кремние на основе сходства общых свойств бинарных кристаллов GaAs и SiC.

Апробация работы. Основные результаты диссертации представлялись, докладывались и обсуждались на 2 международных и 10 республиканских конференциях.

Опубликованность результатов. Основное содержание диссертации опубликовано в 17 научных работах, из них 5 научных статьей, в том числе 4 в международных и 1 в республиканских научных журналах, рекомендованных высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикаций основных научных результатов диссертационных работ.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 105 наименований. Работа изложена на 109 страницах, содержит 30 рисунков и 1 таблица.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается научное и практическое значение выбранной темы исследований, ее актуальность, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, описано научная новизна, научная и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе диссертации **«Обзор экспериментальных и теоретических работ по применению кристалла GaAs в резонаторе твердотельных лазеров»** приводится обзор и анализ научной литературы, посвященной исследованию по применению кристалла GaAs в качестве насыщающегося поглотителя в резонаторах лазеров. Рассмотрены экспериментальные работы, которые посвящены образованию дефектов в полупроводниках под воздействием лазерного излучения и изложены теоретические модели, которые

объясняют дефектообразование при условиях ниже и выше оптического порога разрушения. На основе анализа вышеуказанных работ сделано предположение, что в процессе работы лазера может образоваться дефекты в кристалле GaAs под воздействием внутрирезонаторного излучения. Исходя из данного предположения, сформулированы основные задачи диссертационной работы.

Вторая глава диссертации **«Экспериментальная установка и методика эксперимента»** посвящена описанию экспериментальной лазерной установки и методам исследования дефектообразования в полупроводниках используемых в качестве нелинейного элемента, под воздействием внутрирезонаторного излучения.

Экспериментальная лазерная установка состоит из следующих узлов:

резонатор лазера был образован из глухого плоского зеркала (R=100%) и полупроводниковой пластинки GaAs в качестве выходного зеркала. Значения коэффициента отражения для пластинки GaAs составляло R~50% на длине волны генерации 1.064 мкм. В качестве активного элемента использовался кристалл Nd:YAG с размерами ø5x65 мм. Оптическая накачка монокристалла Nd:YAG осуществлялся лампой ИФП – 800. Излучение лампы фокусируется кварцевым цилиндрическим отражателем на монокристалл Nd:YAG. Чтобы избежать из нежелательных термических эффектов в активной среде, использовался водяная система охлаждения БО – 1 по замкнутому контуру. Для охлаждения использовался 0,2% раствор хромовокислого калия в дистиллированной воде, который поглощает ультрафиолетовое излучение лампы накачки, предотвращая активный элемент от разрушения. Чтобы варьировать сечение пучка генерации использовалась диафрагма с изменяемым диаметром. Для реализации пассивной отрицательной обратной связи, используется явления двухфотонного поглощения в насыщающих поглотителях. Известно, что двухфотонное поглощение наблюдается при высоких интенсивностях излучения. Для увеличения интенсивности внутрирезонаторного излучения на поверхности кристалла GaAs использовался телескоп, состоящий из системы линз. В экспериментах использовался телескопы с различными коэффициентами телескопирования от k=2 до k=5. Частота повторения импульсов накачки составляла 1 Гц. Геометрическая длина резонатора была равна L=1,5 м.

Для регистрации выходного излучения использовался быстродействующий фотодиод ЛФД-2 с временем отклика ~0.5нс и цифровой осциллограф DS5152C фирмы RIGOL, 150МГц.

В третьей главе диссертации **«Влияние дефектов кристалла GaAs на выходные параметры генерации твердотельного лазера»** подробно исследуются изменения пропускной способности кристалла GaAs под воздействием внутрирезонаторного лазерного излучения. Проведен анализ результатов по дефектообразования в кристалле GaAs при воздействии излучением импульсного YAG:Nd – лазера с интенсивностью, близкой к пороговой интенсивности оптического разрушения.

В параграфе3.1.приведены основные экспериментальные результаты, полученные в рамках настоящей диссертационной работы по

внутрирезонаторным исследованиям образования дефектов с использованием кристалла GaAs в качестве выходного зеркала. Предположено, что при использовании кристалла арсенида галлия в комбинации с линзой внутри резонатора, в процессе работы лазера, также можеть увеличиваться концентрация дефектов кристалла GaAs. Этот процесс привел бы к изменению оптических свойств кристалла GaAs и влиял бы на выходные характеристики лазера. Для выяснения механизма процессов происходящих в кристалле GaAs были проведены серия экспериментов с различной продолжительностью времени работы лазера при различных значениях диаметра диафрагмы и коэффициента телескопирования системы линз и длины резонатора. Как показали многочисленные эксперименты, в начальных этапах работы лазера генерировались последовательности случайных импульсов с частичной модуляцией добротности, практически без синхронизации мод в многомодовом режиме независимо от коэффициента телескопирования. На рис.1. приведены последовательности импульсов выходного излучения за один импульс накачки при значении коэффициента телескопирования 1 (при отсутствии телескопа), длины резонатора 1.5м и с открытой диафрагмой.

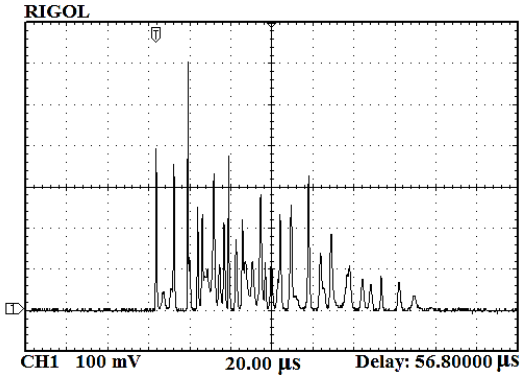


Рис.1. Последовательность выходных импульсов излучения, полученная с необлученным кристаллом GaAs, при *k*=1.Развертка 20 мкс/дел

Как видно из рис.1. импульсы имеют различные амплитуды и случайную последовательность во времени. Длительность одного импульса в последовательности изменялась в небольших пределах и составляла примерно 400 нс.

В начале экспериментов с различными значениями коэффициента телескопирования тщательная юстировка недавала существенного изменения режима генерации, т.е. неприводила к синхронизации мод. Мы предполагали, что это связано с тем, что в пластинке кристалла GaAs концентрация дефектов еще не достаточно высока. Эксперименты проводились для различных длин резонатора. Коэффициент телескопирования *k* изменялся от 1 до 5.

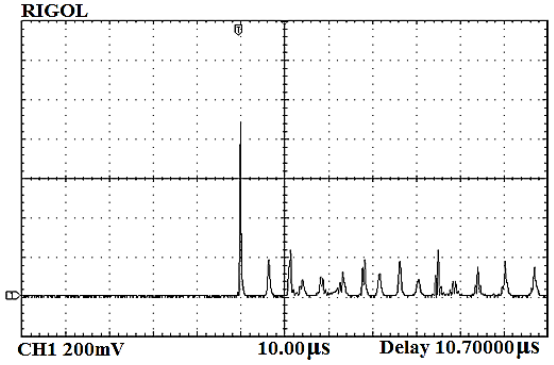


Рис.2. Последовательность импульсов лазерного излучения после1.5 часа работы лазера, при *k*= 3.

При *k*= 3, в течение ~30 минут лазер генерировал импульсы с модуляцией добротности, но без синхронизации мод, затем начали появляться импульсы с внутренней структурой, т.е. с синхронизацией мод. С течением времени, качество синхронизации мод резонатора улучшалась. Примерно через 1.5 часа работы лазера с частотой 1 Гц и при небольшом изменении юстировки были получены результаты, показанные на рис. 2.

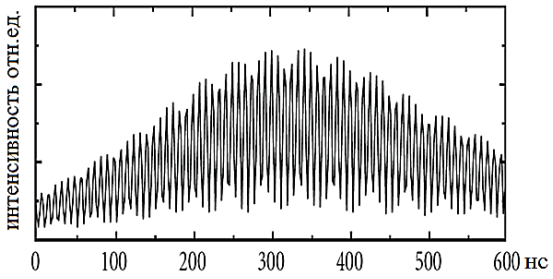


Рис.3. Развернутый вид первого импульса в режиме с синхронизаций мод, при k=3. Развертка 50 нс/дел.

При этом форма первого импульса в последовательности воспроизводилась с достаточно высокой точностью в каждом импульсе накачки.

Длительность отдельных импульсов в цуге составляла приблизительно 5нс, а интервал между ними ~8 нс, что соответсвует времени полного прохода резонатора (рис.3).

Для дополнительной проверки предположения об увеличении концентрации дефектов под воздействием внутрирезонаторного излучения, удалялся телескоп не нарушая юстировку лазера, т.е. осушествлялось переход в режим с коэффициентом телескопирования 1. Таким образом, обеспечивалось использование облученного участка кристалла GaAs, где предположено, концентрация дефектов увеличена. Как и ожидалось, лазер продолжал работать достаточно устойчиво в режиме с синхронизацией мод и генерировал цуги импульсов, один из которых приведен на рис.4.

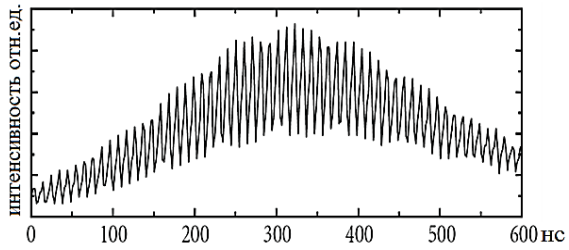


Рис.4. Развернутый вид одного импульса, полученного после удаления телескопа. Развертка 50 нс/дел.

Подобные эксперименты были проведены для других длин резонатора и получены схожие результаты. Это дает основание утверждать, что при использовании кристалла GaAs в резонаторе лазера, при интенсивностях, ниже порога оптического разрушения возможно увеличение концентрации дефектов без разрушения поверхности. Процесс образования дефектов носит насыщающий характер, уровень насыщения зависит от интенсивности лазерного излучения и концентрация образованных дефектов является устойчивым при интенсивностях равных или ниже интенсивности, которая создавала данную насыщенную концентрацию дефектов в кристалле.

В параграфе 3.2 для проведения количественного анализа полученных экспериментальных результатов и получения информации об образовании дефектов в кристалле GaAs, а также для дополнительной проверки сделанных

предположений, проводилось моделирование процесса генерации лазера и проведены численные эксперименты.

При моделировании процесса генерации, рассматривается изменение формы одиночного импульса при его проходе через каждые отдельные элементы резонатора. При этом использовались соответствующие выражения для пропускания каждого элемента и анализировались их влияние на параметры излучения. Пользуясь схемой энергетических уровней GaAs и учитывая времена релаксации, записано основные уравнения, описывающие перечисленные процессы. Уравнение для интенсивности было записано в виде

$$dI/dz = -\alpha I - \beta I^2 - n\sigma_{fc} I \qquad (1)$$

где $\alpha = \sigma_n(N - N^+) + \sigma_p N^+$ - коэффициент однофотонного поглощения, σ_{fc} - сечение поглощения на свободных носителях.

Решая уравнение (1), можно получить выражение для пропускания кристалла GaAs:

$$T = \frac{\exp[-(\alpha + n\sigma_{fc})z]}{1 + [\beta I_0(t)/(\alpha + n\sigma_{fc})]\{1 - \exp[-(\alpha + n\sigma_{fc})z]\}} \qquad (2)$$

Формирование и эволюция импульсов исследовались в зависимости от номера прохода по резонатору, при различных значениях концентрации дефектных уровней в кристалле. В модели использованы следующие параметры: β=30 см/ГВт, σ_n=10^{-16} см^2, $\sigma_p = \sigma_n/10$, σ_{fc}=6×10^{-18} см^2. Ненасыщенные потери за полный проход, включая внутренние потери и потери, обусловленные пропусканием выходного зеркала, полагались равными 50%. В расчетах значения коэффициента телескопирования менялись в пределах от 1 до 3,3 и концентрация дефектов в пластинки GaAs менялись не изменяя остальные параметры лазера.

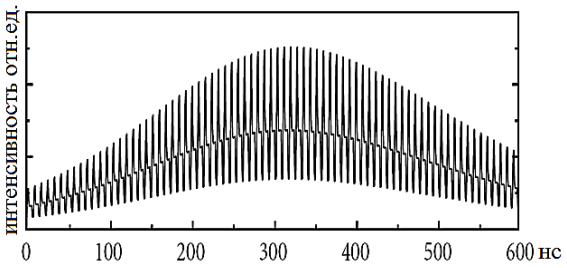


Рис.5. Синхронизованное импульсы генерации, полученные в результате моделирования при 5 кратном увеличении концентрации дефектов в GaAs. k=3.

На рис.5. показан импульс, полученный в результате моделирование процесса при увеличении концентрации дефектов в кристалле GaAs, для k=3.3. Этот результат удовлетворительно согласуется с экспериментальным результатом, показанным на рис.3. Как видно, импульс представляет цуг субимпульсов в наносекундном режиме с глубиной модуляций 60 – 70%.

Результаты численных экспериментов показали, что с увеличением концентрации дефектов в кристалле, глубина модуляции увеличивается.

Удовлетворительное согласие экспериментальных результатов также были получены для случая без телескопа после облучения, с результатами численных экспериментов при концентрации дефектов при значении, в десять раз превышающем концентрации дефектов в необлученном кристалле.

На основании анализа литературных данных и результатов проведенных экспериментов можно сделать вывод, что под воздействием внутрирезонаторного излучения с интенсивностью вблизи и ниже порога оптического разрушения в структуре кристалла GaAs происходят изменения, обусловленные увеличением концентрации дефектов и как следствие изменение свойства насыщающегося поглощения кристалла. Удовлетворительные согласие результатов расчета с экспериментальными данными подтверждает увеличение концентрации дефектов в кристалле GaAs, используемого в качестве выходного зеркала в процессе работы Nd:YAG лазера и с увеличением концентрации дефектов в кристалле GaAs происходить улучшение качества синхронизации мод резонатора. Насыщающие поглотители, полученные лазерным облучением, могут быть успешно применены для пассивной синхронизации мод твердотельных и других лазеров.

Четвертая глава диссертации **«О возможности использования кристалла GaAs в солнечных лазерах в примере жидкостного лазера»** посвящена исследованию возможности создания жидкостного солнечного лазера на разных концентраторах и использовании кристалла GaAs в таких лазерах. В параграфе 4.1. разработана модель импульсного жидкостного лазера на основе оксихлорида фосфора с неодимом и проведены исследования возможности получения генерации в условиях Большой Солнечной Печи.

Как известно, в фокусе Большой Солнечной Печи на площади 1м^2 максимальная мощность составляет ~1 МВт. При этом с помощью компьютерного управления гелиостатов не трудно получить равномерное распределение солнечного потока в фокусном пятне, который соответствует интенсивности 100 Вт/см^2. В фокусном пятне можно установить ряд заполненных активной средой кварцовых цилиндрических кювет длиной 100 см с внутренним диаметром 1.5 см. Для эффективного концентрирования солнечного излучения можно использовать вторичные концентраторы прямоугольной формы с шириной в 2-3 раза большей, чем диаметр кюветы. В этом случае на фокусе можно разместить порядка 25 кювет. Рассматривался также случай когда интенсивность солнечного излучения составляла 200 Вт/см^2, в пятне 0.5 м^2 когда ширина фокусного пятна предполагалась уменьшенной в два раза. И в этом случае в фокальную плоскость можно разместить порядка 25 кювет, но с максимальной длиной 50 см.

Для выполнения расчета поглощенной мощности и распределения инверсии населенности в активном элементе использовано метод Монте-Карло. Рассмотрено вариант с вторичным концентратором. Как показали результаты этих расчетов, эффективность накачки составляет 0.08, которая была использована в дальнейших расчетах.

Для получения зависимости мощности лазерного излучения от времени использовался известные скоростные уравнения. В жидкой неодимсодержащей активной среде на основе оксихлорида фосфора активными центрами являются ионы неодима, на которых происходит генерация по известной четырехуровневой схеме. Для численного решения скоростных уравнений использовался метод Адамса. Результаты численных экспериментов показывали, что выходная мощность отдельных пичков достигает нескольких

десятков киловатт, но средняя мощность излучения составляет ≈ 1.3 кВт. При интенсивности солнечного излучения 100 Вт/см^2, оптимальные коэффициенты пропускания выходного зеркала равнялись 0.05, 0.09 для резонаторов длиной 50, 100 см соответственно,. При интенсивности 200 Вт/см^2, оно равнялось 0.08 для резонатора длиной 50 см. Средняя выходная мощность лазерного излучения достигает до 1.66 кВт в импульсе, при интенсивности солнечного излучения 200 Вт/см^2. При этом КПД лазера, который определяется как отношение выходной энергии лазера к энергии солнечного излучения, падающего на фокальную плоскость концентратора, увеличивается до 4.2%.

В параграфе 4.2 исследована возможность использования неодимсодержащего жидкостного лазерного материала на основе оксихлорида фосфора в качестве активной среды для накачки концентрированным солнечным излучением в фокусе малогабаритных параболических (parabolic-dish) концентраторов. Изучена возможность повышения его эффективности с применением частотных преобразователей солнечного излучения. Исследования проводились численными экспериментами на основе модели с использованием методов Монте-Карло и прослеживания лучей.

Главной целью данного исследования конкретного случая являлось демонстрация возможности подхода основанного на спектральный сдвиг части солнечного спектра для того, чтобы увеличить эффективность преобразования солнечной энергии в энергию лазерного излучения.

Моделирование проводилось для 2-х метрового параболического концентратора с фокусным расстоянием 0.9м. Схема рассмотренной лазерной системы приведена на рисунке 6.

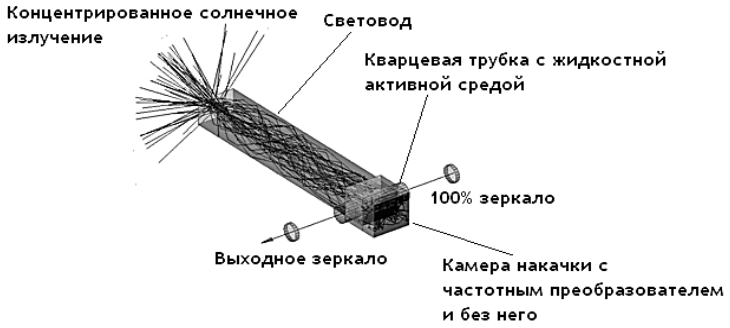


Рис.6. Схема лазерной системы

Рассматривалась схема с поперечной накачкой. Как видно из рисунка на схеме присутствует световод, ролью которого является обеспечение однородной накачки активной среды вдоль ее осы. Схема снабжена камерой накачкой прямоугольной формы. Это обусловлено необходимостью использования дополнительного элемента, так называемого частотного преобразователя прямоугольной формы внутри камеры. Роль частотного преобразователя является сдвиг части солнечного спектра, который не поглощается активной средой, в частотный диапазон, где активная среда имеет сильные полосы поглощения, тем самым увеличивая эффективность накачки лазера. В качестве частотного преобразователя рассматривался Cr:LiCAF имеющий две широкие полосы поглощения в видимом диапазоне около 400 и 600 нм и спектр излучения (испускания) в окрестности 800 нм, который хорошо

перекрывается с полосой поглощения неодимсодержащих активных сред. Поперечные размеры световода были 22x14x120мм. Размеры активной среды внутри камеры накачки были 10мм в диаметре и 22мм по длине. Длина кварцевой трубки 40мм. Поверхности обоих ее торцов покрыты анти-отражающими покрытиями. Предполагалось, что жидкостная активная среда охлаждается циркуляцией через теплообменник. Дополнительно используется водяное охлаждение для камеры накачки и активной среды (через кварцевую трубку). Камера накачки представлял собой прямоугольный ящик с внутренними размерами 22x14x14мм. Внутренние поверхности камеры предполагалось зеркальной с серебряными покрытиями с коэффициентом отражения 97%.

Расчеты проводились в два этапа. На первом этапе находили эффективность накачки, то есть отношение количество фотонов поглощенных в активной среде к количеству солнечных фотонов, падающих на концентратор. Эти расчеты проводились с помощью моделирования, используя методов Монте-Карло и прослеживания лучей. На следующем этапе оценивалась выходная лазерная мощность в зависимости от входной мощности солнечного излучения с использованием известного выражения для четырех - уровневого лазера:

$$P_{out} = (\gamma_2 / 2\gamma)\eta_p (P - P_{\text{thr}}) \qquad (3)$$

где γ_2 логарифмические потери за счет пропускания выходного зеркала, 2γ - полные потери внутри (total round-trip loss) резонатора, η_p - эффективность накачки, P_{out}, P, P_{thr} - выходная мощность лазера, мощность накачки, и пороговая мощность соответственно. Расчеты были проведены для коэффициента отражения выходного зеркала 98%.

Расчеты были проведены для двух случаев, с и без частотного преобразователя и сравнивались результаты. В случае с частотным преобразователем предполагалось, что пластинка из Cr:LiCAF размерами 22x14x3мм установлена внутри камеры накачки, на правом конце системы (см.рис.6.).

Основная часть разработанной модели состоит в определении последовательности точек пересечений фотона в элементах системы с использованием геометрической оптики и моделировании процессов отражения, преломление, поглощение и испускание излучения методом Монте-Карло. В результате моделирования процессов в системе было получено эффективность накачки без частотного преобразователя 0.125 и с преобразователем частоты 0.165. На основании этих результатов на втором этапе была получена зависимость выходной мощности лазера от входной мощности солнечного излучения для двух рассмотренных случаев.

Как видно из рисунка 7 использование преобразователя частоты увеличивает эффективность преобразования солнечной энергии в энергию лазера более чем на 40%. Однако, рассмотренная в данной работе схема является одним из возможных вариантов. Поэтому рассмотрение других вариантов схемы является целесообразным с точки зрения дальнейшего улучшения результатов. Тем не менее, результаты данного исследования показывает, что использование частотного преобразователя является

перспективным способом для увеличения эффективности преобразования солнечной энергии в энергию лазерного излучения.

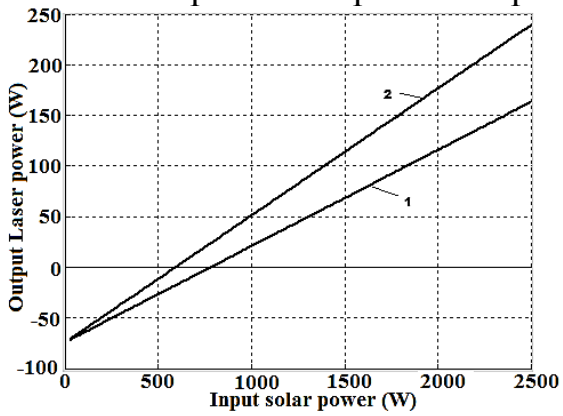


Рис.7. Зависимости выходной мощности от входной для лазера без (1) и с (2) преобразователем частоты

Параграф 4.3 посвящено исследованию зависимостей эффективности накачки от параметров лазерной системы, и на основании результатов этих исследований определение оптимальных соотношений между различными параметрами узлов солнечных лазеров на параболических концентраторах.

Надо подчеркнуть, что в этом случае рассмотрена схема солнечного лазера на параболическом концентраторе при поперечной накачке. Считается, что это одно из надежных схем накачки, который можно успешно применять в солнечных лазерах на параболических концентраторах. В параболических концентраторах диаметр фокуса зависит от угла раскрытия. Следовательно, изменяя диаметр фокуса, можно получить высокие концентрации солнечного излучения, направляемого в активную среду, чтобы достичь порога генерации.

Нами проведено численные эксперименты по определению зависимости эффективности накачки от угла раскрытия параболического концентратора, размеров вторичного концентратора и от длины активного элемента. В модели для выполнения расчетов поглощенной мощности, распределения инверсии населенности и определения эффективности накачки использовался статистический метод Монте-Карло и метод прослеживания лучей.

Для определения оптимальных соотношений параметров узлов солнечного лазера на параболическом концентраторе численные эксперименты проводились по следующему алгоритму:

1) Изменяя угол раскрытия, вычисляется эффективность накачки для каждого значения угла. Таким образом, получается зависимости эффективности накачки от данного параметра параболического концентратора и определяется оптимальное значение. При этом, не изменяется остальные параметры узлов лазерного системы (например, радиус концентратора, форма и размеры вторичного концентратора, толщина и длина активной среды).

2) Симметричным увеличением высоты вторичного концентратора и, не изменяя остальных параметров лазерной системы, получается зависимость эффективности накачки от размера вторичного концентратора. При этом угол раскрытия концентратора принимает оптимальное значение, полученное на первом этапе численного эксперимента.

3) Симметричным увеличением длины активной среды (соответственно увеличивается ширина вторичного концентратора), получается соответствующая зависимость. Угол раскрытия параболического концентратора и высота

вторичного концентратора принимают оптимальные значение, полученные в предыдущих этапах.

На рис.8. приведен результат первого этапа численных экспериментов для параболического концентратора с радиусом 1.5м. Видно, что значение эффективности накачки существенно зависит от угла раскрытия параболического концентратора. Оптимальный угол раскрытия для данного концентратора равнялся ~70°.

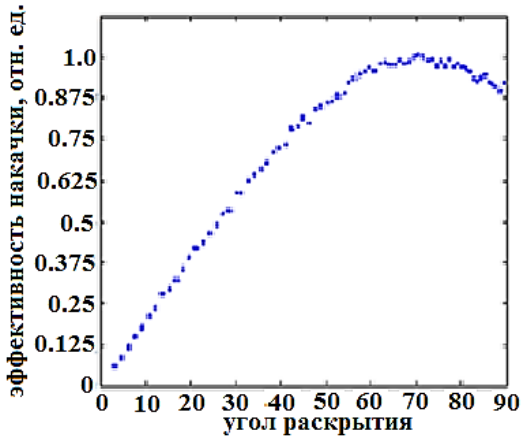


Рис.8. Зависимость эффективности накачки солнечного лазера от угла раскрытия параболического концентратора.

На рис.9. (результаты второго этапа) приведена зависимость эффективности накачки от относительной высоты вторичного концентратора, определяемой как, отношение высоты вторичного концентратора к диаметру фокуса.

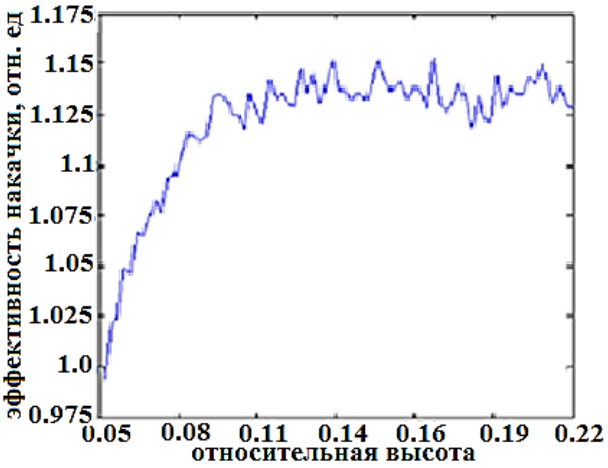


Рис.9. Зависимость эффективности накачки от относительной высоты вторичного прямоугольного концентратора.

Отметим, что минимальное значение эффективности накачки соответствует максимальному значению предыдущей зависимости. Это обусловлено тем, что мы использовали результат из предыдущего этапа численного эксперимента, т.е. в качестве значения угла раскрытия брали его оптимальное значение 70°. Оптимальное значение относительной высоты вторичного концентратора равнялся ~0.16.

Результат третьего этапа для данной системы солнечного лазера показан на рис.10.

Здесь тоже видно, что минимальное значение эффективности накачки равнялся максимальному значению эффективности накачки, которое было получено при выполнении второго этапа численного эксперимента. При проведении данного этапа в расчетах были использованы оптимальные

значения предыдущих этапах численного эксперимента для угла раскрытия и относительной длины активного элемента.

Видно, что эффективность накачки достигает наибольшей величины при длине активного элемента 3-4 см.

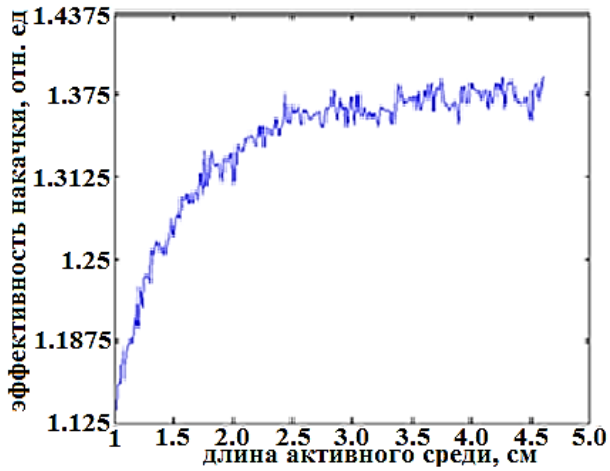


Рис.10. Зависимость эффективности накачки от длины активного элемента.

Таким образом, мы определили оптимальную связь между параметрами узлов для данной схемы солнечного лазера с точки зрения достижения наибольшей эффективности накачки.

В таблице приведены результаты численных экспериментов, для концентраторов с различными значениями радиуса.

Таблица.

Оптимальные параметры солнечного лазера на параболических концентраторах

Радиус концентратора см	Оптимальный угол раскрытия концентратора, °	Оптимальный параметр параболического концентратора *p*, см	Оптимальное значение относительной высоты вторичного концентратора	Оптимальная длина активной среди, см	Максимальное значение эффективность накачки, %
25	32°	89,3	0,71	1,00	15.9
50	39,6°	138,9	0,39	1,3	14.6
75	48,8°	165,5	0,26	1,4	13.25
100	58,5°	178,6	0,25	1,9	12.3
125	67,2°	188,3	0,17	2,3	11.6
150	70,5°	212,3	0,16	3,5	10.9
175	75,3°	226,85	0,138	4	10.4
200	78°	253	0,11	5	9.6

Полученные результаты показывает существенную зависимость эффективности накачки от размеров и геометрических форм лазерной системы. Отметим, что с увеличением радиуса концентраторов максимальное значение эффективности накачки уменьшается. Это может быть обусловлено тем, что диаметр пятна прямо пропорционально от радиуса концентратора и вследствие этого степень перекрытия концентрированного солнечного излучения активным элементом снижается.

Параграф 4.4. посвящено численным экспериментам по использованию кристалла GaAs в солнечных жидкостных лазерах. Результаты численных экспериментов показали, что использование кристалла GaAs в резонаторе

жидкостного лазера с солнечной накачкой в качестве насылающегося поглотителя позволяет получить импульсы, укороченные относительно импульсов, получаемых при свободной генерации (рис. 11).

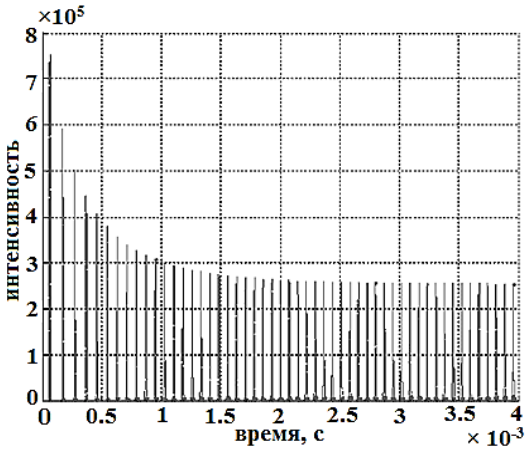


Рис.11. Временная зависимость выходного излучения при концентрации дефектов $1.2 \cdot 10^{16}$ на кристалле GaAs. Мощность накачки 2500Вт.

Известно, в резонаторе без кристалла GaAs генерируются цуги импульсов, длительность которых постепенно увеличиваются и в конечном итоге переходить в непрерывной режим генерации, а использование кристалла GaAs в качестве выходного зеркала позволяет получить последовательности стабильных импульсов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана новая методика проведения исследований образования точечных дефектов в полупроводниковых кристаллах, используемых в качестве насыщающегося поглотителя в резонаторах лазеров, основанная на влияние концентрации дефектов кристалла на выходные параметры лазера. Данный метод позволяет наблюдать изменение концентрации дефектов в процессе работы лазеров.
2. Впервые исследовано изменение концентрации дефектов в полупроводниковом кристалле GaAs, используемого в качестве выходного зеркала и насыщающегося поглотителя в резонаторах лазеров.
3. Разработана компьютерная модель для проведения численных экспериментов по исследованию возможности применения жидкостных люминесцентных сред в качестве активной среды лазеров с солнечной накачкой, на примере жидкостной активной среды $POCl_3$-$SnCl_4$-Nd^{3+}.
4. Впервые установлено зависимость эффективности накачки солнечных лазеров от угла раскрытия параболического концентратора.
5. Исследована возможность создания лазера на основе жидкостной активной среды на малых параболических концентраторах и показано, что при использовании внешних преобразователей солнечного излучения эффективность преобразования может достигать 10%. Использование кристалла GaAs лазерах с солнечной накачкой в качестве насыщающего поглотителя позволяет осуществить режим работы лазера с модуляцией добротности и генерировать последовательность стабильных импульсов различной длительности.

SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING OF SCIENTIFIC DEGREES DSc.30.05.2018.FM/T.65.01 INSTITUTE OF ION PLASMA AND LASER TECHNOLOGIES

INSTITUTE OF ION-PLASMA AND LASER TECHNOLOGIES

SHAYIMOV FAYZULLO FATULLAYEVICH

NONLINEAR PROPERTIES OF GaAs AND ITS APPLICATION IN SOLID-STATE AND LIQUID LASERS

01.04.11 – Laser physics

ABSTRACT OF DISSERTATION OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) ON PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

TASHKENT–2018

The subject of PhD dissertation is registered at the Supreme Attestation Comission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2017.2.Phd/FM89.

Dissertation has been prepared at the Institute of Ion-plasma and laser technologies.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) has been posted on the website of the Scientific Council (www.iplt.uz) and on Information-educational portal «Ziyonet» (www.ziyonet.uz)

Scientific supervisor:	**Bakhramov Sagdilla Abdullayevich** doctor of physical and mathematical sciences, professor, academician
Official opponents:	**Kadirov Mumin Kadirovich** doctor of physical and mathematical sciences
	Sapayev Usmon Kalandarovicg doctor of physical and mathematical sciences
Leading organization:	**The National University of Uzbekistan**

The defense will take place on «____» _____2018 at _____ at the meeting of the Scientific Council number DSc.30.05.2018.FM/T65.01 at the Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies (Address: 100125, Uzbekistan, Tashkent, 33 Durmon yuli street. Phone/fax: (+99871) 262-32-54, e-mail: info@iplt.uz.

The PhD dissertation is can be looked through in the Information-Resource Centre of the Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies (is registered №____) (Address: 100125, 33, Durmon yuli str., Tashkent, Uzbekistan. Phone: (+99871) 262-31-69.

The abstract of the dissertation is sent out on «___» _____ 2018.

(mailing report № _____ on «___» _____ 2018).

Kh.B.Ashurov
Chairman of scientific council on award of scientific degrees, doctor of technical sciences, senior researcher

D.T.Usmanov
Scientific secretary of scientific council on award of scientific degrees, doctor physical and mathematical science, senior researcher

B.E.Umirzaqov
Chairman of scientific seminar under scientific council on award of scientific degrees, doctor of physical and mathematical science, professor

INTRODUCTION (abstract of the PhD thesis)

Topicality and necessity of the thesis. One of the promising directions for obtaining laser radiation with different characteristics is the modulation of the Q-switching of the laser resonators. In particular, the use of an absorbing GaAs semiconductor crystal in laser resonators simplifies the design of these devices and reduces their cost. Currently in the world, well-known research centers are focused on the use of saturable absorbers in laser resonators, modulating the quality of the resonator and the mode generation with mode synchronization, which significantly simplifies the design, improves the efficiency, reliability, and reduces the cost of the laser source compared to active modulation good quality. Prior to our studies on the use of gallium arsenide crystal in laser resonators, the mechanism of pulse formation was not fully studied and there was no data on changes in the optical properties of a crystal under the influence of intracavity radiation. Therefore, the study of the change in the optical properties of semiconductor absorbers and its influence on the characteristics of laser radiation in the course of laser operation is relevant.

The aim of the study is to determine the effect of nonlinear properties of semiconductor saturable absorbers subjected to intracavity irradiation on the output parameters of lasers.

The objects of study are GaAs single crystals, solid-state and liquid neodymium lasers.

The scientific novelty of the research is as follows:

for the first time experimentally, an increase in the concentration of defects in semiconductor GaAs crystals, used as an output mirror and a saturable absorber in laser resonators, under the influence of high-intensity intraresonator radiation was shown;

a comparative method was developed for studying the formation of point defects on the surface layer of semiconductors used as an output mirror and a saturable absorber in laser resonators, which makes it possible to obtain information on the formation of defects in the course of laser operation;

a mathematical model has been developed for carrying out numerical experiments to study the effect of the concentration of GaAs defects on the output parameters of a laser, the results of which are in satisfactory agreement with the results of the experiment;

for the first time, the dependence of the pumping efficiency on the rim angle of a parabolic concentrator for solar lasers was established;

developed a mathematical model of a liquid solar laser. The time dependence of the output power of a liquid laser and the population of the upper laser level of the active medium with pulsed pumping by a concentrated solar radiation flux of 1 ms is shown.

Implementation of the research results. On the basis of the results of studies on the formation of point defects on the surface of saturable absorbers as a result of the action of laser radiation during the operation of lasers:

the obtained scientific results on the effect of a GaAs semiconductor on the lasing characteristics of lasers operating in the passive negative feedback mode with

mode synchronization, in particular, the resulting pulses as a result of the modulation of the Q-swirching of the laser resonators, as well as the results on the modulation of the Q-switching of the parabolic concentrators of solar lasers -application project ФА-А-16-Ф028 on the theme «Development of technology for the production of glass-ceramic materials on Bolshaya Solna Furnaces based on local raw materials and production wastes, as well as the manufacture of sitall specimens of products based on them», as well as during the implementation of the innovative project И-2-ФА-0-16498 on the theme «Mastering the technology of making sitel yarns for the textile industry» (Reference No.2 / 1255-2387 of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan of September 7, 2018). The use of scientific results made it possible to efficiently process glass materials with a thickness of 0.5–1 mm, in particular, to create holes with high precision;

scientific results on the formation of antisite defects in a GaAs crystal as a result of laser irradiation were used to perform the application project ФА-А3-Ф059 on the theme «Creating a p-n junction in silicon carbide with nanosecond switching and developing solid-phase diffusion doping» (Reference No. 2 / 1255- 2388 of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan of September 7, 2018). The use of scientific results made it possible to determine the mechanism of the formation of antisite defects in silicon carbide based on the similarity of the general properties of binary crystals of GaAs and SiC.

Structure and volume of dissertation. The thesis consists of an introduction, four chapters, conclusion, list of references from 105 titles. The work is presented on 109 pages, contains 30 figures and 1 table.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; part I)

1. S. Bakhramov, Sh. Payziyev, A. Kasimov and F. Shaiimov, «Possibility of Greating Liquid Lasers on Big Solar Furnase», Applied Solar Energy, V.45. No:4, pp. 276 – 278, 2009. (№40, Reseach Gate; IF=0.26)

2. S. Bakhramov, Sh. Payziev, A. Kasimov, F. Shayimov «Defects in a bulk GaAs and Q-switching of a Nd:YAG laser with a GaAs output coupler». Proceedings of the SPIE, Volume **79940D**, 7p. 2010.(№40, Reseach Gate; IF=1.13)

3. Sh. Payziev, S. Bakhramov, A. Kasimov, and F. Shayimov «Laser – Induced Defects in a Bulk GaAs Used as an Output Coupler in an Nd:YAG Laser Cavity». Journal of Atomic, Molecular and Optical Physics. Volume 2011, Article ID 879146, 4 pages. doi: 10.1155/2011/879146 (№40, Reseach Gate; IF=0.19)

4. Бахрамов С. А., Пайзиев Ш. Д., Касимов А. К, Шайимов Ф. Ф. «Изменение генерационных характеристик Nd:YAG лазера в процессе его работы при использовании кристалла GaAs в качестве выходного зеркала». Узбекский физический журнал. Том 14. №:14. С. 209-217. 2012 (01.00.00, №5)

5. Sh. Payziyev, S. Bakhramov, and F. Shayimov «Enhancing of Solar Pumped Liquid Laser Efficiency». Applied Solar Energy. Vol. 52, No. 1, 2016, pp. 68–71. (№41, SCImago; IF= 0.46)

II бўлим (II часть; part II)

6. Бахрамов С. А., Пайзиев Ш. Д., Касимов А. К, Пайзиева Д. А., Шайимов Ф. Ф. Использование кристаллов GaAs, подвергнутых лазерному облучению для управления параметрами твердотельных лазеров / Материалы Республиканский конференции «Современная физика и ее перспективы». 2008. 7 – 8 май. –С. 56-57.

7. Бахрамов С. А., Пайзиев Ш. Д., Касимов А. К, Шайимов Ф. Ф. О возможности создания жидкостного лазера на Большой Солнечной Печи. / Материалы Республиканский конференции «Современная физика и ее перспективы». 2009. 12 – 13 ноябрь. –С. 15–17.

8. Бахрамов С. А., Пайзиев Ш. Д., Шайимов Ф. Ф. Жидкостный лазер накачиваемый концентрированным потоком солнечного излучения. / UzPEK – 5. 5-ая конференция по физической электронике. Сборник статей.. 2009 г. 28 – 30 Октябрь. – С. 134.

9.Бахрамов С. А., Пайзиев Ш. Д., Шайимов Ф. Ф. Жидкостный лазер накачиваемый концентрированным солнечным излучения./ Республиканская научно практическая конференция. «Наука Каракалпакстана: вчера, сегодня, завтра». 2009. – С. 22.

10. S. Bakhramov, Sh. Payziev, A. Kasimov, F. Shayimov «Defects in a bulk GaAs and Q-switching of a Nd:YAG laser with a GaAs output coupler». International conference ICONO/LAT – 2010, Kazan, Russia August 23-27, 2010. LTuE2 LtuL52

11. БахрамовС. А., ПайзиевШ. Д., КасимовА. К., ШайимовФ. Ф. Формирование дефектов в кристалле GaAs используемого в качестве выходного зеркала в процессе работы Nd:YAG лазера. / Фундаментальные и прикладные вопросы физики. Материалы международной конференции. 2010 г. 24-25 ноября. – С. 183-186.

12. Бахрамов С. А., Пайзиев Ш. Д., Шайимов Ф. Ф. Генерационное свойства жидкостного солнечного лазера / Фундаментальные и прикладные вопросы физики. Материалы международной конференции. 2010 г. 24-25 ноября. – С. 413-415.

13. Бахрамов С. А., Пайзиев Ш. Д., Касимов А. К, Шайимов Ф. Ф. Влияние лазерно-индуцированных дефектов в кристалле GaAs используемого в качестве выходного зеркала на выходные параметры генерации Nd:YAG лазера / Фундаментальные и прикладные вопросы физики. Материалы международной конференции. 2010 г. 24-25 ноября. – С. 410-412.

14. Бахрамов С. А., Пайзиев Ш. Д., Касимов А. К, Шайимов Ф. Ф. Лазеры с солнечной накачкой на малых параболоидных концентраторах. / Республиканская конференция ИННОВАЦИЯ – 2010.

15. Бахрамов С. А., Пайзиев Ш. Д.,Шайимов Ф. Ф. «Жидкостный лазер с солнечной накачкой со спектральном сдвигом солнечного излучения на Cr:LiCAF». / Фундаментальные и прикладные вопросы физики. Материалы международной конференции, посвященной 100 – летию академика С. А. Азимова. 2014 г. 6-7 ноября. – С. 235-237.

16. Бахрамов С. А., Клычев Ш.И., Шайимов Ф.Ф., «Оптимальное соотношения между параметрами узлов солнечных лазеров на параболических концентраторах». Фундаментальные и прикладные вопросы физики. Материалы международной конференции. 2017 г. 13-14 июня. –С. 203-207.

17. Бахрамов С. А., Клычев Ш.И., Шайимов Ф.Ф., «Зависимость эффективности накачки солнечного лазера от параметров параболического концентратора». Муҳандислик физикасининг илмий-техник муаммолари. 8-9 сентябрь. 2017 й. –С. 104-106

Автореферат «Тил ва адабиёт таълими» журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлар ўзаро мувофиқлаштирилди (31.10.2018 йил).

Босишга рухсат этилди: 05.11.2018 йил.
Бичими 60x84 $^{1}/_{16}$, «Times New Roman»
гарнитурада рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табоғи 2,9. Адади: 100. Буюртма: № 323.

Ўзбекистон Республикаси ИИВ Академияси,
100197, Тошкент, Интизор кўчаси, 68.

«АКАДЕМИЯ НОШИРЛИК МАРКАЗИ»
Давлат унитар корхонасида чоп этилди.