

**ҚАРШИ ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ РНД.03/31.03.2021.ФМ.70.06 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ
ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

АЛЛАЯРОВА ГУЛМИРА ХОЛМУРАТОВНА

**МОЛИБДЕН ВА КРЕМНИЙ ЮЗАСИДА ҲОСИЛ ҚИЛИНГАН ОКСИД
НАНОПЛЁНКАЛАРНИНГ ЭЛЕКТРОН ТУЗИЛИШИ ВА ОПТИК
ХУСУСИЯТЛАРИ**

01.04.04 - Физик электроника

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
АВТОРЕФЕРАТИ**

Қарши-2021

**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 doctor of philosophy (PhD) on physical
and mathematical sciences**

Аллаярова Гулмира Холмуратовна

Молибден ва кремний юзасида ҳосил қилинган оксид
нанопёлкаларнинг электрон тузилиши ва оптик
хусусиятлари 3

Аллаярова Гулмира Холмуратовна

Электронная структура и оптические свойства нанопленок оксидов
созданных на поверхности молибдена и кремния 21

Allayarova Gulmira Khalmuratovna

Electron structure and optical properties of oxide nanofilms formed on the
surface of molybdenum and silicon..... 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works..... 42

**ҚАРШИ ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ РЎД.03/31.03.2021.ФМ.70.06 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

АЛЛАЯРОВА ГУЛМИРА ХОЛМУРАТОВНА

**МОЛИБДЕН ВА КРЕМНИЙ ЮЗАСИДА ҲОСИЛ ҚИЛИНГАН ОКСИД
НАНОПЛЁНКАЛАРНИНГ ЭЛЕКТРОН ТУЗИЛИШИ ВА ОПТИК
ХУСУСИЯТЛАРИ**

01.04.04 - Физик электроника

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
АВТОРЕФЕРАТИ**

Қарши-2021

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2019.2.PhD/T1048 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ислон Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус ва инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.karsu.uz) ҳамда «ZiyoNet» ахборот-таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Ташмухаммедова Дилноза Артикбаевна
физика-математика фанлари доктори, профессор

Расмий опонентлар:

Тураев Эргаш Юлдошович
физика-математика фанлари доктори, катта илмий ходим

Исаханов Зинаобиддин Абилпезович
физика-математика фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот

Урганч давлат университети

Диссертация ҳимояси Қарши давлат университетидаги ҳузуридаги илмий даражалар берувчи PhD.03/31.03.2021.FM.70.016 рақамли илмий кенгашнинг 2021 йил «___» _____ соат ___ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 180119, Қарши шаҳри, Кўчабоғ кўчаси, 17-уй. Тел./факс: (99875) 225 34 13, email: kardu@mail.ru, Қарши давлат университети мажлислар зали).

Диссертация билан Қарши давлат университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (___ рақами билан рўйхатга олинган.) Манзил: 180119, Қарши шаҳри, Кўчабоғ кўчаси, 17-уй. Тел./факс: (99875) 225 34 13

Диссертация автореферати 2021 йил «___» _____ куни тарқатилди.
(2021 йил «___» _____ даги ___ рақамли реестр баённомаси)

М.Т.Нормурадов

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

Ғ.Х.Халимов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, ф.м.ф.н., доцент

А.К.Ташатов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, ф-м.ф.д., профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Ҳозирги вақтда дунёда молибден оксиди плёнкалари ва уларга асосланган тизимлар электроника саноатида ва энергетиканинг турли соҳаларида, айниқса тоза Мо ва унинг қотишмаларини ишлаб чиқаришда, нефт ва нефт маҳсулотларини қайта ишлаш учун катализаторлар ишлаб чиқаришда, OLED-дисплейлар яратишда, ёруғлик филтрларида, сенсорларда ва органик қўёш элементларида кенг қўллаш етакчи ўринлардан бирини эгалламоқда. Бу жиҳатдан, ион имплантация ва юқори вакуумли термодиффузия усулларидан фойдаланиб молибден ва кремнийнинг қалинлиги ва стехиометрик таркиби бир хил бўлган наноўлчамли оксидларини олиш ва уларнинг электрон тузилишини, эмиссион ва оптик хоссаларини ўрганиш ҳозирги замон электроникасининг долзарб вазифаларидан ҳисобланади.

Жаҳонда нано ва оптоэлектрон қурилмаларни яратиш учун Si ва SiO₂ асосидаги наноўлчамли ва кўп қатламли тизимлар асос бўлиб ҳисобланади. Хусусан, наноўлчамли SiO₂/Si гетероструктуралар юқори частотали транзисторлар, интеграл схемалар, микросхемалар, оптик конвертерлар ва қўёш элементларини яратиш учун асос бўлиб хизмат қилади. Шу билан бирга ишлаб чиқариш технологиясини такомиллаштириш ва янги физик хусусиятларга эга бўлган наноўлчамли структураларнинг шаклланиш қонуниятларини ўрганишга алоҳида эътибор берилмоқда.

Республикамизда янги электрон қурилмалар, жумладан қўёш элементларини яратишда, наноўлчамли кўпкомпонентли қатламлар тизимларини олиш ва уларнинг электрон, оптик ва эмиссия хоссаларини ўрганиш билан боғлиқ кенг қамровли фундаментал ва амалий тадқиқотлар олишиб, муайян натижаларга эришилмоқда. Белгиланган физик хусусиятларга эга бўлган наноўлчамли кўп қатламли структураларни яратиш катта илмий ва амалий аҳамиятга эга. Бироқ ҳозирги вақтгача молибден ва кремний асосида наноўлчамли MoO₃/Mo ва SiO/Si нинг наноўлчамли фазалари ва қатламлари олинмаган ва уларнинг физик кимёвий хусусиятлари ўрганилмаган. Шунинг учун ушбу диссертация иши кўрсатилган долзарб муаммоларни ҳал қилишга бағишланган.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида” 2017 йил 17 февралдаги ПҚ-2789-сонли “Фанлар академияси фаолияти, илмий-тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада ПҚ-4422-сонли “Иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини ошириш, энергия манбаларини ривожлантиришнинг тезкор чора-тадбирлари тўғрисида”ги қарор ва фармонлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация иши муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг Республика фан ва технологияларини ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот

иши Республика фан ва технологиялари ривожланишининг: III. “Энергетика, энергоресурс тежамкорлиги, транспорт, машина ва асбобсозлик, замонавий электроника, микроэлектроника, фотоника ва электрон асбобсозлиги ривожланиши” ва II. “Физика, астрономия. Энергетика ва машинасозлик” устувор йўналишларига мувофиқ бажарилаган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Ҳозирги кунда дунёнинг қатор илмий марказлари Mo ва Si оксидлари юзасида ва юза ости соҳасида наноўлчамли плёналарни олиш ва уларнинг физик-кимёвий хоссаларини ўрганиш билан шуғулланмоқда. Термик буғланиш йўли билан олинган MoO₃ плёнкаларнинг ҳосил бўлиши (ҳолати) плёнканинг оптик зичлиги, қалинлиги, ҳосил бўлиш харорати ва вақтига, шунингдек тушаётган ультрабинафша нурларининг тўлқин узунлиги ва интенсивлигига боғлиқ эканлигини (Е.П.Суровой, Й.А.Янг, З.Лиу, П.Г.Функ, С.Соул, М.Канг ва бошқалар) ўрганишган, ток зичлигидастаси билан $j > 20 \text{ A/cm}^2$ бўлган ионлар дастаси билан таъсирида, MoO₃ наноплёнкасини рангини ўзгаришига олиб келади ва буни эса кислород вакансиялари ҳосил бўлиши билан тушунтирилган. Ушбу тадқиқотлар шуни кўрсатдики, молибден оксидидан тайёрланган шаффоф плёнкалар OLED дисплейлари ва қуёш фотоэлементларини яратишда муҳим аҳамиятга эга. MoO₃ плёнкасининг ёруғлик ютиш спектрларини ўрганилганда унга, баъзи ҳолларда “ёритилиш эффекти” аниқланган (Л.Н.Бугерко, Б.Е.Суровая). SiO₂ юпқа плёнкалар асосида МДП трансисторлар, диодлар ва интеграл микросхемалар, қуёш элементлари ёруғлик тарқатувчи тузилмалар ва бошқа қўрилмалар ишлаб чиқишда кенг қўлланилади.

Бир қатор тадқиқотларда хона хароратида SiO₂ плёнкаси ўлчамлари ≤50-60 нм бўлганда Si кластер фазаларининг мавжудлиги уларда кўринувчи ва инфрақизил нурланишларда квант ўлчамли эффектлар намоён бўлиши билан характерланишини Ундалов, А.И.Гусев, М.Namasaki, шунингдек Б.Е.Умирзаков, Д.А.Ташмухамедова ва уларнинг шогирдлари томонидан ўрганилган натижалари шуни кўрсатдики, SiO₂ ни Ag⁺ ионлари билан бомбардимон қилиб юза ости қатламларида ҳосил килинган Si нанофазалари ва Si қатламларини қалинлиги 30-40 Å ва тақиқланган зонасини кенглиги эса ~ 1.9 эВ га тенг бўлган.

L.Patrone, M.Sentis, G.Ledoux ва бошқалар фотолюминесцент полосалари максимумининг вазияти кремний нанокристаллари ҳажмига боғлиқлигини тавсифловчи квани ўлчамдаги моделни ишлаб чиқдилар.

Тадқиқотнинг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университетининг илмий-тадқиқот ишлари режасининг От-Атех-2019-503 сонли «Si ва Ni юза қатламларини ва уларнинг оксидларига ион бомбардимон қилиш йўли билан уларнинг электрон тузилиши, эмиссия ва оптик хусусиятларининг ўзгариши» мавзусидаги фундаментал лойиҳа (2017-2020) доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади Mo ва Si ни O₂⁺ ионларини имплантация қилиш жараёнида MoO₃ ва SiO₂ оксидларининг наноўлчамли плёнкаларининг ҳосил

бўлиш қонуниятларини ва электрон тузилишини ўрганиш, ҳамда Ag^+ ва фаол металл ионлари билан бомбардимон қилинганда пайтида уларнинг электрон ва оптик хусусиятларининг ўзгариш механизмларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

термик оксидлантириш ва ион имплантация қилиб MoO_3/Mo наноўлчамли фаза ва плёнкаларнинг шаклланиши механизмлари, таркиби, сирт морфологияси, тузилиши ва физик хоссаларини ўрганиш. Уларни шаклланиши оптимал режимларини аниқлаш;

Ba^+ ионларини имплантация қилиш ва кейинги термик ишлов жараёнида MoO_3 юзасини таркибини ва физик хоссаларини ўзгаришига олиб келадиган асосий механизмларни аниқлаш. Mo юзасининг оксидланиш даражасига атомларнинг адсорбцияси ва Ba^+ атомларининг имплантациясининг таъсирини кўрсатиш;

Ag^+ ионлари билан бомбардимон қилиб SiO_2 нинг юза ости қатламларининг турли чуқурликларида ҳосил қилинган Si нанофазалари ва наноқатламларини ўлчамларини, тузилишини, тақиқланган зона кенглигини, баҳолаш, нур ютиш спектрларини аниқлаш;

Ион имплантациясини силицид плёнкалари ҳосил бўлишида ички киришмаларининг миграцияси ва кремнийнинг зичлигига таъсирини кўрсатиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида термик оксидлантириш ва ион имплантация усуллари билан олинган $MoO_3/Mo(111)$ ва $SiO_2/Si(111)$ наноплёнкалари олинган.

Тадқиқотнинг предметини MoO_3/Mo ва SiO_2/Si гетеротизимларининг шаклланиши қонуниятлари ва уларни ион бомбардимон қилиш ва термик қиздириш вақтида физик хоссаларининг ўзгариш сабаблари ташкил этган.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертацияда Оже-электрон спектроскопия (ОЭС), ультрабинафша нурланишнинг фотоэлектронлар спектроскопия (УБФС), эластик қайтган электрон спектроскопия (ЭҚЭС), электронларнинг характерли энергиясини йўқотиш спектроскопияси (ЭХЭЙС), тез электронлар дифракцияси (ТЭД), растрли электронлар микроскопия (РЭМ) атом – кучланиш микроскопияси (АКМ), ўтувчи ёруғлик нурларининг спектроскопияси каби тадқиқот усулларидадан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгиллиги қўйидагилардан иборат:

Mo ни 850 К да қиздириб туриб кислород босимини $\sim 5 \cdot 10^{-2}$ Па термик оксидлантириш ва O_2^+ ионларини ион имплантация қилиш орқали MoO_3/Mo нанофазалари ва плёнкаларини ҳосил қилиш қонуниятлари аниқланган;

термик оксидлаш жараёнида $d \approx 60-70$ Å қалинликдаги ва ион бомбардимон қилиш орқали $d \approx 25-30$ Å қалинликдаги бир жинсли MoO_3 поликристалл плёнкаси ҳосил бўлиши аниқланган;

MoO_3 намунасига Ba^+ ионларининг имплантацияси жараёнида наноўлчамли фазалар $Ba-O$, $Ba-Mo-O$ ва $Mo-O$ бирикмалари ҳосил қилиниб, Ион имплантацияси ва кейинги қиздириш жараёнида оксидларнинг эмиссия

ва оптик хусусиятларидаги ўзгаришларнинг асосий механизлари аниқланган;

молибден сиртининг кислород билан ўзаро таъсирида оксидланиш даражасини пасайтиришнинг янги усуллари таклиф қилинган;

Ba^{+} ионларини Mo га имплантация қилиш унинг сиртини оксидланишини олдини олиши кўрсатиб берилган;

SiO_2 нинг сиртида ва юза ости қатламларида турли чуқурликларда наноўлчамли фазалар ва Si қатламларини олиш усуллари ишлаб чиқилган;

биринчи марта силицид наоплёнкалар ҳосил бўлишнинг Si намунасининг ўз киришма атомларининг миграциясига таъсири очиқ берилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

ўтказилган экспериментал тадқиқотлар асосида MoO_3 ва SiO_2 наоплёнкалари ва уларга асосланган уч компонентли наноструктураларни олишнинг физикавий ва технологик усуллари ишлаб чиқилган;

иссиқлик ядроси реакторининг биринчи деворида ишлаш (ишлатилган) пайтида Mo сиртининг оксидланиш даражасини кескин камайтиришга имкон берадиган усул таклиф этилган;

Si силицид i -қатламларини олишга имкон берадиган ион имплантацияси ва қиздиришнинг мақбул усуллари аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончилиги замонавий илмий ва экспериментал усуллардан, тажрибаларнинг зарур статистикасидан, мустақил ўлчаш ва маълумотларни қайта ишлаш техникаларидан фойдаланиш, бошқа муаллифларнинг маълумотларига таққослаш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти олинган натижалар оксидланиш жараёнида Mo ва Si монокристаллари ва улар асосида оксидли плёнкалар ва силицид плёнкаларни электрон тузилиши эмиссия ва оптик хоссалари ўзгариши механизларини тушунтиришга ёрдам бериши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти наноўлчовли тизимларни асосий қонунларини яратиш ва ион бомбардимон қилиш ва ундан кейинги термик қиздириш вақтида юза ва юза ости қатлами чуқурликларида ҳосил қилинган MoO_3 ва SiO_2 юпқа плёнкаларнинг уч компонентли тузилмалари таркибий хусусиятлари ва ўрганилаётган объектнинг электрон тузилиши ва физик хусусиятларини мақсадли равишда бошқариш имконини беради. Ушбу натижалар оксидли плёнкаларни ҳосил қилиш технологиясида ва улар асосида Ag^{+} , Ba^{+} , Na^{+} ва Cs^{+} ионлари билан бомбардимон қилиш орқали нанотизимларни ишлаб чиқишда фойдаланиш мумкин. Ушбу натижалар кўп қатламли тузилмаларни олишда улар билан қаттиқ жисмлар электроникаси ва электротехника қўрилмалари учун алоқаларни ривожлантириш учун истиқболли эканлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Ион бомбардимони ва кейинги қиздиришдан жараёнида MoO_3 ва SiO_2 сиртида ва сиртости қатламларида наноўлчамли структураларнинг шаклланиши ва физик

хоссаларининг ўзгариши қонуниятларини аниқлаш бўйича олинган натижалар асосида:

Мо ни 850 К да қиздириб туриб кислород босимини $\sim 5 \cdot 10^{-2}$ Па термик оксидлантириш ва O_2^+ ионларини ион имплантация қилиш орқали MoO_3/Mo нанофазалари ва плёнкаларини ҳосил қилиш қонуниятларидан олинган натижалар ОТ-Ф2-67 рақамли “Диэлектрик яримўтказгич чегарасидаги нуқсонлар табиатини ва бўйлама тақсимотини аниқлаш усулига янгича ёнданиш” мавзусидаги фундаментал лойиҳада қўлланилди. (Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2021 йил 4 февралдаги берилган 89-03-65-сон маълумотномаси). Натижада кремнийнинг хусусий киришмалари миграцияси таъсирида силицид-кремний ва кремний-оксид кремний чегарасида вужудга келадиган юқори қаршиликли қатламнинг чегара қатламида ва наноплёнкаларда наноўлчами структураларнинг шаклланишининг асосий механизмлари аниқлаш имконини беради;

Si ва SiO_2 сиртларида юпка контакт қатламларни яратиш усули “Ўзэлтехсаноат” АК нинг “Фотон” АЖ да ишлаб чиқариладиган электрон компонентларни контактли пайвандлашда қўлланилди. (“Ўзэлтехсаноат” АКнинг 01.02.2021 йил 1 февралдаги 04-1/162-сон маълумотномаси). Натижада олинган илмий натижаларни амалиётда қўллаш яримўтказгичлар сиртида металл контактларнинг адгезиясини ошириш имконини беради.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 10 та халқаро ва 2 та Республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 17 та илмий иш нашр этилган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш учун тавсия этилган илмий нашрларда 5 та мақола чоп этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати, 50 та расм, 10 та жадвалдан иборат бўлиб, диссертация ҳажми 120 бетни ташкил этган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.

Диссертация мавзуси бўйича 17 та илмий иш чоп этилган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 5 таси мақола чоп этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати, 50 та расм ва 10 та жадвалдан иборат.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предметлари тавсифланган, Республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор

йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Тадқиқотнинг биринчи бобида адабиётлар шарҳига бағишланган. “Қисқача адабиётлар шарҳи” бобида MoO_3 , SiO_2 юпқа плёнкаларини, олиш, электрон хоссаларини ўрганиш, ҳамда ёруғлик ва ионларнинг нурланиши орқали уларнинг физик хоссаларини ўзгаришига бағишланган тадқиқотлари адабиётлар шарҳи берилган. Адабиётлар шарҳининг қисқача таҳлили шуни кўрсатадики, сўнги йилларда кўпчилик олимлар ва ишлаб чиқарувчилар молибден ва кремний оксидларини олиш ва улар асосида олинган наноўлчамли тизимларни физик хоссаларини ўрганишга қаратилган. Бу оксидли материаллар юзасида ҳосил қилинган нанофаза ва наноплёнкаларни таркиби, сирт морфологияси, эмиссия хусусиятлари, кристалл ва электрон тузилишини ўрганишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Бу тадқиқотлардан олинган натижаларни ўрганиш шуни курсатадики, улар асосида ўта юқори частотали янги транзисторлар диодлар, оптик кўчайтиргичлар, кўп қатламли МДП ва ПДП тузилмалар, ҳатто, интеграл схемалар, кўёш элементлари, лазерлар ва сенсорларнинг янги турларини ярататишда катта аҳамиятга эга.

Адабиётлар таҳлилидан келиб чиқадиган бўлсак, MoO_3 ва SiO_2 оксидларини юпқа қатламларининг физик-кимёвий, эмиссия ва оптик хусусиятларини ўрганилганлиги қарамасдан, ионлар билан бомбардимон қилинганда ушбу моддалар хоссаларини ўзгариши тўлиқ ўрганилмаган ва бир қатор ҳал қилинмаган муаммолар мавжуд, хусусан наноўлчамли тузилмаларни ҳосил бўлиш сабаблари тўғрисида илмий механизмларини ишлаб чиқиш бу эса улар асосида микро-, опто- ва наноэлектроника учун янги қурилмаларни яратишда қўлланилади.

Ушбу диссертация ишининг мақсади ва вазифалари ушбу муаммоларни бартараф қилишга асос бўлиб хизмат қилади.

Диссертациянинг “Экспериментал тадқиқотлар усули” номли иккинчи бобида материалларнинг физик хусусиятларини ўрганиш учун экспериментал қўрилмаларни тавсифлашга бағишланган, хусусан электрон ва ион манбаларининг тузилиши, ултрабинафша нурланишли фотонлар манбаи, ҳамда ОЭС, ХПЭ, фотоэлектрон спектроскопия усуллари, ҳақида маълумотлар берилган. Юзалар морфологияси ва панжаранинг параметрлари тўғрисида маълумотлар олиш учун кўйидаги стандарт қўрилмалардан фойдаланганмиз.: РЭМ (ISM – 6490), сканерловчи электрон микроскоп ДБЭ (ЭМР-2), тез электронлар дифракцияси АСМ (ХЕ-200), атом кучланишли микроскоп ва UV-1280 спектрофотометри.

Умуман олганда ишда қўлланиладиган экспериментал қурилмалар:

- Mo ва Si оксидли юпқа плёнкаларни термик оксидлаш ва ион имплантация қилиш ва кейинги термоишлов бериш усуллари ёрдамида олиш.

- Олинган намуналарни Ar^+ , O_2^+ ва актив металлларни ионлари билан бомбардимон қилиш.

- Ион легирланган намуналарни юза ва юза ости қатламларини асосий ва киришма атомларни концентрациясини аниқлаш ва сирт ости қатламлар ҳосил бўлган кимёвий боғланишларини синфини аниқлаш.

- Намуналарни юзасини морфологиясини, кристалл структурасини ўрганиш.

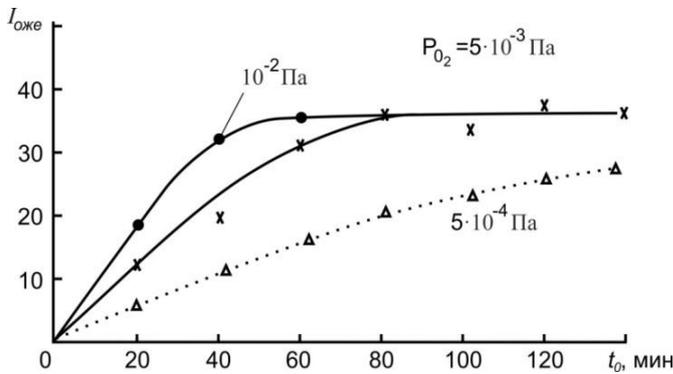
- Юза ости қатламларни турли чуқурлигида ҳосил қилинган оксид плёнкаларни, нанокристалл фазаларни ўлчами ва тақиқланган зона (E_g) параметрини қийматларини баҳолаш.

- Намуна ва оксид плёнкалар олиш; уларни эмиссия, электрофизик ва оптик хоссаларини ўргани.

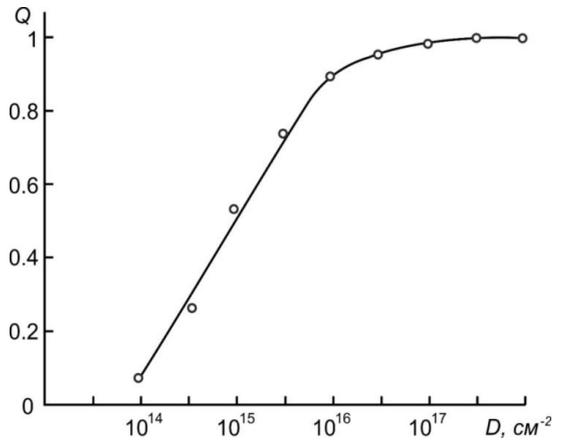
“Тоза ва ион имплантация қилинган MoO_3 плёнкаларининг тузилиши ва электрон ва оптик хоссалари” номли учинчи бобда Мо ни термик оксидлаш ва O_2^+ ионларини ион имплантация қилиш орқали ҳосил қилинган MoO_3 наноплёнкасининг таркиби электрон тузилиши физик ва оптик хоссалари ўрганилган, шу билан бирга ҳосил бўлган плёнкага Va^+ ионларини таъсири ва унинг таркиби электрон тузилишининг ўзгаришлари ўрганилган.

Термик оксидлаш ва ион имплантация жараёнидан олдин Мо(111) ни $T=1700-1800$ К да ўзоқ вақт 20-25 соат қиздириб тозалангандан кейин, намунани $T=2200$ К да импульсли тозаланган. Қиздириб тозаланмасдан олдин (ИИМС) иккиламчи ион масс спектрометрида олинган натижалар шуни кўрсатадики, Мо ни юза таркибида Н, О, С ва уларнинг кислород билан бирикмалари MoO_2 , MoO_3 , MoO_4 , пикларини интенсивлигидан кўриниб тўрибди. Қиздирганимиздан кейин эса Мо ни юзаси тозаланиб, кислород ва углероднинг атом концентрацияси 1,5 – 2 ат.% ни ташкил этди. Кислородни 10^{-7} Па босим остида махсус газ баллонидан юборилган. MoO_3 ҳосил бўлишининг оптимал температураси 850 К да қиздириб туриб ҳосил қилинган. Бизни фикримизда оксид плёнканинг ҳосил бўлиши кислород босимига ва оксидланиш вақтига боғлиқ (1-расм). Кислороднинг босими $P_{O_2} = 5 \cdot 10^{-4}$ Па да $I_{оже}(t)$ пикнинг интенсивлиги $t = 0-80$ мин бўлганда чизик секин бир ҳил ўсишда давом этади, лекин, $t = 120-140$ мин оралигида ҳам тўйиниш ҳосил қилинади. Агар кислородни босими $P_{O_2} = 5 \cdot 10^{-2}$ Па бўлганда эса $I_{оже}(t)$ пикнинг интенсивлиги $t \approx 25 - 40$ мин орлиғида экспоненциал ўсиб $t \geq 35 - 40$ мин вақт оралигида тўйиниш ҳосил қилади. $P_{O_2} = 5 \cdot 10^{-2}$ Па бўлганда эса $t = 70-80$ мин вақт орлиғида тўйиниш бўлади. ОЭС усулида олинган натижалар шуни кўрсатдики, Ar^+ ионлари билан бомбардимон қилинганда ҳосил бўлган MoO_3 нанопёнкасининг қалинлиги 30-40 Å тенг эканлиги аниқланган. O_2^+ ионларини имплантация қилиш вақтида Мо ни $T = 850$ К да қиздириб тўрганимизда мукамал таркибли MoO_3 плёнкаси ҳосил бўлган. Масалан Мо га O_2^+ ионларини $E = 1$ кэВ ва ионларни доза миқдори $D \approx 10^{15}$ см⁻² бўлганда, Мо ни юзида 0,7 наноқатлам қалинликда MoO_3 нинг кластер фазалар ҳосил бўлди, агар ионларни доза миқдори $D \approx 10^{17}$ см⁻² бўлганда эса унда Мо ни юзасида бир моноқатлам MoO_3 билан қопланиб қолди (2-расм). Бўнда ҳосил бўлган плёнканинг қалинлиги 25- 30 Å га тенг.

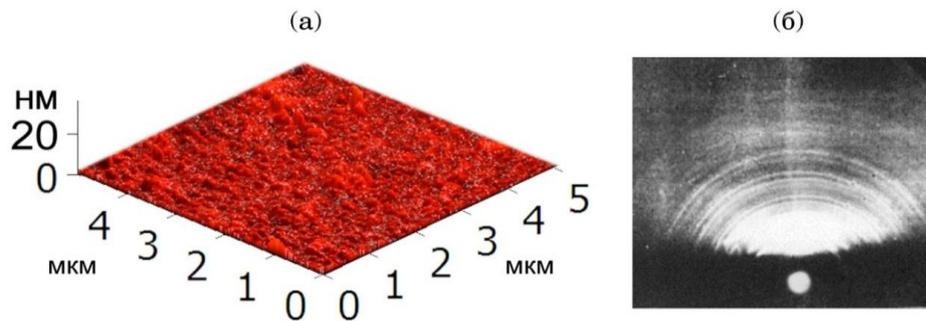
Қалинлиги $d=60 \text{ \AA}$ плёнкани ҳосил қилиш учун O_2^+ ионларини имплантация қилиб ионлар энергиясини $E=3$ ва 1 эВ билан, қалинлиги $d=90 \text{ \AA}$ бўлган плёнкани олиш O_2^+ ионларини имплантация қилиб энергиясини $E = 5 - 3$ ва 1 эВ ўзгартириб олинган. Ҳар қандай ҳолда ҳам бир текис ва поликристалл тузилишдаги MoO_3 плёнкаси ҳосил қилинган, сирт нотекислиги $\leq 1,5 \text{ nm}$ га тенг (3 а,б – расм).



1-Расм. Оже интенсивлик пикининг Мо ни $T=850 \text{ K}$ да оксидлашининг вақтга боғлиқлик графиги



2- расм. Мо юзида MoO_3 пёнкаси ҳосил бўлишини O_2^+ ионларини энергияси $E = 1 \text{ кэВ}$ температурага $T=850$ ва ионлар доза миқдорига боғлиқлик графиги



3- расм. Ион имплантация усули билан ҳосил қилган қалинлиги 60 \AA бўлган MoO_3 плёнкаси: а – атом кўчланишли микроскопда олинган б – секин электронлар дифракциясида олинган.

1-жадвалда (ИЭЭ) иккиламли электронларнинг тўлиқ коэффициенти σ_m , ва σ_m га тўғри келган бирламчи электронларнинг энергияси E_{pm} , ва ёруғлик сочилиш коэффициенти (r) ва MoO_3 люпка плёнкасидан ҳақиқий иккиламчи электронларнинг чиқиш чуқурликлари (x^1) келтирилган. 1-жадвалдан кўринадикки ёруғликнинг акс этиш коэффициенти плёнканинг қалинлиги ошиши билан камаяди, бу эса плёнканинг қалинлиги $d \leq 300 \text{ \AA}$ бўлганда σ_m , ва E_{pm} нинг қийматлари қалинлик ортиши билан сезиларли даражада ортади. Бу эса шу билан тушунтириладики биринчидан MoO_3 нинг эмиссион самарадорлиги Мо никига қараганда катта бўлади, қалинлик

ортиши билан иккиламчи электронларни чиқиш чуқурлиги ҳам ортади. Иккиламчи электронларнинг чиқиш чуқурлини аниқлашда қўйидаги математик формуладан фойдаланилган:

$$x'(\text{см}) = \frac{5,2 \cdot 10^{-6} A (Z_{\text{эфек}})}{\rho \cdot Z_{\text{эфек}}} \cdot E_{\text{рт}}^{1,4}$$

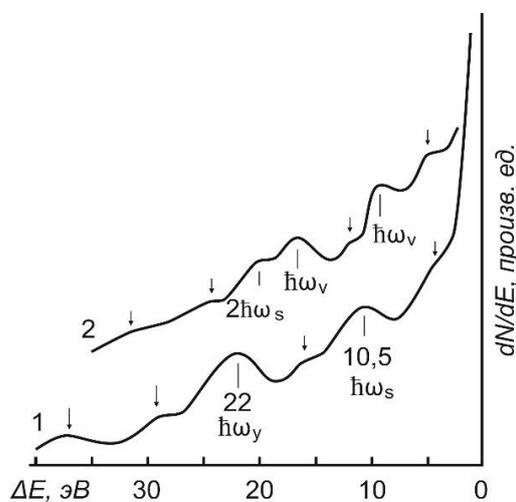
бу ерда ρ - MoO_3 нинг зичлиги, (г/см^3) A – атом массаси, $Z_{\text{эфек}}$ - эффективлик қиймати тартиб рақами.

1-жадвал

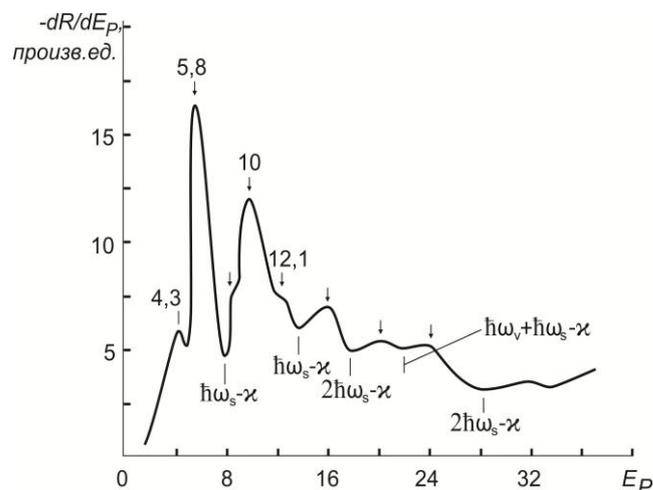
$\text{MoO}_3/\text{Mo}(111)$ σ_m , $E_{\text{рт}}$, r ва λ учун қийматлари

Катталиклар	d , Å (термик оксидланиш)					d , Å (ионная имплантация)		
	0	60	100	300	600	30	60	90
σ_m	1,8	2,2	2,6	3,2	3,4	1,9	2,3	2,6
$E_{\text{рт}}$, эВ	550	650	700	800	800	600	650	700
r ($\lambda=600\text{нм}$)	0,3	–	0,1	–	0,06	0,15	–	0,1
x' , Å	30	–	–	250	250	–	–	–

4- ва 5-расмларда характерли энергиясини йўқотган электронлар хажмий сиртий плазмонларнинг спектрлари ва УОЭ кичик энергияли эластик қайтган электронларни зоналар аро ўтиш спектрлари келтирилган.



4 – расм. Мо (1) ва MoO_3 (2), учун энергия $E_p = 400$ эВ бўлганда ХЭЙЭ спектрлари

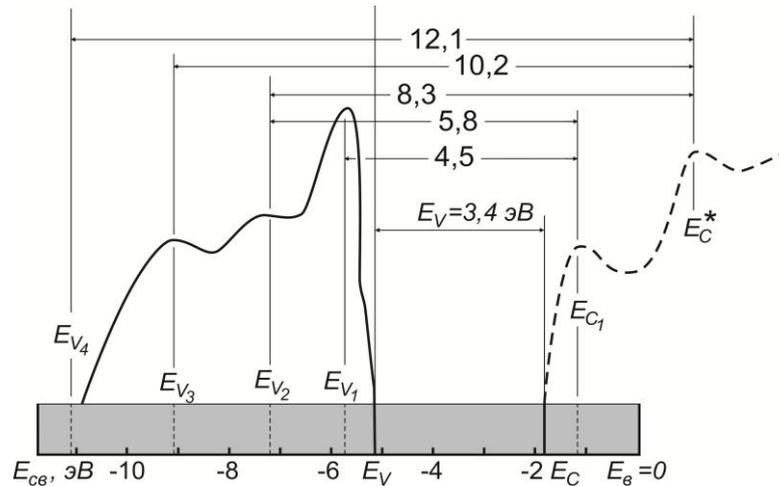


5- расм MoO_3/Mo плёнкаси учун $-dR/dE_p$ ни E_p га боғлиқлик графиги

Кичик энергияли эластик қайтган электронлар ва фотоэлектронлар спектрлари ФЭ ёрдамида MoO_3 плёнкасини электрон зона-энергетик

диаграмма спектрлари олинган (6-расм). Бундан ташқари, асосий электрон ўтишлар кўрсатилган.

Тўртинчи боб « Ионлар бомбардимон қилиш вақтида Si ва SiO₂ юза ва юза ости қатламларида наноўлчамли фазаларни ҳосил қилиш қонуниятлари уларни таркиби, электрон тузилиши ва физик хоссалари» деб номланган бўлиб, унда O₂⁺ ионлари билан ион имплантация қилиш ва кейинги қиздириш вақтида Si юзида SiO₂ наноўлчамли плёнкасини ҳосил бўлиш қонуниятлари силицидларни ҳосил бўлишининг кремнийнинг солиштирма қаришилигига таъсирини; SiO₂ юза ости қатламларининг турли чуқурликларида ҳосил қилинган.

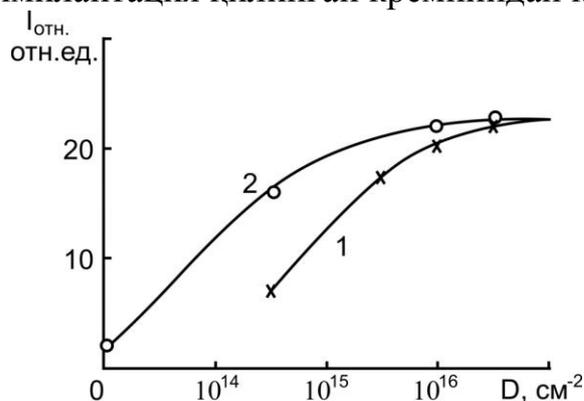


6- расм. 60 Å қалинликдаги MoO₃/Mo плёнкасининг зона – энергетик диаграммаси

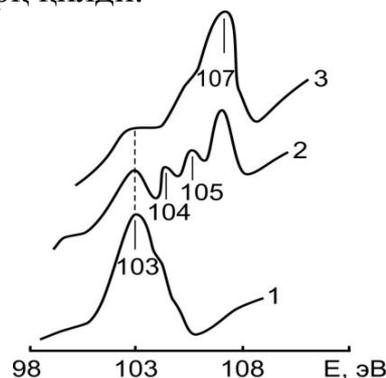
Si нанофазалари ва қатламларини кристалл тузилиши тақиқланган зона кенглиги; имплантациядан кейинги қиздириш, ишқорий металллар билан имплантациядан қилинган Si ни сирт қатлами таркиби ва тузилишига таъсирини ўрганиш 7-расмда Si га имплантация қилинган E=1 кэВ O₂⁺ ионларинг Оже-чўққининг O (E=506) интенсивлиглик графиги келтирилган. Расмдан кўриниб тўрибдики, кислород атомларининг концентрацияси юза ости чуқурлигида юзага қараганда сезиларли даражада кўп. Ионни дозаси $D \geq 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ да эса иккала боғлиқлик ҳам тенглашар экан. T= 850 – 900 К (SiO₂ типигадаги бирикмалар ҳосил бўлганда) кейинги қиздиришдан кейин бу боғлиқлик эгри чизиқлари сезиларли даражада ўзгармайди. Шунга асосланиб шуни хулоса қилиш мумкинки, нанофазалар ва қатламларда, аввал юза ости қатламлари яъни кислороднинг максимал тақсимланиши кўзатиладиган чуқурликда ҳосил бўлади. Ионнинг дозаси ошиши билан оксид плёнкаси юзага қараб ўсади. Иккиламчи ионлар масс спектроскопияси, Оже электронлар спектроскопияси, ва (ОЭС) кичик энергияли эластик қайтган электронлар спектроскопияси усулларини (СУОЭ) усулларини бирин кетин қўллаш кўрсатдики, Si ни T=850 – 900 К да қиздиргандан сўнг $D = D_n$ да E=1 кэВ билан O₂⁺ ионлари билан имплантация қилганда қалинлиги 25 – 30 Å бўлган бир ҳил тартибли SiO₂ плёнкаси ҳосил бўлади. Si га ион имплантация

қилинганда ҳосил бўлган $\text{SiO}_{0,5}$, SiO ва SiO_2 учун пиклар 8-расмда келтирилган.

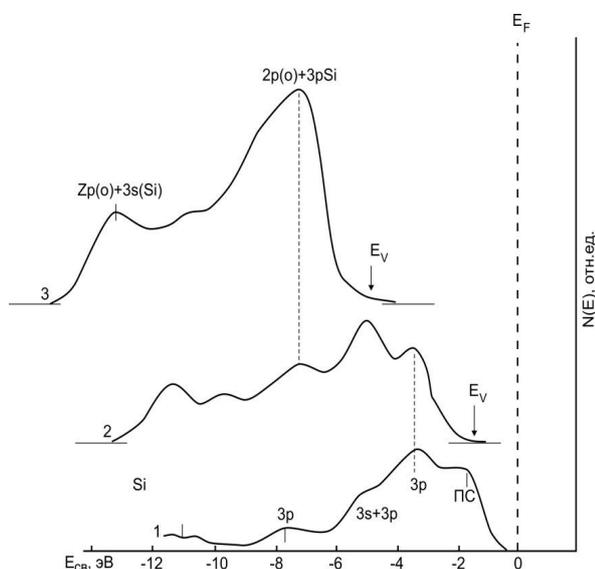
9-расмда $D=6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ да $E=1$ кэВ билан O_2^+ ионлари билан имплантация қилинган монокристалл $\text{Si}(111)$ ни $T=900 \text{ К}$ да қиздиришдан олдиндан олдинги ва кейинги олинган фотоэлектронларнинг спектрлари кўрсатилган. $\text{Si}(111)$ спектри электронларнинг сирт ҳолатидан тузилиши билан, шунингдек валент электронларнинг $3p$, $3s+3p$, $3s$ ҳолатлари билан боғлиқ бўлган максимал кўрсаткичларни аниқ намоён этади. Ион имплантациясидан сўнг монокристалл $\text{Si}(111)$ энергетик коэффиценти тақсимооти ва тузилиши кескин ўзгарди, шунингдек валент зонанинг электрон ҳолатининг зичлиги ва энергетик параметри тузилишлари ҳам тоза $\text{Si}(111)$ ва имплантация қилинган кремнийдан кескин фарқ қилди.



7- расм. Оже пики интенсивлигининг $E_0=1$ кэВ O_2^+ ионлари билан имплантация қилинган Si учун нурланиш дозасига боғлиқлик графиги: 1- юзада. 2- $\sim 25 \text{ \AA}$ чуқурликда

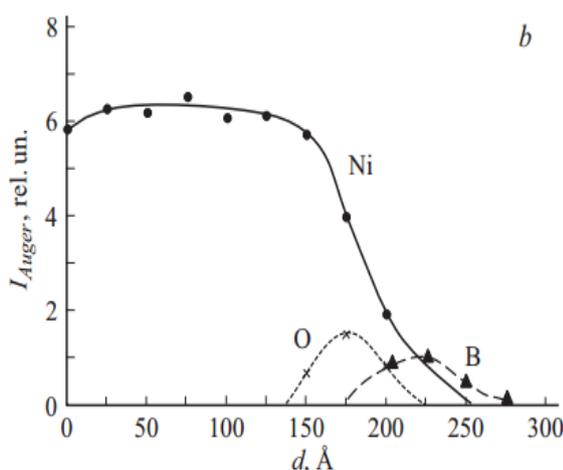


8- расм. Кичик энергияли эластик қайтган электронларни спектрлари: 1- тоза Si ; 2- $E=1$ кэВ, $D=6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ O_2^+ ионлари имплантация қилинган Si ; 3- 30 мин $T=900 \text{ К}$ қиздирилгандаги



9- расм. Фотоэлектрон спектрлар; 1- соф $\text{Si}(111)$; 2- $E_0=1$ кэВ, $D=6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ O_2^+ ионлари имплантация қилинган Si ; 3- SiO_2 $T=900 \text{ К}$ қиздирилгандаги олинган спектри. $h\nu=21,2$ эВ.

Ушбу ўзгаришлар юзага яқин қатламларнинг тартибсизлиги, хар ҳил турдаги кремний оксидларининг ҳосил бўлиши ва боғланмаган Si ва O атомларининг мавжудлиги билан боғлиқ. SiO₂ плёнкасининг спектрида 2 та максимум аниқ ажралиб турибди. E_{св}= 7,2 эВ даги максимум бу Si 3p ва O 2p ҳолатлари, E= 13,2 эВ даги максимум Si 3s ва O 2p ҳолатларини қўшилганлиги билан боғлиқдир. ФЭ ва УОЭ таҳлил қилиш асосида T= 900 K қиздирилишидан олдин ва кейин ион имплантацияланган Si нинг зона энергитик параметрларини аниқладик. Қалинлиги ~150 Å бўлган NiSi₂, плёнкаси Si нинг юзига Ni⁺ ионларини имплантацияси ва кейинги қиздириш натижасида олинган. Ушбу қатламда O ва B концентрациялари нолга қадар камаяди (10 – расм) ва бу аралашмалар ўтиш қатламида тўпланиб, Si таркибидаги B концентрацияси камайишига ва NiSi₂/Si тизимининг ошишига олиб келади. (3 жадвал).



10-расм. Ni, O ва B атомларини Si(111) чуқурлиги бўйича кетма-кет E₀ = 10; 5 ва 1 кэВ билан Ni⁺ ионларини D = 8 · 10¹⁶ см⁻² да 30 мин T = 1000 K қиздириш давомидаги тақсимооти.

2-жадвал

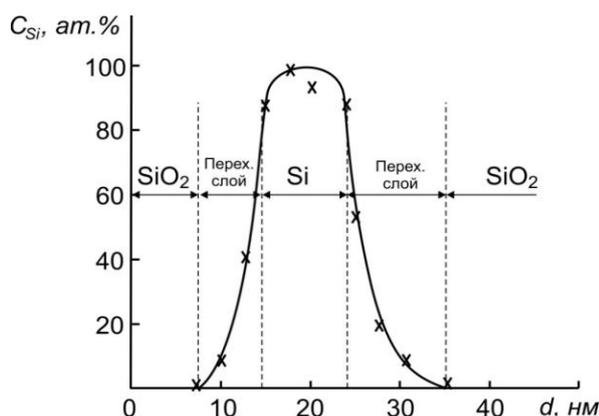
NiSi₂/Si тизимининг ρ_v ва ρ_s қийматлари

Намуна рақами	Плёнка қалинлиги NiSi ₂ /Si(θ), Å	Олиш усули	T*, K	ρ _v , Ω·cm	ρ _s ·10 ⁻⁶ , Ω·cm
1	50	Ион имплантация	900	9-10	-
2	150	Қаттиқ фазали эпитаксия	1000	13-14	60
3	150		900	14-15	60
4	0	Ион имплантация	1000	35-40	60
5			1000	35-40	50
Si	0	—	—	8-9	—

*30 мин давомида қиздириб турилган.

Бундай ҳолда, сирт қатламларининг қаршилиги, яъни NiSi_2 плёнкаси деярли ўзгармайди. Тизим учун ρ_v нинг сезиларли ўсиши $d = 150\text{-}200\text{Å}$ дан бошланади (2 ва 3 намуналар) $\theta=400\text{-}500\text{ Å}$ да силицид плёнка қалинлигининг янада ортиши билан тизимнинг ρ_v қисми сезиларли даражада ўзгармайди. Ҳисоб китобларга кўра, В кўчиш содир бўлган қатлам қалинлиги $800\text{-}1000\text{ Å}$. Ar^+ ионлари билан бомбардимон қилиш ва уларнинг таркибини, ўлчамларини, тузилишини ва тақиқланган зона кенглигини аниқлаш орқали SiO_2 плёнкасининг турли чуқурликларида нанофазалар ва Si қатламларини олиш бўйича тадқиқотлар ҳам олиб борилди

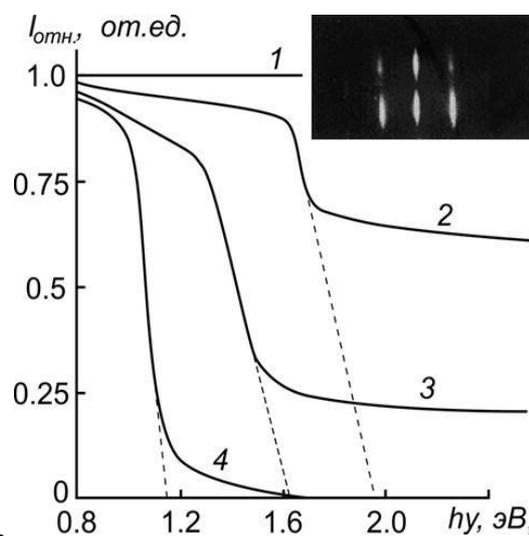
11-расмда $D= 2 \cdot 10^{17}\text{ см}^{-2}$, да $E_0=15\text{ кэВ}$ бўлган Ar^+ ионлари билан бомбардимон қилинган SiO_2/Si тизими учун Si атомлари чуқурлик концентрацияси тақсимотининг кўрсатилган.



11- расм. $D= 2 \cdot 10^{17}\text{ см}^{-2}$ да $E_0 = 15\text{кэВ}$ бўлган Ar^+ ионлари билан бомбардимон қилинган SiO_2/Si тизими учун Si атомлари чуқурлик концентрацияси тақсимоти

Ўлчов намунани $T= 800\text{ К}$ да қиздирилгандан сўнг амалга оширилган. Кўришиб тўрибдики, SiO_2 қатламида $\sim 20\text{ нм}$ чуқурликда қалинлиги $8\text{-}10\text{ нм}$ қалинликдаги Si қатлами ҳосил бўлади. Умуман олганда $\text{SiO}_2\text{-Si-SiO}_2$ нанотизимлари ҳосил бўлди. $\text{SiO}_2\text{-Si}$ ва Si-SiO_2 тизимлари орасида қалинлиги $5\text{-}6\text{ нм}$ бўлган ўтиш қатламлари ҳосил бўлди. Кремний қатламлари ҳосил бўлишнинг ўртача чуқурлиги ионнинг энергиясига боғлиқ; $E_0= 10\text{ кэВ}$ бўлганда $d_{\text{ср}}\sim 15\text{ нм}$, $E_0= 15\text{ кэВ}$ бўлганда $d_{\text{ср}}\sim 19\text{ нм}$, $E_0= 25\text{ кэВ}$ бўлганда $d_{\text{ср}}\sim 25\text{ нм}$, бўлиши кўзатилади. $E_0= 10\text{ кэВ}$ дан 25 кэВ гача оширганимизда Si қатламининг қалинлиги ўзгармай қолди ва $8\text{-}10\text{ нм}$ га тенг. Кичик дозаларда ушбу чуқурликда Si нанофазалари ҳосил бўлди.

НК фазалар ва қатламларнинг тақиқланган зона кенглигини ёруғлик интенсивлигининг ўлчаш йўли билан аниқланди. (12- расм).



12- расм. $D = 10^{15} \text{ см}^{-2}$ да қатламнинг қопланиш даражаси $\sim 25\text{-}30\%$ $E_g = 2 \text{ эВ}$; $D = 10^{16} \text{ см}^{-2}$ да қопланиш даражаси $\sim 75\text{-}80\%$ ва $E_g = 1,5 \text{ эВ}$; $D = 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ да қалинлиги 8-10 нм бўлган Si қатлами ҳосил бўлади. Ушбу қатлам учун $E_g = 1,2 \text{ эВ}$ ни ташкил этди, бу соф монокристалл Si га жуда яқин. Нанокристалл Si фазалари ва қатламларини ўртасидаги сезиларли фарқ, бу уларда квант ўлчамли эффект намоён бўлиши билан тушунтирилди.

ДБЭ – да $D = 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ да бомбардимон қилинган намуна учун сирт намунаси келтирилган.

ХУЛОСА

1. Биринчи марта иккиламчи электрон ва фотоэлектрон спектроскопия, иккиламчи ион масс спектроскопия; электрон ва атом кучланиш микроскопини сканерлаш, юқори энергияли электронлар дифракцияси, усулларидан фойдаланган ҳолда қиздириш режимида Мо ва Si га O_2^+ ионларини имплантацияси қилиб олинган MoO_3 ва SiO_2 наноплёнкаларни таркиби, сирт морфологияси, кристалл ва электрон тузилиши, эмиссия ва оптик хоссалари ўрганилди, қалинлиги ~ 30 дан 100 \AA бўлган бир ҳил таркибли $MoO_3/Mo(111)$ va $SiO_2/Si(111)$ плёнкаларини ҳосил қилиш учун ион имплантациясининг оптимал усуллари (кислороднинг қисман босими, ион энергияси ва дозаси, қиздириш ҳарорати) аниқланди. $50 - 60 \text{ \AA}$ қалинликдаги термик оксидлаш натижасида олинган MoO_3 плёнкаларни оролчали характерга эга эканлиги, узлуксиз плёнкалар фақат $d \geq 30 \text{ \AA}$ да ҳосил бўлиши кўрсатилган. Ион билан бомбардимон қилиш қиздириш билан биргаликда $d = 25-30 \text{ \AA}$ дан бошланган яхши стехиометрия билан доимий, бир ҳил (сирт нотекислиги $\leq 1,5 \text{ нм}$) бўлган поликристалл MoO_3 плёнка ҳосил бўлади. Маълумки кислород ионларининг паст дозаларида ($D \leq 10^{15} \text{ см}^{-2}$) Мо кристаллининг юзасида MoO_3 фазалар ҳосил бўлади. Мо сиртини MoO_3 кластер фазалари билан қоплаш даражасининг ион дозасига боғлиқлиги аниқланди.

2. Биринчи марта MoO_3 плёнкалари учун ҳақиқий иккиламчи ва фотоэлектронларнинг чиқиш зонасининг чуқурлиги $\sim 250 \text{ \AA}$ ИЭИ коэффициентининг максимал қиймати тўлқин узунлиги $\lambda = 600 \text{ нм}$ -0,06 бўлган ёруғликни акс эттириш коэффициенти $E_g = 3,4 \text{ эВ}$, $\chi = 4,5 \text{ эВ}$.

MoO_3 нинг валентлик диапазони электрон ҳолатининг зичлигини тўртта максималдан иборат эканлиги аниқланди, эҳтимол бу **N5, N45, N4** Мо энергия сатҳларининг L_2 , L_{23} ва L_3 энергия сатҳлари билан гибридлашига (қўшилган) боғлиқ.

3. Биринчи марта Va^+ ионлари билан имплантация қилинган MoO_3 плёнкаларининг таркиби, тузилиши, эмиссия ва оптик хусусиятлари ўрганилди. Ион имплантация жараёнида MoO_3 таркибий қисмларига ажралиши ва Мо-О, Мо-Ва-О ва Ва-О каби янги бирикмалар ҳосил бўлиши аниқланди.

Бундай ҳолда, валентлик электронлари ҳолатининг зичлиги сезиларли даражада ўзгаради, термоэлектрон чиқиш иш $e\phi \sim 2,7 \text{ эВ}$ га камаяди, тақиқланган зона кенлиги эса $E_g \sim 1,5 \text{ эВ}$ баробар камаяди ва иккиламчи электронлар эмиссия коэффициенти нинг максимал қийматининг ошиши $\sigma_m \sim 1,5$ баравар ортади. Биринчидан ушбу қатламларнинг эмиссия самарадорлиги имплантация қилмаган MoO_3 қатламларига нисбатан анча паст эканлиги аниқланди. Шунинг учун ион имплантациясидан кейин σ_m нинг ортиши асосан $e\phi$ нинг камайиши билан изоҳланади.

4. Va^+ ионлари билан имплантация қилинган MoO_3 қиздирилган $e\phi(T)$ боғлиқлик минимал $T = 900 \text{ К}$ дан $\sigma_m(T)$ боғлиқлиги $T = 1000 \text{ К}$ да максималдан ўтиши кўрсатилган. Ионга имплантация қилинган MoO_3 900 К

га қиздирилганда еф қиймати 2 эВ га камайди, σ_m эса 6,2 га ортади. Ион имплантация ва кейинги қиздириш пайтида MoO_3 нинг электрон тузилиши ва эмиссия хусусиятларининг ўзгаришинг асосий сабаблари аниқланди.

5. Ва атомлари ва Ba^+ ионларининг имплантацияси Мо сиртининг оксидланиш даражасини кескин камайиши биринчи марта аниқланди. Ba^+ ионларини Мо га ион имплантация қилганда асосан Ва атомлари оксидланади, Мо эса деярли оксидланмайди.

6. Si сиртига O_2^+ ионларини имплантация қилингандан сўнг SiO_x типигаги стехиоетриксиз оксидлари ва боғланмаган Si ва O атомларидан ташкил топган қатлам ҳосил бўлганлиги ва $T = 900\text{K}$ қиздирилгандан сўнг $\sim 25\text{-}30 \text{ \AA}$ бўлган бир хил SiO_2 қатламлари ҳосил бўлганлиги кўрсатилган ($E_0 = 1$ кэВ да 8-10 нм гача ($E_0 = 5\text{-}6$ кэВ) SiO_x ва SiO_2 наноплёнкаларининг тузилиши валент электронлари зичлиги, зона энергитик параметрлари, аниқланди. Ион имплантация қилинган ўртача тақиқланган зона кенгли $\sim 2,3$ эВ, SiO_2 эса 7,9 эВ эканлиги аниқланди.

7. Биринчи марта Ar^+ ионлари билан бомбардимон қилиниб, кейинги қиздиришдан кейин SiO_2/Si плёнкаларини турли чуқурликларида Si нанофазалар ва қатламлар ҳосил бўлиши аниқланди. Агар SiO_2/Si аморф тузилишда бўлса ҳосил бўлган Si нанофазалар ва қатламлари ҳам аморф тузилишда эканлиги, ионни энергиясини $E_0 = 15$ да 25 кэВ гача ўзгариши, билан Si нанофазаларинг ҳосил бўлишининг ўртача чуқурлиги 15 дан 25 нм гача ўзгарган. Si нанофазаларинг катталиги ~ 10 дан 25 нм гача ўзгарганда, E_g тақиқланган зона кенглиги 1,9 эВ дан 1,5 эВ гача камаяйиши ва тоза кремий 1,2 эВ га яқин эканлиги аниқланди.

8. Биринчи марта металл ва оксидли силицид юпқа плёнкалари ҳосил бўлишининг ички ишқорий метал аралашмаларининг мигратсиясига таъсири ўрганилди. Хусусан, унинг юзасида $\theta \geq 50\text{-}100 \text{ \AA}$ қалинликдаги NiSi_2 плёнкаси ҳосил бўлганда, Si монокристаллининг ρ_v солиштирма қаршилигининг сезиларли даражада ортиши (3-4 мартагача) аниқланди, бу эса В атомларининг силицид плёнкасининг ўтиш қатламига ўтиши билан изоҳланади. Бор қатламининг интенсив кўчиш содир бўлган Si қатламларининг тахминий қалинлиги 800-1000 \AA ни ташкил қилиши аниқланди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.03/31.03.2021.FM.70.06 ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ КАРШИНСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

АЛЛАЯРОВА ГУЛМИРА ХОЛМУРАТОВНА

**ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
НАНОПЛЕНОК ОКСИДОВ СОЗДАНЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ
МОЛИБДЕНА И КРЕМНИЯ**

01.04.04 – Физическая электроника

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2019.2.PhD/Т1048

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете им.И.Каримова.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещён на веб-странице по адресу www.iplt.uz и на Информационно-образовательном портале «Ziynet» по адресу www.ziynet.uz.

Научный руководитель:



Ташмухамедова Дилноза Артикбаевна,
доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты:



Тураев Эргаш Юлдоевич
доктор физико-математических наук



Исаханов Зинаобиддин Абилпезович
доктор физико-математических наук, профессор

Ведущая организация:

Ургенчский государственный университет

Защита диссертации состоится «___» _____ 2021 г. в ___ часов на заседании Научного совета PhD.03/31.03.2021.FM.70.06 по присуждению ученых степеней при Каршинском государственном университете (адрес: 180119, г. Карши, ул.Кучабог, 17. Тел./Факс: (99875) 225–34–13, e-mail: kardu@mail.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Каршинском государственном университете (зарегистрирована за № ___). Адрес: (адрес: 180119, г. Карши, ул.кучабог, 17. Тел./Факс: (99875) 225–34–13, e-mail: kardu@mail.ru).

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2021 года.
(Реестр протокола рассылки ___ от «___» _____ 2021 года).

М.Т. Нормурадов
Председатель Научного совета по
присуждению учёных степеней,
д.ф-м.н., профессор

Г.Х.Халимов
Учёный секретарь Научного
совета по присуждению ученых
степеней, к. ф-м.н., доцент.

А.К. Ташатов
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 пленки оксида молибдена и системы на их основе широко используются в различных областях электронной промышленности и энергетики; при получении чистого Мо и его сплавов, катализаторов для переработки нефти и нефтепродуктов, а также имеют перспективы в создании OLED-дисплеев, световых резонаторов и фильтров, сенсоров и органических солнечных элементов. В связи с этим получение наноразмерных оксидов молибдена и кремния одинаковой толщины и стехиометрического состава методами ионной имплантации и высоковакуумной термодиффузии, а также изучение их электронной структуры, эмиссионных и оптических свойств являются одной из актуальных задач современной электроники.

Наноразмерные структуры и многослойные системы на основе Si и SiO₂ имеют перспективы в создании приборов нано-и оптоэлектроники. В частности, гетероструктуры SiO₂/Si с различными нановключениями служат основой при разработке новых видов высокочастотных МОП транзисторов, интегральных схем, оптических преобразователей и солнечных элементов. В связи с этим, особое внимание уделяется усовершенствованию технологии получения и исследованию закономерностей формирования наноразмерных структур с новыми физическими свойствами.

В последнее годы во многих странах мира, в том числе в Узбекистане активно проводятся фундаментальные и прикладные исследования, связанные с получением наноразмерных многокомпонентных слоистых структур, имеющих перспективы в создании новых приборов электронной техники, в том числе солнечной энергетики, а также изучения их электронных, оптических и эмиссионных свойств.

Наибольшее научное и прикладное значения имеет создание наноразмерных многослойных структур с заданными физическими свойствами. Однако, на сегодняшний день наноразмерные фазы и слои наноразмерных MoO₃/Mo и SiO/Si на основе молибдена и кремния не получены и их физико-химические свойства не изучены. Поэтому данная диссертационная работа посвящена решению актуальных проблем.

Данная диссертационная работа в определенной степени соответствует задачам, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан № УАП – 4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 7 февраля 2017 года, в Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП- 2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организаций, от 17 февраля 2017 года и №ПП-4422 «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии» от 22 августа 2019 года, а также в других нормативно- правовых документах, принятых в Республике за последние годы данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития наука и технологий Республики Узбекистан. Диссертационная работа выполнена в соответствии с приоритетным направлением развития наука и технологий Республики Узбекистан Ф2 «Физика, астрономия, энергетика и машиностроение» и ППИ – 3 «Энергетика, энерго - и ресурсосбережение, транспорт, машино – и приборостроение, развитие современной электроники, микроэлектроники, фотоники и электронного приборостроения»

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации. Научные исследования, направленные на получение наноразмерных структур и многослойных наносистем с заданными физическими свойствами с использованием методов эпитаксии и ионной имплантации ведутся в Московском Государственном Университете им. М.В.Ломоносова (НИИ Ядерной физики, кафедра аналитической химии) (Москва), Физико-техническом институте им. А.Ф.Иоффе РАН (Санкт-Петербург), в институте Leibniz Institut fur Oberflachen - modifizierung, (Германия), в университете Medicina Universidad de Valladolid С (Великобритания), в Хельсинском университете (Финляндия).

Степень изученности проблемы. Получением и изучением физико-химических свойств наноразмерных структур, созданных на поверхности и в приповерхностной области оксидов Mo и Si в настоящее время занимается ряд научных центров мира. В случае пленок MoO₃, полученных методом термического испарения установлено (Э.П.Суровой, Y.A.Yang, Z.Liu P.G.Fang, C.Sol, M.Kang и др.), что оптическая плотность и отражательная способность пленки зависят от толщины, температуры и времени отжига, а также от длины и интенсивности падающего ультрафиолетового излучения при воздействии ионных пучков с плотностью тока $j > 20 \text{ А/ см}^2$ приводит к изменению окраски света MoO₃, что объясняется образованием кислородных вакансий. Эти исследования показали, что прозрачные пленки оксида молибдена имеют перспективы в создании OLED – дисплеев и солнечных фотоэлектронных преобразователей. Исследования спектров поглощения света Bi-MoO₃ показали, что в определенных случаях обнаруживается “эффект просветления” (Л.Н.Бугерко, В.Е.Суровая). Тонкие пленки SiO₂ и структуры на их основе широко используются при создании МОП-транзисторов, диодов и интегральных схем, светоизлучающих структур солнечных элементов и др.

В ряде исследованиях было установлено, что наличие кластерных фаз Si с размерами $\leq 50\text{-}60 \text{ nm}$ в матрице SiO₂ характеризуется проявлением в них квантово-размерных эффектов, что обеспечивает эффективное излучение видимого и инфракрасного света при комнатной температуре Ундалов, А.И.Гусев, М.Намасакі, а также Б.Е.Умирзаков, Д.А.Ташмухамедова и их ученики показали, что при бомбардировки ионами Ar⁺ на поверхности SiO₂ формируются нанофазы и нанопленки Si. Установлено, что при толщине меньше чем 30- 40Å ширина запрещенной зоны Si составляет $\sim 1,9 \text{ эВ}$. L Patrone, M. Sentis, G. Ledoux и другими была разработана квантово-

размерная модель, описывающая зависимость положения максимумов полос фотолюминесценции от размеров нанокристаллов кремния.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного и научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертационная работа. Работа выполнена в рамках исследований научно-технического проекта: От-Атех-2019-503 «Модификация электронной структуры, эмиссионных и оптических свойств поверхности слоев Si, Ni и их окислов ионной бомбардировкой» (2018-2020 г.г.) выполненных в Ташкентском государственном техническом университете им. И. Каримова.

Целью диссертационной работы является изучение закономерностей формирования, электронной структуры наноразмерных пленок оксидов MoO_3 и SiO_2 в процессе имплантации ионов O_2^+ в Mo и Si, выяснение механизмов изменения их электронных и оптических свойств при бомбардировке образцов ионами Ag^+ и активных металлов.

Задачи исследования:

изучить закономерности формирования, состав и морфологию поверхности, структуру и физические свойства наноразмерных фаз и пленок MoO_3 / Mo при термическом окислении и ионной имплантации. Определить оптимальные режимы их формирования;

выявить основные механизмы, приводящие к изменению состава и физических свойств поверхности MoO_3 в процессе имплантации ионов Ba^+ и последующего отжига. Изучить влияние адсорбции атомов и имплантации атомов Ba^+ на степень окисления поверхности Mo;

оценить по спектрам поглощения света размер, структуру, ширину запрещенной зоны наноразмерных фаз Si, созданных бомбардировкой ионами Ag^+ в различных глубинах приповерхностной области SiO_2 ;

изучить влияние ионной имплантации и образование пленок силицидов на миграцию собственных примесей и удельное сопротивление кремния.

Объекты исследования: нанопленки $\text{MoO}_3/\text{Mo}(111)$ и $\text{SiO}_2/\text{Si}(111)$, полученные термическим окислением и ионной имплантацией.

Предметом исследования являются закономерности формирования гетеросистемы MoO_3/Mo и SiO_2/Si и механизмы изменения их физических свойств при ионной бомбардировке и термическом отжиге.

Методы исследования: Оже – электронная спектроскопия (ОЭС), спектроскопия характеристических потерь энергии электронами (СХПЭЭ), вторичная ионная масс-спектрометрия (ВИМС), ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия (УФЭС), измерение интенсивности I проходящего через образец света, спектроскопия упрого- отраженных медленных электронов (СУОМЭ), измерения энергетических зависимостей коэффициентов вторичной электронной эмиссии и квантового выхода фотоэлектронов.

Научная новизна исследования:

впервые изучены закономерности формирования наноразмерных фаз и пленок MoO_3/Mo при термическом окислении и при имплантации ионов O_2^+

в Мо наиболее совершенные пленки MoO_3 / Mo получены при температуре подложки $\sim 850 \text{ K}$ и давление кислорода $\sim 5 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$;

установлено, что при термическом окислении сплошные однородные пленки MoO_3 формируется начиная с толщины $d \approx 60\text{-}70 \text{ \AA}$, а при ионной бомбардировки – с $d \approx 25\text{-}30 \text{ \AA}$. Эти пленки имеют поликристаллическую структуру и их ширина запрещенной зоны E_g составляет $\sim 3,4 \text{ эВ}$;

впервые установлено, что в процессе имплантации ионов Ba^+ в MoO_3 формируется наноразмерные фазы Ba-O , Ba-Mo-O , Mo-O с некоторыми избытками (5-10 ат.%) несвязанных атомов Ba и O . Выявлены основные механизмы изменения эмиссионных и оптических свойств оксидов при ионной имплантации и последующего отжига;

предложен новый способ уменьшения степени окисления поверхности молибдена при взаимодействии с кислородом. Показано, что предварительная имплантация ионов Ba^+ в Мо предотвращает окисления его поверхности;

разработана методика получения наноразмерных фаз и слоев Si на поверхности и в различных глубинах приповерхностной области SiO_2 ;

впервые изучены влияния образования силицидных нанопленок на миграцию атомов собственных примесей Si .

Практические результаты исследования:

на основе проведенных экспериментальных исследований разработаны физико-технологические методы получения нанопленок MoO_3 и SiO_2 , и трехкомпонентные наноструктуры на их основе;

предложен способ позволяющий резко уменьшать степень окисления поверхности Мо при работе (применяемых) в первой стенке термоядерных реакторов;

определены оптимальные режимы ионной имплантации и отжига позволяющие получить i –слои вблизи границы силицид – кремний.

Достоверность результатов исследования. В работе все экспериментальные данные получены с использованием комплекса традиционных современных методов электронной, ионной, фотоэлектронной спектроскопии и зондовой микроскопии. Результаты полученные в работе, подтверждаются необходимой статистикой экспериментов и согласуются с экспериментальными результатами других авторов.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научное значение работы заключается в том, что полученные результаты способствуют выяснению механизмов изменения электронной структуры, эмиссионных и оптических свойств практически важных материалов – монокристаллов Мо и Si в процессе окисления и оксидных пленок и силицидов на их основе.

Установление основных закономерностей формирования наноразмерных одно – и трехкомпонентных структур на поверхности и в приповерхностной области тонких пленок MoO_3 и SiO_2 в процессе ионной бомбардировки и последующего термического отжига имеют прикладное значение, знание которых позволяет целенаправленно управлять составом и

соответственно, электронной структурой и физическими свойствами исследуемых объектов.

Результаты работы могут быть использованы в технологии формирования оксидных пленок и получения на их основе наноразмерных структур методом бомбардировки ионами Ar^+ , Ba^+ , Na^+ и Cs^+ . Эти результаты имеют перспективы при разработке многослойных структур, контактов к ним для приборов твердотельной электроники и энергетики.

Внедрения результатов исследования. На основе установление закономерностей формирования и изменения физических свойств наноразмерных структур на поверхности и в приповерхностные слои MoO_3 и SiO_2 в процессе ионной бомбардировки и последующего отжига:

использованы для установление основных закономерностей формирования наноразмерных фаз и пленок в полупроводниках и диэлектрических пленок при выполнении научно-технических задач фундаментального проекта №ОТ-Ф2-67 «Новый подход к методу исследования природы и латерального распределения дефектов на границе диэлектрик- полупроводник», выполненного в 2017-2020 гг. (Справка № 89-03-651 Министерство высшего и среднего специального образования РУз от 04.02.2021). Применение научных результатов позволили:

- оценить толщины высокоомного слоя образующихся на границе силицид- кремний и оксид кремний – кремний засчет миграции собственных примесей кремния.

выявить основных механизмов формирования наноразмерных структур, в нанопленках и на приграничный слой гетероструктуры Si- SiO_2 .

разработан модель влияния заряда, возникающего на границе Si- SiO_2 на значение проходящего тока в FinFET транзисторах.

Использование предложенный в диссертации метод создание тонких контактных слоев на поверхности Si и SiO_2 для контактной сварки электронных компонентов изготавливаемых в подразделение АК «Узэлтехсаноат» АО «Фотон» (Справка от 29.01.2021 г., №04-1/161). Применение научных результатов на практике позволяло увеличение адгезии, металлического контакта на поверхности полупроводников.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были представлены и обсуждены на 10 международных и 2 республиканских научно – практических конференциях.

Публикация результатов исследований. Полученные результаты по теме диссертации изложены в 15 научных трудах, в том числе в 5 статьях в 10 международных и республиканских журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы, включая 50 рисунков и 10 таблиц. Объем диссертации включает 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, определена связь исследований с основными приоритетными направлениями развития науки и технологий в республике, приведены обзор научных исследований по теме диссертации, степень изученности проблемы, сформулированы цели и задачи, определены объекты, предметы и методы исследования, изложена научная новизна исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта их теоретическая и практическая значимость, приведены краткие сведения о внедрении результатов и апробации работы, а также об объеме и структуре диссертации.

В первой главе диссертации приведен литературный обзор исследований связанных с получением и изучением электронных свойства тонких пленок MoO_3 , SiO_2 и модификацией их физических свойств облучением света и ионами. Анализ литературных данных показывает, что усилия большинства ученых и разработчиков в последние годы были направлены на получение и изучение свойств оксидов молибдена, кремния и наноразмерных структур на их основе. Особое внимание уделено изучению состава, морфологии, эмиссионных свойств, кристаллической и электронной структуры наночастиц и нанопленок, созданных на поверхности этих оксидов. Результаты этих исследований частично используются и имеют большие перспективы в создании новых видов транзисторов и диодов сверхвысокой частоты, оптических преобразователей, многослойных МДП и ПДП структур, больших и ультрабольших интегральных схем, солнечных элементов, эффективных лазеров и сенсоров. Из литературного обзора следует, что несмотря на достаточно продолжительный период исследования физико-химических, эмиссионных и оптических свойств тонких слоев оксидов MoO_3 , SiO_2 , изменение свойств этих веществ при ионной бомбардировке, до сих пор изучено недостаточно и существуют ряд нерешенных задач, которые существенно влияют, как на развитие научных представлений о механизмах формирования наноразмерных структур, так и на их применение при разработке новых приборов микро-, опто- и наноэлектроники.

Решения этих проблем послужило основанием для постановки и реализации цели и задачи данной диссертационной работы.

Во второй главе «Методика экспериментальных исследований» описаны объекты исследования и их подготовка, базовой установки, устройства электронной пушки и ионных пушек, источника фотонов ультрафиолетового излучения, а также методы регистрации энергетических зависимостей КВЭЭ и квантового выхода фотоэлектронов, спектров оже – и упруго-отраженных электронов - ХПЭ и фотоэлектронов. В работе также были использованы стандартные установки РЭМ (ISM - 6490), ДБЭ (ЭМР-2), АСМ(ХЕ-200) и спектрофотометр (UV-1280).

В целом использованные в работе экспериментальные приборы обеспечивали:

получение тонких пленок оксидов Mo и Si с использованием методов термического окисления и ионной имплантации с последующим термическим отжигом.

проведение бомбардировки полученных образцов ионами Ar^+ , O_2^+ и активных металлов;

определение концентрации основных и примесных атомов на поверхности и в приповерхностном слое ионно-легированных образцов и установление типа химической связи между атомами, содержащимися в приповерхностных слоях;

изучение морфологии, шероховатости и кристаллической структуры поверхности исследуемых образцов;

оценки размеров и определение E_g нанокристаллических фаз, созданных на различных глубинах приповерхностной области оксидных пленок;

изучение электронно-зонной энергетической структуры и распределения энергетических состояний электронов в зонах и основных уровнях;

исследование эмиссионных, электрофизических и оптических свойств; полученных образцов и оксидных пленок.

В третьей главе «Структура, электронные и оптические свойства чистых и ионно-имплантированных пленок MoO_3 » были: получены нанопленки MoO_3 методами термического окисления Mo и имплантацией ионов O_2^+ в Mo; проведено изучение их состава, структуры и физических свойств; влияние имплантации ионов Va^+ на состав и электронную структуру пленок MoO_3 . Перед термическим окислением и ионной имплантацией образцы $Mo(111)$ очищались температурным прогревом, сначала при $T=1700 - 1800$ К в течение 20 – 25 час, затем многократным кратковременным прогревом до $T \approx 2200$ К. Результаты ВИМС, измеренные до отжига показали, что на поверхности Mo, наряду с интенсивными пиками H, O, C и их соединений с кислородом, четко выделяются пики тяжелых масс MO_2 , MoO_3 и MoO_4 . После отжига поверхность Mo максимально очищалась и в ней содержались только атомы кислорода и углерода, общая концентрация которых не превышает 1,5 – 2 ат. %.

После достижения давления $\sim 10^{-7}$ Па в отсек прибора напускали кислород. Нами было установлено что, при температуре подложки 850 К на поверхности формируется плёнка MoO_3 с хорошей стехиометрией. Скорость и степень окисления зависят от давления кислорода P_{O_2} и времени t_0 окисления. (рис.1). При $P_{O_2}=5 \cdot 10^{-4}$ Па зависимость $I_{оже}(t)$ в интервале $t=0-80$ мин. с ростом t монотонно, почти линейно возрастает, однако вплоть до $t=120-140$ мин. не достигает насыщения. В случае $P_{O_2}=10^{-2}$ Па значение $I_{оже}(t)$ до $t \approx 25$ мин. увеличивается линейно, а в интервале $t=25-40$ мин. – близко к экспоненциальной, достигая насыщения при $t \geq 35-40$ мин. В случае $P_{O_2}=5 \cdot 10^{-3}$ Па насыщение достигается за время $t=70-80$ мин. Результаты ОЭС, полученные сочетанием с травлением поверхности ионами Ag^+ , показали, что толщина пленки MoO_3 , при которой наблюдается насыщение, равна $\sim 30-40$ Å.

В случае имплантации ионов O_2^+ в Мо наиболее совершенные пленки MoO_3 также образовались при T подложки ~ 850 К. Например, в случае имплантации ионов O_2^+ в Мо с $E=1$ кэВ до $D \approx 10^{15} \text{ см}^{-2}$ степень покрытия θ поверхности Мо кластерными фазами MoO_3 линейно растёт до $\sim 0,7$ затем скорость роста замедляется и при $D \approx 10^{17} \text{ см}^{-2}$ достигает 1, следовательно формируется сплошная однородная плёнка MoO_3 . При этом толщина пленки MoO_3 составляла $\sim 25-30 \text{ \AA}$. Сплошные пленки с $d = 60 \text{ \AA}$ были получены последовательной имплантацией ионов O_2^+ с энергии $E_0 = 3$ и 1 эВ, а пленки с $d = 90 \text{ \AA}$ - последовательной имплантацией ионов с $E_0 = 5, 3$ и 1 эВ. Во всех случаях образовывалась сплошная поликристаллическая плёнка MoO_3 с шероховатостью поверхности $\leq 1.5 \text{ нм}$ рис 3а. б.

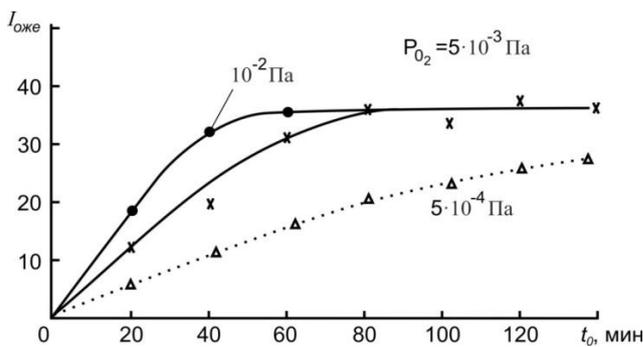


Рис.1. Зависимости интенсивности Оже- пика О ($E = 506$ эВ) от времени окисления Мо при $T=850^0$ К

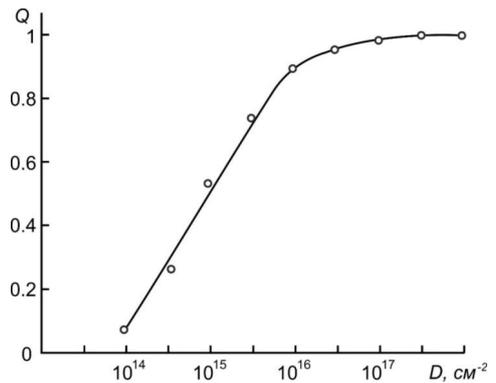


Рис. 2. Зависимость степени покрытия поверхности Мо пленкой MoO_3 от дозы облучения ионов O_2^+ . Энергия ионов $E_0 = 1$ кэВ, температура подложки 850 К.

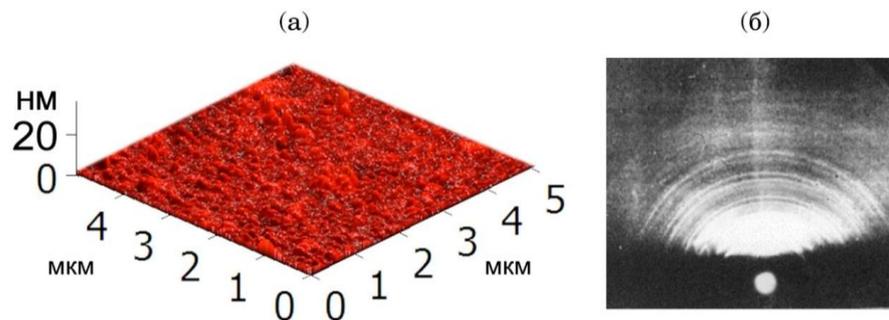


Рис. 3. Поверхность пленки MoO_3 толщиной 60 \AA , полученной методом ионной имплантации: а – изображение в атомно-силовом микроскопе; б – ДБЭ картина

Нами были определены максимальное значение коэффициента ВЭЭ σ_m , энергия первичных электронов E_{pm} , соответствующая значению σ_m , коэффициент отражения света γ и глубина зоны выхода истинно-вторичных электронов x^1 тонкие пленок MoO_3 (табл.1)

Таблица 1

Значения σ_m , E_{pm} , r и λ для $\text{MoO}_3/\text{Mo}(111)$

Параметры	d, Å (термическое окисление)					d, Å (ионная имплантация)		
	0	60	100	300	600	30	60	90
σ_m	1,8	2,2	2,6	3,2	3,4	1,9	2,3	2,6
E_{pm} , эВ	550	650	700	800	800	600	650	700
r (при $\lambda=600\text{нм}$)	0,3	–	0,1	–	0,06	0,15	–	0,1
x' , Å	30	–	–	250	250	–	–	–

Из табл.1 видно, что коэффициент отражения света с увеличением толщины пленки уменьшается, что связано с влиянием подложки: $r_{\text{Mo}} > r_{\text{MoO}_3}$. Значение σ_m и E_{pm} при $d \leq 300$ Å с ростом d существенно увеличиваются. Это обусловлено тем, что, во-первых, эмиссионная эффективность слоев MoO_3 больше, чем эмиссионной эффективности слоев Mo , во-вторых, - с ростом d увеличивается глубина выхода ИВЭ x' . Начиная с $d \approx 300$ Å значения σ_m и E_{pm} заметно не изменяются. При этом, глубина выхода ИВЭ достигает своего максимального значения, которая называется глубиной зона выхода ИВЭ x' . Получение нами значение $x'=250$ Å удовлетворительно согласуется с расчетными данными, определяемыми по формуле:

$$x'(\text{см}) = \frac{5,2 \cdot 10^{-6} A (Z_{\text{эфек}})}{\rho \cdot Z_{\text{эфек}}} \cdot E_{pm}^{1,4}$$

где ρ – плотность MoO_3 , в г/см^3 , A – атомная масса, $Z_{\text{эфек}}$ – эффективное значение порядкового номера

(На спектрах ХПЭЭ (рис.4) и УОЭ (рис.5) четко видны пики, обусловленные возбуждением коллективных (поверхностных $\hbar\omega_s$ и объемных $\hbar\omega_v$) плазменных колебаний, а также пики, связанные с одночастичными возбуждениями) (межзонные переходы). На основе анализа спектров УОЭ и ФЭ нами построена качественная электронная зонно-энергетическая диаграмма MoO_3 . Там же показаны основные электронные переходы.

Четвертая глава «Закономерности формирования, состав, электронная структура и физические свойства наноразмерных фаз и слоев, созданных в приповерхностной области Si и SiO_2 при ионной бомбардировке» посвящена изучению: закономерностям формирования наноразмерных пленок оксидов SiO_2 на поверхности Si при имплантации

ионов O_2^+ и последующего отжига, влияния образования силицидов на удельное сопротивление кремния; кристаллическую структуру и ширину запрещенной зоны наноразмерных фаз Si, с сформированных на различных глубинах приповерхностной области SiO_2 ; влияния поэтапного постимплантационного отжига на состав и структуру поверхностных слоев кремния, имплантированного ионами щелочных металлов.

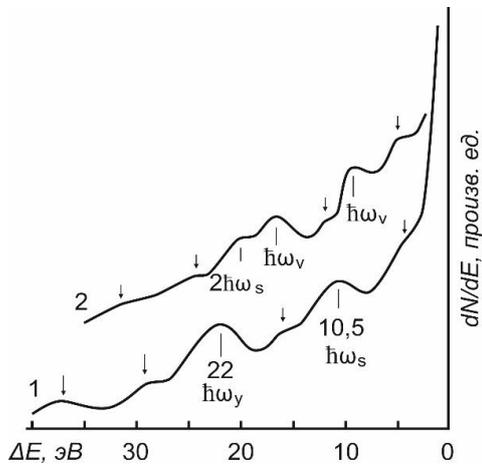


Рис. 4. Спектры ХПЭЭ для Mo (1) и MoO_3 (2), полученные при $E_p = 400$ эВ

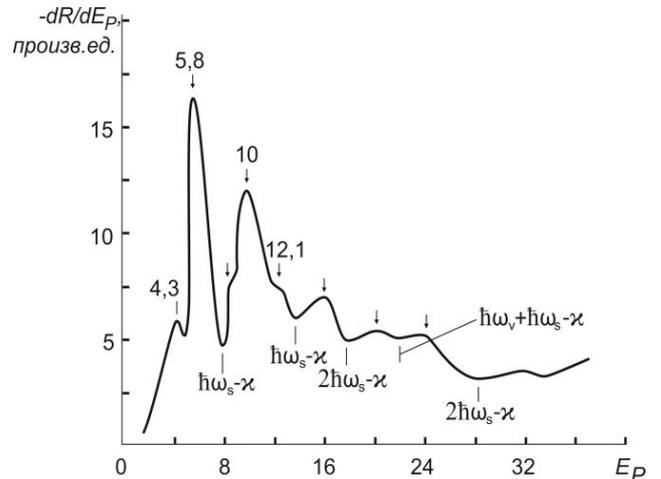


Рис. 5. Зависимость $-dR/dE_p$ от E_p (спектр УОЭ) для пленки MoO_3/Mo .

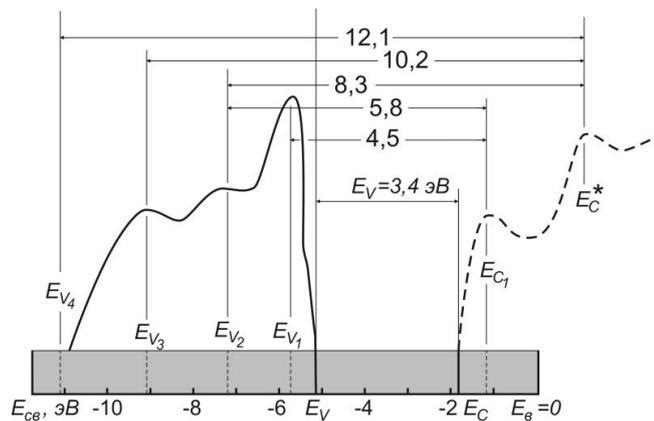


Рис.6. Качественная энергетическая диаграмма поверхности пленки MoO_3/Mo с толщиной 60 \AA [90А]

На рис.7 приведена зависимость интенсивности I оже-пика O ($E \approx 506$ эВ) от дозы облучения для Si, имплантированного ионами O_2^+ с $E_0 \approx 1$ кэВ. Из рис.7 видно, что концентрация кислорода в приповерхностном слое значительно больше, чем на поверхности. При $D \geq 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ обе зависимости выходят на плато.

Структура кривых этих зависимостей после прогрева при $T = 850-900\text{K}$ (когда образуются соединения типа SiO_2) заметно не меняется. Исходя из этого можно сделать вывод, что нанокластерные фазы и слои оксида кремния сначала формируется в приповерхностном слое на глубине, где наблюдается

максимум распределения кислорода. С ростом дозы ионов оксидная плёнка растёт ступенчато к поверхности.

Совместное использование методов ВИМС, ОЭС и СУОЭ показали, что после прогрева Si при $T=850-900$ К, имплантированного ионами O_2^+ с $E_0 \approx 1$ кэВ при $D=D_n$; формируется сплошная однородная плёнка SiO_2 с толщиной 25-30 Å (рис.8). В спектре ионно-имплантированного Si содержатся интенсивные пики $SiO_{0,5}$, SiO и SiO_2 .

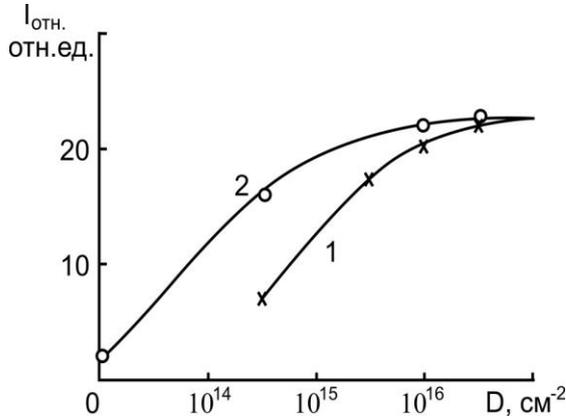


Рис.7 Зависимость интенсивности оже – пика О от дозы облучения для Si, имплантированного ионами O_2^+ с $E_0=1$ кэВ: 1- на поверхности. 2- на глубины ~25Å

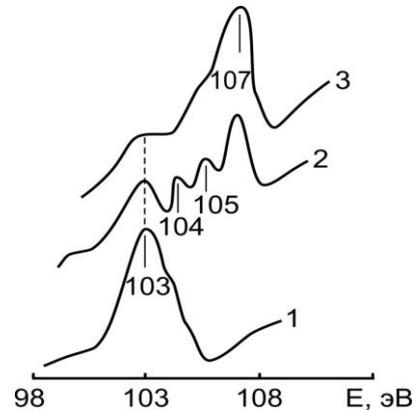


Рис.8. Спектры УОЭ L_{23} Si: 1- чистого Si; 2- Si, после имплантации ионов O_2^+ с $E_0=1$ кэВ $D=6 \cdot 10^{16}$ cm^{-2} , 3- после прогрева при $T=900$ К в течение 30 мин.

На рис. 9 приведены спектры фотоэлектронов, полученных до и после прогрева при $T=900$ К монокристаллического Si(111), имплантированного ионами O_2^+ с $E_0 = 1$ кэВ при $D=6 \cdot 10^{16}$ cm^{-2} .

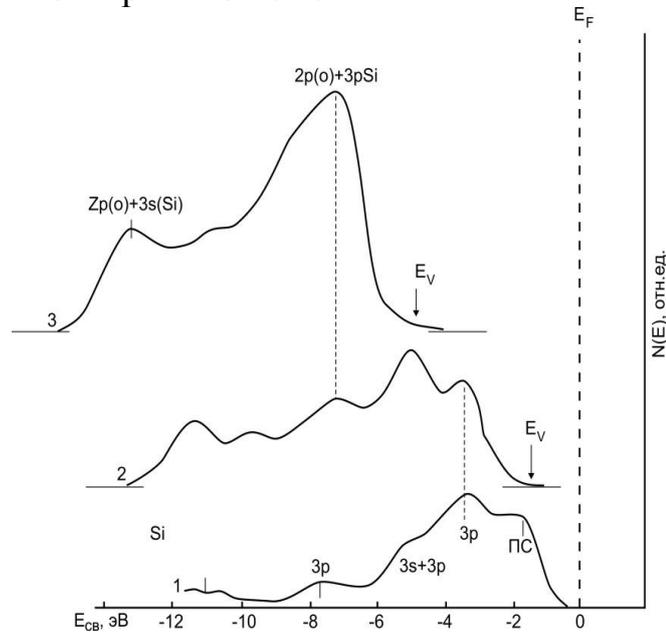


Рис.9. Спектры фотоэлектронов: 1- чистого Si(111); 2- Si имплантированного ионами O_2^+ с $E_0=1$ кэВ при $D=6 \cdot 10^{16}$ cm^{-2} ; 3- SiO_2 , полученного отжигом при $T=900$ К ионно имплантированного Si. $h\nu=21,2$ эВ

На спектре Si(111) явно обнаруживаются максимумы, связанные с возбуждением электронов из поверхностных состояний, а также 3p, 3S+3p, 3S состояний валентных электронов. После ионной имплантации форма и структура КЭР монокристаллического Si (111) резко изменялась, т.е. плотность электронных состояний валентной зоны и параметры энергетических зон чистого и ионно-имплантированного Si существенно отличаются друг от друга. Эти изменения связаны с разупорядочением приповерхностных слоев, образованием различных видов оксидов кремния и наличием не связанных атомов Si и O. В спектре пленки SiO₂ четко выделяются 2 максимума. Максимум при E_{св} = 7,2 эВ, по-видимому, обусловлен гибридизацией Si 3p - и O 2p - состояний, максимум при E_{св} ≈ 13,2 эВ связан с гибридизацией Si 3S - и O 2p - состояний. На основе анализа спектров ФЭ и УОЭ нами определены зонно-энергетические параметры ионно – имплантированного Si до и после прогрева при T=900К. Методом имплантации ионов Ni⁺ и последующего отжига на поверхности Si получена плёнка NiSi₂ толщиной ~150 Å. В этом слое концентраций O и B уменьшаются до нуля (рис.10 а) в)), и эти примеси накапливаются в переходном слое, что, приводит к уменьшению в Si концентрации B и увеличению ρ_v системы NiSi₂/Si (табл.2).

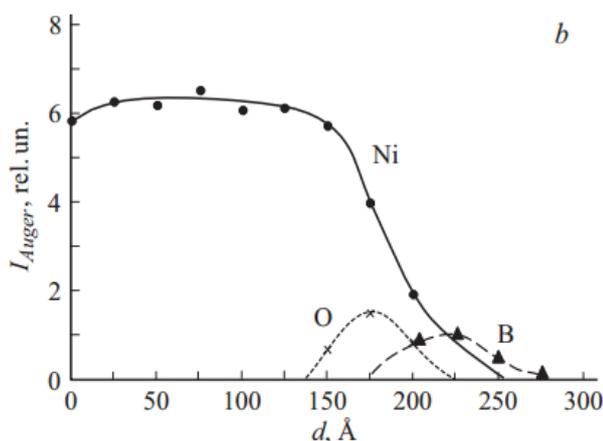


Рис.10. Профили распределения атомов Ni, O и B по глубине Si(111), последовательно имплантированного ионами Ni⁺ с E₀ = 10; 5 и 1 кэВ при D = 8 10¹⁶ см⁻² и отожженного при T = 1000 К в течение 30 мин.

При этом удельное сопротивление поверхностных слоев, т.е. пленки NiSi₂, практически не меняется. Существенный рост ρ_v для системы происходит, начиная с θ = 150-200Å (образцы № 2 и 3). При θ ≥ 400–500 Å, и дальнейшим ростом толщины пленки силицида ρ_v системы заметно не изменяется. Оценка показывает, что толщина слоя, при которой происходит миграция B, составляет 800–1000 Å. Исследования были также проведены для получения наноразмерных фаз и слоев Si на различных глубинах пленки SiO₂ путем бомбардировки ионами Ag⁺ и определения их состава, размеров, структуры и ширины запрещённых зон.

Таблица 2

Значения ρ_v и ρ_s системы NiSi₂/Si

Номер образца	Толщина пленки NiSi ₂ /Si(θ), Å	Метод получения	T^* , K	ρ_v , $\Omega \cdot \text{cm}$	$\rho_s \cdot 10^{-6}$, $\Omega \cdot \text{cm}$
1	50	Ионная имплантация	900	9-10	-
2	150	То же	1000	13-14	60
3	150	Твердофазная эпитаксия	900	14-15	60
4			1000	35-40	60
5		То же	1000	35-40	50
Si	0	—	—	8-9	—

* Прогрев при каждой T проводился в течение 30 мин.

На рис.11 приведены концентрационные профили распределения атомов Si по глубине для системы SiO₂/Si, бомбардированного ионами Ar⁺ с E₀=15 кэВ при D = 2·10¹⁷ см⁻². Измерения проводились после прогрева образцов при T = 800 К. Видно, что в приповерхностном слое SiO₂ на глубине ~20 нм образуется слой Si толщиной 8-10 нм. В целом формируется нанопленочная система SiO₂ – Si - SiO₂.

Средняя глубина d_{ср} образования кремниевых слоев зависит от энергии ионов: при E₀=10 кэВ d_{ср}= ~15 нм, при E₀=15 кэВ d_{ср}=- 19 нм, а при E₀= 25 кэВ - d_{ср}=25 нм. При увеличении E₀ от 10 до 25 кэВ толщина слоя Si существенно не изменяется и составляет 8-10 нм. При невысоких дозах облучения (D ≤ 10¹⁶ см⁻²) на этих глубинах образовывались нанофазы Si.

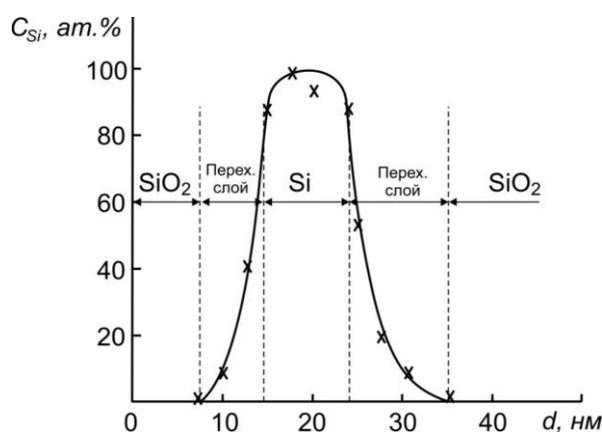


Рис.11. Концентрационные профили распределения атомов Si по глубине SiO₂/Si(111), бомбардированного ионами Ar⁺ с E₀=15 кэВ при D = 2·10¹⁷ см⁻². Измерения проводилось после прогрева образца при T = 800 К.

Ширина запрещенных зон НК фаз и слоев определены путем измерения интенсивности проходящего через образец света (рис.12).

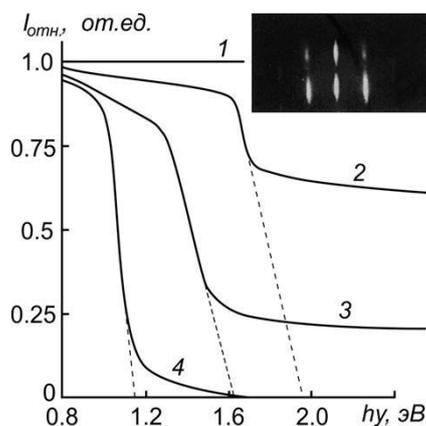


Рис.12. Зависимость интенсивности проходящего света от энергии фотонов для SiO_2 , бомбардированного ионами Ar^+ с $E_0 = 15$ кэВ, при дозах D см^{-2} : 1-0; $2 \cdot 10^{15}$, $3 \cdot 10^{16}$; $4 \cdot 2 \cdot 10^{17}$. Все кривые получены после прогрева образцов при $T = 800 - 850$ К. На вставке приведена ДФЭ-картина поверхности для образца бомбардированного при $D = 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$.

Из рис.12 видно, что при $D = 10^{15} \text{ см}^{-2}$ степень покрытия слоя θ составляет $\sim 25-30\%$, а $E_g \approx 2$ эВ; при $D = 10^{16} \text{ см}^{-2}$, соответственно $\theta \sim 75-80\%$, а $E_g \approx 1,5$ эВ. При значениях $D = 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ формируется сплошной слой Si толщиной 8-10 нм. Величина E_g для этого слоя составляла $\sim 1,15 - 1,2$ эВ, что очень близко к E_g чистого монокристаллического Si.

Существенное отличие E_g нанокристаллических фаз Si от E_g нанослоя Si, по-видимому, связано с проявлением в них квантово-размерных эффектов. Поверхностная область системы $\text{SiO}_2/\text{Si}/\text{SiO}_2$ имеет монокристаллическую структуру (вставка рис.4.6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе для исследования состава структуры и электронных свойств поверхности ионно – имплантированных образцов на основе Mo и Si применен комплекс методов ВИМС, ОЭС, УОЭ, ДМЭ, УФЭС, РЭМ, ДБЭ и АСМ. На основе полученных экспериментальных результатов сделать следующие выводы.

1. Показано, что пленки MoO_3 , полученные методом ионной имплантации в сочетании с отжигом имеют более совершенный стехиометрический состав, чем пленки, полученные термическим окислением. Впервые изучены эмиссионные и оптические свойства тонких пленок MoO_3/Mo . В частности установлено, что; - глубина зоны выхода истинно-вторичных и фотоэлектронов составляет $\sim 250 \text{ \AA}$; - максимальное значение коэффициента ВЭЭ – 3,4; - величина коэффициент отражения света с длиной волны $\lambda = 600 \text{ нм}$ – 0,06.

2. Впервые исследовано влияние имплантации ионов Ba^+ на состав, электронную структуру и эмиссионные свойства тонких ($d=30\text{-}600 \text{ \AA}$) пленок MoO_3 , полученных методом термического окисления и ионной имплантации. Установлено, что при окислении Mo, имплантированного ионами Ba^+ , в основном, окисляются атомы Ba, а атомы Mo практически не окисляются.

3. Установлено, что в процессе имплантации ионов Ba^+ происходит аморфизация приповерхностных слоев, разложение MoO_3 на составляющие и образование соединений типа Mo-O, Mo-Ba-O и BaO. При этом значение $e\phi$ исследованных образцов уменьшается до 2,7 эВ, а σ_m увеличивается до 4,9.

4. Показано, что при прогреве пленки MoO_3 , имплантированного ионами Ba^+ , зависимость $e\phi(T)$ проходит через минимум при $T=900\text{K}$, а зависимость $\sigma_m(T)$ - через максимум при $T=1000\text{K}$. Совместный анализ результатов ОЭС, УФЭС, энергетических и температурных зависимостей $e\phi$ и σ_m дает основание предполагать, что эмиссионная эффективность соединений Ba – O и Mo- Ba –O существенно меньше, чем оксида MoO_3 .

5. Впервые изучено влияние имплантации ионов и последующего отжига на вид распределения плотности состояний электронов валентной зоны MoO_3 и параметры энергетических зон.

6. Показано, что при низкоэнергетической имплантации ионов O_2^+ в Si на поверхности образуется слой, состоящий из нестехиометрических оксидов типа SiO_x , несвязанных атомов Si и O. После отжига при $T = 900 \text{ K}$ формируется однородный слой SiO_2 с толщиной $\sim 25\text{-}30 \text{ \AA}$ (при $E_0= 1 \text{ кэВ}$) $80\text{-}100 \text{ \AA}$ (при $E_0= 5\text{-}6 \text{ кэВ}$).

7. Установлено, что образование тонких пленок силицидов Si приводит к миграции атомов собственной примеси Si p - типа в сторону силицида, следовательно, на границе силицид – кремний формируется высокоомный слой толщиной $800\text{-}1000 \text{ \AA}$.

8. Бомбардировкой ионами Ag^+ в сочетании с температурным отжигом впервые получены нанофазы и слои Si на различных глубинах приповерхностного слоя аморфных пленок и монокристаллических образцов

SiO₂. Показано что, при $E_0 \leq 9 - 10$ кэВ нанослои Si формируются непосредственно на поверхности SiO₂ и вблизи нее, а при $E_0 \geq 10$ кэВ - в приповерхностном слое. Оценены толщина, глубина образования и энергетическая ширина запрещенной зоны скрытых слоев Si. Совместный анализ спектров ОЭС, СУОЭ, УФЭС и поглощения света показали, что в нанокристаллических фазах Si, сформированных при дозах $D \leq 10^{16}$ см⁻², проявляются квантово-размерные эффекты. В частности, значение E_g увеличивается до величины 1,9 эВ.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING OF SCIENTIFIC DEGREES
PhD.03/31.03.2021.FM.70.06 OF QARSHI STATE UNIVERSITY**

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

ALLAYAROVA GULMIRA KHALMURATOVNA

**ELECTRONIC AND OPTICAL PROPERTIES OF NANOSTRUCTURES
CREATED ON THE Si SURFACE BY HIGH VACUUM DEPOSITION
AND ION IMPLANTATION**

01.04.04 – Physical electronics

ABSTRACT

of dissertation of the doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences

KARSHI – 2021

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of Republic of Uzbekistan under number B2019.2.PhD/T1048.

Dissertation has been prepared at Tashkent State Technical University named after I.Karimov.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian, english (resume)) on the scientific council website (www.iplt.uz) and on the website of "Ziyonet" Information and educational portal www.ziyonet.uz.

Research supervisors:



Tashmukhamedova Dilnoza Artikbaevna

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Official opponents:



Turaev Ergash Yuldoshovich

Doctor of Physical and mathematical sciences, senior researcher



Isaxanov Zinaobiddin Abilpezovich

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Leading organization:

Urgench State University

Defense will take place on «__» _____ 2021 at _____ at the meeting of scientific council number PhD.03/31.03.2021.FM.70.06 at Institute of Qarshi state university (Address: 180119, Uzbekistan, Qarshi, 17 ko'chabo'g street. Phone/fax: (+99875) 225-34-13, e-mail: kardu@mail.ru).

Dissertation is possible to review in Information-resource centre at Physical-technical institute (is registered № _____) (Address: 180119, Uzbekistan, Qarshi, 17 Kuchabog street. Phone/fax: (+99875) 225-34-13, e-mail: kardu@mail.ru)

Abstract of dissertation sent out on «__» _____ 2021 year.
(Mailing report № _____ on «__» _____ 2021 year)

M.N.Normuradov

Chairman of scientific council on award of scientific degrees, doctor of physical and mathematical science, professor doctor of physical and mathematical science, professor

G'.Kh. Khalimov

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

A.K.Tashatov

Chairman of scientific seminar under scientific council on award of



scientific degrees doctor of physical
and mathematical science, professor

INTRODUCTION (abstract of the PhD dissertation)

The aim of the dissertation is to study the patterns of formation, the electronic structure of nanoscale films of oxides MoO_3 and SiO_2 in the process of implantation of O_2^+ ions in Mo and Si, to elucidate the mechanisms of changing their electronic and optical properties when the samples are bombarded with Ar^+ ions and active metals.

The objects of study: $\text{MoO}_3/\text{Mo}(111)$ and $\text{SiO}_2/\text{Si}(111)$ nanofilms obtained by thermal oxidation and ion implantation.

The scientific novelty of the research:

1. For the first time, the regularities of the formation of nanoscale phases and MoO_3 / Mo films during thermal oxidation and implantation of O_2^+ ions in Mo were studied for the most perfect MoO_3/Mo films obtained at a substrate temperature of ~ 850 K and an oxygen pressure of $\sim 5 \cdot 10^{-3}$ Pa.

2. It was found that during thermal oxidation continuous homogeneous films of MoO_3 are formed starting with a thickness of $d \approx 60\text{-}70$ Å, and during ion bombardment - with $d \approx 25\text{-}30$ Å. These films have a polycrystalline structure and their band gap E_g is ~ 3.4 eV.

3. It was established for the first time that in the process of implantation of Ba^+ ions in MoO_3 nanoscale phases Ba-O, Ba-Mo-O, Mo-O are formed with some excess (5-10 at.%) of unbound Ba and O atoms. The main mechanisms of changes in emission and optical properties of oxides during ion implantation and subsequent annealing.

4. A new method is proposed for reducing the oxidation state of the surface of molybdenum upon interaction with oxygen. It is shown that preliminary implantation of Ba^+ ions into Mo prevents oxidation of its surface.

5. A technique has been developed for obtaining nanoscale phases and Si layers on the surface and at various depths of the near-surface region of SiO_2 .

6. The effect of the formation of silicide nanofilms on the migration of atoms of intrinsic Si impurities has been studied for the first time.

The implementation of research results. Based on the establishment of the regularities of the formation and changes in the physical properties of nanoscale structures on the surface and in the near-surface layers of MoO_3 and SiO_2 during ion bombardment and subsequent annealing:

were used to establish the main regularities of the formation of nanoscale phases and films in semiconductors and dielectric films when performing scientific and technical tasks of the fundamental project No.OT-F2-67 "A New Approach to the Method of Researching the Nature and Lateral Distribution of Defects at the Dielectric-Semiconductor Interface", completed in 2017-2020 (Inquiry No. 89-03-651 of the Ministry of Higher and Secondary Specialized Education of the Republic of Uzbekistan dated 04.02.2020). Application of scientific results allowed: to estimate the thickness of the high-resistance layer formed at the silicide-silicon and silicon oxide-silicon interface due to the migration of intrinsic silicon impurities. to reveal the main mechanisms of the formation of nanoscale structures in nanofilms and on the boundary layer of the Si- SiO_2 heterostructure.

a model of the influence of the charge arising at the Si-SiO₂ interface on the value of the passing current in FinFET transistors has been developed.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, list of references. The volume of the thesis includes 120 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED SCINTIFIC WORKS

1-бўлим (1-часть, part 1)

1. B.E.Umirzakov, D.A.Tashmukhamedova, G.Kh.Allayarova. Zh.Sh.Sodikzhanova // The Effect of the Formation of Silicides on the Resistivity of Silicon./ Technical Physics Letters, Vol.45, No.4, pp.356–358 (2019) (№3 Scopus: IF=1,7)

2. B.E.Umirzakova, D.A.Tashmukhamedova, S.T.Gulyamova. G.Kh.Allayarova // Effect of the Ba⁺ Ion Implantation on the Composition and Electronic Properties of MoO₃/Mo(111) Films / Technical Physics, Vol.65, No.5, pp.(2020) 795–798 (№3 Scopus: IF=1,3)

3. D.A.Tashmukhamedova, M.B.Yusupdjanova, G.Kh.Allayarova, B.E.Umirzakova.// Crystal Structure and Band Gap of Nanoscale Phases of Si Formed at Various Depths of the Near-Surface Region of SiO₂./ ISSN 1063-7850, Technical Physics Letters, Vol.46, No.10, pp.972–975 (2020).(№3 Scopus: IF=1,7)

4. G.Kh.Allayarova.// Fabrication and Study of the Electronic Structure of MoO₃/Mo(111) Films Journal of Surface Investigation X- Ray Synchrotron and Neutron Techniques Vol.14 pp.1179-1182 (2020) (№3 Scopus: IF=1,3)

5. Аллаярова Г.Х., Умирзаков Б.Е., Донаев Б.Д.// Электронная структура наноразмерных si, созданных на различных глубинах приповерхностной области SiO₂. Сборник материалов международной научно-рецензируемой онлайн конференции “Тенденции развития современной физики полупроводников: проблемы, достижения и перспективы онлайн конференции 28 мая 2020 года.С. 145.

6. Аллаярова Г.Х., Ташмухамедова Д.А., Джабберганов Р., Умирзаков Б.Е. // Изучение процессов формирования наноразмерных пленок МоО₃ при термическом окислении и ионной бомбардировке./ Поверхность.2021.№ 12. С.92-96.

II- бўлим(II-часть, part II)

1. Allayarova G.X. Tashmukhamedova D.A. Umirzakov B.E. // Study of the electronic structure of the MoO₃/Mo nanofilms.// Самарканд Давлат университети. «Физиканинг таълимидаги ўрни» Илмий-амалий Конференция 2019 17 ноябрь С.37

2. Г.Х.Аллаярова, Ж.Ш.Садикжанов, Р.М.Ёркулов, Д.А.Ташмухамедова // Влияние имплантации ионов Ва⁺ на состав и электронные свойства Мо и МоО₃./ Тезисы докладов XLIX Международной Тулиновской конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. Москва 2019. С.357-358

3. Г.Х.Аллаярова.// Влияние поэтапного постимплантационного отжига на состав и структуру поверхностных слоев кремния, имплантированного ионами щелочных металлов Международной конференции Ташкентский

государственный Университет. «Наноструктурные полупроводниковые материалы в Фотоэлектронике» (онлайн конф. 9- 10 октябрь 2020)С.65-67

4. В.Е.Umirzakov, G.X.Allayarova, S.S.Pak. // Crystal structure and band zones of Si Nanosized phases created at various depths of the surface region of SiO₂/ Международной конференции Ташкентский государственный Университет «Наноструктурные полупроводниковые материалы в Фотоэлектронике» (онлайн конф. 9- 10 октябрь 2020)С.192

5. Умирзаков Б.Е., Аллаярова Г.Х., Шукурова А.А.// Изучения влияния имплантации ионов Ва⁺ на эмиссионные и оптические свойства нанопленок МоО₃/Мо. Международной конференции Ислон Каримов номидаги Тошкент. Давлат техника университети. Термиз филиали «техника ва технологик фанлар сохаларининг инновацион масалалари» (онлайн конф 22 сентябрь 2020) С. 205

6. Умирзаков Б.Е., Аллаярова Г.Х.//Электронная структура Si созданного в приповерхностной области оксида кремния./ Международной конференции Ислон Каримов номидаги Тошкент. Давлат техника университети. Термиз филиали «техника ва технологик фанлар сохаларининг инновацион масалалари» (онлайн конф 22 сентябрь 2020) С.198

7. Г.Х.Аллаярова, А.Э.Кимизбаева, А.Н.Ураков. /Влияние поэтапного постимплантационного отжига на состав и структуру поверхностных слоев кремния, имплантированного ионами щелочных металлов Международной конференции Ислон Каримов номидаги Тошкент. Давлат техника университети «техника ва технологик фанлар сохаларининг инновацион масалалари» (онлайн конф 22 сентябрь 2020)С.212

8. Умирзаков Б.Е., Аллаярова Г.Х.// Электронная спектроскопия поверхности нанопленок МоО₃/Мо. Международной конференции Карши давлат университети. «Техника ва технологик фанлар сохаларининг инновацион масалалари» 2020 22 сентябрь С.56

9. Аллаярова Г.Х.// Эмиссионные свойства оксидной пленки МоО₃. Международной конференции Карши давлат универ. «Техника ва технологик фанлар сохаларининг инновацион масалалари» 2020 22 сентябрь С.56

10. Аллаярова Г.Х., Умирзаков Б.Е., Ташмухамедова Д.А., Раббимов Э.А. //Изменение состава и структуры поверхности при отжога ионно-имплантированного кремния. V Международной конференции по «Оптическим фотоэлектрическим явлениям в полупроводниковых микро- и наноструктурах». Фергана. 2020. С.241

11. Аллаярова Г.Х., Ташмухамедова Д.А.// Влияние имплантация ионов О₂⁺ и последующего отжига на состав и плотность состояние валентных электронов Si(111). V Международной конференции по «Оптическим фотоэлектрическим явлениям в полупроводниковых микро- и наноструктурах. Фергана. 2020. С.254

Автореферат «Тил ва адабиёт таълими» журнали таҳририятида
таҳрирдан ўтказилди.

Босишга рухсат этилди: 2021 йил.
Бичими 60x84 ¹/₁₆, «Times New Roman»
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи __. Адади: 100. Буюртма: №.

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

«АКАДЕМИЯ НОШИРЛИК МАРКАЗИ»
Давлат унитар корхонасида чоп этилди.

