

**АНДИЖОН ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖА БЕРУВЧИ PhD.28.02.2018.FM.60.01
РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

НАМАНГАН ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

ҚУЧҚАРОВ БЕҲЗОД ХОШИМЖОНОВИЧ

**ЯРИМЎТКАЗГИЧ-ДИЭЛЕКТРИК ЧЕГАРА БЎЛИМИ
ФАЗАЛАРИНИНГ ДИНАМИК ХОССАЛАРИ**

01.04.10 – Яримўтказгичлар физикаси

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

Андижон – 2018

**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-
mathematical sciences**

Кучкаров Бехзод Хошимжонович

Яримўтказгич-диэлектрик чегара бўлими фазаларининг динамик
хоссалари 3

Кучкаров Бехзод Хошимжонович

Динамические свойства фазовые границы раздела полупроводник-
диэлектрик 21

Kuchkarov Bekhzod Khoshimjonovich

Dynamic properties of semiconductor-insulator interfaces..... 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works..... 43

**АНДИЖОН ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖА БЕРУВЧИ PhD.28.02.2018.FM.60.01
РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

НАМАНГАН ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

ҚУЧҚАРОВ БЕҲЗОД ХОШИМЖОНОВИЧ

**ЯРИМЎТКАЗГИЧ-ДИЭЛЕКТРИК ЧЕГАРА БЎЛИМИ
ФАЗАЛАРИНИНГ ДИНАМИК ХОССАЛАРИ**

01.04.10 – Яримўтказгичлар физикаси

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

Андижон – 2018

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.1. PhD/FM42 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертация Наманган давлат университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб саҳифасига (www.adu.uz) ва «Ziyonet» Ахборот таълим порталига (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Маматкаримов Одилжон Охундадаевич
физика-математика фанлар доктори

Расмий оппонентлар:

Каримов Абдулазиз Вахитович
физика-математика фанлар доктори, профессор

Каримов Иброхим Набиевич
физика-математика фанлар доктори

Етакчи ташкилот:

Фарғона давлат университети

Диссертация ҳимояси Андижон давлат университети ҳузуридаги PhD.28.02.2018.FM.60.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2018 йил «__» _____ соат ____ даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 170100, Андижон шаҳри, Университет кўчаси, 129-уй. Тел./факс: 0(374) 223-88-30; e-mail: agsu_info@edu.uz, Андижон давлат университети мажлислар зали).

Диссертация билан Андижон давлат университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин. (__ рақам билан рўйхатга олинган.) (Манзил: 170100, Андижон шаҳри, Университет кўчаси, 129-уй. Тел./факс: 0(374) 223-88-30.)

Диссертация афтореферати 2018 йил «__» _____ да тарқатилди.
(2018 йил «__» _____ даги ____ рақамли реестр баённомаси).

С.З. Зайнабидинов

Илмий даража берувчи Илмий кенгаш раиси, ф.-м.ф.д., академик

А. О. Курбанов

Илмий даража берувчи Илмий кенгаш котиби, ф.-м.ф.н.

М.З. Носиров

Илмий даража берувчи Илмий кенгаш ҳузуридаги илмий семинар раиси ўринбосари, ф.-м.ф.н., доцент

Кириш (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Бугунги кунда жаҳонда замонавий электрониканинг базавий элементлари ҳисобланган металл-диэлектрик-яримўтказгич (МДЯ) структуралар асосидаги майдон транзисторлари, хотира элементлари, интеграл микросхемалар ишчи характеристикаларининг турли таъсирларга чидамли ва барқарор бўлишини таъминлашга катта эътибор берилмоқда.

Шу маънода диэлектрик ва яримўтказгич чегара бўлими соҳаларида рўй берадиган физик жараёнлар механизмларини ойдинлаштиришга қаратилган тадқиқотлар алоҳида аҳамиятга эга. Бу борада мақсадли илмий тадқиқотларни, жумладан қуйидаги йўналишдаги илмий изланишларни амалга ошириш муҳим вазифалардан ҳисобланади: МДЯ структуралар асосидаги қурилмалар интеграция даражасини ошириш; диэлектрик яримўтказгич чегара соҳасида заряд ташувчиларни шаклланиш тезлиги ва миқдорини катта аниқликда бошқариш; МДЯ асосли қурилмаларнинг турли хил ташқи таъсирларга чидамлилигини таъминлаш.

Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясига кўра, илмий-тадқиқот ва инновация фаолиятини рағбатлантириш, илмий ва инновация ютуқларини амалиётга жорий этишнинг самарали механизмларини яратиш масалаларига, жумладан, яримўтказгичлар физикаси соҳасида ташқи таъсирларга чидамли, муҳим аҳамиятга эга, кремний асосида кўп қатламли МДЯ структуралар олишга алоҳида эътибор қаратилди.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2017 йил 13 февралдаги ПҚ-2772-сон «2017-2021 йилларда Электротехника саноатини ривожлантиришнинг устувор йўналишлари тўғрисида»ги ва 2017 йил 17 февралдаги ПҚ-2789-сон «Фанлар Академияси фаолияти, илмий тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига боғлиқлиги. Мазкур тадқиқот иши республика фан ва технологиялари ривожланишининг «III. Қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланишни ривожлантириш» устувор йўналишларига мувофиқ бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Турли хилдаги ташқи омилларнинг яримўтказгич-диэлектрик чегара соҳаси хоссаларига таъсирини ўрганиш бўйича кўп ишлар бажарилган бўлиб, уларнинг кўпчилиги одатда кенг фойдаланиб келинаётган кремний-кремний икки оксиддан иборат структурага бағишланган. Уч қатламли структуралар электрофизик хусусиятларини ўрганиш жаҳоннинг илғор мамлакатлари илмий

марказларида олиб борилмоқда. Жумладан, М.Шимбо, С.Таи, М.Киоши (Япония), В.Керн, Г.Л.Счанабл (АҚШ), П.С.Винокукс, И.Броесч (Англия) сиртий зарядлар юзага келиш механизмларини тадқиқ этишган. Яримўтказгич сиртида локаллашган (маҳаллийлашган) марказларнинг ток ташувчилар механизмига таъсири россиялик олимлар А.А.Лебедев, Л.С.Берман, В.И.Фистуль, А.С.Барабан, П.П.Коноровлар томонидан кенг ўрганилган. Ўзбекистонлик академиклар М.С.Саидов, Р.А.Мўминов, А.Т.Мамадалимовлар яримўтказгичли структураларда электрофизик жараёнлар механизмини ойдинлаштиришга муносиб ҳисса қўшганлар. Яримўтказгич хоссаларини турли хил киришмалар билан ўзгартириш усуллари академиклардан М.Боходирхонов ва С.З.Зайнобидиновлар, шунингдек, таниқли олимлар К.П.Абдурахманов, А.В.Каримов ва бошқалар томонидан ривожлантирилган. ЎзМУ физика факультети ва Физика-техника институти яримўтказгичлар лабораторияларида С.И.Власов раҳбарлиги остида турли хилдаги киришмалар киритилган n-типдаги кремний ва кремний икки оксид пардадан иборат диэлектрик қатламнинг чегара соҳасида рўй берадиган физик жараёнларга ҳар хил ташқи таъсирлар натижалари ўрганилган. Жумладан, Ш.Х.Далиев, Д.Э.Назиров, П.Б.Парчинский ва бошқалар томонидан n-турдаги кремний сирти билан кремний икки оксид парданинг чегара соҳаси ишчи характеристикаларига ташқи босим, температура, электр майдони, ультратовуш, термоцикли ишлов, гамма нурланиш, протонли нурланиш каби таъсирлар ўрганилган. Кейинги йилларда С.Власов, И.Каримов М.Эргашева ва бошқалар кремний икки оксид пардадан иборат диэлектрик қатлам ўрнига енгил эрийдиган, сиртни ҳимоялаш ва ажратувчи изоляция сифатида сиртда термодфектлар ҳосил бўлишига олиб келмайдиган кўрғошин-бор-силикатли шишадан иборат диэлектрик қатламдан фойдаланишни кўрсатиб ўтишган. Лекин бундай структураларда диэлектрик қатламнинг чегара соҳасига таъсири, ташқи босим, ультратовушли, термоцикли, ўта юқори частотали ишловлар деярли ўрганилмаган. Шунингдек, бундай МДЯ структуралар чегара соҳаларига турли хилдаги ташқи таъсирларнинг ўрганилиши натижасида МДЯ структурали асбобларнинг ишчи характеристикалари ўзгариш йўналиши динамикасини аниқлаб, улардан самарали фойдаланиш йўллари кўриб ўтилмаган.

Тадқиқотнинг диссертация бажарилган олий таълим муассасасидаги илмий тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация иши Наманган давлат университети илмий тадқиқот ишлари режасининг И.О.Т-2017-7-1 рақамли «Маҳаллий хомашё асосида куруқ сурков композицияларини ишлаб чиқаришни йўлга қўйиш инновацион лойиҳа» (2017) лойиҳа доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади n-типдаги кремний сиртига кўрғошин-бор-силикатли шишани қоплаш билан ҳосил қилинган МДЯ структуралар чегара соҳаларида рўй берадиган физик жараёнларга барча турдаги таъсирлар натижаларини ўрганиш орқали ток ташувчилар динамикасида муҳим бўлган факторларларни аниқлашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

тадқиқотда қўлланилган ишчи формулаларнинг барча турдаги ташқи таъсирлар остида МДЯ структуралар учун татбиқини умумий ҳолдаги кўринишга келтириш.

кремний-шиша чегараси соҳаси параметрларига шишанинг эриш температураси таъсирини аниқлаш.

яримўтказгич-шиша структураларнинг динамик характеристикаларига ҳар томонлама босимни, ўта юқори частотали ишловни, протон нурланишли ва ультратовушли ҳамда термоциклик ишловлар таъсирини ўрганиш.

C-V характеристикалар усули ёрдамида аниқланган ҳолат зичликлари тақсимотининг турли хилдаги таъсирлар натижасида ўзгариши орқали заряд шаклланиш тезлигига ҳар бир ташқи таъсир ролини аниқлаш.

Тадқиқотнинг объектлари металл (Al)-кўрғошин-бор-силикатли шиша ($PbO-SiO_2-B_2O_3-Al_2O_3-Ta_2O_5$ турдаги) ва n-тур $<100>$ кристалл йўналишга эга кремний кристали ҳамда Al-Si-SiO₂ структуралардан иборат.

Тадқиқотнинг предмети металл-яримўтказгич-диэлектрик Al-SiO₂-n-Si ва Al-Si-шиша структуралар чегара соҳасида кечадиган физик жараёнлар ва шу жараёнларга турли хилдаги ташқи таъсирлар натижаларини умумлаштириб, заряд ташувчилар динамикасига таъсир этувчи омиллардан иборат.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқотда юқори частотали C-V характеристикалар усули, Шоттки диодлари сифимининг изотермик релаксацияси, уч қатламли структуралар инверс қатламида заряд ҳосил бўлиш жараёнидаги сифим релаксацияси, диэлектрик исрофнинг бурчак тангенсини ўлчаш каби усуллар қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

кўрғошин-бор-силикатли шишанинг эриш температураси 670° C дан юқори бўлганда кремний–шиша чегара соҳасида локаллашган электрон ҳолатлари зичлигининг ортиши аниқланган;

кўрғошин ионларида ушлаб қолинган электронларни чиқариб юборилиши ва уларнинг инверс қатлам зарядлари билан таъсирлашуви натижасида электрон инжекциясига учратилган структуралар инверс қатламида заряд шаклланиш тезлигининг камайиши аниқланган;

металл-диэлектрик-яримўтказгич структураларда сифим релаксацияси орқали назарий ҳисобланган фазавий заряд соҳаси кенглигининг вақтга боғланиши орқали ҳажмий ва сиртий генерация тезликларини аниқлаш усули ишлаб чиқилган;

Al-n-Si – шиша – Al структураларга 2,5 МГц частотали, 0,5 Вт қувватли ультратовуш билан 40 минут давомида берилган таъсир яримўтказгич шиша чегара соҳасида локаллашган электрон ҳолатлари интеграл зичлигини камайиши ва яримўтказгичдаги ҳажмий электрон ҳолатлари энергетик спектри ўзгармай қолиши аниқланган;

металл-диэлектрик-яримўтказгич структураларга ҳар томонлама ўта юқори частотали ишлов берилганда сирт ҳолат зичлигининг ўзгариши ва

сиртий генерация токининг камайиши натижасида фотосезгирликнинг ортиши кўрсатилган;

металл-диэлектрик-яримўтказгич структураларни протон билан нурлантириш чегара соҳасида мусбат заряднинг ортиши ва келгусида термик ишлов берилиши узилган боғларнинг ва ўз навбатида чегара соҳаси яқинида локаллашган мусбат заряднинг камайиши аниқланган;

термоциклик ишлов таъсирида сиртий ҳолатларнинг мусбат зарядлари зичлиги камайишини асословчи физик модел ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

металл-диэлектрик-яримўтказгич структураларга термоциклик ишлов берилганда сифимнинг номувозанат релаксация жараёнининг ҳароратга боғлиқлигини ўрганиш асосида металл-диэлектрик-яримўтказгич структура диэлектрик қопламасининг сифатини баҳолаш усули ишлаб чиқилган;

босим, ультратовуш, ҳарорат, ўта юқори частота ва радиация таъсирида бўлган металл-диэлектрик-яримўтказгич структуралардан аналогли ва рақамли микроэлектрон қурилмаларнинг ҳамда интеграл микросхемаларнинг ишчи параметрларининг яхшиланиши аниқланган;

заряд боғланишли МДЯ структуралардан тайёрланадиган асбоблар ишчи характеристикаларини майдон орқали бошқариш асосан яримўтказгич-диэлектрик чегара соҳасида зарядлар динамикаси билан белгиланиб, турли хилдаги ташқи таъсирлар остида зарядлар шаклланиши, тезлиги, миқдори, ҳаракатчанлиги ҳақидаги янги маълумотлар беришда ўз қарорини топган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги замонавий ўлчаш усуллари ва натижаларини қайта ишлашда бир-бирига боғлиқ бўлмаган тажрибалар статистикаси ҳамда $n\text{-Si}\langle\text{Au}\rangle$, $n\text{-Si}$ -шиша структуралар бўйича олинган стандарт тажриба натижаларига мос келиши билан таъминланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти, берилган физик ҳарактерга эга бўлган металл-диэлектрик-яримўтказгич структураларни яратишнинг илмий-амалий асослари ишлаб чиқилган; яримўтказгич - диэлектрик чегара соҳасига турли ташқи омилларнинг таъсири натижасида сирт ҳолат зичлиги шаклланишининг физик механизми ўрганилган ва уларнинг таркиби, тузилиши ҳамда электрофизик хоссалари ҳақида янги натижалар олинган.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти, яратилган технологик ишланмалардан замонавий электроника ва микроэлектроника қурилмалари учун зарур бўлган металл-диэлектрик-яримўтказгич типдаги асбобларни ишлаб чиқариш имконияти яратилган.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Кремний асосли металл-шиша-яримўтказгич структуралар характеристикаларининг турли ташқи таъсирларга барқарор ва чидамлилигини аниқлаш асосида:

яримўтказгич-диэлектрик чегара соҳасида заряд ташувчилар динамикаси, заряд шаклланиш тезлиги ва миқдорининг ўзгаришидан «FOTON» акционерлик жамиятида ижобий характеристикаларга эга металл-диэлектрик-яримўтказгич транзисторлар тайёрлашда фойдаланилган («Узэлтехсаноат» акциядорлик компаниясининг 2017 йил 25 сентябрдаги

02-1953-сон маълумотномаси). Илмий натижаларнинг қўлланилиши металл-диэлектрик-яримўтказгич структуралар асосидаги транзисторларнинг тезкорлигини ўнлаб марта орттириш, сирқиш токини 5-10 марта камайтириш имконини берган;

металл-диэлектрик-яримўтказгич структураларда таъқиқланган зона бўйлаб ҳолат зичлигини ўзгариш натижалари Ф-2-21 рақамли «Яримўтказгич-диэлектрик чегарасидаги сирт ҳолатлар зичлигини аниқлашнинг математик моделлаштириш» лойиҳасида металл-диэлектрик-яримўтказгич структуралар чегара соҳасидаги ҳолат зичлигини физик жараёнларга таъсирини аниқлашда ишлатилган (Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялар агентлигининг 2017 йил 13 ноябрдаги ФТА-02-11/1068 -сон маълумотномаси). Илмий натижалардан фойдаланиш металл-диэлектрик-яримўтказгич структураларда чегара соҳаси фазасидаги ҳолат зичлигининг шаклланишига таъсир этувчи омилларнинг ролини аниқлаш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертация ишининг асосий натижалари 4 та халқаро ва 12 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 27 та илмий иш чоп этилган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 11 та мақола нашр этилган.

Диссертация ҳажми ва тузилиши. Диссертация иши кириш, тўртта боб, умумий хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 118 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг Республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, мавзу бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи, муаммонинг ўрганилганлик даражаси келтирилган, тадқиқот мақсади, вазифалари, объекти ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг илмий янгиллиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар берилган.

Диссертациянинг «**МДЯ структуралар чегара соҳаси хоссаларига таъсир этувчи омиллар**» деб номланган биринчи бобида металл-диэлектрик-яримўтказгич структураларда яримўтказгич-диэлектрик чегара соҳасидаги электрофизик жараёнларга турли ташқи таъсирларга оид тадқиқотлар ўрганилган ва асосан юқори температурада кремнийни термик оксидлаш орқали олинган SiO₂ қатламли МДЯ структуралар тадқиқоти натижалари таҳлил этилган. Юқори температурадаги термик оксидлаш

кремний сиртидаги марказларнинг ва айрим параметрларнинг ўзгаришига олиб келгани учун бундай диэлектрик қатлам ўрнига нисбатан паст температурада эрийдиган ва шу билан бирга сиртни пассивлаштириш ҳамда изоляциялаш хусусиятларини ўзида мужассамлаган кўрғошин-бор-силикатли шишанинг афзалликлари кўрсатиб ўтилган.

Шунингдек, яримўтказгич-диэлектрик чегара соҳасидаги сиртий ҳолатлар зичлигининг яримўтказгич тақиқ зонаси бўйлаб тақсимоти ўзгаришига олиб келувчи ташқи таъсирлар бўйича ишлар таҳлили келтирилган.

Енгил эрувчи кўрғошин-бор-силикатли шишадан фойдаланишнинг афзаллиги содда ҳолда диэлектрик парда қопламнинг олиниши, юқори изоляцияловчи ҳамда пассивлаштирувчи хусусиятга ва истикболга эгаллиги кўрсатилиб, кўрғошин-бор-силикатли шиша асосидаги қопламали МДЯ структураларда турли хил таъсирлар остида рўй берадиган электрофизик жараёнлар бугунги кунга қадар етарлича ўрганилмаганлиги баён этилган.

Шунингдек, МДЯ структураларни шакллантиришда дастлаб диэлектрик-(шиша)-яримўтказгич чегара соҳаларидаги ҳолатлар зичлиги тақсимотига диэлектрик қатлам чегарасини, унинг эриш температурасини ва ташқи таъсирларни ўрганиш зарурати борлиги кўрсатилган.

МШЯ структураларнинг ишончли ва барқарор ишлашини таъминлашда бундай структураларга ультратовушли ишлов, термоциклик ишлов, ўта юқори частотали ишлов, радиацион ишлов каби ташқи таъсирлар остида рўй берадиган электрофизик жараёнларни ўрганиш кўп қатламли структуралар ишчи ҳарактеристикаларининг барқарорлигини таъминлашга йўналтириш мумкинлиги баён этилган.

«МДЯ структуралар сиғими ва релаксация ҳарактеристикаларини аниқлаш усуллари» номли иккинчи бобда диэлектрик қатлам намунани тайёрлаш учун кўрғошин-бор-силикатли шишанинг компоненталар таркибини ва массалар фоизини турлича танлаш билан кремний сиртига қоплаш усуллари кўрсатилиб, намуналар олиниш тартиби аниқланган.

Бу намуналарда юқори частотали C-V ҳарактеристика усулини Si-шиша чегара соҳасидаги электрофизик параметрларни аниқлаш учун қўлланишига оид ишчи формулалар кўрсатилиб, улардан яримўтказгич-диэлектрик чегара соҳасидаги сиртий ҳолатлар зичлигини аниқлашда фойдаланиш усуллари ёритилган.

МДЯ структурасидаги яримўтказгич ёки диэлектрик қатламда турли марказларнинг мавжуд бўлиши, яримўтказгич тақиқланган зона кенглиги бўйича сиртий ҳолат зичлиги тақсимот спектрига сезиларли таъсир қилади. Сиртий ҳолат зичлигининг яримўтказгич тақиқланган зонаси бўйича тақсимотини ўрганиш учун одатда МДЯ структураларнинг қоронғудаги юқори частотали C-V ҳарактеристикасидан фойдаланилади. Бу усул назарий ва тажриба усулида олинган C-V ҳарактеристикаларини таққослаш, сўнгра олинган натижалар фарқини қўйилган кучланиш катталиги бўйича дифференциялашга асосланган.

Шунингдек, биз сиғим релаксациясининг вақтга боғланишини ўрганишда МДЯ структураларни электронейтраллик шартидан келиб чиқадиган фазовий заряд соҳаси кенглигининг $X(t)$ вақтга боғланишини ҳисоблашга имкон берувчи формуладан

$$X = \left(x_0 + \frac{S}{A} \right) \exp\left(-\frac{A}{N} t \right) - \frac{S}{A} \quad (1)$$

(бу ерда S , A сиртий ва ҳажмий генерация тезликлари, N - киришма марказлари концентрацияси) ва МДЯ структуралар учун қабул қилинган сиғимнинг вақтга боғланиши

$$C(t) = \frac{\varepsilon_0 K C_D}{K + x(t) C_D} \quad (2)$$

(бу ерда C_D – диэлектрик сиғими, K – бошқарув электрод юзаси) ифодаларидан фойдаланган ҳолда ҳажмий ва сиртий генерация тезлигини ҳар бир экспериментал боғланишга солиштириб аниқлаш мумкинлигини таклиф этдик.

Боб охирида ўлчов қурилмаларининг ишлаш тамойили ҳамда намунага кўрсатиладиган таъсирлар натижаларини ўлчовчи, юқори частотали компенсацияловчи кўприк схемалари кўрсатиб ўтилган.

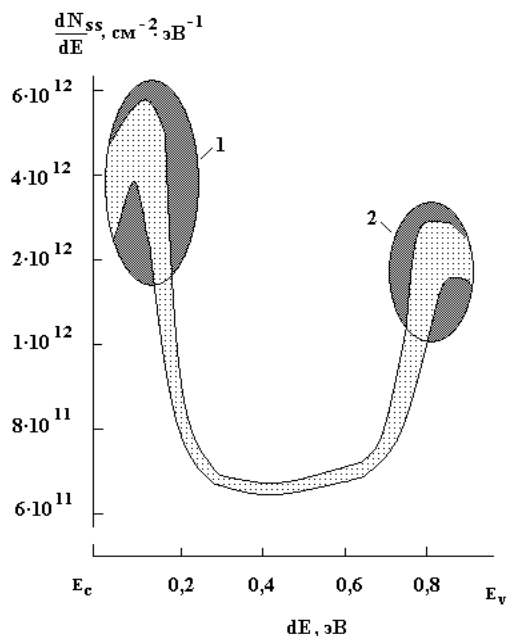
«Металл-диэлектрик-яримўтказгич структуралар сиғим-кучланиш характеристикаларига ташқи ишловларнинг таъсири» номли учинчи бобда МДЯ структураларнинг характеристикаларини ўрганишдан олдин дастлаб яримўтказгич тақиқ зонаси бўйлаб ҳолат зичлигини аниқлашдаги хатоликлар чегараси аниқланди.

Бунинг учун сиртий ҳолат зичлигининг яримўтказгич тақиқланган зонаси бўйича тақсимоти (бошланғич кремнийдаги кислород концентрацияси $3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ га тенг бўлган 5 та структура ишлатилиб, уларнинг ҳар бири 5 мартадан бир шароитда ўлчанди) юқори частотали C - V характеристикалар ёрдамида қайта ишланди. Таҳлиллар шуни кўрсатдики (1-расм), C - V характеристиканинг инверс соҳасида ва кучли бойитилган соҳада сиртий ҳолат зичлигини аниқлаш сезиларли четланишларга олиб келади.

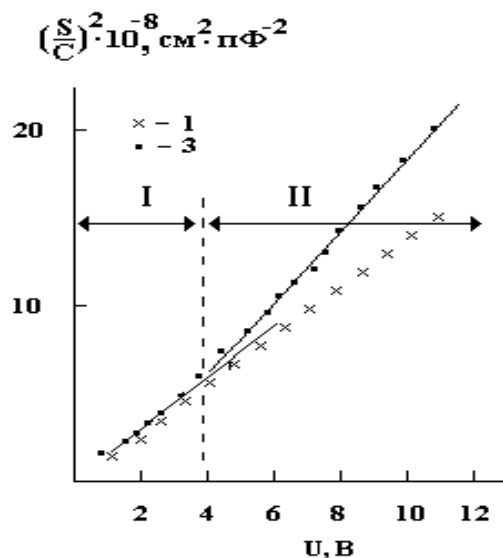
Кейинги изланишларда сиртий ҳолатлар юзага келишида яримўтказгич тагликдаги марказлар ролини аниқлаш учун Шоттки диодларидан фойдаланилди. Si тақиқ зонаси бўйлаб сирт ҳолатлари интеграл зичлигининг спектрал тақсимоти аниқланди. C - V характеристикаларни ўлчаш қоронғуликда 350 кГц частотада ва хона температурасида гидростатик босим таъсирида ўтказилди. 2-расмда эса диодларнинг турли қалинликдаги яримўтказгич соҳаларида олинган характеристикаларининг қиймати ўзгариши кўрсатилган.

Юқоридагиларга асосан, босим таъсири $\left(\frac{S}{C} \right)^2 \approx U$ боғланишларни турли хил қияликка эга бўлган икки соҳага ажратади. 2-расмга кўра айтиш мумкинки, босим таъсири металлга яқин яримўтказгичнинг – 3 мкм қалинликкача бўлган I – соҳасида асосий заряд ташувчиларнинг концентрацияси $7 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ ни ташкил этади ва босим таъсирида ўзгармайди. 3 мкм дан катта узунликда

эса (II – соҳа) асосий заряд ташувчиларнинг концентрацияси камайиб, $6,8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ га тенг бўлиб қолади. Босим таъсирида қияликнинг ўзгариши яримўтказгичнинг тақиқ зонасида чуқур энергетик сатҳларнинг ҳосил бўлиши ва асосий заряд ташувчилар концентрациясининг камайишига олиб келиши билан боғлиқлиги кўрсатилди.



1-расм. Яримўтказгич тақиқланган зонаси кенглиги бўйлаб сирт зичлиги ҳолатлари 5 та намунада тақсимланиши ўрталашган схемаси.

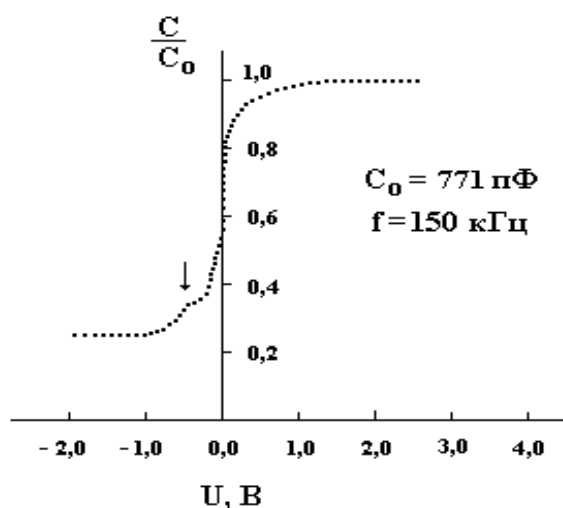


2-расм. Шоттки диодлари учун $(S/c)^2$ ning U га боғланиши. 1- бошланғич ўлчаш, 3-4 кБар босим таъсирида.

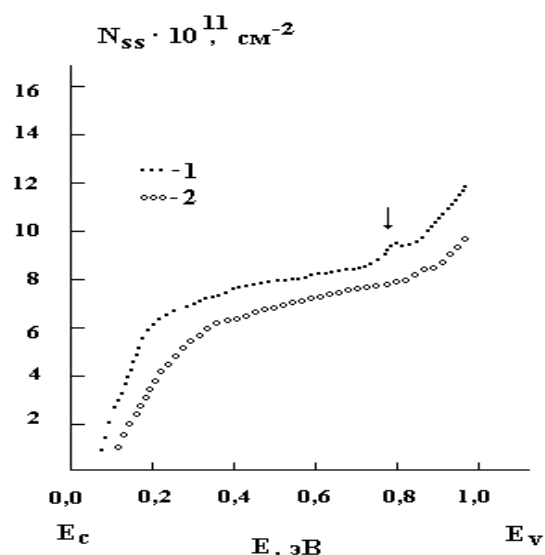
Шу қурилмадан фойдаланиб, куйидаги Al – SiO₂ – Si таркибдаги металл-диэлектрик-яримўтказгич структуранинг қоронғуликдаги юқори частотали C-V ҳарактеристикаларини 21⁰ С температурада ва 150 кГц частотада ўрганилди (3-расм).

Бу ҳарактеристикаларда – 0,5 В ли кучланиш қийматида монотонлик бузилган. Бу бузилиш сирт ҳолат зичлигининг тақиқ зона бўйлаб тақсимотидаги ўзгаришни кўрсатади. Шу структура учун сирт ҳолатларининг яримўтказгич тақиқ зонаси бўйлаб интеграл тақсимотида 0,5 В кучланишга мос келган $E_C = 0,75$ эВ энергия қийматида ҳам номонотонлик кузатилади (4-расм).

$E_C = 0,75$ эВ энергия қийматида локал максимум кузатилди. Умуман, сирт ҳолат зичлигининг тақиқ зона бўйлаб бундай номонотон ўзгариши яримўтказгичдаги киришма марказлари туфайлими ёки яримўтказгичга ёпишган диэлектрик қатлам туфайли рўй берадими, буни билиш учун диэлектрик қатламни кимёвий усулда олиб ташлаб, олтинни пуркаш йўли билан Шоттки баръери ҳосил қилиниб, изотермик релакция усули ёрдамида киришма марказларининг концентрацияси ва энергия қийматлари аниқланди.



3-расм. Al – SiO₂ – n – Si структурани юқори частотали вольт – фарада ҳарактеристикаси (диэлектрик қатлам сифими C₀ катталиги бўйича нормаллаштирилган).

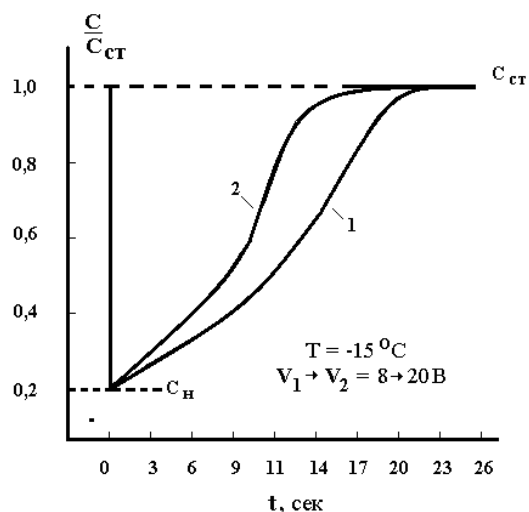


4-расм. Тадқиқ этилаётган структураларда Si тақик зонаси кенлиги бўйича сиртий ҳолатлар зичлигининг интеграл тақсимланиши. (1 – намуна, 2 – термик ишловдан кейин)

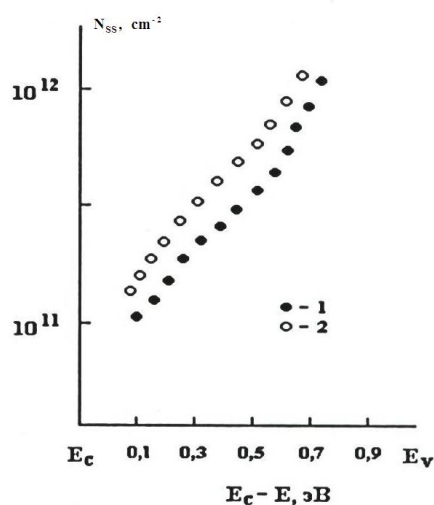
Шоттки диодларининг тақик зонасида E_c яқинида – 0,43 эВ энергияли ва $4 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ концентрацияли генерация марказлари борлиги аниқланди. Кучланиш ишора қийматининг ўзгариши орқали қайта зарядланиши мумкин бўлган 10^{12} см^{-3} дан юқори марказларнинг борлиги аниқланмади. Бу эса сирт ҳолат зичлигидаги номонотонликка сабаб яримўтказгич таглик бўла олмаслигини кўрсатади. Энди бу номонотонликка сабаб диэлектрик қатлам бўлиши мумкинлигини аниқлаш мақсадида структурага термик ва юқори майдон таъсирида 12 соат ишлов берилди. Назорат ўлчовларининг кўрсатишича, C-V ҳарактеристика манфий томонга бир оз силжиса-да, умумий шакл сақланиб қолади. Бу эса диэлектрик қатлам ҳам сирт потенциали тақсимотига жавобгар эмаслигини кўрсатади. Демак, сиртий ҳолат зичлигининг номонотон тақсимотига яримўтказгич-диэлектрик чегара соҳасида локаллашган марказлар сабаб бўлар экан. Кичик камайтирувчи кучланишларда бу марказ нейтрал бўлади. Катта инверс кучланишларда улар ионлашиб электронлар инверс соҳа зарядини камайтиради. Тўла ионлашиб бўлганда, инверс соҳа заряди яна ортади ва сифимнинг камайиши давом этади.

Қуйида Si–шиша бўлиниш чегарасида локаллашган сирт зарядлари зичлигининг шишали диэлектрик қатламни қоплаш технологияси билан бўладиган термик ишлов бериш режимига боғланиш натижалари келтирилган. Металл-шиша-яримўтказгич структуралар сифимининг изотермик релаксацияси усулидан (структурага қўйилган кучланишни V_1 дан V_2 га ўтказгандан сўнг $|V_2| > |V_1|$ инверс қатламда заряд юзага келиш жараёнидан) фойдаланилди.

Солиштирма қаршилиги 5 Ом см бўлган кремний асосда тайёрланган 2 та структуранинг релаксация боғланиши ва интеграл зичлик тақсимотлари 5 – 6-расмларда келтирилган. Биринчи боғланиш $T=670^{\circ}\text{C}$ температурада эритишдан ҳосил бўлган структура учун бўлса, иккинчиси $T=720^{\circ}\text{C}$ температурага тўғри келади.



5-расм. Ўрганилаётган структураларнинг релаксацион боғланиши.

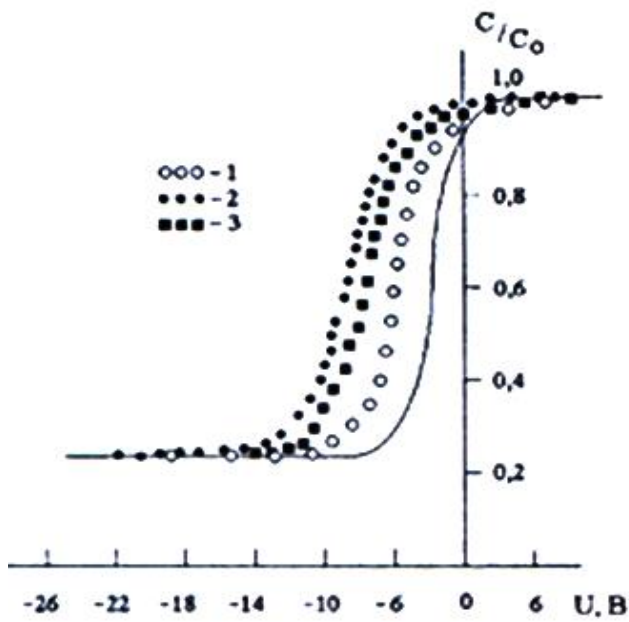


6-расм. Сирт ҳолатлар интеграл зичлигининг тадқиқот структураларидаги тақсимоти.

Келтирилган боғланишлардан кўрамизки, ҳар икки структура учун ҳам сирт ҳолатлари интеграл зичлиги тақсимоти бир хил кўринишга эга. Лекин юқори температурада эритилган структураларда сирт ҳолат зичлигининг абсолют қиймати нисбатан юқорироқ бўлади. Бу натижалардан айтиш мумкинки, шишани 720°C температурада эритилиб тайёрланган структураларда инверс қатламда заряд ҳосил бўлиш тезлиги яримўтказгич-шиша бўлими чегара соҳасида локаллашган электрон ҳолатлари зичлигининг ортиши туфайли рўй беради. Демак, сиртни кўрсатилган таркибдаги кўрғошин-бор-силикатли шиша билан пассивлаштириш учун шиша қоплама шакллантирилаётганда уни 670°C температурада эритиш мақсадга мувофиқ экан.

Кейинги тадқиқотларда Si–шиша фазалараро чегара соҳаси хоссаларига протон нурланишли ишлов таъсири ўрганилиб, тайёрланган структуралар $1,5\text{ МэВ}$ (протон/см²) дозали протонлар нурланишига учратилди.

7-расмда тадқиқ этилаётган структураларнинг шиша қатлами сифимига нормаллаштириб ҳисобланган (узлуксиз боғланиш) ва тажрибадаги (1–3) C–V характеристикалари келтирилган. Бунда 1-боғланиш назорат структурага мос келади, 2-боғланиш протонлар билан нурлатилган структураларга мос келади, 3-боғланишни протон нурланишдан сўнг 250°C температурада 40 минут давомида термик ишлов берилгандан кейин олинган. C–V боғланишда манфий кучланишлар томон силжиши чегара соҳасида локаллашган ёки шишанинг чегара соҳаси яқинида туриб олган мусбат заряд

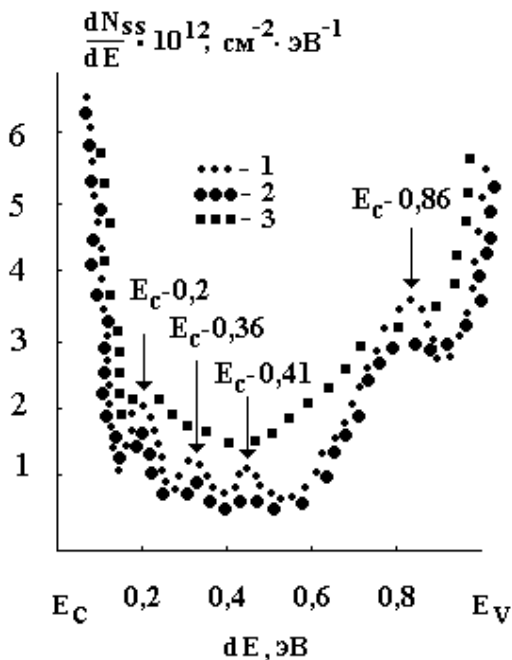


7-расм. Тадқиқ этилаётган тузилмалар C-V характеристикалари.

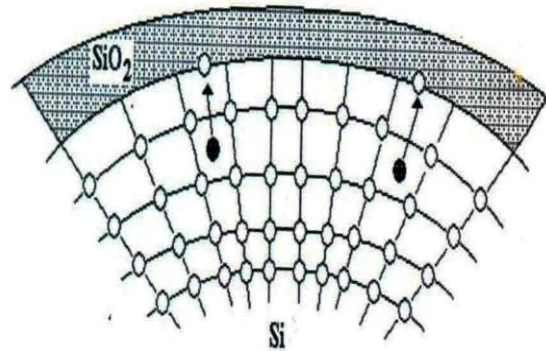
мавжудлигини кўрсатади. Термик ишлов эса мусбат заряднинг камайишига олиб келади.

Сўнгра термоцикли ишловнинг сирт ҳолат зичлигига таъсири ўрганилиб, унда Al-SiO₂-n-Si<Ni> структураларни 20 секунд давомида суюқ азотда ушлаб туриб, кейин атмосферага чиқариш билан бажарилди. Натижалар 8-расмда кўрсатилган.

Расмда термик ишловсиз синов Al-SiO₂-n-Si<Ni> структураси учун ва 15-20 марта термик ишловдан сўнг олинган дифференциал тақсимотлар алоҳида келтирилган. Сирт ҳолатлари зичлиги тақсимотида маҳаллийлашган максимумлар йўналиш



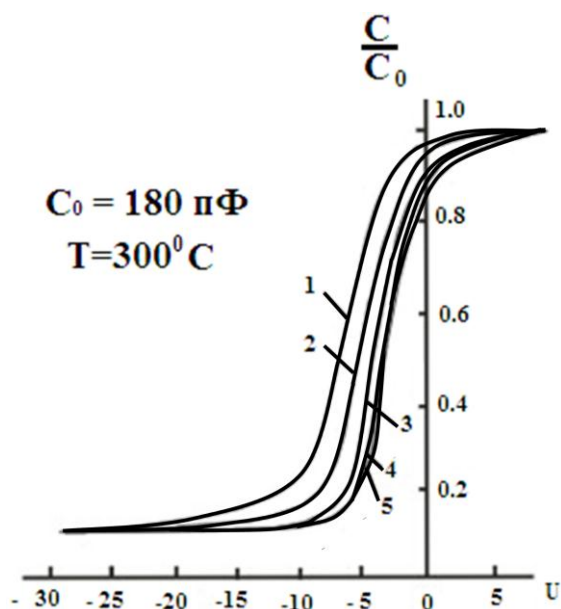
8-расм. Тақққ этилган структураларда сирт ҳолат зичлигининг тақсимоти: 1-термик ишловгача, 2 – 15та термик ишловдан кейин, 3 – 30та ишловдан сўнг.



9-расм. Механик кучланиш майдонида киришма атомлари миграцияси туфайли сирт ҳолатлари зичлиги камайишининг содда модели.

билан кўрсатилган. Келтирилган боғланишлардан кўринадики, биринчи 10 - 15 мартали термик ишлов берилганда сирт ҳолатлари зичлиги тақсимооти бироз текисланиб, абсолют қиймат жиҳатдан камаяди. Сирт ҳолат зичлиги тақсимоотининг бундай ўзгариши умумий интеграл мусбат заряднинг камайишини кўрсатади.

Сирт ҳолат зичлигининг бундай ўзгаришини қуйидаги физик модел асосида изоҳлаш мумкин. Кремний оксидининг 25°C иссиқлик кенгайиш коэффиценти $4 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$ бўлса, кремний кристалининг шу шароитдагиси $5,75 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. Шунинг учун хона температурасида диэлектрикнинг чегара соҳаси томонидаги қатлам бир оз чўзилган бўлса, кремний қатлами бир оз сиқилган. Механик кучланишлар катталигидаги фарқ узилган валент боғлар ҳосил бўлишига ва сиртда донор типидagi электрон ҳолатларининг юзага келишига олиб келади. Температура пасайганда, механик кучланишлар орасидаги фарқ янада ортади. Лекин исиш-совиш орқали бўладиган таъсир



10-расм. Тадқиқ этилаётган структуралардан бирининг вольт-фарад характеристикасини (шиша қатлами сифимига нормаллаштирилган) (1) – бойитувчи кучланиш кўйилгунга қадар, (2-4) – бойитувчи кучланиш кўйилгандан сўнг ва (5) – 4 кБар босимда ҳар томонлама сиқувдан кейинги боғланишлари.

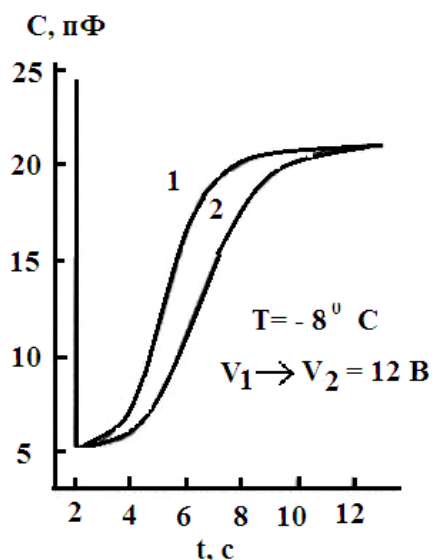
тугунлараро электр активлиги бўлмаган киришма марказларининг Si-SiO₂ чегара соҳаси томон миграциясига олиб келади (9-расм). Улар энди кремнийдаги кучланишли ва узилган валент боғлар билан таъсирлашиб, сирт ҳолатлари мусбат зарядларини камайтиради.

Шунингдек, бу бўлимда ярим-ўтказгичли тагликдан инжекцияланаётган электронларнинг шиша тузилишида туриб олган мусбат заряд катталигига таъсир натижалари ҳам келтирилган. 10-расмда қоронғуда, 150 кГц частотада ўлчанган тадқиқот структураларининг C-V характеристикалари келтирилган.

Бойитувчи импульс кучланиши кўйилгунга қадар (1-боғланиш), бойитувчи кучланиш кўйилгандан сўнг (50 В, давомийлиги 0.2 - 0.4 сек. 2 – 4 боғланишлар мос ҳолда), бойитувчи кучланиш таъсиридан ва 4 кБар катталиқ билан ҳар томонлама гидростатик босимдан кейин (5-боғланиш). Импульсли таъсир натижасида C-V характеристика мусбат кучланиш томонга силжийди. Мавжуд назарияларга кўра, n-тип ўтказувчанликка эга яримўтказгич асосида тайёрланган МДЯ структуралар учун C-V характеристикаларнинг мусбат кучланиш томон силжиши шиша тузилишдаги мусбат (фиксирланган) зарядни камайишини кўрсатади. Қўрғошин-бор-силикатли шиша

структурада мусбат заряднинг камайиши яримўтказгичдан инъекцияланган электронларнинг осон кутбланувчи кўрғошин ионлари яқинида локаллашиши ва уларнинг кристалл фаза киришмалари потенциал тўсиқларида тўпланишидан юзага келиши мумкин. Бу фаразни текшириш учун шу технология усулида, лекин PbO миқдори кам бўлган ўхшаш структуралар тайёрланди. PbO миқдори камайтирилган структурага импульсли кучланиш таъсири натижасида C–V характеристиканинг мусбат томонга силжиши анча камайиб кетди, айрим алоҳида структуралар учун ҳатто кузатилмади ҳам. Ҳар томонлама босим эса яримўтказгич билан чегара соҳасига яқин ҳолат зичлигининг камайишига ва ўз навбатида инверс қатламда заряд камайишига олиб келади.

«Металл-шиша-яримўтказгич структуралар релаксация характеристикаларига ташқи ишловларнинг таъсири» номли IV бобда дастлаб металл-диэлектрик-яримўтказгич структураларнинг релаксация хоссаларига ҳар томонлама сиқув, ўта юқори частотали ва ультратовушли ишлов таъсири натижалари келтирилган бўлиб, уларнинг сифат жиҳатдан 11-расмда келтирилган ультратовуш таъсирида кузатилган релаксация боғланишига ўхшашлиги кўрсатилган.



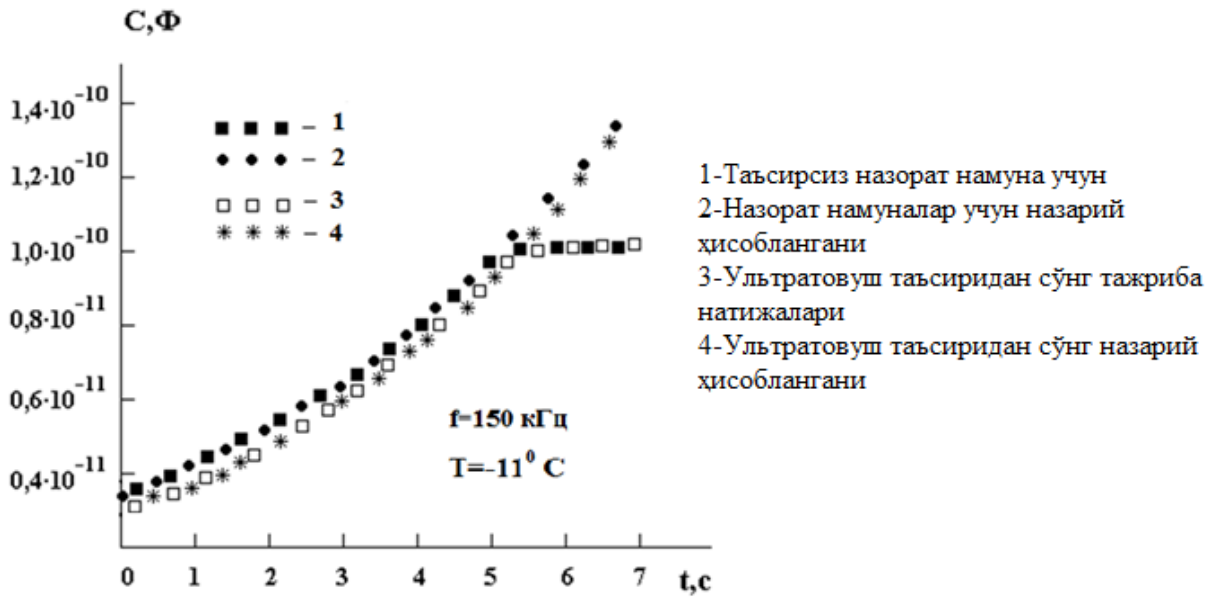
11-расм. Тадқиқ этилаётган структураларнинг тажрибадаги релаксация боғланиши.

11-расмда тадқиқ этилаётган структуралардан бирининг 80°C температурада, қоронғуликда инверс кучланишни 8 Вольтдан 20 Вольтга ўзгартирилгандан кейин ўлчанган сиғим релаксация боғланиши келтирилган. Бу ерда 1-боғланиш назорат структурага, 2-боғланиш эса ультратовуш таъсирига учратилган структуралар учун келтирилган. Боғланишлардан кўринадики, назорат структура сиғими ўзининг мувозанат ҳолатига тезроқ релаксацияланади.

Инверс соҳа зарядининг шаклланиш тезлиги ҳажмий ва сиртий генерация тезликлари билан белгилангани учун уларнинг улушини аниқлашда II бобда келтирилган (1) ва (2) формулалар ёрдамида ҳар бир ҳолат учун тажрибавий $C(t)$ боғланишдан фойдаланиб ҳисоблангани билан тажриба натижаларини солиштириш орқали олинган $C(t)$ боғланишлар 12-расмда келтирилган.

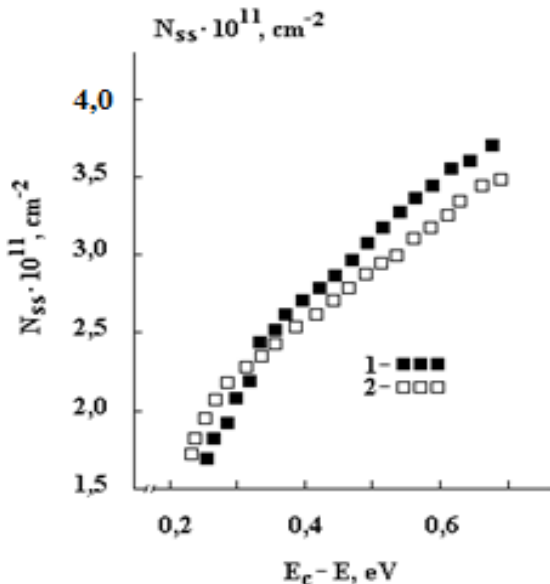
Олинган натижалардан сиртий S ва ҳажмий A генерация тезликларининг $A = (8-9) \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-3}$ ва $S = (1-2) \cdot 10^9 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2}$ қийматларида яхши мослик кузатилди. Бу ҳолат ультратовуш таъсирида яримўтказгич ҳажмидаги киришма марказларини энергетик тақсимоти деярли ўзгармаслигини кўрсатди. Сиртий генерация тезлигининг назоратдаги ($S = 4 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2}$) қийматдан ультратовуш таъсиридан сўнг ($S = (1-2) \cdot 10^9 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2}$)

пасайиши сиртий ҳолат зичлиги ўзгариши билан боғлиқ. Бу фарзани текшириш учун ҳажмий генерация тезлигини белгиловчи асосий факторлар,



12-расм. Назорат намуналаридан бирининг кучланиши $V_1 \rightarrow V_2$ ($V_1 = 8, V_2=15 \text{ В}$) улангандан кейинги 150 кГц частотада -11°C температурада ўлчанган тажрибавий (1,3-боғланиш) ва назарий (2,4-боғланиш) $C(t)$ боғланиши.

яъни яримўтказгич ҳажмида локаллашган чуқур энергетик спектрлар ва уларнинг концентрацияси ҳамда заряд ташувчиларнинг яшаш вақти каби катталиклар аниқланди. Бунинг учун шиша қатлами олиб ташланиб, Шоттки диоди тайёрланди. Назорат намуналаридан бирининг кучланиши $V_1 \rightarrow V_2$ ($V_1 = 8, V_2=15 \text{ В}$) ўзгартиргандан кейинги 150 кГц частотада, -11°C температурада сиғим изотермик релаксацияси усули ёрдамида энергетик тақсимот ва диоднинг база соҳасида локаллашган киришма марказлари концентрацияси аниқланди. Барча Шоттки диодларида – назоратдагисида ҳам, ультратовуш таъсирига учрагандан сўнг тайёрланган структураларда ҳам киришма марказлари энергетик ҳолати ($E_V=0,27\text{эВ}$ ва $E_C=0,54\text{эВ}$, шунингдек, уларнинг концентрацияси $n=(3-5)10^{12}\text{см}^{-3}$) амалда бир хил (турли диодлар учун бу қийматларнинг четланиши 5–7% ни ташкил этади) ва тажриба хатолиги ичида ётади. Фикримизча, булар ультратовуш таъсирида ҳажмий генерация марказлари параметрларига таъсир қилмаслигини

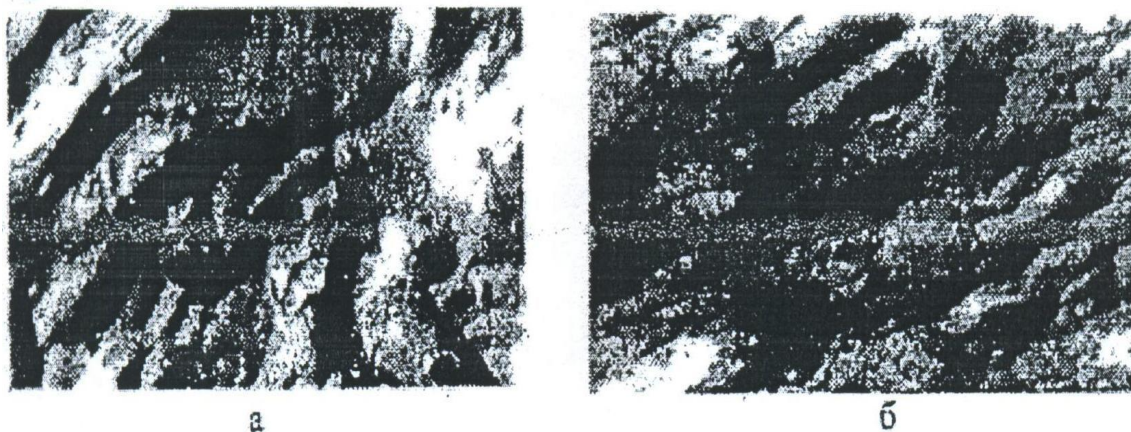


13-расм. Структура яримўтказгич тақик зонаси кенлиги бўйлаб сиртий ҳолатлар интеграл зичлиги тақсимоти. 1-боғланиш назорат намунаси, 2-боғланиш ультратовуш таъсиридан сўнг.

кўрсатади. Юқори частотали $C-V$ усули ёрдамида сирт интеграл ҳолат зичлигини ўлчашлар (13-расм) ультратовуш таъсирига учратилган структураларда (2-боғланиш) сиртий ҳолатлар интеграл зичлиги тақсимоти назорат намуналарига нисбатан (1-боғланиш) камайишини кўрсатади.

Бу камайиш энергиянинг $E = E_C - 0,4эВ$ қийматидан катта қийматларида сезиларли бўлади. Бундай яримўтказгич чегара соҳасида локаллашган заряд зичлигининг камайиши босим, ўта юқори частотали, протон нурланишли ва термоцикли ишловлар таъсирида ҳам кузатилди.

Кремнийни тақик зонаси бўйлаб сирт ҳолатлари зичлигининг спектрал тақсимоти ультратовуш таъсиридан сўнг деярли ўзгармагани учун, металл-шиша-яримўтказгич структураларда ультратовуш таъсири яримўтказгич-шиша чегара соҳасидаги шиша қатламлари структурасида ўзгаришга олиб келади деб айтиш мумкин. Ультратовуш таъсиридан сўнг сиртий генерация тезлигининг камайиши ва унинг вақт бўйича ўзгаришига, шиша таркибидаги кристалл қўшимчалар чегара соҳасининг кенглиги ва сони камайишига сабаб бўлиши мумкин. Буни текшириш учун МДЯ структурадан химик усулда бошқарув электроди олиб ташланди. Сўнгра шиша сиртининг микрофотографияси олинди.



14-расм. Тадқиқ этилаётган структуралар сиртининг микрофотографияси а) ультратовуш таъсиригача. б) $P=0.5 \text{ W/cm}^2$ қувватли ультратовуш $t=90$ мин. таъсир этгандан сўнг.

14-расмда 2800 марта катталаштирилган иккала структурадаги шиша сиртининг микрофотографияси келтирилган. Расмларни таққослашдан ультратовуш таъсир этган структураларда шиша сирти бироз турли қўшимча ва нотекикликлардан холи бўлгани кўринади.

Ультратовуш таъсиридан сўнг сиртий заряд ташувчилар генерацияси тезлигининг камайиши билан шиша таркибига кирувчи кристалл қўшимчалар сони ва уларнинг чегара соҳалари узунлигининг камайиши ўртасидаги ўзаро мослик кузатилишидан айтиш мумкинки, ультратовушли ишлов чегара соҳаларидаги зўриққан валент боғларнинг қайта тақсимотига олиб келиб, генерация-рекомбинация хоссаларини яхшилайд.

ХУЛОСА

МДЯ структуралар чегара соҳасидаги физик жараёнларга таъсир этувчи омилларни ўрганиш асосида:

1. Al-Si- қўрғошин-бор-силикатли шиша-Al- структуралар чегара соҳасида заряд ташувчилар динамикасига турли хилдаги ташқи таъсирлар натижалари комплекси ўрганилган.

2. Қўрғошин-бор-силикатли шишанинг эриш температураси 670°C дан юқори бўлганда, шишанинг чегара соҳасида локаллашган электрон ҳолатлари зичлигининг ортиши аниқланган.

3. Электронлар инъекцияси натижасида Si – қўрғошин-бор-силикатли шиша структуралар инверс қатламида заряд шаклланиш тезлигининг камайиши кузатилган ва бу камайиш қўрғошин ионларида ушлаб қолинган электронларнинг чиқариб юборилиши ва уларнинг инверс қатлам зарядлари билан таъсирлашуви туфайли эканлиги аниқланган.

4. Al-n-Si – шиша – Al структураларга 2,5 МГц частотали, 0,5 Вт қувватли ультратовуш билан 40 минут давомида таъсир эттирилганда, яримўтказгич-шиша чегара соҳасида локаллашган электрон ҳолатлари интеграл зичлигининг камайишига олиб келиши ва яримўтказгичдаги ҳажмий электрон ҳолатлари энергетик спектрига таъсир этмаслиги кўрсатилган.

5. МДЯ структураларнинг ҳар томонлама ўта юқори частотали ишловга учратилиши сирт ҳолат зичлигининг ўзгаришига ва сиртий генерация токининг камайишига олиб келган. Сирт генерация токининг камайиши фотосезгирликни ортишига олиб келган.

6. Протон билан нурлантирилган структураларнинг чегара соҳасида мусбат заряднинг ортиши ва кейинги термик ишлов берилиши узилган боғларнинг тикланишига ва ўз навбатида Si-шиша чегара соҳаси яқинида локаллашган мусбат заряднинг камайишига олиб келиши кузатилган.

7. МДЯ структуралар сиғим релаксацияси орқали назарий ҳисобланган фазовий заряд соҳа кенглигининг вақтга боғланишидан ҳажмий ва сиртий генерация тезликларини аниқлаш усули таклиф этилган.

8. Термоциклик ишлов таъсирида сиртий ҳолатларнинг мусбат зарядлари зичлиги камайишини тушунтирувчи физик модел таклиф этилган. Исиш ва совиш цикллари тугунлараро электр активлиги бўлмаган киришма марказларининг Si-SiO₂ чегара соҳаси томон миграциясига олиб келган. Улар кремнийдаги кучланишли ва узилган валент боғлар билан таъсирлашиб сирт ҳолатлари мусбат зарядларини камайтирган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD. 28.02.2018. FM.60.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ПРИ АНДИЖАНСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ**

НАМАНГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

КУЧКАРОВ БЕХЗОД ХОШИМЖОНОВИЧ

**ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕЖФАЗНЫХ ГРАНИЦ РАЗДЕЛА
ПОЛУПРОВОДНИК-ДИЭЛЕКТРИК**

01.04.10 – Физика полупроводников

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

Андижон – 2018

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2017.1. PhD/FM42.

Диссертация выполнена в Наманганском государственном университете.

Автореферат диссертации на двух языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.adu.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу www.ziyo.net/uz.

| | |
|-------------------------------|--|
| Научный руководитель: | Маматкаримов Одилжон Охундаевич, доктор физико-математических наук |
| Официальные оппоненты: | Каримов Абдулазиз Вахитович доктор физико-математических наук, профессор Каримов Иброхим Набиевич доктор физико-математических наук |
| Ведущая организация: | Ферганский государственный университет |

Защита диссертации состоится «__» _____ 2018 года в ____ часов на заседании Научного совета PhD. 28.02.2018.FM.60.01 при Андижанском государственном университете. (Адрес: 170100, г. Андижан, ул. Университетская, дом 129. Зал конференций Андижанского государственного университета Тел./Факс: 0(374) 233-88-30; e-mail: agsu_info@edu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Андижанского государственного университета (зарегистрирована за № ____). Адрес: 170100, г. Андижан, ул. Университетская, дом 129. Зал конференций Андижанского государственного университета Тел./Факс: 0(374) 233-88-30; e-mail: agsu_info@edu.uz).

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2018 г.
(протокол рассылки № _____ от «__» _____ 2018 г.)

С.З.Зайнабидинов

Председатель научного совета по присуждению
ученой степени, д.ф.-м.н., академик

А.О.Курбанов

Ученый секретарь научного совета по
присуждению ученой степени, к.ф.-м.н.,

М.З.Носиров

Заместитель председатель научного семинара при
научном совете по присуждению ученой
степени, к.ф.-м.н., доцент

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время в мире уделяют большое внимание повышению стойкости и устойчивости к внешним воздействиям рабочих характеристик полевых транзисторов, элементов памяти, микросхем, создаваемых на основе металл-диэлектрик-полупроводника (МДП), которые являются базовыми элементами современной электроники.

В этом отношении имеет особое значение исследование, посвященное углубленному пониманию механизма физических процессов, происходящих на границе раздела полупроводник-диэлектрик. В этом аспекте целевые научные исследования, в том числе изучение практического решения научных задач являются важными по следующим направлениям: повышение степени интеграции устройств, созданных на основе МДП структур; управление с высокой точностью скоростью формирования носителей заряда на границе фаз раздела диэлектрик-полупроводник; обеспечение стойкости к различным внешним воздействиям устройств на основе МДП структур.

В соответствии со «Стратегией действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» является важным поощрение научно-исследовательской и инновационной деятельности, обращение особого внимания на задачи создания эффективного механизма применения на практике научных и инновационных достижений, в том числе, в области полупроводниковой физики, уделялось особое внимание получению многослойных МДП структур на основе кремния, устойчивых к внешним воздействиям.

Настоящее диссертационное исследование в определенной степени служит ответственному выполнению задачи, предусмотренной в ряде указов и Постановлений Президента страны, в том числе в Указе Президента № УП-4947 «О мерах по дальнейшей реализации Стратегии действий по развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годах», от 7 февраля 2017 года и в Постановлении Президента № ПП-2772 «О приоритетных направлениях развития электротехнической промышленности в 2017-2021 гг.», от 13 февраля 2017 года, и № ПП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности» от 17 февраля 2017 года, а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере и изложенных в соответствующих законодательных актах.

Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики. Настоящая работа выполнена в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики Узбекистан «III. Развитие использования источников возобновляемой энергии».

Степень изученности проблемы. Ряд работ выполнен по изучению различных внешних воздействий на свойства переходных слоев полупроводник-диэлектрик, из которых многие посвящены широко

используемым структурам, состоящим из кремния-диоксида кремния. Исследованиями электрофизических свойств трехслойных структур занимаются в научно-исследовательских центрах ведущих стран мира. В частности М.Шимбо, С.Таи, М.Киоши (Япония), В.Керн, Г.Л.Счанабл (США), П.С.Винокукс, И.Броесч (Англия) исследовали механизмы образования поверхностных зарядов в МДП структурах. Широко изучено российскими учёными А.А.Лебедевым, Л.С.Берманом, В.И.Фистулем, А.С.Барабаном, П.П.Коноровым, действие локализованных центров на механизм образования носителей заряда на поверхности полупроводника. Узбекские академики М.С.Саидов, Р.А.Муминов, А.Т.Мамадолимов внесли достойный вклад в просветление механизма электрофизического процесса в полупроводниковых структурах. Методы управления свойствами полупроводника введением различных примесей развиты академиками М.Баходирхоновым и С.З.Зайнабидиновым, а также известными учёными К.П.Абдурахмановым, А.В.Каримовым и другими. На физическом факультете НУУз и Физико-техническом институте АН РУз под руководством С.И. Власова изучены результаты различных внешних воздействий на физические процессы, происходящие в разделе граничных фаз диэлектрического слоя, состоящего из плёнки кремния n-типа с различными примесями и два оксида кремния. В том числе, Ш.Х.Далиевым, П.Б.Парчинским и другими изучены влияние внешних давлений, температуры, электрического поля, ультразвуковой и термоциклической обработки гамма и протонного излучения и др. на рабочие характеристики граничной фазы между поверхностью кремния n-типа и плёнки диоксида-кремния. В последние годы С. Власов, И.Каримов, М.Эргашева и другие показали, что вместо диэлектрического слоя, состоящего из плёнки диоксида-кремния, можно использовать легкоплавкий и не приводящий к термодетектам на поверхностях, диэлектрический слой, состоящий из свинцово-боро-силикатного стекла.

Однако в этих структурах еще не изучено действие самого диэлектрического покрытия и различных внешних воздействий на динамику носителей заряда на границе раздела фаз. Также не рассмотрены пути эффективного использования, определяя динамику направления изменения рабочих характеристик приборов, имеющих структуру МДП, в результате изучения различных внешних воздействий на фазы границы раздела структур МДП.

Связь исследования с тематическими планами научно-исследовательских работ высшего учебного заведения, где выполнена диссертация. В Наманганском государственном университете диссертационное исследование выполнено в рамках плана И.О.Т.-2017-7-1 «Разработка производства сухих смазочных композиций на основе местного сырья» (2017 г.)

Целью исследования является определение значимых факторов в динамике носителей заряда на основе изучения результатов всех внешних воздействий на физические процессы, происходящие на границе раздела фаз

в структурах МДП, образованных покрытием на поверхность кремния n-типа свинцово-борного-силикатного стекла.

Задачи исследования:

для всех видов воздействия применяемые в исследовании рабочие формулы привести в общий вид;

определить влияние температуры оплавления стекла на параметры границы раздела фаз полупроводник-стекло;

изучить влияние всестороннего давления, протонного излучения, ультразвуковых, СВЧ, и термоциклических обработок на динамические характеристики граничных фаз диэлектрик-полупроводник;

сравнивая результаты по распределению плотности состояний, определяемые методом C-V характеристики, выявить роль каждого внешнего воздействия на скорости формирования заряда.

Объекты исследования является структуры металл (Al) - свинец-бор-силикатное стекло (типа $PbO-SiO_2-B_2O_3-Al_2O_3-Ta_2O_5$), состоящие из кристаллического кремния n-типа с кристаллическим направлением $\langle 100 \rangle$ и структуры Al-Si-SiO₂.

Предметом исследования является изучение физических процессов, происходящих на границе раздела структур металл-полупроводник-диэлектрик Al-SiO₂-n-Si и Al-Si-стекло. Определение методом вольт-фарадных характеристик распределения плотности поверхностных состояний по ширине запрещённой зоны Si, обобщая результаты различных внешних воздействий на эти процессы, определить факторы влияющие на динамику носителей заряда.

Методы исследований. Для проведения исследований использовались методы высокочастотной вольт-фарадной характеристики, изотермическая релаксация ёмкости диодов Шоттки, ёмкостной релаксации в процессе образования заряда в инверсном слое трехслойной структуры, измерения тангенса угла диэлектрических потерь.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

при температуре плавления свинцово-боросиликатного стекла выше, чем 670⁰ С растет плотность электронных состояний локализованных на границе раздела фаз;

основной причиной, уменьшение скорости формирования заряда инверсионного слоя, в структурах, подвергнутых электронной инжекции, является высвобождение электронов, захваченных ионами свинца и взаимодействие их с зарядом инверсионного слоя;

предложена методика определения величин скорости поверхностной и объемной генерации носителей заряда, используя расчётную временную зависимость ширины области пространственного заряда (ОПЗ) при сравнении её с экспериментальной зависимостью;

ультразвуковая обработка структур Al-n-Si – стекло – Al, частотой 2,5ГГц мощностью 0,5 Вт, в течение 40 минут приводит к уменьшению скорости формирования заряда инверсионного слоя. Это обусловлено уменьшением интегральной плотности электронных состояний,

локализованных на межфазной границе раздела полупроводник-стекло и не влияет на энергетический спектр объемных электронных состояний в полупроводнике;

всестороннее сверх высоко-частотная обработка структур МДП на основе кремния приводит к изменению плотности поверхностных состояний и, следовательно, к уменьшению поверхностных генерационных токов, способствует повышению фоточувствительности;

протонное облучение приводит к повышению плотности поверхностных состояний и последующая термическая обработка облученных протонами структур способствует некоторому восстановлению оборванных валентных связей, что приводит к уменьшению положительного заряда, локализованного вблизи межфазной границы раздела;

предложена физическая модель, объясняющая уменьшение плотности поверхностного положительного заряда, при термоциклической воздействии.

Практические результаты исследования состоят в следующем:

разработан метод качественной оценки диэлектрического слоя на основе изучения температурной зависимости неравновесной релаксации емкости МДП структур при термоциклической обработке;

структуры, подвергнутые СВЧ обработке, давлению, ультразвуковым, температурным и радиационным воздействиям, можно использовать для улучшения рабочих параметров цифровых микроэлектронных устройств и интегральных микросхем.

Достоверность результатов исследования. Современные методы исследования и статистика при обработке независимых друг от друга экспериментов, а также совпадение экспериментальных результатов, полученных для структур n-Si-<Au>, n-Si-стекло, n-Si-<Au> другими авторами, обеспечивают достоверность результатов.

Научно-практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследований заключается в том, что разработаны научно-практические основы создания структур металл-диэлектрик-полупроводник с данными физическими характеристиками.

Изучен физический механизм формирования плотности поверхностных состояний при различных внешних воздействиях на переходный слой границы диэлектрик-полупроводник и получены новые результаты об их составе, строении и электрофизических свойствах.

Управление электрическим полем рабочих характеристик приборов с зарядовой связью, изготавливаемых из МДП структур, в основном, осуществляется динамикой зарядов на границе диэлектрик-полупроводник. Изучение динамики изменения подвижных зарядов при различных внешних воздействиях расширяет представление о формировании, скорости, количестве, подвижности зарядов.

Практическая значимость результатов исследования состоит в том, что созданные технологические разработки на основе МДП можно использовать при создании приборов, необходимых в микроэлектронике и высокочастотной электронике.

Внедрение результатов исследования. На основе определения стабильности и надежности характеристик по влиянию различных внешних воздействий металл–стекло–полупроводниковых структур на основе кремния:

разработанный механизм образования свободных носителей заряда, скорость формирования и изменения величины заряда использованы в АО «FOTON» Акционерной компании «Узэлтехсаноат» (Справка АК «Узэлтехсаноат» № 02-1953 от 25 сентября 2017 года) при создании с положительными характеристиками МДП транзисторов. Применение научных результатов позволило повысить быстродействие на десятки раз, уменьшить токи утечки 5-10 раз транзисторов на основе диэлектрик-полупроводниковых структур;

результаты по формированию плотности поверхностных состояний по запрещенной зоне металл-диэлектрик-полупроводниковых структур использованы в проекте Ф-2-21–«Математическое моделирование определения плотности поверхностных состояний на границе полупроводник-диэлектрик» (Справка агентства науки и технологии Республики Узбекистан ФТА – 02 – 11/1068 от 13 ноября 2017 года.) при определении влияния плотности поверхностных состояний на физические процессы в межфазной границе металл-диэлектрик-полупроводник. Использование научных результатов позволило определить роли влияющих факторов на формирование заряда на граничной фазе металл-диэлектрик-полупроводниковых структур.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на 4 международных и 12 республиканских конференциях.

Публикация результатов исследования. По результатам диссертации опубликовано 27 научных работ, из них 11 статьи в реферируемых зарубежных и республиканских журналах, а остальные – в трудах международных и республиканских конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы. Текст диссертации состоит из 118 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В введении обоснована актуальность диссертационной темы, изложены цель и задачи работы, показана научная новизна и практическое значение, а также приведены сведения о внедрении результатов исследования и об опубликованных работах.

В первой главе диссертации – **«Факторы, влияющие на свойства границы раздела МДП структур»** – проанализированы результаты исследованных работ по изучению влияния различных внешних воздействий на электрофизические свойства граничной области диэлектрик - полупроводник и отмечено, что эти исследования, в основном, посвящены МДП структурам со слоями Si-SiO₂, полученным термическим окислением кремния. Ввиду того, что высокотемпературное термическое окисление приводит к изменению центров и некоторых параметров поверхности кремния, показано вместо такого диэлектрического слоя преимущество использования легкоплавкого свинцово-боро-силикатного стекла, позволяющего совмещать высокие изоляционные характеристики и простоту получения диэлектрических покрытий, также возможности их широкого использования в микроэлектронике. Приведены анализы работ по влиянию внешних воздействий на характер изменения плотности поверхностных состояний по запрещенной зоне на границе диэлектрик-полупроводник. Указывая преимущество и перспективы использования свинцово-боро-силикатного стекла в качестве диэлектрического покрытия, отмечено, что на сегодняшний день влияние различных внешних воздействий на электрофизические свойства металл-стекло-полупроводник (МСП) в достаточной степени не изучены.

Также показана необходимость изучения влияния самого диэлектрического слоя и его температуры оплавления на распределение плотности поверхностных состояний на границе стекло-полупроводник. Изложены возможности обеспечения стабильной и надежной работы рабочих характеристик трехслойных структур изучением влияния различных внешних воздействий таких, как давление, поле, температура, радиация, СВЧ и ультразвуковая обработка на электрофизические характеристики границы раздела МСП структур.

Во второй главе **«Методы определения емкости и релаксационные характеристики МДП структур»** изложены методы покрытия диэлектрического слоя на поверхность кремния различным выбором состава компонентов и массовой долей свинцово-борного-силикатного стекла для приготовления образца.

Показаны рабочие формулы для определения электрофизических параметров на границе раздела Si-стекло, метод высоко частотной вольт-фарадной характеристики, которые описывают определения плотности поверхностных состояний на границе раздела Si-стекло.

Существование смешанных или ионных центров (особенно, в концентрационном распределении) на основе полупроводников в структурах

МДП значительно воздействует на спектр распределения плотности поверхностного состояния по ширине запрещенной зоны полупроводника. Иначе говоря, существование заряженных центров в диэлектрическом слое вблизи поверхности границ с полупроводником, изменяет вольт-фарадную характеристику МДП структуры влиянием на распределение плотности поверхностных состояний. Для изучения распределения плотности поверхностных состояний по запрещенной зоне обычно используется высокочастотная C-V характеристика МДП структур в темноте. Изложено, что использованный метод основывается на сравнении C-V характеристик, полученной с помощью теоретических и практических методов, затем разность полученных результатов дифференцируется по величинам напряжений.

Для изучения временной зависимости релаксационной характеристики структур нами предложена методика определения скорости объемной и поверхностной генерации по экспериментальным зависимостям релаксации емкости $C(t)$ структуры МДП, используя расчетную временную зависимость ширины ОПЗ, получаемую из условия электронейтральности структуры

$$X = \left(x_0 + \frac{S}{A} \right) \exp\left(-\frac{A}{N} t \right) - \frac{S}{A} \quad (1)$$

(где S и A скорости поверхностной и объемной генерации, X – ширина ОПЗ, N -концентрация мелкой примеси) и общепринятую модель структуры

$$C(t) = \frac{\varepsilon_0 K C_D}{K + X(t) C_D} \quad (2)$$

(где K – площадь омического контакта, C_D – емкость диэлектрика, $C(t)$ – можно найти для каждого момента времени (t) из эксперимента)

Показаны высокочастотные компенсирующие схемы мостов, принцип работы измеряющих приборов, а также результаты воздействий на образец.

3 глава «Влияние внешних воздействий на вольт-фарадные характеристики структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП)». Прежде чем приступить к изучению характеристики МДП структур уточнены погрешности при определении плотности поверхностных состояний по запрещенной зоне.

Для уточнения диапазона применимости указанного метода использовались структуры металл-диэлектрик-полупроводник, изготовленные методом термического окисления кремния. Концентрация кислорода в исходном Si составляла $3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Было использовано 5 структур, каждая из которых измерялась по 5 раз в идентичных условиях и обрабатывалась с помощью одного и того же метода темновых высокочастотных вольт-фарадных характеристик. На рисунке 1 приведено дифференциальное распределение плотности поверхностных состояний по ширине запрещенной зоны исследуемых структур, построенное в результате усреднения всех проведенных измерений. Из приведенных результатов можно сказать, что определение плотности поверхностных состояний вблизи инверсионной, также и вблизи сильного обогащения, приводит к значительным

погрешностям. Для уточнения роли примесных центров в полупроводниковой подложке в изменении плотности поверхностных состояний по ширине запрещенной зоны и использовались диоды Шоттки.

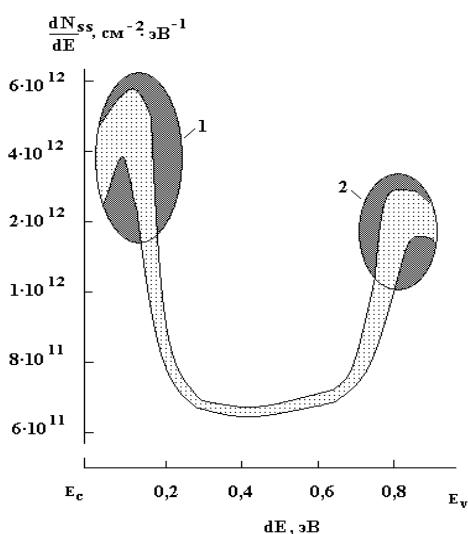


Рис.1. Усредненное распределение плотности поверхностных состояний по ширине запрещенной зоны полупроводника по 5 образцам.

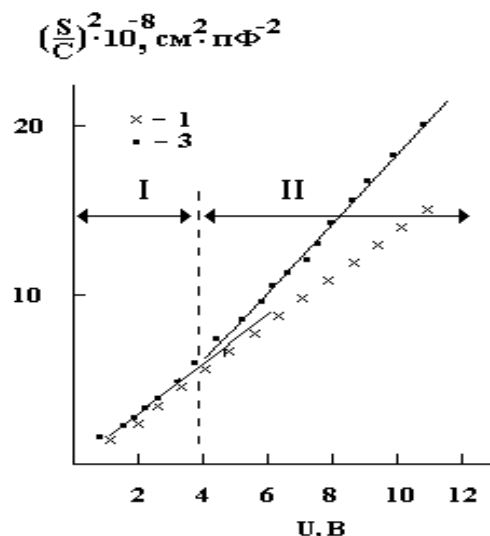


Рис.2. Зависимость $(S/C)^2$ от U для диодов Шоттки. 1-контрольные, 3-подвергнутые давлению в 4кБар, соответственно.

На рисунке 2 показано измерение наклона полученных характеристик в различных областях полупроводника этих же диодов. Из приведенных зависимостей видно, что воздействие давления приводит к формированию двух областей с различными наклонами $(S/C)^2; U$ зависимостей. В соответствии с теорией можно сказать, что во всех исследованных диодах в области полупроводника, прилегающей к границе раздела с металлическим контактом и достигающей ≈ 3 мкм (область I рис.2.) концентрация основных носителей заряда составляет $7 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ и не изменяется при воздействии давления. В диодах, подвергнутых воздействию давления, в области полупроводника, расположенной на расстоянии большем 3 мкм от границы с металлом (область II рис.2.), концентрация основных носителей заряда изменяется и становится равной $6,8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$. Из этого следует, что наблюдаемые изменения вольт-фарадных характеристик диодов Шоттки, обусловлены изменением распределения концентрации основных носителей заряда в полупроводнике.

Далее с помощью этого метода изучен полупроводник типа Al-SiO₂-n-Si структура металл-диэлектрик-полупроводник на частоте 150 кГц при температуре 21⁰ С и темноте (рис.3).

Видно, что вблизи значения приложенного напряжения -0,5 В, характеристика является не монотонной. На рисунке 4 приведено интегральное распределение плотности поверхностных состояний по ширине запрещенной зоны Si для указанной структуры.

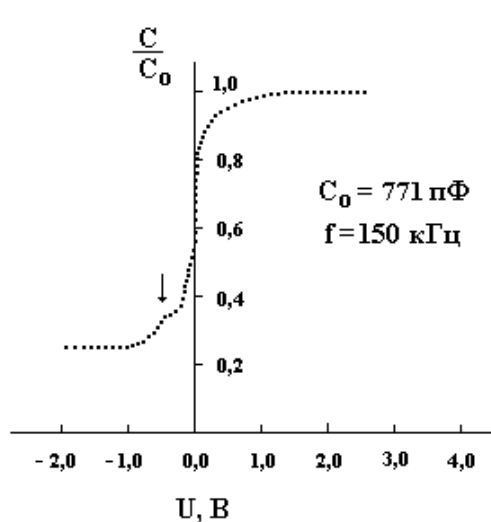


Рис.3. Высоочастотная вольт-фарадная характеристика (нормированная к величине емкости слоя диэлектрика C_0) одной из исследованных структур Al-SiO₂-n-Si.

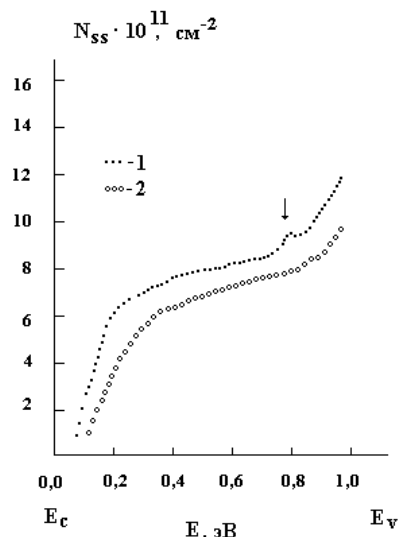


Рис.4. Интегральное распределение плотности поверхностных состояний по ширине запрещенной зоны Si в исследуемых структурах (1- контрольная структура, 2- структура, подвергнутая термической обработке)

Видно, что значение энергии $E_C - 0,75$ эВ, соответствует значению напряжения $-0,5$ В, характеристика является не монотонной и вблизи энергии $E_C - 0,75$ эВ, наблюдается локальный максимум.

В соответствии с существующими теориями, такое распределение плотности поверхностных состояний по ширине запрещенной зоны полупроводника может быть обусловлено наличием примесных центров в полупроводнике или в слоях диэлектрика, прилегающих к границе раздела с полупроводником. Для определения наличия примесных центров в полупроводниковой подложке, со структур химическим способом удалялся окисный слой и при помощи вакуумного распыления Au (без дополнительного нагрева подложки) формировался барьер Шоттки.

Далее при помощи метода изотермической релаксации определялось энергетическое положение и концентрация примесных центров. Установлено, что во всех диодах Шоттки, в верхней половине запрещенной зоны Si, близи значений энергии $E_C - 0,43$ эВ, имеется генерационный центр с концентрацией $4 \cdot 10^{12}$ см⁻³. В нижней половине запрещенной зоны Si (при использовании методики переключения напряжения от прямого к обратному перезарядки) каких-либо центров с концентрацией большей 10^{12} см⁻³ не обнаружено. Следовательно, объем полупроводниковой подложки не является ответственным за наблюдаемое распределение плотности поверхностных состояний.

Для определения влияния слоя диэлектрика на распределение плотности поверхностных состояний изучаемые структуры подвергались термополевой обработки (при температуре 120^0 С в течение 12 часов, при подаче обогащающего напряжения 10 В). Контрольные измерения показали, что после термополевых обработок вольт-фарадные характеристики изучаемых

структур незначительно смещались в сторону более отрицательных напряжений, сохраняя свою форму. Такое поведение характеристик указывает на то, что слой диэлектрика так же не является ответственным за наблюдаемое распределение плотности поверхностных состояний. Ответственным за неоднородное распределение плотности поверхностных состояний является центр, локализованный на самой границе раздела полупроводник-диэлектрик. При малых значениях, обедняющих напряжении указанный центр нейтрален, увеличением напряжения центр ионизируется, и электроны захватываются зарядом инверсионного слоя, уменьшается скорость его формирования. При полной ионизации центра заряд инверсионного слоя возрастает за счет термической генерации и емкость уменьшается.

Далее, в работе изучена зависимость плотности поверхностных состояний, локализованных на границе раздела Si-стекло от технологических режимов термической обработки, зависящих от режимов их нанесения на полупроводниковую подложку.

Использовался метод изотермической релаксации емкости МСП (металл-стекло-полупроводник) структур в процессе формирования заряда инверсионного слоя, после переключения напряжения, прикладываемого к структуре $V_1 \rightarrow V_2$, где $|V_1| < |V_2|$.

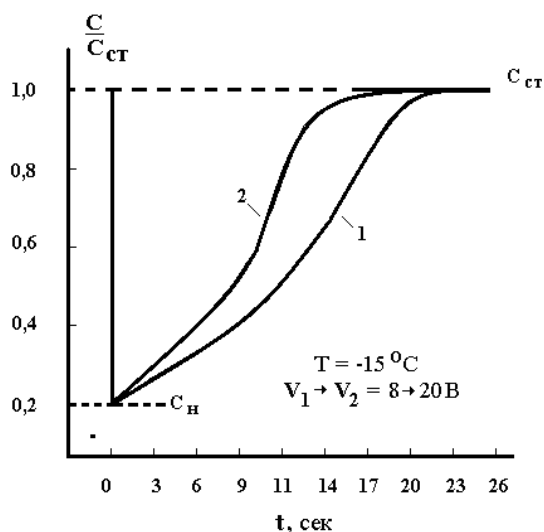


Рис. 5. Релаксационные зависимости исследованных структур.

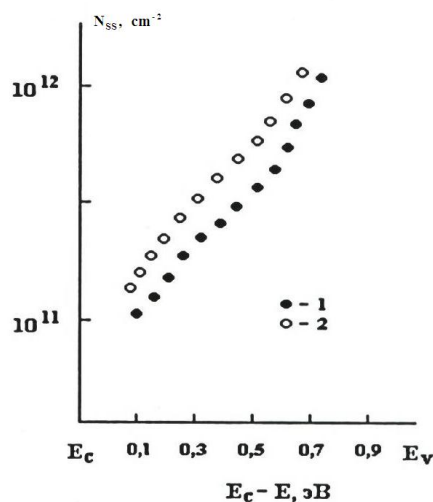


Рис.6. Распределение интегральной плотности поверхностных состояний в исследованных структурах.

На рисунках 5 и 6 приведены релаксационные зависимости двух из исследуемых структур, изготовленных на основе кремния с исходным удельным сопротивлением 5 Ом·см. Зависимость 1 соответствует структуре, сформированной оплавлением стекла при $T=670^{\circ}\text{C}$, зависимость 2 структуре, сформированной оплавлением стекла при $T=720^{\circ}\text{C}$.

Из приведенных зависимостей видно, что скорость формирования заряда инверсионного слоя, в структурах, сформированных оплавлением при $T=670^{\circ}\text{C}$, значительно меньше, чем в структурах, сформированных при $T=720^{\circ}\text{C}$. Из полученных данных можно сделать вывод о том, что увеличение

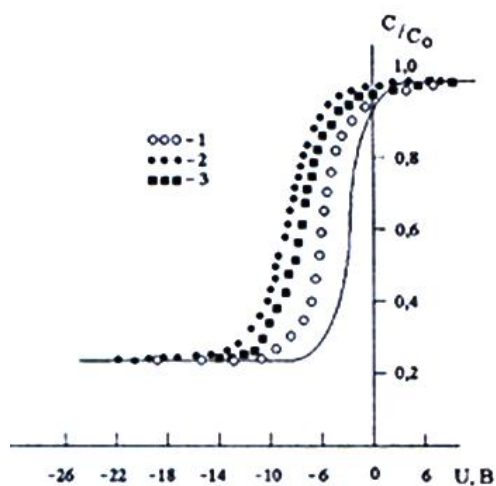


Рис.7. C-V характеристика исследуемых структур.

рис. 7 приведены C-V характеристики одной из исследуемых структур. Сплошная кривая соответствует расчетной характеристике. Зависимость 1 соответствует контрольной, 2-облученной протонами, 3-зависимость соответствует после облучения, подвергнутой термической обработке при температуре 250°C в течение 40 минут. Сдвиг C-V зависимостей в сторону отрицательных напряжений указывает на наличие положительного заряда локализованного на межфазной границе раздела, либо встроенного в структуру стекла вблизи границы раздела. Термическая обработка приводит к уменьшению положительного заряда. Также, исследовалось влияние термоциклических воздействий на плотности поверхностных состояний структуры типа $\text{Al} - \text{SiO}_2 - \text{n} - \text{Si}\langle\text{Ni}\rangle$. Изготовленные структуры подвергались термоциклической обработке путем погружения их в жидкий азот на 20 секунд и извлечения на воздух.

На рисунке 8 приведены дифференциальные распределения плотности поверхностных состояний, для контрольных структур $\text{Al-SiO}_2\text{-n-S-}\langle\text{Ni}\rangle$, измеренные до термических обработок (зависимость 1), после 15-20 термоциклов (зависимость 2,3). Стрелками отмечены локальные максимумы. Из приведенных зависимостей видно, что в результате первых 10-15 циклов термических обработок распределение плотности поверхностных состояний несколько сглаживается и уменьшается по абсолютной величине. Такое поведение распределения плотности поверхностных состояний указывает на уменьшение интегрального положительного заряда. На наш взгляд, такое поведение плотности поверхностных состояний может быть обусловлено следующим. Коэффициент термического расширения диоксида кремния (при 25°C) составляет $4,0 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$, а коэффициент термического расширения кристаллического кремния $5,75 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. Это означает, что при комнатной температуре слой диэлектрика, прилегающий к границе раздела, несколько растянут, а слой кремния несколько сжат. Такое различие в величинах механических напряжений приводит к формированию

скорости формирования заряда инверсионного слоя в структурах, изготовленных при температуре оплавления стекла 720°C вызвано увеличением плотности электронных состояний, локализованных на границе раздела полупроводник-стекло. Следовательно, при формировании пассивирующих покрытий на основе свинцо-боро-силикатных стекол указанного состава, оплавление стекла целесообразно проводить при температурах, не превышающих 670°C .

В дальнейшем изучено влияние протонного облучения на свойства межфазной границы Si-стекло. Изготовленные образцы подверглись облучению протонами дозами $1,5 \text{ МэВ протон/см}^2$. На

напряженных валентных связей и образованию поверхностных электронных соотношений донорного типа. При понижении температуры различие в величинах механических напряжений возрастает. Однако знакопеременное термоциклическое воздействие приводит к миграции междуузельных электрически неактивных примесных центров (рис.9) к межфазной границе раздела Si-SiO₂, где они взаимодействуют с напряженными и оборванными валентными связями Si, уменьшая тем самым положительный заряд поверхностных состояний.

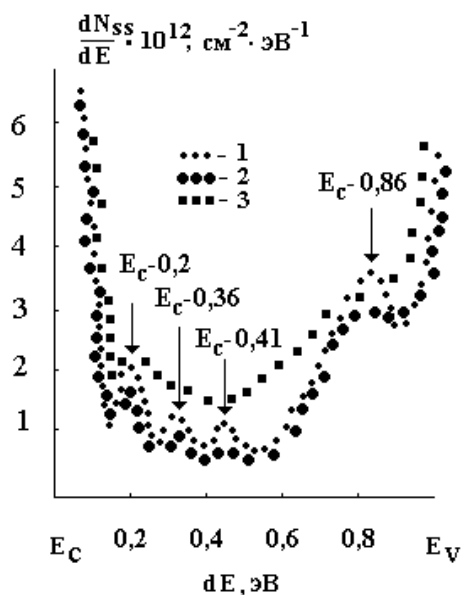


Рис. 8. Распределение плотности поверхностных состояний для исследованных структур. 1-до термического обработки, 2-после 15 термоциклов, 3-после 30 термоциклов.

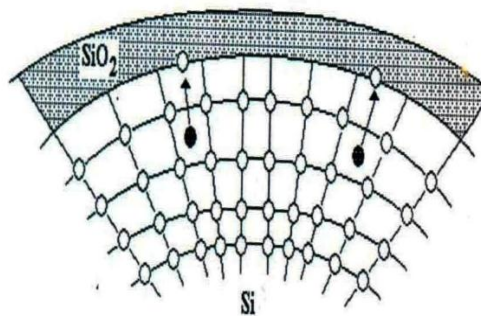


Рис.9. Упрощенная модель уменьшения плотности поверхностных состояний за счет миграции примесных атомов в поле механических напряжений.

Рассмотрено влияние инъекции электронов из полупроводниковой подложки на величину положительного заряда, встроенного в структуру стекла. Изготовленные структуры подвергались импульсному воздействию обогащающего напряжения амплитудой 20-50 В, с длительностью импульсов 0,1-0,4 секунды. На рисунке 10 приведены вольт-фарадные характеристики, исследуемых структур измеренные в темноте, на частоте 150 кГц до приложения импульсов обогащающего напряжения (зависимость 1), после воздействия обогащающего напряжения (50 В, длительностью 0,2-0,4 с зависимости 2-4 соответственно), и после воздействия обогащающего напряжения и всестороннего гидростатического сжатия давлением 4 к Бар (зависимость 1). Видно, что импульсное воздействие приводит к сдвигу в вольт-фарадных характеристиках в сторону положительных напряжений. Уменьшение положительного заряда в структуре свинцово-боро-силикатного стекла может быть обусловлено локализацией, инжектированных из полупроводника, электронов вблизи легко поляризуемых ионов свинца и накоплением их на потенциальных барьерах включений кристаллической

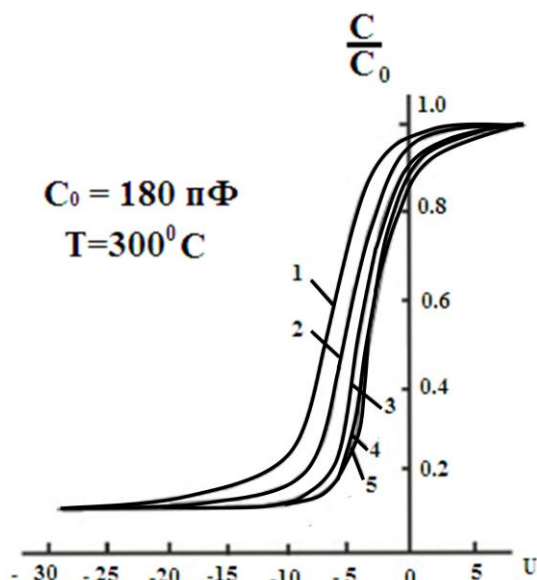


Рис.10. Вольт –фарадные характеристики (нормализованные к величине емкости слоя стекла) одной из исследуемых структур, до приложения импульсов обогащающего напряжения (2-4) и всестороннего сжатия давлением 4 кБар(5).

«Влияние внешних обработок на релаксационную характеристику МСП структур» приведены результаты исследования влияния всестороннего гидростатического сжатия, СВЧ и ультразвуковой обработки на релаксационные характеристики МСП структур. Показано, что указанные типы воздействий на МСП структур приводят к релаксационным зависимостям полученным для ультразвукового воздействия похожим на приведенные на рис. 11

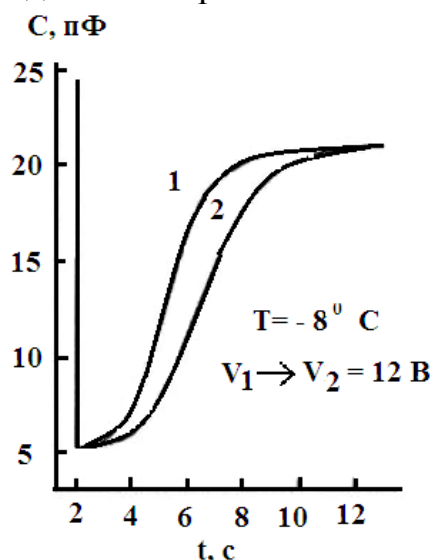


Рис.11. Релаксационные зависимости исследованных структур

фазы. Для проверки этого предположения нами были изготовлены структуры по аналогичной технологии, но с уменьшенным содержанием РbО. Импульсное воздействие, обогащенное напряжением на структуры с уменьшенным содержанием РbО показало, что сдвиг вольт-фарадных характеристик в сторону положительного напряжения уменьшается, а в отдельных структурах, даже не наблюдается.

А воздействия всестороннего сжатия оказывают влияние на слой стекла, приводя к уменьшению величины плотности поверхностного состояния и, следовательно, к уменьшению скорости формирования заряда инверсионного слоя.

В 4 главе под названием

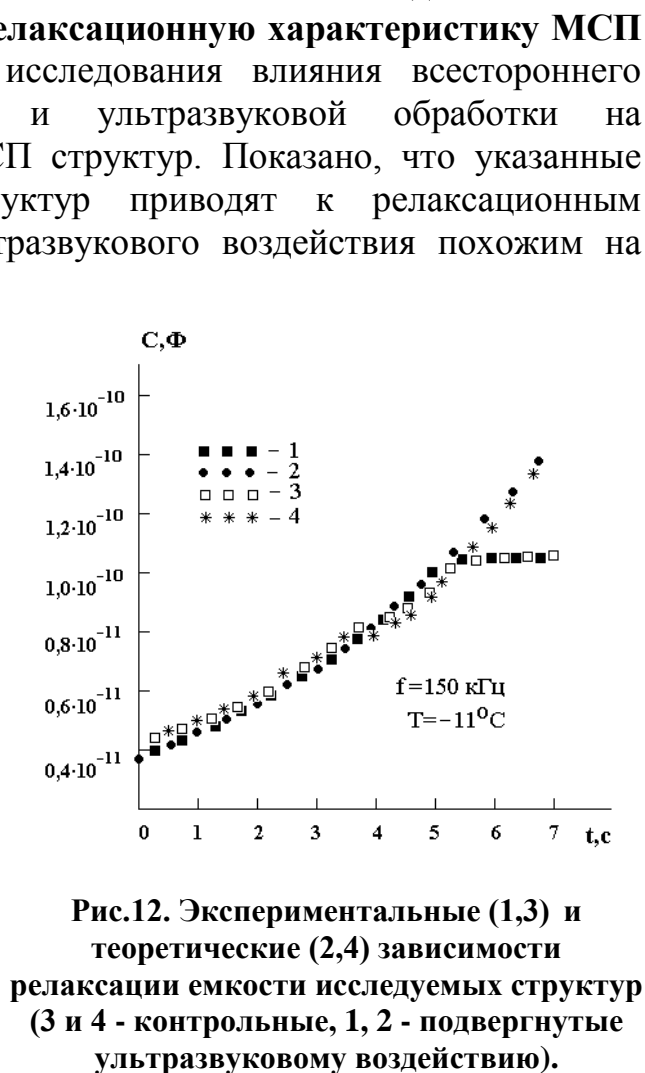


Рис.12. Экспериментальные (1,3) и теоретические (2,4) зависимости релаксации емкости исследуемых структур (3 и 4 - контрольные, 1, 2 - подвергнутые ультразвуковому воздействию).

На рис. 11 приведены релаксационные зависимости емкости одной из исследованных нами структур, снятые в темноте при температуре -8°C , после переключения инверсионного напряжения от 8 до 20 В. Зависимость 1-соответствует контрольной структуре. Зависимость 2-соответствует структуре, подвергнутой воздействию ультразвука. Из приведенных зависимостей видно, что емкость контрольной структуры быстрее релаксирует к своему равновесному состоянию. В соответствии с существующими теориями, скорость формирования инверсионного заряда определяется концентрацией генерационных центров, как в объеме полупроводника, так и плотностью состояний, локализованных на границе раздела полупроводник-диэлектрик. Для определения вклада в процесс релаксации поверхностных и объемных центров нами использовалась методика, описанная во II главе с помощью формул (1) и (2). На рис. 12 приведены экспериментальная (1) и теоретическая (2) зависимости $C(t)$ для одного из контрольных образцов, полученные после переключения напряжения $V_1 \rightarrow V_2$ ($V_1=8\text{ В}$, $V_2=15\text{ В}$). Величины скорости объемной (A) и поверхностной (S) генерации найдены при помощи формул (1,2) методом оптимального подбора: $A=9 \cdot 10^{13}\text{ с}^{-1}\text{см}^{-3}$ и $S=4 \cdot 10^9\text{ с}^{-1}\text{см}^{-2}$. Зависимость (3), измеренная при аналогичных условиях, соответствуют образцу,

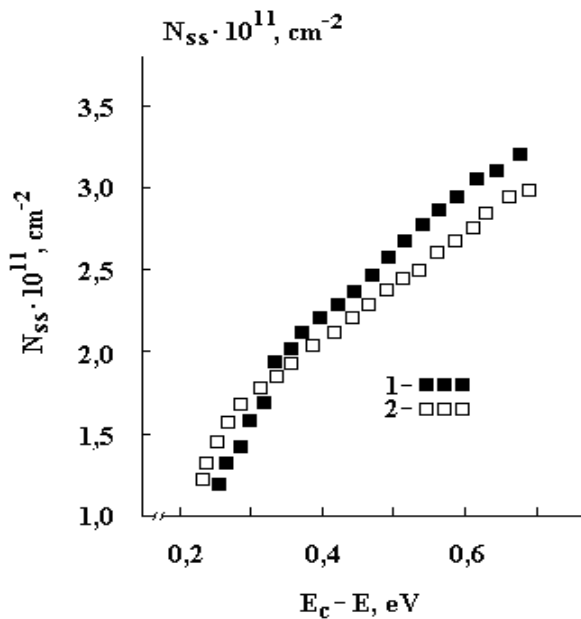


Рис. 13. Распределения интегральной плотности поверхностных состояний для исследованных структур (1-контрольная структура, 2-структура подвергнутая ультразвуковому воздействию)

подвергнутому воздействию ультразвуком. Из приведенных зависимостей видно, что расчетные (2,4) и экспериментальные (1,3) зависимости хорошо совпадают при значениях $A=(8-9) \cdot 10^{13}\text{ с}^{-1}\text{см}^{-3}$, $S=(1-2) \cdot 10^9\text{ с}^{-1}\text{см}^{-2}$. На наш взгляд, это указывает на то, что при данных ультразвуковых воздействиях концентрация и энергетическое распределение примесных центров, имеющих в объеме полупроводника, практически не изменяются, а уменьшение скорости поверхностной генерации ($S=4 \cdot 10^9\text{ с}^{-1}\text{см}^{-2}$ – в контрольных и $S=(1-2) \cdot 10^9\text{ с}^{-1}\text{см}^{-2}$ – в обработанных ультразвуком структурах) обусловлено изменением плотности поверхностных состояний.

Для подтверждения этого предположения со структур, подвергнутых воздействию ультразвуком, химическим способом (обработка в парах плавиковой кислоты) удалялся слой стекла и при помощи вакуумного осаждения Au (без подогрева подложки) изготавливались диоды Шоттки типа Au-n-Si. Далее, при помощи метода изотермической релаксации емкости определялись энергетическое

распределение и концентрация примесных центров, локализованных в базовой области диодов. Анализ полученных результатов показал следующее. Во всех диодах Шоттки, как в контрольных, так и в изготовленных на пластинах, подвергавшихся ультразвуковому воздействию, энергетическое положение примесных центров $E_C-0,27$ эВ и $E_C-0,54$ эВ, а также их концентрация ($n=(3-5)10^{12}$ см⁻³) практически идентичны (разброс этих значений для различных диодов составлял 5-7%), что лежит в пределах ошибки эксперимента. На наш взгляд, это подтверждает то, что указанное ультразвуковое воздействие не влияет на параметры объемных генерационных центров и, следовательно, на скорость объемной генерации носителей заряда. Непосредственное измерение плотности поверхностных состояний, выполненное при помощи метода высокочастотных вольт-фарадных характеристик (на частоте 150 кГц, в интервале температур от -5 до -18⁰ С) показало (рис. 13), что в структурах, подвергнутых указанному ультразвуковому воздействию, распределение интегральной плотности поверхностных состояний по ширине запрещенной зоны полупроводника уменьшается по сравнению с контрольными структурами. Причем наиболее заметно это уменьшение в диапазоне энергий больших, чем $E = E_C-0,4$ эВ. Следует отметить, что аналогичное уменьшение плотности заряда локализованного на межфазной границе раздела полупроводник-диэлектрик, наблюдалось при сжатии протонного облучения, термоциклической и СВЧ обработки МДП структур.

Уменьшение скорости поверхностной генерации и его изменение со временем после ультразвукового воздействия может быть вызвано уменьшением числа и ширины граничной фазы разделений кристаллических включений в составе стекла.

Для проверки этого из структур МДП химическим способом удалялись управляющий Al электрод и в паре муравьиной кислоты удалялись слои стекла. После микрофотографировалась поверхность стекла.

На рис 12 приведены в 2800 раз увеличенные микрофотографии для двух поверхностей стекла. Сравнивая фотографии, можно сказать, что после ультразвукового воздействия поверхность стекла стало более однородной.

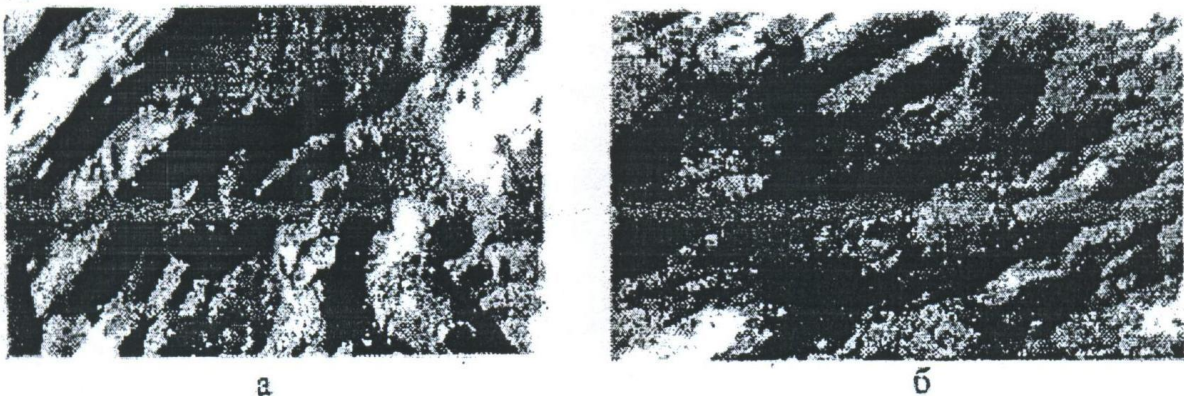


Рис 14. Микрофотография поверхности исследованных структур а) до воздействия ультразвука. б) после воздействия ультразвука с мощностью $P=0.5$ W/cm² в течение $t=90$ мин.

Уменьшение скорости поверхностной генерации носителей заряда и изменение её временной зависимости в ходе до формирования заряда инверсионного слоя, наблюдаемое после ультразвукового воздействия, хорошо коррелирует с уменьшением числа и протяженности межфазных границ раздела кристаллических включений, входящих в состав стекла. Следовательно, ультразвуковая обработка может способствовать улучшению генерационно-рекомбинационных свойств межфазной границы раздела кремний-свинцово-боросиликатное стекло указанного состава за счет перестройки напряженных валентных связей на этой границе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведены комплексные исследования влияния различных внешних воздействий на динамику носителей заряда на границе раздела структур Al-Si- свинцово-боро-силикатное стекло – Al.

2. Обнаружено повышение плотности электронных состояний, локализованных на границе раздела Si – стекла, при больших температурах плавления стекла чем 670°C .

3. Обнаружено уменьшение скорости формирования заряда инверсного слоя структур Si – стекло, подвергнутую электронную инжекцию и установлено, что уменьшение скорости формирования заряда связано с высвобождением электронов, захваченных ионами свинца и взаимодействием их с зарядом инверсионного слоя.

4. Ультразвуковая обработка структур Al-n-Si – стекло Al, частотой 2,5 МГц мощностью 0,5 Вт, в течение 40 мин. приводит к уменьшению интегральной плотности электронных состояний и не влияет на энергетический спектр объемных электронных состояний в полупроводнике.

5. Установлено, что СВЧ обработка структур МДП на основе кремния, при указанных режимах, приводит к изменению плотности поверхностных состояний и, следовательно, к уменьшению поверхностных генерационных токов, способствующих повышению фоточувствительности.

6. Показано, что протонное облучение приводит к росту величины заряда, что указывает на увеличение числа оборванных связей вблизи края границ раздела полупроводник-стекло, приводящее к повышению плотности поверхностных состояний. Термическая обработка облученных структур способствует восстановлению оборванных валентных связей и приводит к уменьшению положительного заряда.

7. Предложена методика определения величин скорости поверхностной и объемной генерации носителей заряда, используя расчётную временную зависимость ширины ОПЗ при сравнении её экспериментальной зависимостью.

8. Влияние термоциклических воздействий на МДП структур приводит к уменьшению поверхностного положительного заряда. Предложена физическая модель, объясняющая уменьшение плотности положительного заряда, локализованного на границе раздела Si-SiO₂, миграцией электрически неактивных примесных атомов в поле создаваемых механических напряжений.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREE
PhD.28.02.2018.FM.60.01. AT ANDIJAN STATE UNIVERSITY**

NAMANGAN STATE UNIVERSITY

KUCHKAROV BEKHZOD KHOSHIMJANOVICH

**DYNAMIC PROPERTIES OF SEMICONDUCTOR-INSULATOR
INTERFACES**

01.04.10- Physics of semiconductors

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

Andijan – 2018

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 the Republic of Uzbekistan under No. B2017.1. PhD/FM42.

Dissertation has been prepared at Namangan state university.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian, english (resume)) on the website (fti-kengash.uz) and on the «Ziyonet» Information and educational portal (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor: **Mamatkarimov Odiljon Okhundadayevich**
Doctor of Physical and Mathematical Sciences

Official opponents: **Karimov Abdulaziz Vaxitovich**
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor

Karimov Ibrohim Nabiyeovich
Doctor of Physical and Mathematical Sciences

Leading organization **Fergana state university**

Defense will take place « ____ » _____ 2018 at _____ at the meeting of Scientific Council number PhD.28.02.2018.FM.60.01 at Andijan state university. (Address: 170100, Uzbekistan, Andijan, 129 Universitet Street. Phone/fax: 0(374) 223-88-30, e-mail: agsu_info@edu.uz.)

Dissertation is possible to review in Information-resource centre at Andijan state university (is registered under № ____) (Address: 170100, Uzbekistan, Andijan, 129 Universitet street. Phone/fax: 0(374) 223-88-30, e-mail: agsu_info@edu.uz.)

Abstract of dissertation sent out on « ____ » _____ 2018.
(Registry record № _____ on « ____ » _____ 2018) .

S.Z. Zaynabidinov

Chairman of scientific council on award of scientific degree, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, academician

A.O.Kurbanov

Scientific secretary of scientific council on award of scientific degree, PhD in physics and mathematics

M.Z.Nosirov

Vice chairman of scientific Seminar under Scientific Council on award of scientific degree, PhD in physics and mathematics, docent

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis).

The aim of the research work is to determine the significant factors in the dynamics of charge carriers on the base of the study of the results of all the above-mentioned effects on the physical processes occurring at the interface in the Metal-Dielectric-Semiconductor (MIS) structures formed by coating the surface of n-type silicon in lead-boron-silicate glass.

The objects of research are structures of metal (Al)-lead-boron-silicate glass (of the type $\text{PbO-SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Ta}_2\text{O}_5$) and crystalline silicon consisting of n-type with the crystal direction $\langle 100 \rangle$ as well as structures Al-Si-SiO₂, were chosen as the objects of investigation.

Scientific novelty of dissertation work consists in the following:

At temperatures the melting of lead-borosilicate glass is higher than 670⁰C, the density of electronic states localized at the phase interface increases.

The main reason for reducing the rate of charge formation in the inversion layer, in structures subjected to electron injection, is the release of electrons captured by lead ions and their interaction with the charge of the inversion layer. And the effect of all-round compression affects the glass layers adjacent to the interface with the semiconductor, leading to a decrease in the density of the surface states, and, consequently, to a decrease in the rate of formation of the charge of the inversion layer.

For MIS structures, a method is proposed for determining the velocity of volumetric and surface generation by means of a theoretical calculation of the dependence of the width of the space-charge region (SCR) on time on the basis of experimental measurement of the relaxation of the capacitance.

Ultrasonic treatment of Al-n-Si-glass-Al structures with a frequency of 2.5 mHz with a power of 0.5 W for 40 minutes leads to a decrease in the rate of charge formation of the inversion layer and does not affect the energy spectrum of bulk electronic states in the semiconductor.

Comprehensive microwave processing of the MIS structures leads to a change in the density of the surface states and, consequently, to a decrease in the surface generation currents. Reduction of surface generation currents promotes an increase in photosensitivity.

An increase of the positive charge at the interphase interface and the subsequent thermal treatment of the proton-irradiated structures lead to a decrease in the positive charge localized near the interphase interface. The physical mechanisms that lead to the formation of surface states under the influence of irradiation at the interphase boundaries of Si-SiO₂ and Si- lead-borosilicate glass of this composition are of a similar nature.

A physical model is proposed that explains the decrease in the positive charge of the density of the surface state under the influence of thermal cycling. Corresponding to it, in the heating and cooling cycles, migration of the inclusion centers, which do not have interstitial electrical activity, is occurs towards the Si-SiO₂ interface. After this, they interact with strained and torn valence bonds to lower the positive charge of the surface states.

Implementation of the research results:

Based on the study of the processes at the semiconductor-insulator interface, the developed mechanism for the formation of charge carriers, the rate of formation and change in the magnitude of the charge is used in «FOTON» Joint-Stock Company (JSC), «Uzeltehsanoat» JSC (reference from «Uzeltehsanoat», November 25, 2017).

Also in the execution of the grant F-2-21 - «Mathematical modelling of the determination of the density of the surface state at the semiconductor-insulator boundary» was used the results of the thesis work (Reference of the grant manager of November 13, 2017).

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusions and used literature. The text of the dissertation is outlined on 118 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙЎХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; part I)

1. Mamatkarimov O.O., Kuchkarov B. Kh. Influence of the injecting pulse and deformation on physical processes at the border of the MDS section structures. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 4, Issue 12, December 2017 (01.00.00; №5).

2. Mamatkarimov O.O., Kuchkarov B. Kh. Some parameters of varicaps with gradient base area based on Shottky barrier. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 4, Issue 12, December 2017 (01.00.00; №5).

3. Турсунов И.Г., Кучкаров Б.Х. Влияние профиля распределения примеси на параметры варакторов, подвергнутых всестороннему гидростатическому сжатию. Uzbek Journal of Physics Vol.18 (5), 2016, PP. 322-325. (01.00.00; №5).

4. Vlasov S.I., Nazyrov D.E., Bobokhujayev Q.U., Kuchkarov B. Kh. Influence of all-round compression on formation of the mobile charge in lead-borosilicate glass structure Uzbek Journal of Physics Vol.16 (3), 2014, PP. 231-233. (01.00.00; №5).

5. Власов С.И., Овсянников А.В. Кучкаров Б.Х. Влияние термоциклических обработок на свойства границы раздела SiO₂-Si структур Al-SiO₂-n-Si<Ni> Узбекский физический журнал 2012 г. Т. 14. (№ 1), -С.20-22. (01.00.00; №5).

6. Власов С.И., Сапаров Ф.А., Кучкаров Б. Влияние границы раздела полупроводник - диэлектрик на параметры структур металл-диэлектрик-полупроводник. Узбекский физический журнал 2009 г. V 11 (№ 3), -С.203-206. (01.00.00; №5).

7. Овсянников А.В., Турсунов И.Г., Тен В.А., Кучкаров Б.Х. Влияние ультразвукового воздействия на величину подвижного заряда, встроенного в структуру свинцово-боросиликатного стекла. Вестник НУУз. № 2/1, 2013г.- С.89-90. (01.00.00; №3).

8. Vlasov S.I., Ovsyannikov A.V., Ismailov V.K., Kuchkarov B. Kh. Effect of pressure on the properties of Al-SiO₂-n-Si<Ni> structures. Semiconductor Physics, Quantum electronics and Optoelectronics. 2012. Vol. 15. № 2. PP.166-169 (01.00.00; №3).

9. Власов С.И., Исмаилов Б.К., Кучкаров Б.Х. Влияние ультразвукового воздействия на свойства структур металл-стекло-полупроводник. Вестник НУУз. № 2/1, 2013г. -С. 16-18. (01.00.00; №3).

10. Власов С.И., Кучкаров Б.Х. Влияние инъекции электронов на зарядовые свойства свинцово-боросиликатного стекла. Доклады АН РУз. 2014 г. № 1, -С. 24-27 (01.00.00; №7).

11. Власов С.И., Юлдашев Ю.Т., Йулдашов С.О., Кучкаров Б.Х. Влияние

инъекции электронов на динамические свойства структур металл-стекло-полупроводник, подвергнутых всестороннему сжатию Вестник НУУз № 2/1, 2014г. -С.183-185. (01.00.00; №3).

II бўлим (II часть; part II)

12. Кучкаров Б.Х., Д.З. Обидов, А.А. Абдукаримов, У. Шодмонов Al-SiO₂-n-Si<Ni> тузилмаларнинг SiO₂-Si бўлинма чегараси хоссаларига термоциклик ишловларни заряд ташувчиларга таъсири. «Конденсатланган мухитлар физикаси ва физика ўқитишнинг долзарб муамолари» Халқаро иштирокчилар билан республика илмий – амалий анжумани. Наманган 2016. 8-9 июл. 118-119 б.

13. Власов С.И., Назиров Д.Э., Кучкаров Б.Х. Релаксационные зависимости емкости трехслойных структур в процессе формирования заряда инверсионного слоя. «Микроэлектроника, нанозарралар физикаси ва технологиялари» Республика илмий – амалий анжумани материаллари тўплами, Андижон, 4 – 5 декабрь 2015 й.20-22 б.

14. Власов С.И. Нишонов Б.Р. Ўринбоев Д., Кучкаров Б.Х. Металл – шиша – яримўтказгич тузилмалар хоссаларига ультратовушли ишлов таъсири. Конденсатланган мухитлар физикаси ва физика ўқитишнинг долзарб муамолари Республика илмий – амалий семенари. Наманган 2015. 101-104 б.

15. Власов С.И., Шахобиддинов Б.Б.,Султонов Б., Кучкаров Б.Х. Ҳар томонлама сиқувга учратилган металл – шиша – яримўтказгичли тузилмалар динамик хоссаларига электронлар инъекциясининг таъсири. Конденсатланган мухитлар физикаси ва физика ўқитишнинг долзарб муамолари Республика илмий – амалий семенари. Наманган 2015. 12-14 б.

16. Власов С.И., Кучкаров Б.Х. Влияние термоциклических обработок на свойства границы раздела SiO₂-Si в Al-SiO₂-n-Si<S> структурах. Материаллы X Международной научно-практической конференции «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия» Часть 9. -С.85-87. Новосибирск. 17-18 апреля 2015 г.

17. Кучкаров Б.Х., Маматкаримов О.О., Эргашева М. Яримўтказгич шиша тузилмаларнинг динамик тавсифларига ҳар томонлама сиқувни таъсир. «Яримўтказгичлар физикасининг долзарб муамолалари» Республика илмий амалий семенари материаллари. ЎзМУ. Тошкент 2014, 22 ноябрь. 110-112 б.

18. Кучкаров Б.Х., Маматкаримов О.О. Қўрғошин-бор-силикатли шишанинг зарядланиш хоссаларига электронлар киришининг таъсири. Яримўтказгичлар физикасининг долзарб муамолари» Республика илмий амалий семенари материаллари. ЎзМУ. Тошкент 2014, 22 ноябрь. 107-109 б.

19. Vlasov S.I., Kuchkarov B. Kh. Influence of the ultrasonic irradiation on characteristic of the structures metal-glass-semiconductor. Яримутказгичлар физикаси ва курилмалари ҳамда уларни уқитишнинг муаммолари» худудий илмий анжуманлари материаллари. Наманган, 2013 йил, 26 апрель. 12- 13 б.

20. Власов С.И., Юлдашев Ю., Кучкаров Б.Х. Влияние ультразвукового

воздействия на релаксационные характеристики структур металл-стекло-полупроводник. Материалы республиканской научно-практической конференции «Физика фанининг ривожиди истеъдодли ёшларнинг ўрни» Тошкент, 2013 йил, 26-27 апрель. 85-87б.

21. Власов С.И., Овсянников А.В., Кучкаров Б.Х. Исмаилов Б.К. Влияние ультразвуковой обработки на скорость формирования заряда инверсионного слоя в структурах металл-стекло-полупроводник. Материалы международной научно-практической конференции. Структурная релаксация в твердых телах. Винница, 29-31 мая. 2012 г. -С.234-236.

22. Власов С.И., Исмаилов Б.К., Кучкаров Б.Х. Влияние температуры оплавления стекла на параметры границы раздела Si –стекло. Материалы международной научно-технической конференции. Фундаментальные и прикладные проблемы физики. Часть 1. Саранск.28-30 мая 2012 г. -С.88-90.

23. Овсянников А.В., Атамуратов Т., Кучкаров Б.Х. Релаксационные характеристики трехслойных структур. Физика фанининг бугунги ривожиди истеъдодли ёшларнинг ўрни. Республика ёш олимлари ва иқтидорли талабаларнинг илмий-амалий анжумани материаллари. Тошкент 2012, 27-28 апрел. 163-166 б.

24. Эргашева М., Рахимов Н., Власов И.С., Кучкаров Б.Х. Шиса-кремний чегара бўлимида вақтли нобарқарорликка босим таъсири. Материалы республиканской научно-технической конференции «Фотоэлектрические и тепло-физические основы преобразования солнечной энергии». Фергана, 2011. -С.21–22.

25. Власов С.И., Маматкримов О.О., Кучкаров Б.Х. n – Si <Au> Шоттки диодлари вольт – вольт характеристикасига таъқи босим таъсири. Материалы Республиканской научно-технической конференции «Фотоэлектрические и теплофизические основы преобразования солнечной энергии». Фергана, 21 мая 2011 г.-С. 60 – 61.

26. Кучкаров Б.Х., Власов С.И., Овсянников А.В. «Генерационные характеристики границы раздела Si – SiO₂» Материалы республиканской конференции «Современные проблемы физики полупроводников». Нукус.23-25 ноября 2011 г. -С. 41-43.

27. Сапаров Ф.А., Кучкаров Б.Х. К определению плотности поверхностных состояний границы раздела полупроводник – диэлектрик. Узбекистоннинг инновацион тараккиёти – ёшлар нигоҳида. Республика ёш олимлар ва иқтидорли талабаларининг илмий анжумани материаллар. Тошкент, 8-9 апрел 2010й. 137-140 б.

Авторефератнинг ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги нусхалари
Андижон давлат университетининг «Илмий хабарнома - Научный вестник»
журнали тахририятида тахрирдан ўтказилди. (21.05.2018 йил)

Босишга рухсат этилди: 28.05.2018 йил.
Бичими 60x84 ¹/₁₆, «Times New Roman»
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи 2,9. Адади: 100. Буюртма: № 187.

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

«АКАДЕМИЯ НОШИРЛИК МАРКАЗИ»
Давлат унитар корхонасида чоп этилди.