

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

**МИРЗО УЛУҒБЕК НОМИДАГИ
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ**

Қўлёзма ҳуқуқи асосида

УДК 621.315.592

МАРИПОВ ИЛХОМ ИСОҚОВИЧ

**Қўп қатламли яримўтказгич структураларининг хоссаларига
нурланишнинг таъсири**

**5A140204- Конденсацияланган мухитлар физикаси ва
материалшунослик (турлари бўйича)**

**Магистр
академик даражасини олиш учун ёзилган
диссертация**

Илмий раҳбар:
доц. Насиров А.А.

Тошкент – 2014

МУНДАРИЖА

КИРИШ.....	3
I -БОБ. МДЯ-СТРУКТУРАЛАРИ ХУСУСИЯТЛАРИГА	
НУРЛАНИШНИНГ ТАЪСИРИ.....	8
1.1. МДЯ структураларни характеристикаларига турли ташқи омилларнинг таъсири.....	8
1.2. Асоси Si-қўрғошин-боросиликат (ҚБС)-шишадан иборат МДЯ-структураларининг параметрларига радиациянинг таъсири.....	12
1.3. Қисқача хулосалар.....	13
II-БОБ. МДЯ-СТРУКТУРАНИНГ АСОСИЙ ПАРАМЕТРЛАРИНИ	
АНИҚЛАШ УСУЛЛАРИ.....	14
2.1. МДЯ-структура параметрларини аниқлаш сиғмий усуллари.....	14
2.2. МДЯ-структура параметрларини юқори частотали C-V усул ёрдамида аниқлаш.....	15
2.3. Ўлчов қурилмасининг тавсифи.....	27
2.4. Тадқиқот намунаси.....	29
2.5. Қисқача хулосалар.....	32
III-БОБ. Si-КБС-ШИША АЖРАЛИШ ЧЕГАРАСИНИНГ	
ЭЛЕКТРОФИЗИК ПАРАМЕТРЛАРИГА РАДИАЦИЯНИНГ	
ТАЪСИРИ.....	33
3.1. Si-қўрғошин-боросиликат (КБС)-шиша ажралиш чегарасидаги сиртий ҳолатлар зичлигига γ –нурланишнинг таъсири.....	35
3.2. N_{ss} ва Q_{ss} нинг дозовий боғлиқлиги.....	39
3.3. Қисқача хулосалар.....	42
ХУЛОСАЛАР.....	43
АДАБИЁТЛАР.....	44
ИЛОВЛАР	

КИРИШ

Охирги пайтда кўпчилик татқиқотчилар томонидан МДЯ(металл-диэлектрик-яримўтказгич) структурасидан тайёрланган яримўтказгич асбоболарнинг хусусиятлари ва характеристикалари ўрганилмоқда.

МДЯ структуралар замонавий микроэлектроника ва қуёш элементларида базовий элементлар сифатида кенг қўлланилиб келмоқда.

Биринчи ўринда белгилаш керакки, изоляцияланган затворли майдон транзисторлари, хотира элементлари, сиртий тўсиқли варикаплар, интеграл микросхемалар ва қуёш элементлари ташкил этмоқда. Кейинги даврда яримўтказгичлар электроникасида интеграл микросхемалар деб аталмиш қиёсан кичик ҳажмда ўз ичига кўп миқдордаги транзисторлар, сиғимлар, индуктивликлар ва бошқа элементларни олган тузилмалар кенг миқёсда ишлаб чиқилиши, уларнинг турли соҳаларга (компьютерлар, телевизорлар, алоқа ва энергетик қурилмаларга) жадал жорий қилиниши яримўтказгичлар сирти физикасини астойдил тадқиқланиши масаласини долзарб қилиб қўйди, чунки қўлланадиган яримўтказгич элементлар ҳажмининг тобора кичрайиб бориши улар сиртининг аҳамиятини ошириб бормоқда.

МДЯ структураларининг сиртида узук (дискрет) ва узлуксиз равишда тақсимланган энергетик сатҳлар тизими мавжуд бўлади. Уларнинг келиб чиқиш сабаблари турлича. Биз уларни қуйидаги айримларини кўриб чиқамиз.

Сиртдаги маҳаллий энергетик сатҳлар ва улардаги сиртий заряд сирт яқинида энергия зоналарини эгади, бу эса кристаллар электр ўтказувчанлигини, чиқиш ишини, фотоэлектрик ҳоссаларини муҳим даражада ўзгартириб юборади.

Яримўтказгичлар сирти таъсирини ўрганиш бир неча ажойиб ходисаларни аниқлашга олиб келди. Сиртнинг ҳолати кўпинча кристалл ҳажмида содир бўладиган жараёнлар кечишини аниқлайди. Масалан, сиртий сатҳлар рекомбинация марказлари бўлиб, намунада мувозанатсиз заряд

ташувчиларнинг яшаш даврига таъсир кўрсатиши мумкин. Сиртий сочилиш масалаларини тадқиқлаш ҳам муҳим муаммолардан биридир. Яримўтказгичлар сирти хоссаларини ўрганиш, физик кимёнинг баъзи масалаларини, хусусан катализ муаммоларини фавқулодда ҳал қилишда ҳам зарур.

Сиртнинг ҳолати қуёш энергиясидан фойдаланишга мўжалланган асбоблар ва қурилмалар ишида алоҳида аҳамиятга эга. Умуман айтганда, сиртий ҳолатлар яримўтказгичли диодлар, транзисторлар ишлашида муҳим омиллардир.

Ташқи таъсирдан асбобларни химоя қилиш учун уларнинг сиртини атрофидаги муҳитдан ажратиш (сақлаш) муаммоси ҳам энг зарур амалий вазифалардан биридир.

Ҳозирги замонда кристалларнинг атомар тоза сиртини ҳосил қилиш мумкин бўлди, бундай ҳолатни назорат қилиш усуллари ҳам ишлаб чиқилган.

МДЯ структураларини ҳосил қилишда кремний тагликни термик оксидлаш унинг сиртини атроф муҳитдаги турли хил таъсирлардан химоя қилади.

Яримўтказгич асбобларни шлаб чиқиш жараёнида турли таъсирларга дуч келади, улар асбобнинг ишлаш барқарорлигини пасайтиради ёки уни тўлиқ ишдан чиқаради. Бунда Si-SiO_2 чегарасидаги бўлаётган айрим ўзгаришлари яримўтказгич асбобларни ташқи муҳитга ўта сезувчанлигидир. Радиацион таъсирлар Si-SiO_2 чегарасининг характеристикаларини ўзгартиради. Бироқ шу соҳада қилинган ишларни кўриб чиқадиган бўлсак, шу пайтгача аниқ бир модель, Si-SiO_2 чегарасидаги радиацион нуқсонлар ҳосил бўлишини кўрсатмаган.

Мавзунинг долзарблиги. Кремний асосидаги кўпқатламли металл-диэлектрик-яримўтказгич (МДЯ) структуралар ҳозирги вақтда кўплаб яримўтказгич асбоблар ва қуёш элементларининг асоси сифатида кенг қўлланилмоқда. Ушбу асбоблар сифатли, стабил ва ташқи таъсирларга

чидамли ишлашида яримўтказгич-диэлектрик чегарасининг характеристикаларини ўрганиш муҳим ўрин тутди.

Тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари. Тадқиқот Si-кўрғошин-борасиликат (КБС) шиша асосидаги МДЯ-структураларни асосий параметрларига нурланишнинг таъсирини тадқиқлашдан иборат. Тадқиқот мақсадини амалга оширишда МДЯ структураларини нурланишгача ва нурлантирилгандан кейинги характеристикаларини ўлчаш, параметрларини хисоблаш ва ушбу структураларни радиацияга чидамлилигини ўрганиш.

Тадқиқотнинг объекти ва предмети. Кўп қатламли яримўтказгич металл-диэлектрик-яримўтказгич (МДЯ) структуралар тадқиқот объекти сифатида олинди. Кремний-шиша бўлиниш чегарасининг асосий параметрлари: сиртий ҳолатлар зичлиги (N_{ss}) ва N_{ss} нинг кремний тақиқланган соҳаси бўйича тақсимоти тадқиқот предмети ташкил этади.

Тадқиқот услубияти ва услублари: Юқори частотали вольт-фарада характеристикалари методи.

Тадқиқот натижаларининг илмий жihatдан янгилик даражаси. КБС шиша асосидаги МДЯ структуралар параметрларига гамма нурланишнинг кичик (10^5 рад гача) ва катта (10^6 рад дан юқори) дозалар таъсири ўрганилди. Ушбу структуралар кремний- кремний диоксиди асосидаги МДЯ структураларга нисбатан радиацияга чидамлилиги аниқланди.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти ва татбиқи. КБС шиша асосидаги МДЯ структуралар кенг турдаги яримўтказгич асбоблар ва қуёш элементларининг асосий ва базавий элементи сифатида қараш мумкин

Тадқиқотнинг тузилиши ва таркиби. Магистрлик диссертацияси кириш, 3-боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан ташкил топган.

Бажарилган ишнинг асосий натижалари. Ишнинг натижалари Республика, университет миқёсидаги тўпламларда ва халқаро илмий анжумандаги мақолаларда ўз ифодасини топган.

Хулоса ва таклифларнинг қисқача умумлашган ифодаси.
Радиацияга чидамли КБС асосидаги кўп қатламли МДЯ структуралар замонавий микроэлектроника ва қуёш элементларида базовий элементлар сифатида кенг қўлланилиши лозим.

I - БОБ. МДЯ-СТРУКТУРАЛАРИ ХУСУСИЯТЛАРИГА НУРЛАНИШНИНГ ТАЪСИРИ

1.1. МДЯ структураларни характеристикаларига турли ташқи омилларнинг таъсири.

Планар технология ривожланишида, қаттиқ жисм микроэлектроникасида электрофизик жараёнларни ўрганиш кераклигига олиб келди. Бунда яримўтказгич сирт ҳолатида ва диэлектрик-яримўтказгич чегарасидаги бўлаётган аниқ химоя қоплами яримўтказгич асбоблар параметрларига аҳамиятли таъсир кўрсатади.

Сиртий ҳолат зичлиги бўлаётган жараённи тезлигини ва характерини аниқлайдиган муҳим катталиклардан бири ҳисобланади. Бу электронни заряди билан заррачаларни сонини аниқлайлиган, диэлектрик-яримўтказгичнинг чегара юза бирлигига тўғри келадиган тақиқланган сатх кенглигига тақсимланишига $\frac{dN_{ss}}{dE}$ зичлик спектри дейилади [3].

$$N_{ss} = Q_{ss} / qS \text{ (cm}^{-2}\text{)}, \quad (1)$$

Бунда Q_{ss} – диэлектрик-яримўтказгичнинг чегара қисмидаги заряд; q – электрон заряди, S – чегара юзаси [1].

Шунингдек диэлектрик-яримўтказгичнинг чегарасида локаллашган сиртаги электронларнинг энергетик ҳолат спектри, яримўтказгич тақиқланган соҳасига энергетик сатх дейилади.

Яримўтказгичда Ферми сатхи ташқи таъсир омилларига (нурланиш, температура, кучланиш ва в.б) кўра ўзгариши, сиртаги сатх заряд ҳолатини ўзгартириб, яримўтказгич руҳсат этилган сатхида заряд ташувчилар ўрни олмашилади. Одатда сиртдаги ҳолатларни қайта зарядланиши 10^{-1} секунддан ошмайди ва диэлектрик ҳажмидаги зарядлар катталигидан бир қанча кичик ҳисобланади [2]. Яримўтказгич электр майдонга кириши билан сиртий

холатларда қанчадир миқдорда ташқи зарядларни ушлаб қолиши, хажмида бир қанча миқдорда тўсиқлар ҳосил қилади.

Юқори сирти зичлик холатлари $GaAs$ чегараси соҳасида хусусий окисланиши, Ферми сатхининг жойлашивини мустаҳкамлигини арсенид галлий асосида таёрланган МДЯ майдон транзисторлари олинишини мураккаблаштиради [3].

Маълумки, кристалл панжарасидаги нуқсонлар яримўтказгич тақиқланган соҳасида энергетик сатҳ вужудга келишига олиб келади.

Яримўтказгич сирти ёки яримўтказгич – диэлектрик чегарасини ўзини макронуқсон деб олиш мумкин, чунки кристалл панжарисининг потенциал даврийлигини узилиши яримўтказгич тақиқланган соҳасида энергетик сатҳлар ҳосил бўлишига олиб келади.

Айниқса шунақа сабаб сирт холат вужудга келиши биринчи сафар классик ишларида Тамма ва Шокли томонидан айтилган. Бу вазиятда яримўтказгич сирт холатини узилган боғлиқлар ёки тўйитирилмаган сирт деб қараш мумкин [4].

Сиртий холатларини вужудга келиши, сирт қатламда оширилган концентрация нуқсонларни (дислокация, киришмавий атомларни тўпланиши ва нуқтавий нуқсонлар) вужудга келтириши мумкин. Яримўтказгич сиртида оширилган нуқсонлар концентрацияси бу соҳада қуйидагилар бўлади, механик таъсир, термодинамик – номувозанатий нуқсонлар ортиқча таъминлочи бўлиб хизмат қилади [5]. Бундан ташқари яримўтказгич – диэлектрик ажралиш чегарасида сиртий энергетик сатҳларни турли табиатлилиги, диэлектрикда яқин етарли локаллашган зарядларни уйғонишига олиб келиши мумкин [6].

Шундай қилиб N_{ss} катталик яримўтказгич сиртий холатларини аниқлашда, уни технологик ишлови, шунингдек диэлектрик хусусиятларида сирт алоҳида бир соҳа деб қаралиши керак, яримўтказгичнинг хажмдаги параметрлари сиртий параметрларидан фарк қилиши лозим.

Сиртий ҳолат зичлиги катталиги куйидаги айтилган асбобларни тезкор ишлашига етарли тасир кўрсатади.

Юкори ишончли ва яримўтказгич асбобларини мустаҳкам ишлашини тامينлаб бериш учун, яримўтказгич – диэлектрик ажралиш чегарасида паст натижа N_{ss} олиш керак, яримўтказгич соҳасида ахамиятли электрофизик характеристикаларини ўзгартирмаслигига олиб келиши керак.

Хозирги пайтда яхшироқ ўрганилган $Si - SiO_2$ ажралиш чегараси бўлиб келмоқда, улар учун N_{ss} қиймати $10^9 \div 10^{12} \text{ эВ}^{-1} \text{ см}^{-2}$ га тенг.

N_{ss} катталиги Si дастлабки сиртий ишловига ва оксид қатлам олиш технологиясига боғлиқдир [7].

Яримўтказгич – диэлектрик ажралиш чегарасида, паст ҳароратда олинидаган Si пассивирловчи сирти, хозирги пайтда паст даражада ўрганилган.

Пиролитик ўтирғизилиш йўли билан олинган SiO_2 ларда ҳам паст температуралар ишлатилади. Бирок бу қопламларни қўлланилиши яримўтказгич – диэлектрик ажралиш чегарасининг сифатини пасайишига олиб келади. [8].

Паст ҳароратли пассивловчи қатлам олиш усулларида бири, мумкин бўлган кўп бирикмалий енгил эрувчи шишадир.

Авторалар [9] томонидан кўрсатилганки, Si ни қорғошин – боросиликат-шиша билан пассивлаш, бошқа енгил эрувчи шишаларга нисбатан, яримўтказгич – шиша ажралиш чегарасининг сифатини оширишга имкон беради.

Шу вақда [10, 11] киритилаётган миқдори зичлик пассив қорғошин – боросиликат ва рух – боросиликат шишадан сиртий ҳолат фозицига, шиша бирикмани ўзоро боғликлиги кўрсатилган, [12] да эса миқдорий енгил эрувчи шиша ионлари, ишкорий металллар ва сиртий зарядларни катталигига ўзаро боғликлиги кўрсатилган.

Бирок қуйдаги авторлар томонидан кўрсатилган таҳлиллар якуний натижа бўлолмайди. [13] автор томонидан Q_{ss} катталик қорғошин – боросиликат шиша учун эриш ҳароратидан кўтарилиши билан ошади.

[12] адабиётда шишанинг эриши, сиртаги заряд катталигига муҳитни тасири кўрсатилган. Қуйдаги [13] таҳлили шуни кўрсатдики, Si шиша ажралиш чегараси сиртий ҳолат донор тур ҳолатлигини кўрсатади, $Si - SiO_2$ ажралиш чегараси вазиятида ҳам шундай кузатилади.

Яримўтказгич тақиқланган сатҳида сиртий ҳолат мавжудлиги сиртий генерацион токни вужудга келтириб, [14] автори томонидан ҳажмий ва сиртий генерацион токни ўзоро катталиклари тақослиги ўрганилган.

Малумки, диэлектрик ва яримўтказгич тағлигини, параметрларини ва структураларини ажралиш чегараси яқинидаги механик кучланишларни ички қатламларни мавжудлиги ифодалайди.

Яримўтказгич асбобларини эксплуатация қилиш жараёнида, бу қатлам ташқи муҳитга ўта сезувчанлиги ва кўп ҳолларда силжитишда электрофизик характерларини нобарқарорлигига олиб келади [15].

Бирок, қанчалик яхши ўрганилмаган бўлмасин, ҳар доим ҳам $Si - SiO_2$ ажралиш чегарасидаги нуқсонларни табиатини аниқ бир нуқсонлар тури деб ололмаймиз [16].

Ташқи муҳитнинг Si енгил эрувчи шиша ажралиш чегарасига таъсирини параметрлари учун кўрсатадиган маълумотлар деярли йўқ.

Фақатгина [14] ва [17] ишларида Si –қорғошин–боросиликат-шиша ажралиш чегарасида сиртий рекомбинация тезлиги ва сиртий заряд катталигига термо – майдонли қайта ишлаш таъсири тўғрисида маълумот келтирилган.

Шундай қилиб, яримўтказгич асбобларини эксплуатация характеристикаларига кремний-диэлектрик ажралиш чегарасидаги бўлаётган электрофизик жараёнлар сезиларли таъсир кўрсатади.

Бир қанча килинган ишларга қарамасдан шу ишга доир бир қатор муаммолар, уни структура ўзгартириш табиатини, келиб чиқишига ва

кремний нофаол қатлам ажралиш чегараси электрофизик хоссаларига ташқи тасирни ўрганишдаги шу каби муамоларни ечими яримўтказгичлар асбобларини характеристикаларини анчагина ўзгартирар эди. Айниқса ҳозирги пайтда кремний – қорғошин – боросиликанти шиша ажралиш чегарасидаги ҳолатлар паст даражада ўрганилган. Шунга оид бир қанча саволларини ечимини кейинги бўлимда кўриб чиқилади.

1.2. Асоси Si-қўрғошин-боросиликат (ҚБС)-шишадан иборат МДЯ- структураларининг параметрларига радиациянинг таъсири.

Замонавий мироэлектроникада яхши изоляция қатламларини кенг ишлаши янада янги диэлектрик материал ва уларнинг олиш технологиясини ишлаб чиқиш заруриятини яратади. Истиқболли диэлектрик матириаллардан бири қўрғошин-борасилекат-шишадан (ҚБС) $((SiO_2 - PbO - B_2O_3 - Al_2O_3))$ иборат. Ушбу диэлектрикларнинг дастлабки тадқиқотлари шуни кўрсатадики, тайёрланаётган асбоблар герметизация жараёнида шу диэлектриклар ҳозирда кенг қўлланилаётган кремний диоксиди ва кремний нитриди каби диэлектриклар билан мувофақиятли рақобатлаша олади. Ушбу шишаларнинг хусусиятларидан бири, уларнинг параметрларини кенг миқёсида ўзгартириши мумкин. Шиша таркибидаги компоненталарнинг миқдорини ўзгартирилиши билан эришилади. Масалан шиша таркибига қўрғошин (PbO) оксиди ва бор (B_2O_3) оксидларини қўшилиши шишанинг эриш температурасини пасайишига ва эластиклигини ошишига олиб келади [18]. Бундан ташқари SiO_2 таркибига қўрғошин ва алюминий оксидларини қўшилиши шишанинг бир жинслилиги ва изоляцияли хусусиятларини ўзгаришига олиб келмайди [19-20]. Лекин, ушбу оксидларнинг шиша таркибида мавжудлиги унинг диэлектрик сингдирувчанлиги ва ташқи таъсирларга кимёвий барқарорлигини ортишига олиб келади. Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки қўрғошин ва алюминий ионлари водород ва ишқорий металллар учун самарали тутқич ҳисобланади. Бу эса тадқиқланаётган

шишалар асосидаги асбоблар характеристикалари барқарорлигини ортишига олиб келади. Лекин, ушбу шишалар асосидаги метал-диэлектрик-яримўтказгич МДЯ структураларнинг электрофизик хусусиятлари ва уларнинг яримўтказгич асбобларда қўлланилиши ҳозиргача деярли ўрганилмаган. Ҳозирги пайтгача қўрғошин-боросиликат-шишадан (ҚБС) иборат диэлектрик қопламалар радиацион заряд ҳосил бўлиш жараёни деярли ўрганилмаган. Шунинг учун ҚБШ асосидаги пассивловчи ва изоляцияловчи қопламаларнинг ва яримўтказгич-ҚБШ ажралиш чегарасининг характеристикаларига радиация таъсирини ўрганиш катта қизиқиш туғдирмоқда.

1.3. Қисқача хулосалар.

1. МДЯ структуралардаги яримўтказгич-диэлектрик ажралиш чегарасининг электрофизик хусусиятларига ташқи омилларнинг таъсирини ўрганиш бўйича қисқа адабиётлар таҳлили қилинди. Асосий эътибор МДЯ структураларнинг параметрларига радиация таъсирини ўрганишга қаратилди.
2. МДЯ структуралар асосидаги асбоблар характеристикаларининг ўзгариши асосан диэлектрикдаги заряд миқдорининг ўзгариши ва яримўтказгич-диэлектрик ажралиш чегарасидаги сиртий ҳолатлар зичлигининг ортиши билан боғлиқлигини кўрсатади.
3. Ҳозиргача МДЯ структураларда радиация таъсири остида ўтаётган физик жараёнларни тушунтирувчи моделлар мавжуд. Лекин, универсал барча экспериментал натижаларни қамраб олувчи аниқ бир модел яратилмаган.
4. Адабиётлар таҳлили шуни кўрсатадики келтирилган экспериментал натижалар ва турли моделлар асосан $Si - SiO_2$ системаларга тегишли. Бошқа мураккаброқ системалар, масалан кўп компонентали шиша асосидаги МДЯ структуралар тўғрисида маълумотлар кам учрайди.

II -БОБ. МДЯ-СТРУКТУРАНИНГ АСОСИЙ ПАРАМЕТРЛАРИНИ АНИҚЛАШ УСУЛЛАРИ

2.1. МДЯ-структура параметрларини аниқлаш сиғмий усуллари.

МДЯ структуралар параметрларини аниқлаш усуллари жуда кўп. Булардан сиғмий усуллар яхши ўрганилган ва бу кенг қўлланилмоқда. Бу усулларнинг афзаллиги қуйидагилардан иборат. Барча яримўтказгичлар ва яримўтказгич структураларнинг параметрларини тадқиқлаш сиғмий усуллари кўп қатламли конденсаторлар сиғими ва яхши ривожланган р-п ўтиш тўсиғи сиғимининг назариясига асосланган. Бу турли структураларда олинган натижаларни тўғри таҳлил қилишга имкон беради.

Бундан ташқари сиғмий усуллар юқори информативликка эга. Яни бир бор ўлчаш жараёнидан диэлектрик қатлам, яримўтказгич хажми ва яримўтказгич-диэлектрик ўтиш қатламининг параметрлари тўғрисида маълумотлар олиш имконини беради. Янада шу усуллар ўлчанаётган параметрларга ўта сезгирлиги, эксперимент қўйиш соддалиги билан афзалдир. Айтиб ўтиш керакки сиғмий усуллар ёрдамида ишлаб чиқарилган асбобларнинг параметрларини назорат қилиш мумкин. Бундан ташқари сиғимий усулларни автоматлаштириш жуда осон.

МДЯ структуралар сиғмий тадқиқлаш усуллари тажрибавий олинган вольт-фарада $C - V$ характеристикалар ва назарий ҳисобланган характеристикаларни солиштиришдан иборат. Идеал $C - V$ характеристикасини ҳисобланаётганда қуйидаги тахминлар қилинади:

- яримўтказгич ва метални чиқиш ишларининг фарқи нолга тенг .
- диэлектрикда ҳаракатланаётган ва ўзгармас зарядлар мавжуд эмас.
- яримўтказгич-диэлектрик ажралиш чегарасида сиртий ҳолатлар мавжуд эмас.
- диэлектрикдан ток ўтмаслиги, яни диэлектрик идеал деб ҳисобланади.

2.2. МДЯ-структура параметрларини юқори частотали C-V усули ёрдамида аниқлаш

Металл-диэлектрик-яримўтказгич структураларнинг юқори частотали вольт-фарада характеристикаси яримўтказгич-диэлектрик ажралиш чегараси параметрларини аниқлашда кенг қўлланилади. Яримўтказгич-диэлектрик ажралиш чегарасининг асосий характерли параметрларидан бири сиртий ҳолатлар зичлиги ҳисобланади. Юқори частотали C-V характеристика бўйича металл-диэлектрик-ярим-ўтказгич структуранинг сиртий ҳолатлар зичлигини аниқлаш икки вольт-фарада характеристикаларни солиштиришга асосланган. Бу характеристикалардан бири сиртий ҳолатларга эга бўлмаган идеал структура учун ҳисобланган назарий характеристика, иккинчиси эса сиртий ҳолатларга эга реал структура учун тажриба йўли билан олинган характеристикадир.

Металл-диэлектрик-яримўтказгич структуранинг юқори частотали вольт-фарада характеристикасини ҳисоблаш учун қуйидаги, яримўтказгич-диэлектрик ажралиш чегарасида боғланган барча электрон ҳолатлар яримўтказгичнинг руҳсат этилган энергиялар соҳаси билан электронларни алмаштиришга уринмайди, деган фараздан фойдаланамиз. Бу шартни бажаришимизда сиртий ҳолатлар заряди (доимий силжиш кучланишида) ажралиш чегарасидаги сиғимга ва бунинг натижасида бутун металл-диэлектрик-яримўтказгич структураси сиғимига қўшимча улуш қўшади. Бу ўзгарувчан сигнал қутбларининг етарлича тез-тез ўзгаришида, яъни усулнинг номланишига сабаб бўлган, етарлича юқори частоталарда бажарилади.

Аниқлик учун, n-тур яримўтказгич асосида тайёрланган металл-диэлектрик-яримўтказгич структурани кўриб чиқамиз. Фараз қилайлик, диэлектрикда қандайдир зарядлар мавжуд эмас ва яримўтказгич диэлектрик ажралиш чегарасида локаллашган донор марказлар яримўтказгич қалинлиги бўйлаб тақсимланган, яъни $N_d \neq N_d$. Агар диэлектрик қатлам етарлича юпқа

бўлса, у ҳолда берилган силжиш кучланиши (ёки унинг катта қисми) фақатгина яримўтказгичга берилган бўлиб қолади.

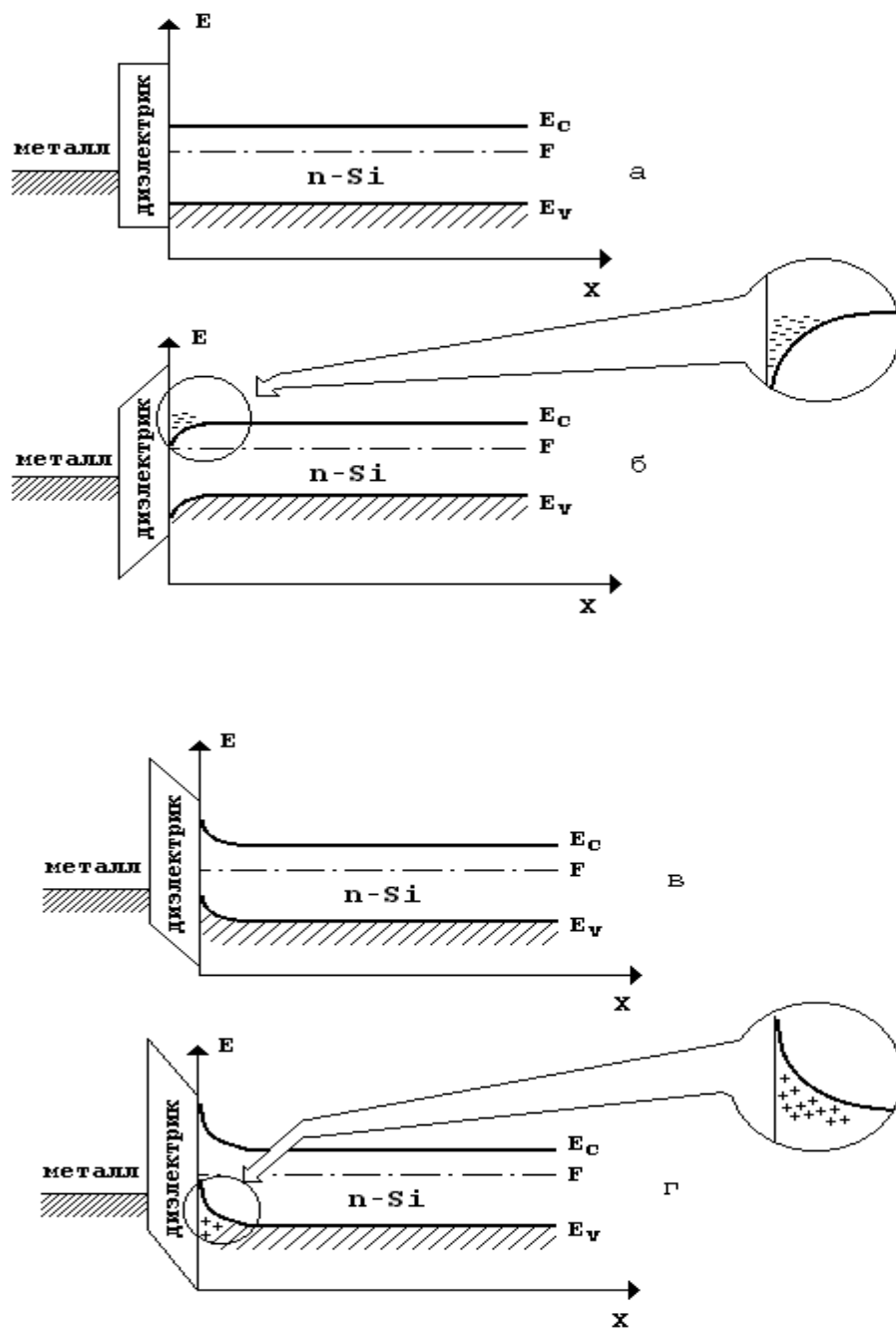
Яримўтказгичга берилган кучланиш кутбларига мос равишда яримўтказгич-диэлектрик ажралиш чегарасига тегиб турган яримўтказгич соҳасида электронлар концентрациясининг тўйиниши, камбағалланиши ёки ўтказувчанлик тури инверсияси кузатилади. Ушбу ҳолат яримўтказгич чегарасига яқин соҳадаги электронлар энергетик соҳаларининг берилган кучланиш таъсиридаги эгилиши билан тушунтирилади.

Металл-диэлектрик-яримўтказгич структуранинг металл электродига берилган мусбат кучланиш ортиши билан яримўтказгичнинг эркин электронлари яримўтказгич-диэлектрик чегарасига тортилади. Бу эса яримўтказгич сиртий қатламининг тўйиниш режимига мос келади. Энергетик диаграммалар эгилиш натижасида пастга қараб кетади (2.1.а-расм). Манфий кучланиш ортиши билан яримўтказгичнинг эркин электронлари яримўтказгич ҳажмидан итарилиб яримўтказгич-диэлектрик ажралиш чегарасига тортилади. Бу эса яримўтказгичнинг сиртий қатламининг тўйиниши режимига мос келади. Энергетик диаграммалар эгилиш натижасида пастга тушади (2.1.б-расм).

Манфий кучланиш ортганда яримўтказгичнинг эркин электронлари яримўтказгич ичкарасига қараб итариладилар. Бунда, чегара яқинидаги ҳаракатчан электронлар концентрацияси камаёди. Бу ҳол камбағалланиш режимига мос келади (2.1.в-расм).

Манфий кучланишнинг кейинги ортишида яримўтказгичнинг сиртолди соҳасидаги эркин электронлар концентрацияси термик генерацияланган, чегарага тортилаётган коваклар концентрациясидан кам бўлиб қолади. Бу эса яримўтказгичнинг сиртолди соҳасидаги ўтказувчанлик турининг ўзгариши, яъни бу ҳол сиртий ўтказувчанлик инверсияси режимига мос келади (2.1.г-расм).

Металл-диэлектрик-яримўтказгич структуранинг вольт-фарада характеристикасини ҳисоблаш учун металл-диэлектрик-яримўтказгич



2.1-расм. Металл-диэлектрик-яримўтказгич структурадаги n-тур яримўтказгичнинг сирт соҳасида энергетик соҳаларнинг эгилиши: а) –ташқи кучланиш йўқлигида, б) – тўйинтирувчи кучланиш берилганда, в) – камбағалланиш кучланиши берилганда, г) –инверсиявий кучланиш берилганда.

структуранинг n-тур ўтказувчанликка эга яримўтказгич қатламига камбағаллаштирувчи кучланиш берилган ҳол учун соҳалар диаграммасини кўриб чиқамиз (2.2-расм).

Яримўтказгичнинг диэлектрикка тегиб турган соҳасидаги ҳажмий заряд зичлигини қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\rho(x) = q[N_d - n(x)] \quad (1)$$

Бу ерда, N_d – ионлашган донор киришмалар концентрацияси, $n(x)$ – эркин электронлар концентрацияси.

Яримўтказгичдаги эркин электронлар концентрациясини қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$n(x) = n_0 \exp \left[\frac{q(\varphi(x) - \varphi_0)}{kT} \right] \quad (2),$$

бу ерда, n_0 – яримўтказгич ҳажмидаги эркин электронлар концентрацияси, T – температура, k – Больцман доимийси, φ_0 – электронлар учун Ферми сатҳи билан яримўтказгич тақиқланган соҳаси орасидаги энергетик оралик (2.2-расм). φ катталиқ яримўтказгич сиртида $\varphi = \varphi_s$ ва унинг чуқурлигида

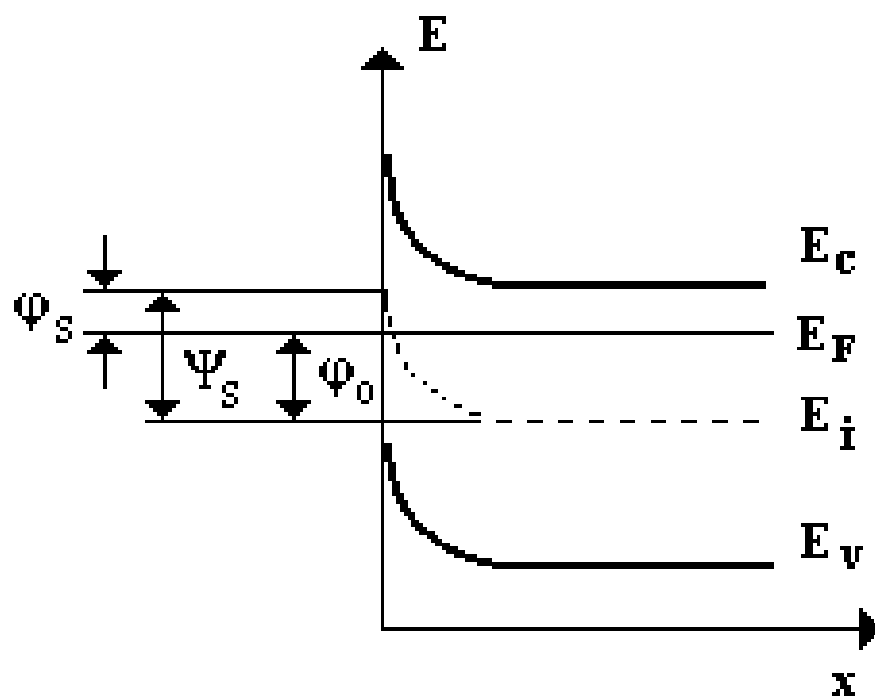
$\varphi = 0$ қийматга эга бўлади.

Пуассон тенгламаси:

$$\frac{d^2 \varphi(x)}{dx^2} = - \frac{\rho(x)}{\epsilon \epsilon_0} \quad (3)$$

ни (1) ва (2) дан фойдаланиб қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\frac{d^2 \varphi(x)}{dx^2} = - \frac{q}{\epsilon \epsilon_0} \left[N_d - n_0 \exp \left[\frac{q(\varphi(x) - \varphi_0)}{kT} \right] \right] \quad (4)$$



2.2-расм. Катта кучланиш берилганда металл-диэлектрик-яримўтказгич структурасининг n-тур яримўтказгич соҳаси диаграммаси.

бу ерда ε -диэлектрик сингдирувчанлиги, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м га тенг бўлган электр доимийси.(4) ни x координата бўйича интеграллаб қуйидагини оламиз:

$$\frac{d\varphi}{dx} = \left[\frac{2n_0 kT}{\varepsilon \varepsilon_0} \left[\exp \frac{q(\varphi_s - \varphi_0)}{kT} - 1 \right] - \frac{2qN_d}{\varepsilon \varepsilon_0} (\varphi_s - \varphi_0) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Гаусс теоремаси:

$$Q = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{d\varphi}{dx} \quad (6)$$

дан фойдаланиб, яримўтказгичдаги заряд ўзгаришини қуйидаги кўринишда ифодалаймиз:

$$\frac{dQ}{dx} = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{d}{dx} \left(\frac{d\varphi}{dx} \right) = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{d^2 \varphi}{dx^2} \text{ ва } dQ = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{d^2 \varphi}{dx^2} dx \quad (7)$$

яримўтказгичнинг дифференциал сиғими:

$$C_s = \frac{dQ}{d\varphi_s} \quad (8)$$

(8) ни (7) дан фойдаланиб:

$$C_s = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{d^2 \varphi}{dx^2} \frac{dx}{d\varphi_s} \quad (9)$$

ёки:

$$C_s = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 \frac{d^2 \varphi}{dx^2}}{\frac{d\varphi_s}{dx}} \quad (10)$$

кўринишда ифодалаймиз. (4) ва (5) ифодаларни (10) га қўйиб қуйидаги ифодани оламиз:

$$C_s(\varphi_s) = \frac{-q \left[N_d - n_0 \exp \frac{q(\varphi_s - \varphi_0)}{kT} \right]}{\left[\frac{2n_0 kT}{\varepsilon \varepsilon_0} \exp \left[\frac{q(\varphi_s - \varphi_0)}{kT} - 1 \right] - \frac{2qN_d}{\varepsilon \varepsilon_0} (\varphi_s - \varphi_0) \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (11)$$

$\frac{\varphi_s - \varphi_0}{kT} = Y_s$ деб белгилаш киритиб, (10) ни:

$$C_s(Y_s) = \frac{q(N_d - n_0 \exp Y_s)}{\left[\frac{2n_0 kT}{\varepsilon \varepsilon_0} (\exp Y_s - 1) - \frac{2qN_d kT}{\varepsilon \varepsilon_0} Y_s \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (12)$$

ёки қулайроқ

$$C_s(Y_s) = \frac{qn_0(\exp Y_s - 1)}{\left(\frac{2n_0 kT}{\varepsilon \varepsilon_0} \right)^{\frac{1}{2}} (\exp Y_s - Y_s - 1)^{\frac{1}{2}}} \quad (13)$$

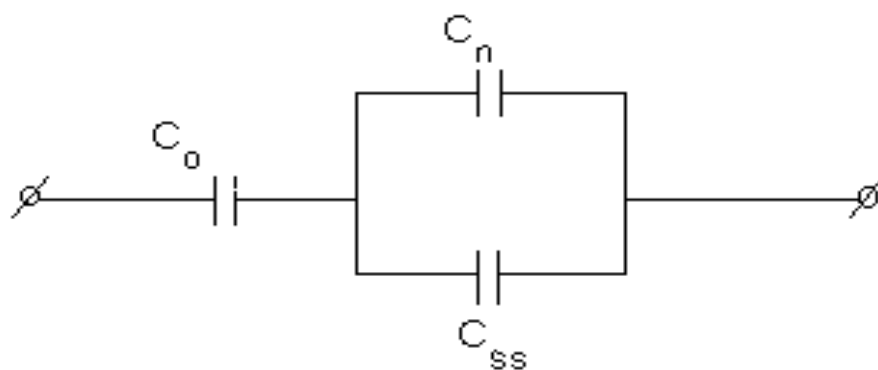
кўринишда ёзамиз. Идеал металл-диэлектрик-яримўтказгич структурада сиртий зарядлар мавжуд бўлмайди, натижада сиртий ҳолатлар сиғими нолга тенг бўлади. Демак МДЯ структуранинг соддалашган эквивалент схемасини диэлектрик қатлам сиғими (C_0) ва яримўтказгич сиғими (C_s) нинг кетма-кет уланиши сифатида тасаввур қилиш мумкин. (2.3-расм)

Структуранинг тўла сиғимини эса қуйидаги ифода ёрдамида ифодалаш мумкин.

$$C = \frac{C_0 C_s}{C_0 + C_s} \quad (14)$$

МДЯ структурадаги доимий кучланиш тушуви (U):

$$U = U_0 + U_s + U_i \quad (15)$$



2.3.-расм. МДЯ-структурасининг эквивалент схемаси: C_o – оксид қатлам сиғими, C_n – яримўтказгич қатламининг хажмий заряд сиғими. C_{ss} – сиртий холат сиғими.

кўринишда, яъни диэлектрик қатламдаги кучланиш тушуви (U_0), яримўтказгич қатламдаги кучланиш тушуви (U_s) ва инверс қатламдаги кучланиш тушуви (U_i) ларнинг йиғиндисидан иборат. (14) тенгламанинг охирги ҳади фақатгина соҳаларнинг катта инверсиявий эгилишига ($\varphi_s > 2\varphi_0$) олиб келувчи юқори инверсиявий кучланишлардагина мавжуд бўлади. Идеал МДЯ структуранинг вольт-фарада характеристикасини ҳисоблаш учун структурага берилган кучланиш тушувини сиртий потенциал φ_s орқали ифодалаш керак.

Электр майдон кучланганлиги тушунчасидан ва ясси конденсатор сигими учун қуйидаги ифода бизга таниш:

$$E = - \frac{d\varphi}{dx} \quad \text{бўлса,} \quad C_0 = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_0 S}{x} \quad (16)$$

(16) дан фойдаланиб идеал металл-диэлектрик-яримўтказгич структурада кучланиш тушуви учун ифода оламиз:

$$\Delta U = \left(\frac{2n_0 kT}{\varepsilon_1 \varepsilon_0} \right)^{\frac{1}{2}} (\exp Y_s - Y_s - 1)^{\frac{1}{2}} \varepsilon_1 \varepsilon_0 \frac{S}{C_0} + \frac{kT}{q} Y_s \quad (17)$$

Бу ерда: ε_1 - диэлектрикнинг диэлектрик сингдирувчанлиги, S —структура юзаси, T —структура температураси. (12), (13) ва (16) ифодалардан фойдаланиб, диэлектрикнинг (материал табиати ва қалинлиги) ва яримўтказгичнинг (материал табиати ва ундаги асосий заряд ташувчилар концентрацияси) берилган қийматларида идеал металл-диэлектрик-яримўтказгич структуранинг вольт-фарада характеристикасини ҳисоблаш мумкин.

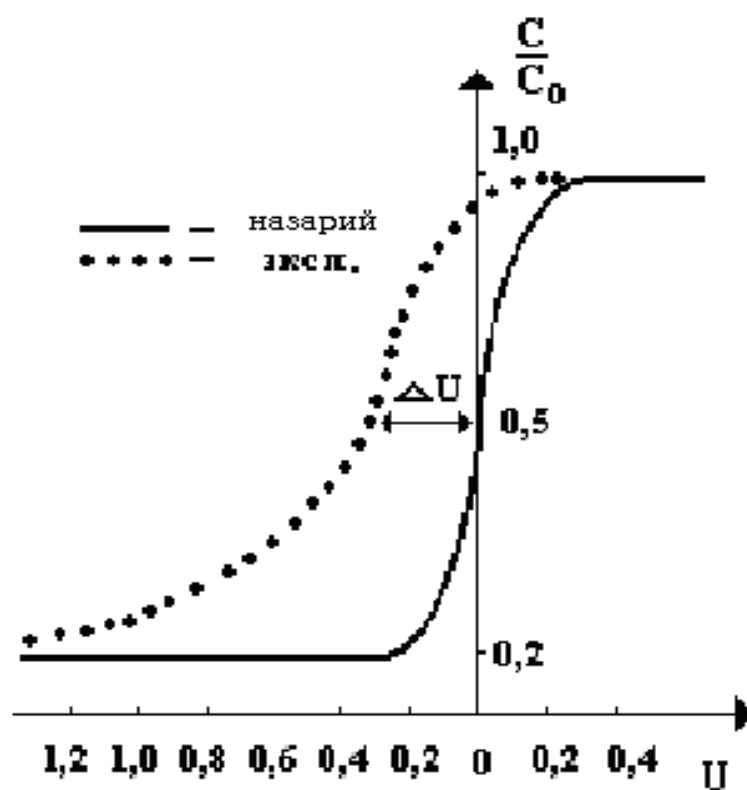
Ҳисоблашларда ўлчамсиз Y_s катталиқ -30 дан +30 гача оралиқда танланади. Яримўтказгич ва диэлектрикнинг ҳисоблашлар учун зарур параметрлари вольт-фарада характеристикаси бўйича экспериментал аниқланади. Диэлектрик қатламнинг қалинлиги (15) ифода ёрдамида характеристиканинг юқори сифими (C_0) катталиги бўйича аниқланади. Асосий заряд ташувчилар концентрацияси қуйидаги:

$$N = 2,59 \cdot 10^4 \frac{T}{S^2 C_i^2} \quad (18)$$

ифода ёрдамида экспериментал вольт-фарада характеристиканинг ҳам пастки ($C_{\min}$), ҳам юқори (C_0) сифим катталиклари бўйича аниқланиши мумкин:

$$C_i = \frac{C_0 C_{\min}}{C_0 - C_{\min}} \quad (19)$$

Намуна сифатида 2.4-расмда идеал металл-диэлектрик-яримўтказгич структура учун ҳисобланган (узлуксиз эгри чизик) вольт-фарада характеристика (диэлектрик қатлам сифими катталигига нормаллаштирилган) келтирилган. Ушбу расмдан кўриниб турибдики, экспериментал характеристика назарий характеристикадан фарқ қилади. Бу эса назарий ҳисоблашларда сиртий ҳолатлар таъсири ҳисобга олинмаганлиги билан боғлиқ. Яъни, яримўтказгич–диэлектрик ажралиш чегарасида локаллашган электрон ҳолатлар ва яримўтказгич–диэлектрик ажралиш чегарасида локаллашган зарядлар мавжуд бўлганда ушбу зарядларда кучланишнинг тушуви юзага келади. Айнан мана шу сиртий зарядларда кучланишнинг тушуви вольт-фарада характеристикани кучланишнинг манфий қиймати томонга қараб суради. Сиртий зарядларда кучланишнинг тушуви Q_{ss} орқали қуйидаги ифода ёрдамида ёзилиши мумкин:



2.4-рasm. Металл-диэлектрик-яримўтказгич структуранинг хона температурасидаги диэлектрик қатламига мосланган назарий ва экспериментал вольт-фарада характеристикалари.

$$\Delta U = \frac{Q_{ss} S}{C_o} \quad (20)$$

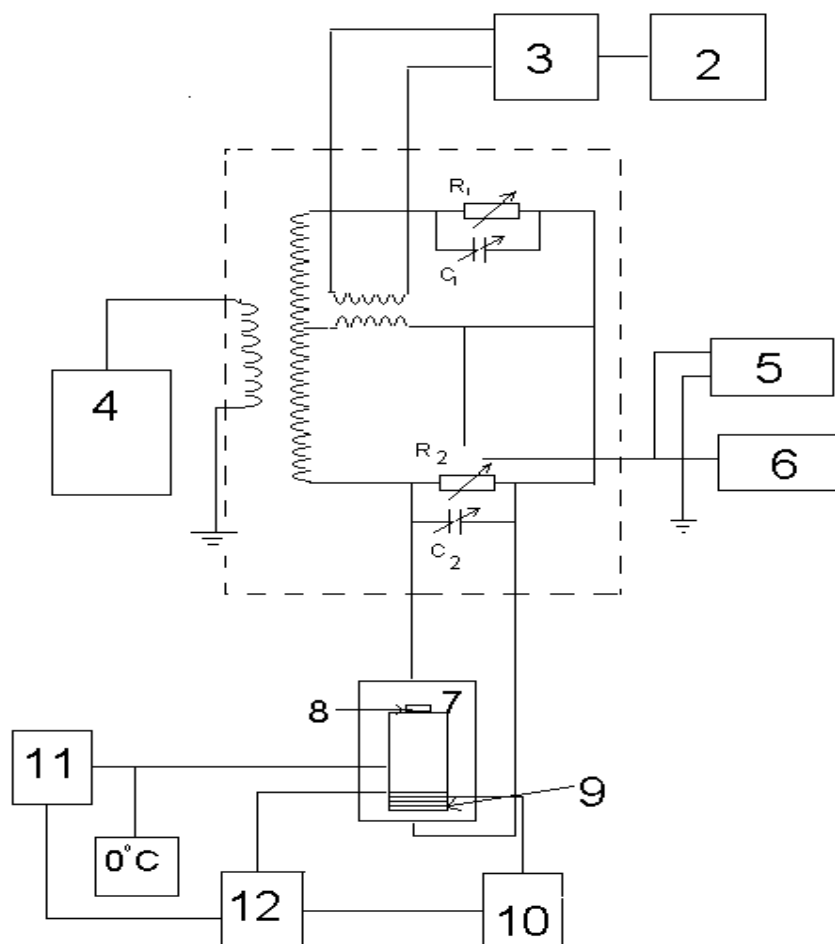
$Q_{ss}/q = N_{ss}$ (N_{ss} - сиртий ҳолатлар зичлиги) ифодадан фойдаланиб, сиртий ҳолатлар ва кучланиш тушувини боғловчи муносабатни ҳосил қиламиз:

$$N_{ss} = \frac{\Delta U}{qS} C_o \quad (21)$$

2.3. Ўлчов қурилмасининг тавсифи.

МДЯ структурасининг юқори частотавий вольт-фарада характеристикаларини ўлчаш қурилмаси [21] каби келтирилди. 2.5-расмда ўлчов қурилмасининг блок схемаси келтирилган. Ўлчов қурилмаси сифатида трансформатор кўприги ишлатилди 1. Унинг схемаси МПП-300 тўлиқ ўтказувчанликлар саноат кўпригига ўхшатиб қурилган. Ўзгарувчан қаршилик R_1 ва сиғим C_1 эталон ҳисобланган. Қаршилик R_2 ва сиғим C_2 қурилманинг бошланғич тенглик кўприги учун ишлатилган. Эталон конденсаторлар сифатида махсус градуировкаланган конденсаторлар блоки ва добротность ўлчовчи Е9-1 ва Е12-2 ишлатилинган. Тақиқланаётган сиғимга пропорционал бўлган сигнал разбаланси В6-1 турдаги селектив вольтметрига тушади 2.

Ундан кейин кучайтирилган сигнал С1-78 турдаги осциллографига 3 тушади. Частотаси 100-200 кГц ва амплитудаси 50-100мВ бўлган юқори частотали сигнал Г6-106 генераторидан кўприк киришига келиб тушади. Текширув сигнал частотаси шу тариқасида олинадики, олинаётган характеристикалар ўлчанаётган МДЯ структурасининг сиғими юқори частоталик критериясига жавоб бериши керак [2-22]. Кирувчи трансформаторнинг трансформация коэффициенти 1:5тенг. Демак, тадқиқ қилинаётган структурага амплитудаси 10-20мВли ўзгарувчан кучланиш келиб тушади.



2.5-расм. Юқори частотавий вольт-фарада $C - V$ характеристикаларини ўлчов қурилмасининг блок схемаси.

Доимий силжиш экранланган камерага 7 жойлаштирилган тадқиқот структурасига 8 КБНС манба 6-дан келиб тушади ва Ш-4313 рақамли вольтметр 5 билан назорат қилинади. Сиғим бўйича бу қурилманинг сезувчанлиги 0,1пФ га тенг ва МДЯ структураларнинг C-V боғлиқларини ўлчашига етарли.

МДЯ структураларнинг температуравий боғлиқларини олиш учун улар криостатга 7 жойлаштирилади, бунда ҳарорат хромель-алюмель термопараси ёрдамида назорат қилинади. Юқори аниқлик учун термопарани ишлов қаноти 0°C ушланади. Термопарадан чиқаётган ЭЮК В7-21 градуировкаланган вольтметрига келиб тушади. Юқорида айтилган қурилма учун ҳароратни бир маромда ушлайдиган схема 12 критилган ва у берилган термо-ЭЮК қийматидан оғишини сезади ва қизийдиган элементни 9 манбадан озикланишини 10, бошқаради. Криостатга жойлаштирилган структура азотнинг буғлари ёрдамида музлатилади.

Критилган схема ҳароратни $0,1^{\circ}\text{C}$ қийматда стабилликга олиб келади. Келтирилган [21] қурилмани ўлчаш аниқлигини ошириш учун схемага озгина ўзгариш критдик. Кўприк схемасига қўшимча прицизионли юқори частотали конденсатор критилди. Бу 0,1 дан 10пф гача бўлган сиғимли тўсувчиси билан ўлчов сиғимини аниқлигини оширди. Кенг диапазонли импульс трансформатори ШДИТ-0,1 ўлчов диапазонини 10кГцдан-4кГц гача кенгайтирди.

2.4. Тадқиқот намунаси.

МДЯ структурали кремний шиша ажралиш чегарасини электрофизик хоссаларини тадқиқот қилишда ташқи радиацион таъсирга учраган диэлектрик сифатида енгил эрувчи кўрғошин-боросиликат шиша қўланилади. Аввалги бобда кўрсатилдики кўрғошин-бораселикат-шиша

яримўтказгич асбобларни куришда яккалантирувчи ва пассивлантрукчи диэлектрик сифатида энг илғор хисобланиб келмокда.

Юқорида айтилганга кўра татқиқот объекти сифатида ушбу шиша олинган. Шисанинг таркиби кейингиларга кўра олинган PbO ва B_2O_3 миқдори оширилса шиша эриш ҳарорати пасаяди. Оксидлар миқдори 50-60% дан ошса шисанинг электрофизик характеристикаларисезиларли ёмонлашади [22]. Шу пайтда миқдори 30% бўлса етарли паст ҳароратли эриш шисасини олиб бўлмайди [23]. Si катталигича шисанинг таркибида 50% масса миқдори ошса чизикли кенгайиш ҳарорат коэффицентини олиб бўлмайди. Шиша таркибига Al_2O_3 критилса шисани кристалланишга мойиллигини юқотади ва шисани химик мустахкамлигини оширади.

Агарда Ta_2O_5 критадиган бўлсак на фақат химик мустахкамлигини балки диэлектрик синдирувчанлик қийматларини ҳам оширади. Бу оксидларнинг шиша таркибида миқдори озгина бўлса ҳам таъсири катта. Шиша таркибида $> 2 \div 3$ масс % миқдоридан ошса ҳам эриш ҳароратини катталанишига олиб келади. Шуларга таянган холда шиша таркиби хар-хил бўлган экспериментлар ўтказилди. Натижаларга кўра қуйидагилар аниқланди; оптимал бирикма эриш ҳарорати паст ва юқори химик мустахкамлик, электрофизик сифати яхши бўлган шиша SiO_2 – 32,9 %, PbO – 49%, B_2O_3 – 15%, Al_2O_3 – 2,1%, Ta_2O_5 – 1%, ишқорий металл оксидлар миқдори (KO и NaO) 0,01%. бўлганлиги аниқ бўлди.

Шисани пайвантлаш 1450-1500⁰С да амалга оширилди. Дастлабки таркиби учун пухта материал ва реактивлар қўлланилди.

Олинган шиша қуйидаги физик характеристикаларга эга; диэлектрик синдирувчанлиги $\epsilon = 8$, солиштирма қаршилиги $\rho = 10^{13}$ Ом см, юмшалиш ҳарорати $T_0 = 680^0$ С. Чизикли кенгайиш ҳарорат коэффиценти $\alpha = 5,12 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ га тенг, α га яқин бўлган Si учун ($\alpha_{Si} = 4,6 \cdot 10^{-6} K^{-1}$)

Тегирмон планетар турида шиша пайвантлангандан сўнг кичрайди. Бирикишдан сўнг олинган заррачалар қиймати 25 мкм дан юқори бўлмади.

Изопратилали спирт шиша суспензиласидан диэлектрик қатлам ҳосил бўлди. Электрофореза орқали миқдорийлиги (0,15/100) стандарт химик тоза Si пластинкаси ҳосил бўлди. Унинг солиштирма қаршилиги $60 \div 80 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ва кристалланиш ориентацияси $\langle 111 \rangle$,га эга бўлди.

Сиртни эриши азотли атмосферада ўтказилди. Шиша юмшаш ҳароратига яқин бўлган ҳароратда олинган структура 30 дақиқа 470°C ҳароратда ёқилади. Эриш вақти 5 дақиқага тенг бўлди. МДЯ структуралар характеристикаларини сиғмий усул ёрдамида ўзгартирмасдан алюминий ёрдамида диэлектрик қатлам ҳосил қилинади. Электроднинг бошқарилувчи юзаси $0,01 \text{ см}^2$ га тенг. Ўрганилаётган МДЯ нинг сиғмининг шиша қатламига қуйидагига тенг $(2,2 \pm 0,3) \times 10^{-4} \text{ см}$.

Ҳақиқий ва бир жинсли намуналарни микрофотография қурилмаси ёрдамида 250 мартагача катталаштирилади. Улардан ташқари элетонний микроскоп ва рентгент анализи ёрдамида ҳам аниқлашимиз мумкин.

2.5 . Қисқача хуласалар.

1. Яримўтказгич-диэлектрик ажралиш чегарасининг параметрларини аниқлаш учун сиғимий усуллар олинди. Юқори частотали ЮЧ $C - V$ усул диэлектрик қатлам, яримўтказгич хажми ва яримўтказгич-диэлектрик ўтиш қатламининг параметрлари тўғрисида маълумотлар олиш имконини беради.
2. Танланган намуналарнинг таркиби ва асосий характеристикалари келтирилган.
3. Юқори частотали $C - V$ қурилмасининг блок-схемаси ва тавсифи келтирилган. Ушбу қурилмада ЮЧ $C - V$ усул ёрдамида Si-ҚБС-шишадан иборат МДЯ структураларни тадқиқлаш амалга оширилди.

III-БОБ. Si-ҚБС-ШИША АЖРАЛИШ ЧЕГАРАСИНИНГ ЭЛЕКТРОФИЗИК ПАРАМЕТРЛАРИГА РАДИАЦИЯНИНГ ТАЪСИРИ.

МДЯ-структуралар асосидаги яримўтказгич асбобларнинг хусусиятларига ташқи радиациянинг тасирига доир кўплаб ишлар олиб борилган. Бир томондан ушбу асбоблар электрон техникада, экстримал шараитларда (яни турли ташқи тасирлар остида) ишлайдиган радиоэлектрон апаратураларда кенг қўлланилиши билан боғлиқ. Бошқа томондан, МДЯ-структураларига ташқи омилларнинг тасирини ўрганиш турли сиртий эффектларнинг табиатини аниқлашга имкон беради. Бу эса ўз навбатда яримўтказгич асбобларнинг барқарор ва ишончли ишлашига таъсир этади. Яримўтказгичли майдон транзисторлари, хотира элементлари, микросхемалар, тайёрлашда кремний кремний-диоксид системаларидан фойдаланилган. Хосил қилинган системалар орқали кўплаб яримўтказгичли асбоблар яратилмоқда. Яримўтказгич тагликга юқори темпиратурада яни ($900\div1200^{\circ}\text{C}$) критилган киришмалар кўплаб термодфектлар хосил бўлишига олиб келади. Бу кремний диоксиднинг бир қатор хусусиятларини ўзгаришига сабаб бўлади. Шу билан бирга SiO_2 схемаларидаги ишқорий металллар ва водород ионлари диэлектрикдаги заряднинг носитабилликга олиб келадиган микдорий характеристикадир. Бундан ташқари кремний қатламнинг ўсиш тезлигини пастлиги герматизатцион диэлектрик асбобларнинг керакли қалинликда, бу эса герматизатцион асбоблар олишда кўшимча техналогик жараёни талаб этади [24]. Сўнги пайтларда кремний диоксидига нисбатан юқори эксплуатацион характерга эга диэлектрик пассивлашган қатламлар олишда интенсив изланишлар олиб борилмоқда [25].

Пассивловчи қатламлардан бири енгил эрувчан кўп кампанентали кўрғошин-боросиликат-шишалар хисобланади. Шиша таркибига кирадиган компонентларни таркибини ўзгартириб кенг ораликда олинаётган диэлектрик

характеристикасини ўзгартириши мумкин. Булардан қуйидаги шишаларнинг энг асосий ютуғи паст бўлган шаклланиш хароратининг пастлиги хисобланади. (700°C). Бундан ташқари бундай шишалардан фойдаланиш диэлектрик қатламларни барча қалинликда олишга имкон беради, бу эса яримўтказгич асбобларнинг ишлаб чиқаришда жуда муҳим [26]. Сўнги пайтларда кўрғошин-бораселикат-шишаларнинг электрофизик хоссаларини ўрганишга бағишланган бир қатор ишлар олиб борилмоқда [13,27]. Бир вақтнинг ўзида яримўтказгич ҚБС-шиша ажралиш чегарасида содир бўлаётган электрофизик жараёнлар етарли даражада ўрганилган ва берилган жараёнларни намоён қилувчи аниқ механизмлар мавжуд эмас.

Айниқса бу кремний-шиша ажралиш чегараси хоссаларига ташқи омилларни таъсидаги саволга оид жавоб. Бу бўлимда кремний-ҚБШ-шиша ажралиш чегарасидаги электрофизик хоссаларига радиацион омилни таъсири изланиш натижалари келтирилган.

3.1. Si-қўрғошин-боросиликат (ҚБС)-шиша ажралиш чегарасидаги сиртий ҳолатлар зичлигига γ –нурланишнинг таъсири.

Яримўтказгич сирти пассив жараёнида бўлаётган яни яримўтказгич диэлектрик ажралиш чегарасидаги жараён ташқи муҳитга сезувчанлиги яримўтказгич асбобларни бита элементидир [29]. Бўлаётган жараён, кремний-қўрғошин-бораселикат-шиша сиртидаги яни буларни пассивация ва яримўтказгич сирти герметизациялаш туфайли вужудга келиши бизнинг татқиқотимизга қизиқиш уйғотади [15,28]. Яримўтказгич-диэлектрик ажралиш чегарасидаги асосий параметрлари бири бу сиртий ҳолат зичлигидир. Ундан ташқари яримўтказгич сатҳи бўйлаб энергетик спектр тақалишидир [2].

Шунга кўра автор томонидан кремний-қўрғошин-бораселекат-шиша ажралиш чегарасидаги γ -нурланиш таъсирида сиртий ҳолат зичлигини ва уларни энергетик спектр бўйлаб тарқалишини кузатдик. Натижавий структура буларни тадқиқот қилиш учун қўрғошин-боросиликат-шиша $n - Si$ тагликга кристаллографик ориентация $\langle 111 \rangle$ бўйлаб суртилди ва унинг солиштирма қаршилиги $80 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ деб олинди. Кремний тагликга қанча миқдорда шиша ва қанақа усул билан суртилганини II-бобда батафсил баён қилдик. Сиртий ҳолат зичлигини ва энергетик спектрларини аниқлаш учун ЮЧ $C - V$ характеристика усули қўлланилинди (II-боб). Ўлчовлар кампенсация кўприк усли орқали 150 кГц натижавий частота сигналида ўтказилди. МДЯ структурасини γ -квант Co^{60} манба орқали хона ҳароратида нурлантирилди. Нурлантириш миқдори $10^4 - 10^7$ рад бўлди. 3.1-расмда тадқиқот намуналар бирининг нурланишгача ва ($5 \cdot 10^6$ рад) нурланишдан кейинги $C - V$ боғланишлар келтирилган. Бундан кўриниб турибдики, γ -нурланишдан сўнг олинган МДЯ структураларнинг $C - V$ боғлиқлиги, нурланишгача ўлчангандан $C - V$ га нисбатан манфий кучланиш томонга силжиган. Бу нурлантиришдан сўнг диэлектрикда мусбат радиацияланган-

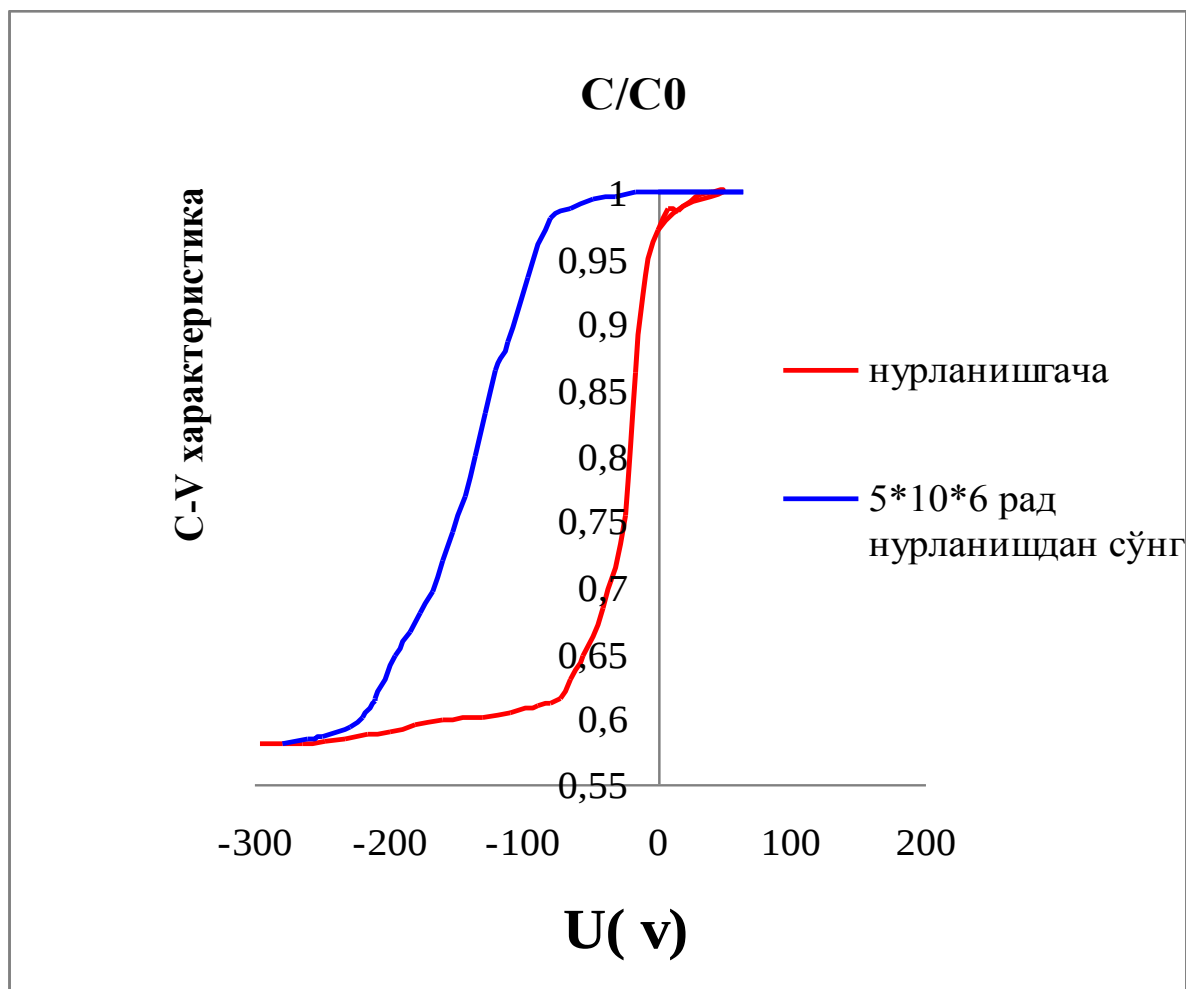
индуцирланган заряд хосил бўлишини кўрсатади. 3.1-расмда кўрсатилгандек $C - V$ характеристикаларнинг оғиши кузатилди. Нурлантиришдан сўнг Si - шиша ажралиш чегарасида сиртий ҳолатлар зичлиги ортиши кузатилди.

3.2-расмда МДЯ структурасининг нурлантиришдан олдинги $C - V$ ва нурлантирилгандан сўнг олинган боғлиқликлари келтирилган. Диэлектрик сифими $C_0 = 30$ пФ га кўра структура сифими тартибланган.

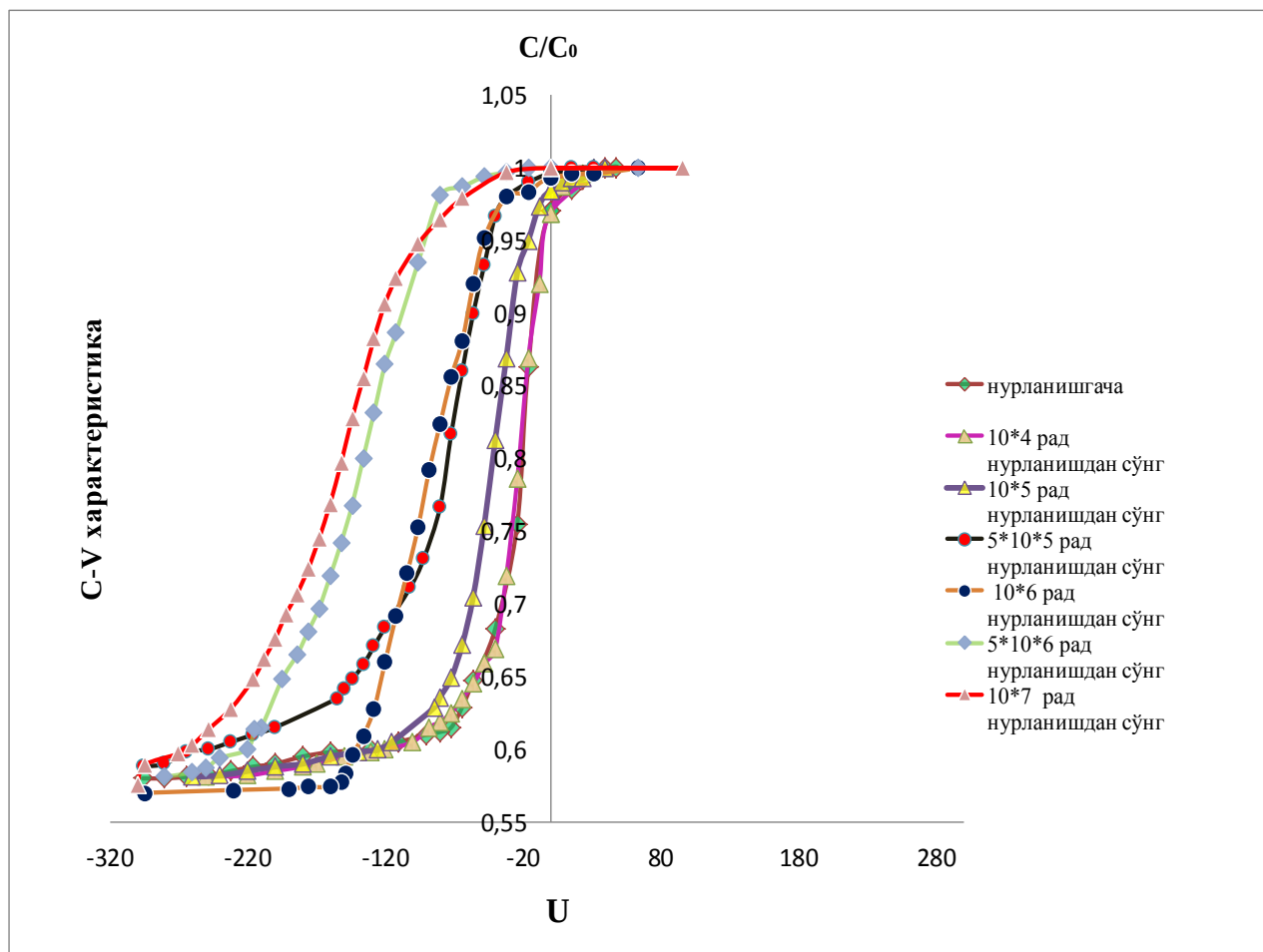
Шу пайтда айтиб ўтиш жоизки, бу ишдаги Si ҚБС-шиша ажралиш чегараси юқори радиактив мустаҳкамлик билан ажралиб туради. $Si-SiO_2$ ажралиш чегарасига нисбатан Si сирти термик ўстириш орқали олинган. Si ҚБС-шишанинг нурланишга ўта чидамлилигини қуйидагича тушинтириш мумкин. Чизиқли кенгайиш коэффицентини Si ($\alpha = 4.5 \cdot 10^{-6} K^{-1}$) ва SiO_2 ($\alpha = 0.4 \cdot 10^{-6} K^{-1}$) лар бир қанча фарқ қилади [2]. Шунинг учун кремний сиртини термик оксидлаш орқали хосил қилинган. $Si-SiO_2$ ажралиш чегарасида аҳамиятли кучланиш юзага келади. Бу жараён кучланган боғлар сонини кўпайтиради кейин эса нурланиш таъсирида шу боғлар енгил узилади [3].

Чезиқли кенгайишнинг ҳароратий коэффиценти ҚБС-шишанинг катталиги татқиқот қилинган ишимизда Si ни чизиқли кенгайиш коэффицентига яқин $\alpha = 5.1 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ Бундан ташқари Si ҚБС-шиша ажралиш чегарасини ҳароратини вужудга келиши оддий кремний сиртий термик оксидлаш шароитини вужудга келишидан кичик.

Юқорида айтилган фактлар шунга олиб келадики, Si ҚБС-шиша ажралиш чегарасида механик кучланиш $Si-SiO_2$ ажралиш чегарасига нисбатан етарлича кичик. Шунга кўра механик кучланиш боғлар сони ҳам кам бўлиб, нурланиш таъсирида сиртий ҳолат зичлигини кўпайишига олиб келади.



3.1. Расм. Тадқиқот намуналар бирининг нурланишгача ва ($5 \cdot 10^6$ рад) нурланишдан кейинги $C - V$ боғланишлар.



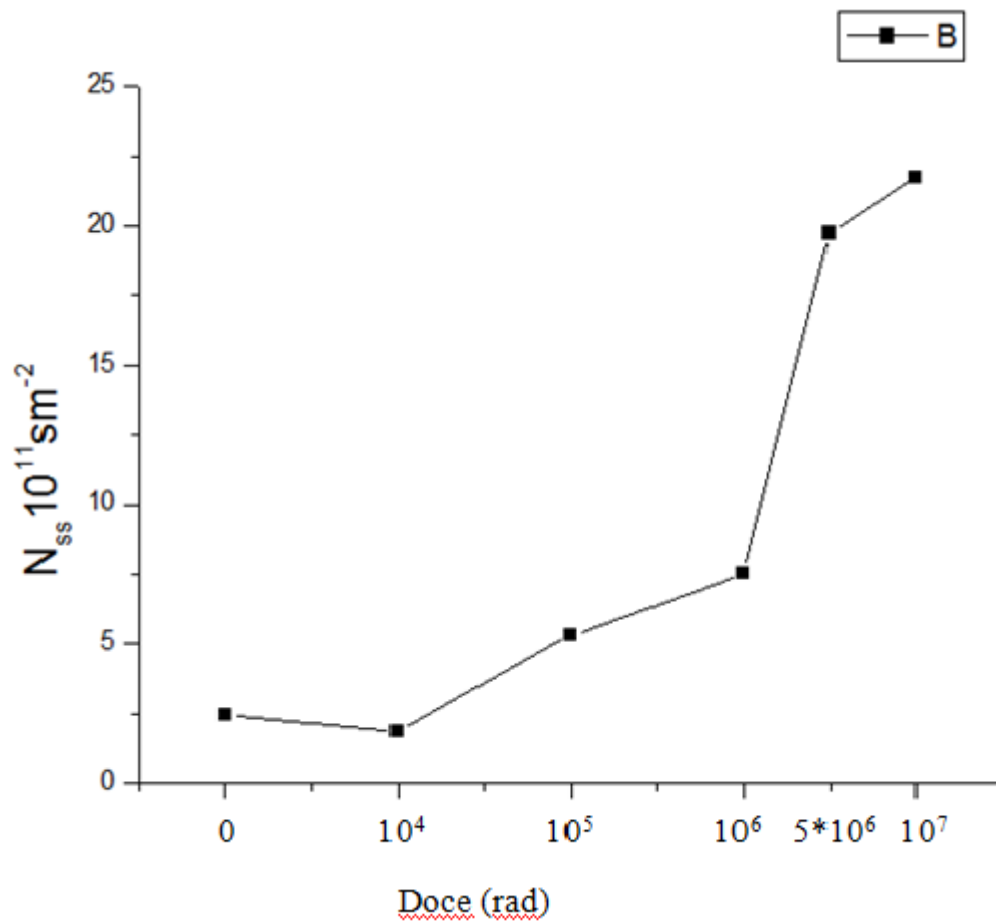
3. 2. Расм. Тадқиқот намунасининг вольт – фарада характеристикалари :
 1 - γ -нурланишгача, 2 - 10^4 рад нурланишдан сўнг, 3 - 10^5 рад нурланишдан сўнг, 4 - $5 \cdot 10^5$ рад нурланишдан сўнг, 5 - 10^6 рад нурланишдан сўнг, 6 - $5 \cdot 10^6$ рад нурланишдан сўнг, 7 - 10^7 рад нурланишдан сўнг.

3.2. N_{ss} ва Q_{ss} ларнинг дозавий боғланишлари.

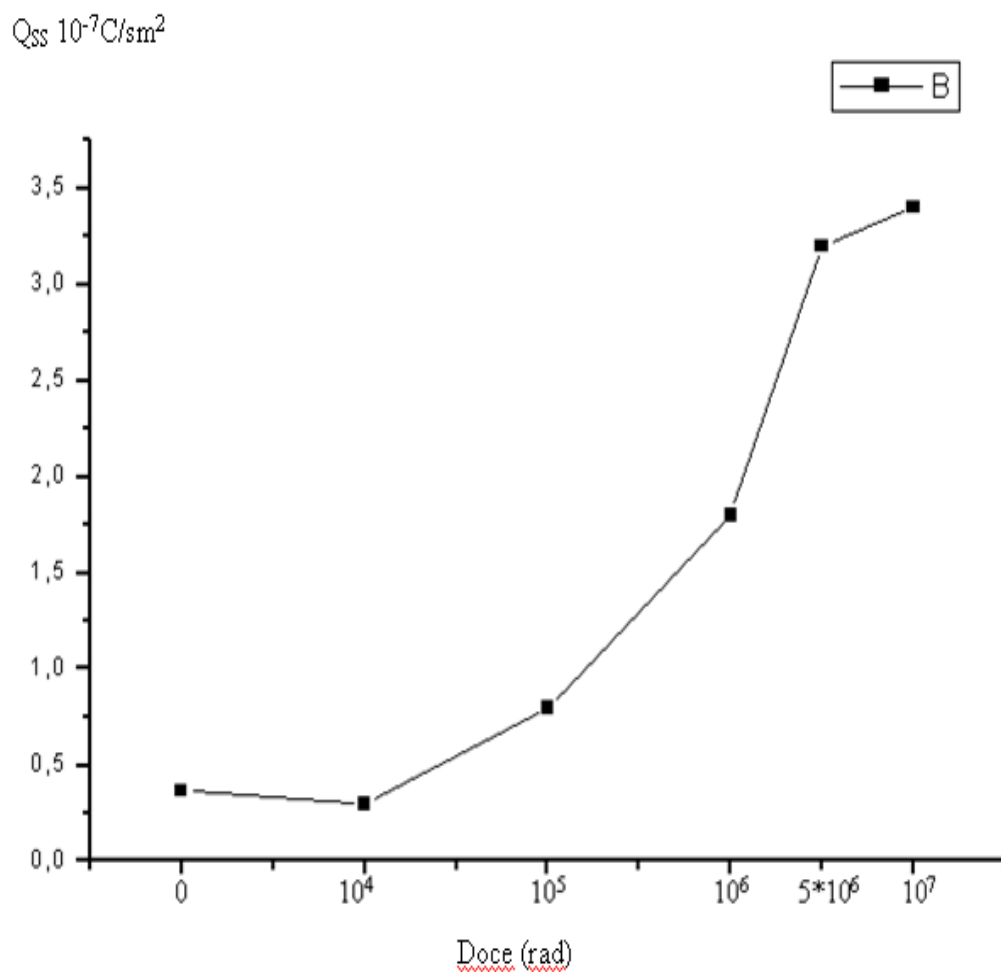
Яримўтказгич-диэлектрик ажралиш чегарасидаги сиртий ҳолатлар зичлиги ва эффектив сиртий заряднинг тезкор назорат қилиш йўлларида бири уларни “текис зоналар” кучланишида аниқланишидир [3и С.].

3.3-расмда сиртий ҳолатлар зичлигининг N_{ss} , γ - нурланиш дозасига боғлиқлиги келтирилган. Ушбу боғлиқликлар “Текис зона” кучланишида олинган. Келтирилган боғлиқликлардан кўриниб турибдики, γ - нурланиш дозасининг ортиши билан кремний-ҚБШ ажралиш чегараси сиртий ҳолатлар зичлиги нотекис ўзгармоқда.

3.4-расмда текис зоналар кучланишда аниқланган эффектив сиртий заряднинг Q_{fb} γ -нурланиш дозасига боғлиқлиги кўрсатилган. Келтирилган боғланишлардан кўринадикки Q_{ssfb} нинг кескин ўзгариш тезлиги нурланишнинг $5 \cdot 10^5$ - $5 \cdot 10^6$ рад дозаларда кўрсатилмоқда. Доза миқдори $5 \cdot 10^6$ дан ортганда Q_{fb} нинг ўзгариш миқдори пасаймоқда, бу эса радиацион индуцирланган заряднинг тўйинганлигидан далолат беради.



3.3-расм. “Текис зона” кучланишида олинган сиртий холатлар зичлигининг γ - нурланиш дозасига боғлиқлиги



3.4-расм. “Текис зоналар” кучланишда аниқланган эффектив сиртий заряднинг Q_{fb} γ -нурланиш дозасига боғлиқлиги.

3.3. Қисқача хуласалар.

1. Si-ҚБС-шиша ажралиш чегарасининг хусусиятларига γ -нурланиш (10^4 - 10^7 рад) таъсири ўрганилди. Бундан кўринадикки γ -нурланиш сиртий ҳолатлар зичлигини ортишига олиб келади. N_{ss} , дозавий боғланиши γ -нурланишгача ва γ - 10^5 рад нурланишдан сўнг, сиртий ҳолат зичлигида фарқ кузатилмади. γ - 10^5 - $5 \cdot 10^6$ рад оралиқларда эса N_{ss} нинг кескин ошиши кузатилди.
2. “Текис зоналар” кучланишдаги эффектив сиртий заряд γ -нурланишга боғлиқлиги олинди. Натижалардан кўринадикки γ -нурланишнинг $5 \cdot 10^5$ - $5 \cdot 10^6$ рад дозалар оралиғида Q_{fb} нинг ўзгариш тезлиги енг юқори қийматга эришади. γ -нурланишнинг дозаси $5 \cdot 10^6$ рад дан катта бўлганда Q_{fb} нинг ўзгариш тезлиги сезиларли камайди. Бу эса радиация таъсирида ҳосил бўлган заряднинг тўйинишини кўрсатади.
3. Бундан кўринадикки, Si-ҚБС-шиша асосида тайёрланган МДЯ структуралар, Si-SiO₂ асосида тайёрланган МДЯ структураларга караганда каттароқ электр майдонларга бардошли экан. Si-ҚБС-шиша ажралиш чегарасининг радиацияга юқори чидамлиги, ҚБС-шишани яримўтказгич асбоблар сиртларини пассивация ва химоя қилинишда кенг қўлланилишини таъминлайди.

ХУЛОСАЛАР

1. Адабиётлар тахлили шуни кўрсатдики ҳозирги кунда Si-ҚБС-шиша асосида тайёрланган қатламлардаги электрофизик жараёнлар табиати паст суратда ўрганилган. Si-ҚБС-шиша асосида сифатли асбоблар ишлаб чиқиш, диэлектрик хажмида ва яримўтказгич-диэлектрик ажралиш чегарасидаги физик жараёнларни мукамал ўрганишни тақазо этади.
2. Si-ҚБС-шиша ажралиш чегарасининг хусусиятларига γ -нурланиш ($10^4 - 10^7$ рад) таъсири ўрганилди. γ -нурланиш Si-ҚБС-шиша ажралиш чегарасида сиртий ҳолатлар зичлигини ортишига олиб келади. N_{ss} нинг дозавий боғланишида γ - 10^5 рад нурланиш дозаларгача сиртий ҳолатлар зичлигининг сезиларли ўзгариш кузатилмади. γ - 10^5 - $5 \cdot 10^6$ рад оралиқларда эса N_{ss} нинг кескин ортиши кузатилди.
3. “Текис зоналар” кучланишдаги эффектив сиртий заряднинг γ -нурланишга боғлиқлиги олинди. Натижалардан кўринадикки γ -нурланишнинг $5 \cdot 10^5$ - $5 \cdot 10^6$ рад дозалар оралиғида Q_{fb} нинг ўзгариш тезлиги енг юқори қийматга эришади. γ -нурланишнинг дозаси $5 \cdot 10^6$ рад дан катта бўлганда Q_{fb} нинг ўзгариш тезлиги сезиларли камайди. Бу эса радиация таъсирида ҳосил бўлган заряднинг тўйинишини кўрсатади.
4. Si-SiO₂ ва Si-ҚБС-шиша асосида тайёрланган МДЯ структуралар параметрларига ташқи радиациянинг таъсири таққосланди. Бундан кўринадикки, Si-ҚБС-шиша асосида тайёрланган МДЯ структуралар, Si-SiO₂ асосида тайёрланган МДЯ структураларга қараганда каттароқ электр майдонларга бардошли экан. Si-ҚБС-шиша ажралиш чегарасининг радиацияга юқори чидамлиги, ҚБС-шишани яримўтказгич асбоблар сиртларини пассивация ва ҳимоя қилинишда кенг қўлланилишини таъминлайди.

АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ.

1. Terman L. M. An investigation of surface state at silicon / silicon oxide interface employing metal – Oxide – Silicon diodes. // Sol. St. Electron. 1962. V. 5. № 2. P.285 – 299.
2. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. В 2-х т. – М.: Мир.1984. Кн.1. – 456 с.
3. Бехштедт Ф., Эндерлайн Р. Поверхности и границы раздела Полупроводников.– М.: Мир. 1990. – 488 с.
4. С. Дэвисон, Д. Левин Поверхностные (Таммовские) состояния. – М.: Мир.1973. – 232 с.
5. Власов С.И. Эффекты влияния приповерхностных глубоких центров на параметры переходных слоев полупроводник-диэлектрик.: Дис. док. физ.-мат. наук –Ленинград: ФТИ. 1991.- 228 с.
6. Квантовый эффект Холла. / под ред. Р. Пренджа и С. Гирвина. –М.: Мир. 1983. – 408 с.
7. Schulz M. Interface state at the Si – SiO₂ interlace // Surf. Sci. 1983. V. 132. P. 442 – 455.
8. Парфенов О.Д. Технология микросхем. – М.: Высшая школа. 1986. – 320 с.
9. Карпаченко В.Г., Иноземцев С.А., Лайцкер Э.Н. Защитные и стабилизирующие свойства фосфатных и свинцовых стекол. // Электронная техника. Сер. 2. Вып 2 (45). 84 (1969).
10. Shimbo M. Tai S., Transava K. Physical and electrical properties of acid resisteum zinc – lead – borosilicate passivation glass. // J. Ceram. Soc. Japan. 1988. V. 96. № 2. P. 201 – 205.
11. Kiyoshi M., Kazuro I., Kazumichi A., An investigation of Surface Effect on Glass – Passivated p – n Junctions – // NEC Research and Development. 1976. № 2. P. 1 – 11.

12. Shimbo M, Farukawa K., Tanzava K, Fukada K. Surface charge studies on lead – borosilicate glass contain trace sodium. // J. Elektrochem. Soc. 1987. V. 134. № 1. P. 156 – 159.
13. Парчинский П.Б., Власов С.И., Насиров А.А., Адилов Т.П. Исследование заряда диэлектрика и границы раздела кремний свинцово – боросиликатное стекло. // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 26. Вып 2. С. 46 – 49.
14. Т.П. Адылов, С.И. Власов, Т. Назаров. Генерационно–рекомбинационные свойства границы раздела Si – стекло.// УзФЖ .1997. № 2. С. 46 – 49.
15. Вавилов В.С. Некоторые физические аспекты ионной имплантации. // УФН. 1995. Т. 145. вып 2. С. 329 – 334.
16. Вавилов В.С., Горин Б.М.: Данилин Н.С. и др. Радиационные методы в твердотельной электронике. – М.: Радио и связь. 1990. – 184 с.
17. П.Б. Парчинский, С.И. Власов, А.А. Насиров, Т.П. Адылов. Влияние термообработки на характеристики многокомпонентных пассивирующих покрытий. // Микроэлектроника. 1997. Т. 26. № 1. С. 62 – 63.
18. Коньков А.А., Румак Н.Б., Томченко А.А., Хотько В.В. Высокотемпературные исследования фазового состава кристаллизующихся стекол.// III Всесоюзная конференция «Физика окисных пленок»: Тез. докл. – Петрозаводск. 1991. с.14.
19. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники. –М.: Высшая школа. 1986. – 367 с.
20. Белашенко Д.К. Моделирование аморфных B_2O_3 и Al_2O_3 .//Изв. АН СССР. Неорганические материалы. 1991.Т.27.Вып.10. С.2127-2133.
21. Берман Л.С., Брискин Б.С.,Власов С.И., Роменюк А.Д. Установка для контроля чистоты полупроводниковых материалов емкостным методом.// Заводская лаборатория. 1980. Т.46. № 3. С.249-252.

22. Flowers P.L. Dielectric breakdown and device evaluation of fritter glass composition. // J. Elektrochem. Sos. 1981. V. 128. № 10. P. 2179 –2183.
23. Сыноров В.Ф., Ревелева М.А., Алейников Н.М. и др. МДП – структуры. – Воронеж: Изд-во ВГУ. 1975. – 228 с
24. Мазурин О.В., Стрельцина М.В., Шайко – Шайковская Г.П. Свойства стекол и стеклообразующих расплавов. – Л: Наука. 1971. Т.3. Ч.1. – 586 с.
25. Агеларзаде А.П., Петрин А.И., Изитдинов С.Д. Основы конструирования и технологии обработки поверхности р-п перехода. – М: Советское радио. 1978. – 224 с.
26. Пичугин И.Г., Таиров Ю.М. Технология полупроводниковых приборов. – М.: Высшая школа. 1984. –288 с.
27. Волков В.А. Сборка и герметизация полупроводниковых устройств. – М.: Радио и связь. 1982. – 144 с.
28. Парчинский П.Б., Власов С.И., Насиров А.А. Исследование параметров свинцово – боросиликатных стекол.// Изв. АН России Неорганические материалы. 1996. Т.36. № 8. С.11–13.
29. Власов С.И., Парчинский П.Б., Олматов Б.А. Плотность поверхностных состояний на границе раздела кремний-свинцово-боросиликатное стекло.// Неорганические материалы. 2000. Т.36. № 5. С.608-610.
30. Першенков В.С., Попов В.Д., Шальнов А.В. Поверхностные радиационные эффекты с ИМС. - М.: Энергоатомиздат.1988. – 256 с.

ЧОП ЭТИЛГАН МАҚОЛАЛАР РЎЙХАТИ

1. П.Б.Парчинский, А.А Насиров, В.А Тен, И.И Марипов, Ю.Т Юсупов, М.М Аллаберганов, К.А Исмаилов. Исследование профиля распределения глубоких центров, локализованных у границы раздела кремний-свинцово-боросиликатное стекло. «Фундаментальные и прикладные вопросы физики». Труды международной конференции. Ташкент. 2013, 14-15 ноябрь. 206-208 с.
2. И.И Марипов, Ш.Т Боймиров. МСП структуры для солнечной энергетики «Физика фанининг ривожиди истеъдодли ёшларни ўрни» Республика илмий-амалий конференцияси. Тошкент. 2014 й. 62-63 бет.