

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

**МИРЗО УЛУҒБЕК НОМИДАГИ  
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ**

**“ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР ВА ПОЛИМЕРЛАР  
ФИЗИКАСИ”КАФЕДРАСИ**

5140200 –Физика таълим йўналиши

**ЮСУПОВ ФЕРУЗ РУСТАМОВИЧ**

**“Кўп қатламли структураларнинг параметрларини  
аниқлашнинг сиғимли методи”**

мавзусидаги

**БИТИРУВ МАЛАКАВИЙ ИШИ**

Илмий раҳбар:  
доц. Насиров А.А.

**ТОШКЕНТ – 2018**

## МУНДАРИЖА

### КИРИШ

#### I-БОБ. МДЯ-СТРУКТУРАЛАР

- |      |   |    |
|------|---|----|
| 1.1. | Яримўтказгичлар сиртидаги сатҳлар                                       | 6  |
| 1.2. | МДЯ структураларни характеристикаларига турли ташқи омилларнинг таъсири | 15 |

#### II-БОБ. МДЯ-СТРУКТУРАНИНГ АСОСИЙ ПАРАМЕТРЛАРИНИ АНИҚЛАШ УСУЛЛАРИ

- |      |  |    |
|------|--|----|
| 2.1. | МДЯ-структура параметрларини аниқлаш сиғмий усуллари                   | 20 |
| 2.2. | МДЯ-структура параметрларини юқори частотали C-Vусул ёрдамида аниқлаш. | 21 |
| 2.3. | Ўлчов қурилмасининг тавсифи  | 32 |

#### III-БОБ. ОЛИНГАН НАТИЖАЛАР ВА УЛАРНИНГ ТАҲЛИЛИ

- |      |   |    |
|------|---|----|
| 3.1. | Al – SiO <sub>2</sub> – n-Si турдаги МДЯ-структураларнинг асосий параметрларини аниқлаш | 35 |
| 3.2. | МДЯ-структурадаги сиртий ҳолатлар зичлигини аниқлаш                                     | 41 |

**ХУЛОСА** 43

**АДАБИЁТЛАР** 44

## К И Р И Ш

Охирги йилларда кўпчилик татқиқотчилар томонидан МДЯ(металл-диэлектрик-яримўтказгич) структурасидан тайёрланган яримўтказгич асбобларнинг хусусиятлари ва характеристикалари интенсив ўрганилмоқда.

МДЯструктуралар замонавий микроэлектроника ва Қуёш элементларида базавий элементлар сифатида кенг қўлланилиб келмоқда.

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

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

Сиртдаги маҳаллий энергетик сатҳлар ва улардаги сиртий заряд сирт яқинида энергия зоналарини эгади, бу эса кристаллар электр ўтказувчанлигини, чиқиш ишини, фотоэлектрик хоссаларини 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 ишлаб чиқиш жараёнида турли таъсирларга дуч келади, улар асбобнинг ишлаш барқарорлигини пасайтиради ёки уни тўлиқ ишдан чиқаради. Бунда Si-SiO<sub>2</sub> чегарасидаги бўлаётган айрим ўзгаришлари яримўтказгич асбобларни ташқи муҳитга ўта сезувчанлигидир.

**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 тутади.

**Тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари.** Тадқиқот Al – SiO<sub>2</sub> – n-Si турдаги МДЯ-структураларнинг асосий параметрларини аниқлашдан

иборат. Тадқиқотмақсадини амалга оширишда МДЯ структуралархарактеристикаларини ўлчаш, параметрларини ҳисоблаш ва ушбу структураларни ташқи омилларга чидамлилигини ўрганиш режалаштирилди.

**Тадқиқотнинг объекти.** Al – SiO<sub>2</sub> – n-Si турдаги кўп қатламли яримўтказгич металл-диэлектрик-яримўтказгич (МДЯ) структуралар тадқиқот объекти сифатида олинди.

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

## ЇБОБ. МДЯ-СТРУКТУРАЛАР

### 1.1. Яримўтказгичлар сиртидаги сатҳлар

Майдон эффеки кинетикасини тадқиқ қилиш натижасида германий ва кремний сиртида муҳим даражада фарқли релаксация вақтларига эга бўлган сиртий сатҳларнинг икки тизими мавжудлиги аниқланган эди. Яримўтказгич - оксид чегарасида жойлашган сиртий сатҳлар ҳажмдаги энергия зоналари билан яхши электрик алоқада бўлади ва уларнинг релаксация вақтлари кичик ( $\sim 10^{-8}$ с). Бу сатҳларни шартли равишда “тез” сатҳлар деб номланган. Улардан фарқли равишда, оксид- атроф муҳит чегарасида жойлашган сиртий ҳолатлар “секин” сатҳлар деб номланган, чунки уларнинг релаксация вақти катта ( $10^{-3}$ с дан ўнлаб секунд ва ундан ҳам ортиқ).

Электронлар ва ковакларни ушлаб олиш кўндаланг кесимлари нисбатига қараб “тез” сиртий сатҳлар рекомбинация сатҳлари ҳам, ёпишиш ёки ушлаш сатҳлари ҳам бўлиши мумкин. “Секин” сатҳлар орқали рекомбинация бўлмайди ва улар ушлаш сатҳлари бўлади, уларда ушланган заряд катта зичликка эга бўлганлиги туфайли сиртда зоналар эгилиши катталигини аниқлайди.

#### “Тез” сатҳларнинг энергетик спектри

Яримўтказгич сирти моделини тўғри танлаш учун сиртий сатҳлар энергетик спектри қандай бўлишлигини билиш керак. Агар сиртий ҳолатлар дискретлиги равшан бўлса, тез сатҳлардаги заряднинг  $Y_s$  га боғланиши эгри чизиғида бир неча поғоналар бўлиши керак, майдон эффеки ҳаракатчанлигининг  $Y_s$  га боғланишида эса бир неча максимумлар бўлиши лозим эди. Агар уларнинг бир қисми рекомбинация сатҳлари хизматини бажарса, у ҳолда  $s$  ( $Y_s$ ) боғланишда ҳам бир неча максимум бўлиши керак эди.

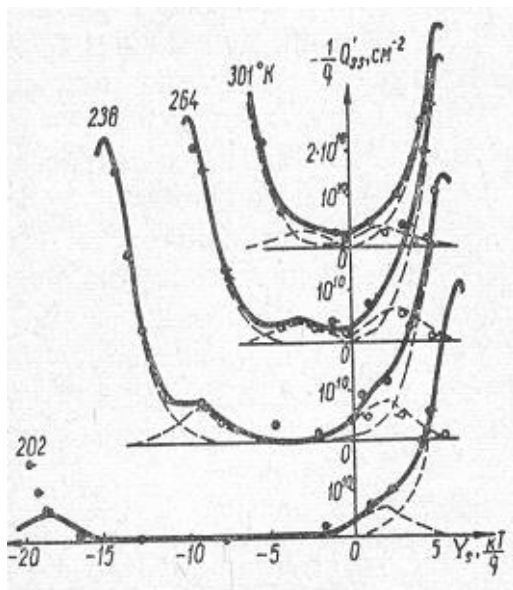
Аммо, германийда ҳам, кремнийда ҳам мазкур эгри чизиклар силлик шаклда бўлади, уларнинг ҳеч бирини сиртида бир сатҳ бор деган фараз асосида тушунтириб бўлмайди. Бундай ҳолат сиртий ҳолатлар узлуксиз спектрга, дискрет спектрга (ҳолатлар яқин жойлашган) эга бўлганида ҳам ўринли бўлиши мумкин.

Бироқ, германий ва кремнийнинг тақиқланган зонаси ўртаси яқинида дискрет сатҳлар тизими мавжудлиги тажрибада тасдиқланган. Баъзи ҳолларда дискрет сатҳлар билан бирга узлуксиз тақсимланган сатҳлар ҳам бор деб фараз қилинади, улар рухсатланган зоналар яқинида жойлашган бўлади.

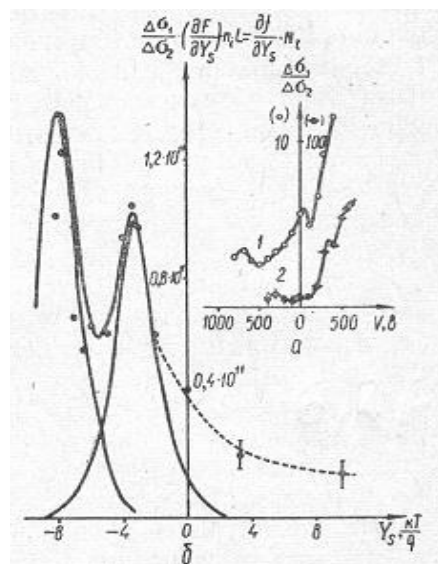
“Тез” сатҳларнинг миқдорий параметрларини асосан учта усул билан:

- 1) стационар майдон эффектининг ўлчашларидан;
- 2) сиртий рекомбинация тезлиги ва майдон эффектини бир вақтда ўлчашларидан;
- 3) майдон эффектининг кинетикаси ва частотавий боғланишини тадқиққилишдандан аниқланган.

“Тез” сиртий сатҳларнинг турли температурадаги параметрлари  $\frac{\partial Q_{ss}}{\partial Y_s}$  ҳосила орқали ифодаланадиган майдон эффекти ҳаракатчанлигини ўлчашдан аниқланади. Агар сатҳлар дискрет бўлса,  $\frac{\partial Q_{ss}}{\partial Y_s}$  нинг  $Y_s$  га боғланиши бир қатор чўкқиларга эга бўлади. 1.1- 1.2-расмларда турли температураларда бу боғланиш тасвирланган. Хона температурасида тақиқланган зона ўртаси яқинида икки сатҳ етарлича аниқ кўринади, уларнинг зичлиги  $\sim 10^{-10} \text{см}^{-2}$ . Температура пасайса, рухсатланган зоналарга яқин жойлашган ва каттароқ зичликка эга бўлган ( $\sim (1 \div 2,5) 10^{11} \text{см}^{-2}$ ) яна икки сатҳ кўринади. Паст температурада (масалан,  $\sim 202 \text{ К}$  да) тақиқланган зона ўртасидаги сатҳлар йўқ ёки зичлиги жуда кам, шунинг учун ҳам улар майдон эффекти ўлчашларида намоён бўлмайди.



1.1-расм



1.2-расм

Кремнийдаги сиртий сатҳлар спектрининг дискрет (узук) бўлишлигини майдон эффектини кичик сигнали ( $\Delta\Phi_s \ll kT/e$ ) усул билан ўлчашлар асосида исботланган. Бу усулда майдон торгина ораликдаги сиртий сатҳлар тўлдирилганлигини ўзгартиради ҳолос, бу эса яқин жойлашган дискрет сатҳларни ажратиш имконини беради.

Сиртий ҳолатларнинг энергиялар бўйича тақсимланиши ҳақида бевосита маълумотни инфрақизил соҳада фотоўтказувчанликни ўлчашлардан олиними мумкин, бунда заряд ташувчилар сиртий сатҳлар ва зоналар орасида ўтишади. Бу усул сиртий ҳолатлар зичлиги анча катта бўлганда қўлланилади. Сиртий сатҳлар дискретлиги бу ҳолда фотоўтказувчанликнинг спектрал боғланишида максимумлар кўринишида намоён бўлади, уларнинг вазияти сиртий сатҳларнинг энергетик вазиятини аниқлайди.

Кремнийда инфрақизил фотоўтказувчанлик спектрида 1 дан 4 мкм гача соҳада нозик тузилиш ошкорланмаган, аммо бу спектрал ораликда фотоўтказувчанликнинг ортиши кузатилган.



## Сиртда номувозанатий заряд ташувчиларнинг рекомбинацияси, ушланиши ва ёпишиши

Кристалл хажмидаги маҳаллий сатҳлар, маълумки, уларнинг номувозанатий заряд ташувчилар билан ўзаро таъсири қандай бўлишига боғлиқ равишда рекомбинация сатҳлари ва ёпишиш сатҳларига ажратиб қаралади. Агар кристалда, масалан ёритиш оқибатида, ортиқча ташувчиларнинг номувозанатий зичлиги пайдо қилинган бўлса, бу ҳолда ёритиш тўхтатилганда зичлик мувозанат қийматига қайтиши (релаксацияга) юз беради. Бир ишорали ( масалан, электронлар ) ташувчилар киришмавий марказда ушланади. Маълум вақт ўтгач, киришмавий сатҳ ушланган электронларни зонага қайтариб иссиқлик (иссиқлик ҳаракати ҳисобига) бериши ёки номувозанатий ковакни ушлаб олиши мумкин. Агар ковакни ушлаб олиш эҳтимоллигидан электронни зонага қайтариб бериш эҳтимоллиги катта бўлса, мазкур сатҳни ёпишиш сатҳи дейилади. Акс ҳолда, агар сатҳнинг электрон ва ковакни ушлаб олиш эҳтимоллиги зонага қайтариб бериш эҳтимоллигидан катта бўлса, бундай сатҳ рекомбинация сатҳи дейилади.

Электронни ушлаб олган қандайдир А сатҳ учун ковакни ушлаб олиш эҳтимоллигини зонага қайтариб бериш (иссиқлик энергияси ҳисобига зонага ўтказиш) эҳтимоллигига нисбати

$$K_n = \frac{\gamma_n \gamma_p}{\gamma_n N_c \exp(-E_a / kT)} \quad (1.1)$$

Бунда р-коваклар зичлиги,  $E_a$ - сатҳнинг энергетик вазияти.

Ковакни ушлаб олган сатҳ учун

$$K_p = \frac{\gamma_p n}{\gamma_p N_v \exp(-(E_g - E_a) / kT)}, \quad (1.2)$$

бунда  $E_g$ - тақиқланган зона кенглиги.

Агар  $K_p \ll 1$  бўлса, А сатҳ ёпишиш сатҳи бўлади, агар  $K_p \gg 1$  бўлса, у тез рекомбинация сатҳи бўлади ва  $K_p \sim 1$  бўлса, секин рекомбинация сатҳи бўлади. (1.1) ва (1.2) ифодалардан кўриниб турганидек, сатҳнинг қандай бўлиши температурага, ноасосий заряд ташувчилар зичлиги ва бошқа омилларга ҳам боғлиқ бўлади.

Юпқа намуналар фотоўтказувчанлигини, майдон эффектини тадқиқ қилишнинг кўрсатишича, мазкур эффектларнинг тез релаксацияси сиртий рекомбинация жараёнлари билан ҳам, сиртий ушланиш жараёнлари билан ҳам боғлиқ. Мазкур сатҳнинг ёпишиш маркази бўлишлиги шарти қуйидагича ифодаланиши мумкин:

$$K_{ns} = \frac{\alpha_p}{\alpha_n} \exp(E_t - E_f + Y_s) \ll 1 \quad (1.3)$$

Бу жойда  $E_f$ - ферми сатҳи энергияси:  $E_f$  ва  $E_t$  тақиқланган зонанинг ўртасидан ҳисоб қилинади.

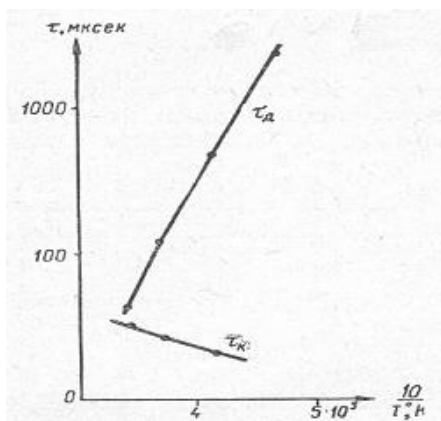
Тез сиртий сатҳлар параметрлари температурага боғлиқ. Масалан, германийда ўтказилган майдон эффекти ўлчашларига асосан хона температурасида тўртта “тез” сиртий сатҳларнинг ҳаммаси рекомбинацион марказлар бўлади. Температура пасая борган сайин сатҳларнинг рекомбинацион хоссалари сусайиб, ёпишиш эҳтимоллиги ортиб боради. Температуранинг  $\sim 250$  К гача пасайтирганда тақиқланган зонанинг юқориги ярмисида сатҳлар ёпишиш сатҳлари бўла бошлайди. Яна ҳам паст  $T$  да қолган 2 та сатҳ ҳам ёпишиш сатҳлари бўлиб олади.

Кремнийнинг юпқа намуналарида кичик сигналли майдон эффекти ва фотоўтказувчанлик релаксацияси кўриниши  $Y_s$  га боғлиқ. Бойиган ёки кучсиз камбағаллашган қатламлар учун сиртий рекомбинация аниқлайдиган тез релаксация жараёни кузатилади. Сиртда инверсион

катлам бўлган ҳолда релаксация секин боради, бу эса сиртий ёпишиш ҳақида гувоҳлик беради.

### Сиртий ёпишиш сатҳлари

Кремнийнинг юққа намуналарида хона температурасида фотоўтказувчанлик икки - қисқа вақтли ва узоқ вақтли - ташкил этувчилардан иборат, бунда бу ташкил этувчиларни тавсифловчи хусусий вақтларнинг



1.3-расм

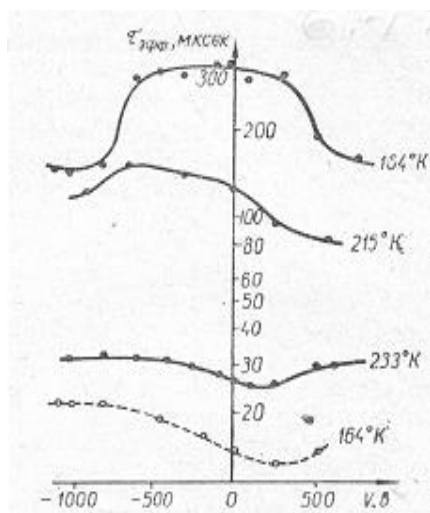
температурага боғланиши муҳим даражада турлича: узоқ вақтли ташкилловчининг вақти доимийси  $\tau_{уз}$  температура пасайган сайни ортиб боради, қисқа вақтисиники  $\tau_k$  пасаяди (1.3-расм).  $\tau(\frac{1}{T})$  боғланишнинг ортиши ёпишиш жараёнларига хос пасаяувчи  $\tau(1/T)$  боғланиш эса рекомбинацион жараёнларга хосдир.

Бу тажрибавий далил яна бошқа тажрибалар билан биргаликда зарядташувчиларнинг сиртий ёпишиши мавжуд эканлигини тасдиқлади.

Ёпишиш сатҳларини “нейтраллаштириш” учун намунани етарлича кучли доимий ёруғлик билан ёритиш керак. Бунда фотоўтказувчанлик кинетикаси худди ёпишиш сатҳлари бўлмаганидек ўтиб боради. ~ 0,5% инжекция (пуркаш) сатҳи берадиган кучсиз доимий ёритиш хусусий вақтни икки тартибга камайтиради. Бу натижа доимий (қўшимча) ёритиш ҳолида релаксация рекомбинацион табиатга эга деган хулосага олиб келади.

Намунада электрон-ковак жуфтларни тортиб чиқарувчи бўйлама электрик майдоннинг фотоўтказувчанлик ташкилловчиларига таъсирини ўрганиш ҳам сиртий ёпишиш ҳодисаси мавжудлигини тасдиқлайди. Майдонни пайдо қилиш (кучланиш бериш) рекомбинация билан, яъни

намунада электрон-ковак жуфтлари борлиги билан боғлиқ қисқа вақтли релаксацияни муҳим даражада тезлаштиради. Майдон  $\tau_{уз}$  ни ўзгартирмайди, бу ёпишиш эффекти учун табиийдир, чунки ёруғлик пайдо қилган заряд ташувчилар ёпишиш марказлари тутиб олганлари яқинида маҳаллийлашган ва уларни майдон кристаллдан чиқара олмайди.



1.4-расм

Сиртий сатҳларда заряд ташувчиларнинг ёпишиши эффектини n-тур яримўтказгичда кузатиш осон. Релаксация вақтит нинг T температура пасайиши билан ортиб бориши фақат юпқа намуналарда кузатилади. тмуҳим даражада сиртга ишлов берилишига боғлиқ. Узок вақтли ташкилловчининг вақти  $\tau_{уз}$  сиртга қўйилган ташқи кўндаланг майдонга, яъни зоналар

эгилиши катталигига боғлиқ, аммо  $\tau_{ук}$  амалда доимий қолади.

Бу натижалар кузатиладиган ёпишиш эффектлари сиртга тегишли эканлигини тасдиқлайди. Конденсатор фото Э.Ю.К.и  $Y_{кф}$  ни ўлчашларда ҳам сиртий ёпишиш сатҳлари намоён бўлади. Аниқланишича, n-Si нинг баъзи намуналари учун конденсатор фото Э.Ю.К. ининг қўйилган кучланишга боғланиши максимумга эга, яъни зоналар эгилишининг тегишли қийматида сиртда мусбат заряд тўпланади, ковакларнинг тутилиши юз беради.  $Y_{кф}$  релаксациясида узок вақтли ( $\tau_{уз}$ ) ташкилловчи пайдо бўлади (1.4-расм). Асос борки, ёпишиш сиртий сатҳлари бевосита кристал чегарасида (Дебай чуқурлигида эмас!) жойлашган.

Энди сиртий ёпишиш сатҳлари зичлигини баҳолаймиз. Уни бу марказлар тўйиниб оладиган инъекция сатҳи катталиги бўйича амалга оширилади. Олинган  $N_{ен}^s \sim 7 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$  қийматлар майдон эффекти ўлчашларидан топилган қийматларга яқин, аммо ҳажмий ёпишиш сатҳлари зичлигидан ( $N_{ен}^b \sim 10^{12} - 10^{14} \text{ см}^{-2}$ ) анча кам. Катта сигналлар

(кучланишлар)да олиб борилган ўлчашларда сиртий ёпишиш сатҳлари тўла тўйинган ва намоён бўлмайди. Кичик сигналлар билан ўлчашлар олиб борилганда сиртий ёпишишни эътиборга олмоқ зарур. Кремний учун заряд ташувчиларнинг сиртда ёпишиши хона температурасида мавжуд бўлади.

### **“Тез” сиртий сатҳларнинг табиати**

Яримўтказгичлар сирти физикаси бўйича анча назарий ва тажрибавий тадқиқотлар олиб борилган ва улар кейинги даврда янада жадал олиб борилмоқда. “Тез” сиртий ҳолатлар ҳоссаларини ўрганиш бўйича анча маълумот тўпланган. “Тез” сиртий сатҳлар параметрларининг температурага, ёритишга боғлиқ равишда ўзгариши тадқиқланган, сирт табиий қариганида, вакуумда ва газ мухитларида юқори температурада қиздиришда сатҳлар тизими ўзгариши ўрганилган, молекулалар адсорбциясининг рекомбинацион ҳоссаларга таъсири текширилган. Бу соҳада тадқиқ қилинадиган кўп муаммолар мавжуд.

Германий дастлаб яхши ўрганилган яримўтказгич. Германийнинг сиртидаги рекомбинацион марказлар германий-оксид чегарасида адсорбцияланган кислород билан боғлиқ деган фаразни атомар тоза сирт ҳоссаларини тадқиқлари тасдиқлади. Намуналарни вакуумда  $T \sim 500^{\circ}\text{C}$  бўлганда қиздириш оқибатида пайдо бўлган рекомбинацион марказларнинг энг катта зичлиги  $10^{12}\text{см}^{-2}$  бўлиб, у сиртий атомлар зичлиги ( $10^{15}\text{см}^{-2}$ )дан анча кичик. Бу маълумот асосида рекомбинацион марказлар вазифасини германий-оксид чегарасидаги тузилиш нуқсонлари бажаради деган хулосага келиш мумкин.

Сувни адсорбциялашда қилишда сиртий рекомбинация тезлиги камаяди, у сув молекулалари томонидан рекомбинацион марказларининг нейтралланиши оқибати деб талқин қилинади. Нейтраллаш эффекти механизми қуйидагича тасаввур қилинади. Сув молекуласи ёки бошқа кутбли

молекула (ёки ион) сиртий рекомбинацион марказ (германий-оксид чегарасидаги нуқсон) яқинида панжара доимийси тартибидаги масофада маҳкам жойлашади. Молекулар ёки ион адсорбцияси оқибатида пайдо бўлган маҳаллий майдон таъсири натижасида марказнинг рекомбинацион параметрлари (унинг энергетик вазияти  $\gamma_n$ ,  $\gamma_p$ ) кучли даражада ўзгариши мумкин, хусусан, марказ рекомбинацион бўлмай қолиши мумкин.

Ҳақиқатдан, сув эфир билан алмаштирилса, марказнинг тутиб олиш кўндаланг кесими ўзгариши кузатилади. Германий сиртига хос эффектлар кремний устида бажарилган тадқиқотларда намоён бўлмайди, чунки германий ва кремнийнинг сиртлари муҳим даражада ҳар хил едириш ва оксидлаш тезликларига, шунингдек, турли адсорбцион-десорбцион хоссаларга эгадир.

“Тез” сатҳлар кремнийда ҳам, германийда ҳам яримўтказгич-оксид чегарасидаги тузилиш нуқсонлари билан боғлиқ. Бу сатҳларнинг зичлиги германийдагига нисбатан кремнийда бир неча марта катта экан. Кремний сиртига барқарорлик хос: сув ёки кислород адсорбланганда ( сиртга ютилганда) мустаҳкам Si-O боғланишлар вужудга келади. Шаклланган оксид пардаси мустаҳкам ва кимёвий барқарор. Атмосферани кейинги ўзгартириш тез сиртий сатҳлар тизимига таъсир қилмайди. Намуналарни вакуумда қиздириш сиртий сатҳлар зичлигини қайтмас равишда камайтиради, сиртий рекомбинация тезлигини анча камайтиради.

## 1.2. МДЯ структураларн характеристикаларига турли ташқи омилларнинг таъсири

Планартехнология ривожланишида, каттик жисм мироэлектроникасида электрофизик жараёнларни ўрганиш кераклигига олиб келди. Бунда яримўтказгич сирт ҳолатида ва диэлектрик-яримўтказгич чегарасидаги бўлаётган аниқ ҳимоя 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 сатҳ

кенглигига тақсимланишига  $\frac{dN_{SS}}{dE}$  зичлик спектри дейилади (ЗС):

$$N_{SS} = Q_{SS} / qS \text{ (см}^{-2}\text{)} \quad (1.4)$$

Бунда  $Q_{SS}$  – диэлектрик-яримўтказгичнинг чегара кисмидаги заряд;  $q$  – электронзаряди,  $S$  – чегара юзаси [1].

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

Яримўтказгичда Ферми сатҳи ташқи таъсир омилларига (нурланиш, температура, кучланиш ва в.б) кўра ўзгариши, сиртаги сатҳ заряд ҳолатини ўзгартириб, яримўтказгич руҳсат этилган сатҳида заряд ташувчилар ўрни алмашинилади. Одатда сиртдаги ҳолатларни қайта зарядланиши  $10^{-1}$  секунддан ошмайди ва диэлектрик ҳажмидаги зарядларкатталигидан бир қанча кичик ҳисобланади [2]. Яримўтказгич электр майдонга кириши билан сиртий ҳолатларда қанчадир миқдорда ташқи зарядларни ушлаб қолиши, ҳажмида бир қанча миқдорда тўсиқлар ҳосил қилади.

Юқори сирти зичлик ҳолатлари  $GaAs$  чегараси соҳасида хусусий оксидланиши, Ферми сатҳининг жойлашуви мустақамлиги 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 панжарасининг потенциал даврийлигини узилиши яримўтказгичнинг тақиқланган соҳасида энергетик сатҳлар ҳосил бўлишига олиб келади.

Айниқса шундай сабаблар сирт ҳолат вужудга келиши, биринчи сафар Тамм ва Шоклининг классик ишларида айtilган. Бу вазиятда яримўтказгич сирт ҳолатини узилган боғлиқлар ёки тўйитилмаган сирт деб қараш мумкин [4].

Сиртий ҳолатларини 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 локалашган зарядларни уйғонишига олиб келиши мумкин [6].

Шундай қилиб,  $N_{ss}$  катталиқ яримўтказгич сиртий ҳолатларини аниқлашда, уни технологик ишлови, шунингдек диэлектрик хусусиятларида сирт алоҳида бир соҳа деб қаралиши керак, яримўтказгичнинг ҳажмдаги параметрлари сиртий параметрларидан фарқ қилиши лозим.

Сиртий ҳолат зичлиги катталиги қуйидаги айtilган асбобларни тезкор ишлашига етарли тасир кўрсатади.

Юкори ишончли ва яримўтказгич асбобларини стабил ишлашини таъминлаб бериш учун, яримўтказгич – диэлектрик ажралиш чегарасида



паст натижа  $N_{SS}$  олиш керак, яримўтказгич соҳасида аҳамиятли электрофизик характеристикаларини ўзгартирмаслигига олиб келиши керак.

Ҳозирги 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, ҳозирги пайтда паст даражада ўрганилган.

Пиролитик ўтқизилиш 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 усуллари билан бири, мумкин бўлган кўп бирикмавий энгил эрувчи шишадир.

Муаллифлар [9] томонидан кўрсатилганки,  $Si$  ни қўрғошин – боросиликат-шиша билан пассивлаш, бошқа энгил эрувчи шишаларга нисбатан, яримўтказгич – шиша ажралиш чегарасининг сифатини оширишга имкон беради.

Шу вақтда [10, 11] киритилаётган миқдори зичлик пассив қорғошин – боросиликат ва рух – боросиликат шишадан сиртий ҳолат фозизига, шиша бирикмани ўзоро боғлиқлиги кўрсатилган, [12] да эса миқдорий энгил эрувчи шиша ионлари, ишқорий металллар ва сиртий зарядларни катталигига ўзаро боғлиқлиги кўрсатилган.

Бирок қуйидаги авторлар томонидан кўрсатилган таҳлиллар якуний натижа бўлолмайди. [13] муаллифлар томонидан  $Q_{SS}$  катталик қўрғошин – боросиликат шиша учун эриш ҳароратидан кўтарилиши билан ошади.

[12] адабиётда шишанинг эриши, сиртаги заряд катталигига мухитни таъсири кўрсатилган. Қуйидаги [13] таҳлил 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] муаллифи томонидан ҳажмий ва сиртий генерацион токни ўзоро катталиклари таққослиги ўрганилган.

Маълумки, диэлектрик ва яримўтказгич таглигини, параметрларини ва структураларини ажралиш чегараси яқинидаги механик кучланишлар ички қатламларни мавжудлиги ифодалайди.

Яримўтказгич асбобларини эксплуатация қилиш жараёнида, бу қатлам ташқи мухитга ўта сезгирлиги ва кўп ҳолларда уни 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 мухитнинг  $Si$  енгил эрувчи шиша ажралиш чегарасига таъсирини параметрлари учун кўрсатадиган маълумотлар деярли йўқ.

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

Шундай қилиб, яримўтказгич асбобларни 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, уни келиб чиқишига ва кремний нофаол қатлам ажралиш чегараси электрофизик хоссаларига ташқи таъсирни ўрганишдаги шу каби муаммоларни ечими яримўтказгичлар

асбобларини характеристикаларини анчагина ўзгартирар эди. Айниқса ҳозирги пайтда кремний – қўрғошин – боросиликат - шиша ажралишчегерасидаги ҳолатлар паст даражада ўрганилган. Шунга оид бир қанча саволларининг ечими кейинги бўлимда кўриб чиқилади.

## II-БОБ. МДЯ-СТРУКТУРАНИНГ АСОСИЙ ПАРАМЕТРЛАРИНИ АНИҚЛАШ УСУЛЛАРИ

### 2.1. МДЯ-структура параметрларини аниқлаш сиғмий усуллари

МДЯ структуралар параметрларини аниқлаш усуллари жуда кўп. Булардан сиғимий усуллар яхши ўрганилган ва у бугунги кунда кенг қўлланилмоқда. Бу усулларнинг афзаллиги қуйидагилардан иборат. Барча яримўтказгичлар ва яримўтказгич структураларнинг параметрларини тадқиқ қилиш сиғмий усуллари кўп қатламли конденсаторлар сиғими ва яхши ривожланган p-n ўтиш тўсиғи сиғимининг назариясига асосланган. Бу турли структураларда олинган натижаларни тўғри таҳлил қилишга имкон беради.

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

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

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

## 2.2. МДЯ-структура параметрларини юқори частотали С-Vусули 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 С-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 нзарий характеристика, иккинчиси эса сиртий ҳолатларга эга реал структура учун тажриба йўли билан олинган характеристикадир.

Металл-диэлектрик-яримўтказгичструктуранинг 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  $N_d \neq N_a$ . Агар диэлектрик қатлам етарлича юпқа бўлса, у ҳолда берилган силжиш

кучланиши (ёки унинг катта қисми) фақатгина яримўтказгичга берилган бўлиб қолади.

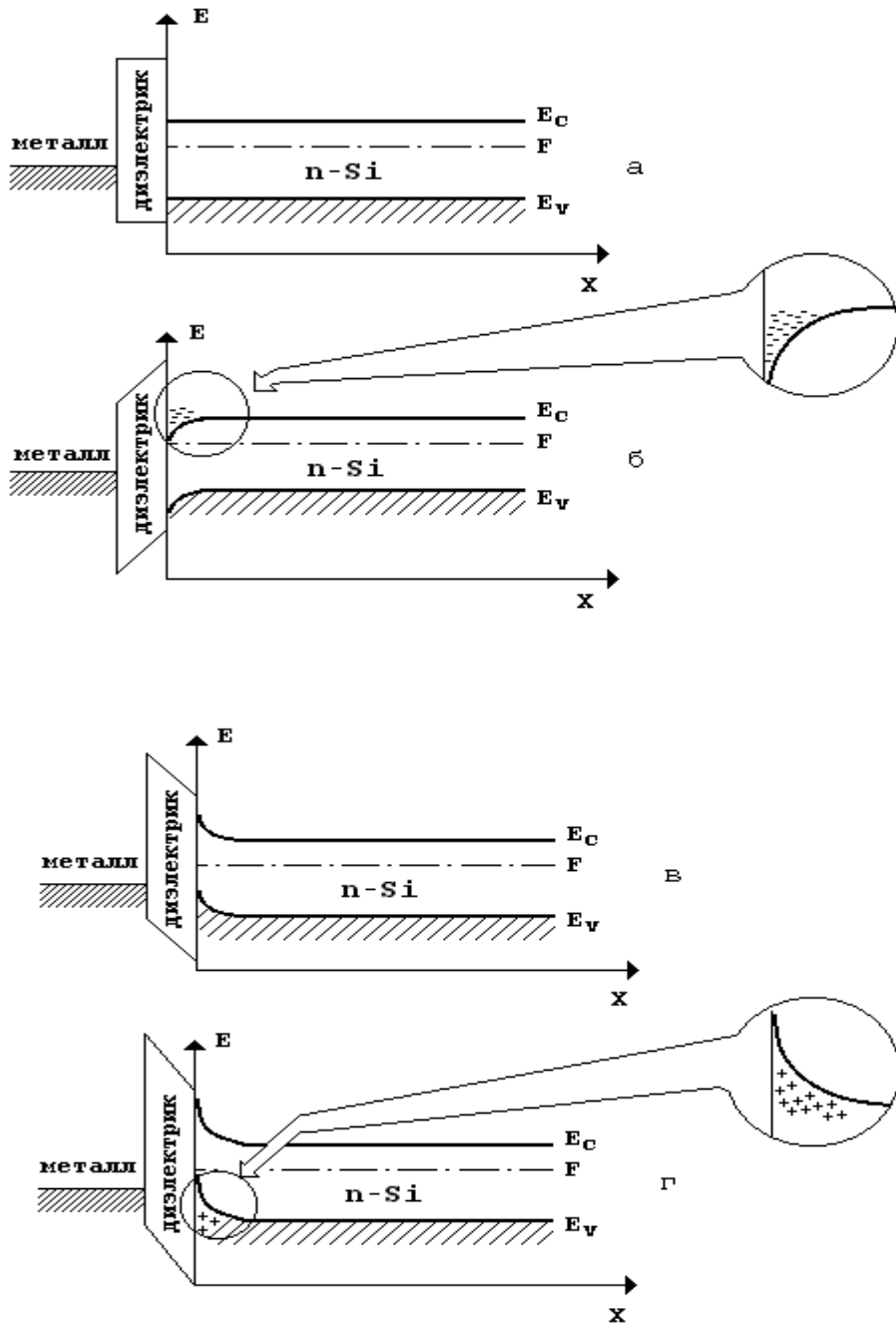
Яримўтказгичга берилган кучланиш кутбларига мос равишда яримўтказгич-диэлектрик ажралиш чегарасига тегиб турган яримўтказгич соҳасида электронлар концентрациясининг тўйиниши, камбағаллашиши ёки ўтказувчанлик тури инверсияси кузатилади. Ушбу ҳолат яримўтказгич чегарасига яқин соҳадаги электронлар энергетик 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 камади. Бу ҳол камбағаллашиш 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:

$$\rho(x) = q[N_d - n(x)] \quad (2.1)$$

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

Яримўтказгичдаги эркин электронлар концентрациясини қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$n(x) = n_0 \exp\left[\frac{q(\varphi(x) - \varphi_0)}{kT}\right] \quad (2.2),$$

бу ерда,  $n_0$ –яримўтказгич ҳажмидаги эркин электронлар концентрацияси,  $T$ -температура,  $k$ –Больцман доимийси,  $\varphi_0$ -электронлар учун Ферми сатҳи билан яримўтказгич тақиқланган соҳаси орасидаги энергетик оралик (2.2-расм).  $\varphi$  катталиқ яримўтказгич сиртида  $\varphi = \varphi_s$  ва унинг чуқурлигида  $\varphi = 0$  қийматга эга бўлади.

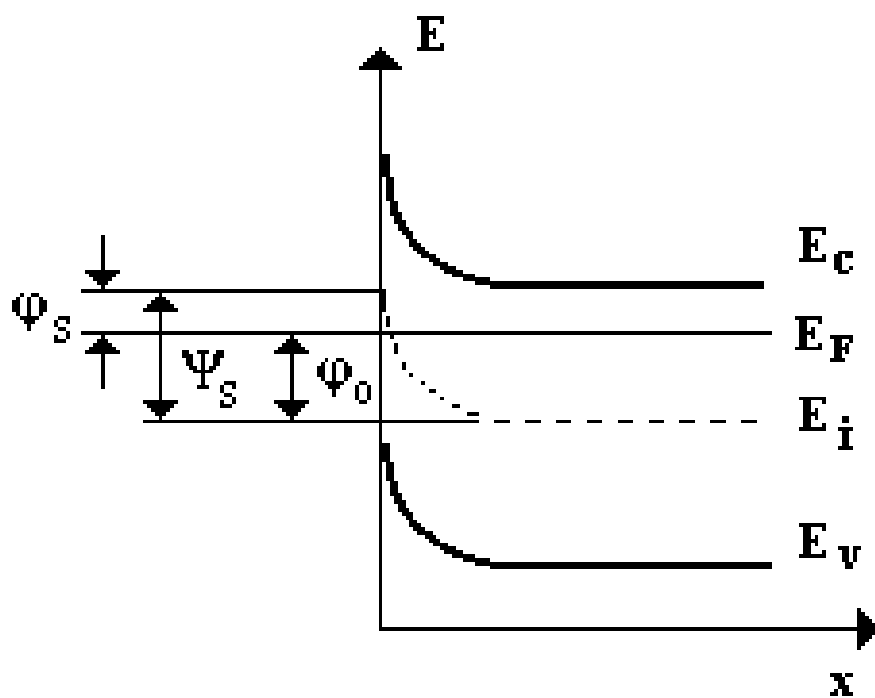
Пуассон тенгламаси:

$$\frac{d^2\varphi(x)}{dx^2} = -\frac{\rho(x)}{\varepsilon\varepsilon_0} \quad (2.3)$$

ни (2.1) ва (2.2) дан фойдаланиб қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\frac{d^2\varphi(x)}{dx^2} = -\frac{q}{\varepsilon\varepsilon_0} \left[ N_d - n_0 \exp\left[\frac{q(\varphi(x) - \varphi_0)}{kT}\right] \right] \quad (2.4)$$





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

бу ерда  $\mathcal{E}$  -диэлектрик сингдирувчанлиги,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м га тенг бўлган электр доимийси.(2.4) ни x координата бўйича интеграллаб қуйидагини оламиз:

$$\frac{d\varphi}{dx} = \left[ \frac{2n_0 kT}{\epsilon \epsilon_0} \left[ \exp \frac{q(\varphi_s - \varphi_0)}{kT} - 1 \right] - \frac{2qN_d}{\epsilon \epsilon_0} (\varphi_s - \varphi_0) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.5)$$

Гаусс теоремаси:

$$Q = \epsilon \epsilon_0 \frac{d\varphi}{dx} \quad (2.6)$$

дан фойдаланиб, яримўтказгичдаги заряд ўзгаришини қуйидаги кўринишда ифодалаймиз:

$$\frac{dQ}{dx} = \epsilon \epsilon_0 \frac{d}{dx} \left( \frac{d\varphi}{dx} \right) = \epsilon \epsilon_0 \frac{d^2 \varphi}{dx^2} \text{ ва } dQ = \epsilon \epsilon_0 \frac{d^2 \varphi}{dx^2} dx \quad (2.7)$$

яримўтказгичнинг дифференциал сиғими:

$$C_s = \frac{dQ}{d\varphi_s} \quad (2.8)$$

(2.8) ни (2.7) дан фойдаланиб:

$$C_s = \epsilon \epsilon_0 \frac{d^2 \varphi}{dx^2} \frac{dx}{d\varphi_s} \quad (2.9)$$

ёки:

$$C_s = \frac{\epsilon \epsilon_0 \frac{d^2 \varphi}{dx^2}}{\frac{d\varphi_s}{dx}} \quad (2.10)$$

кўринишда ифодалаймиз. (2.4) ва (2.5) ифодаларни (2.10) га қўйиб қуйидаги ифодани оламиз:

$$C_s(\varphi_s) = \frac{-q \left[ N_d - n_0 \exp \frac{q(\varphi_s - \varphi_0)}{kT} \right]}{\left[ \frac{2n_0 kT}{\epsilon \epsilon_0} \exp \left[ \frac{q(\varphi_s - \varphi_0)}{kT} - 1 \right] - \frac{2qN_d}{\epsilon \epsilon_0} (\varphi_s - \varphi_0) \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (2.11)$$

$\frac{\varphi_s - \varphi_0}{kT} = Y_s$  деб белгилаш киритиб, (2.10) ни:

$$C_s(Y_s) = \frac{q(N_d - n_0 \exp Y_s)}{\left[ \frac{2n_0 kT}{\epsilon \epsilon_0} (\exp Y_s - 1) - \frac{2qN_d kT}{\epsilon \epsilon_0} Y_s \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (2.12)$$

ёки қулайроқ

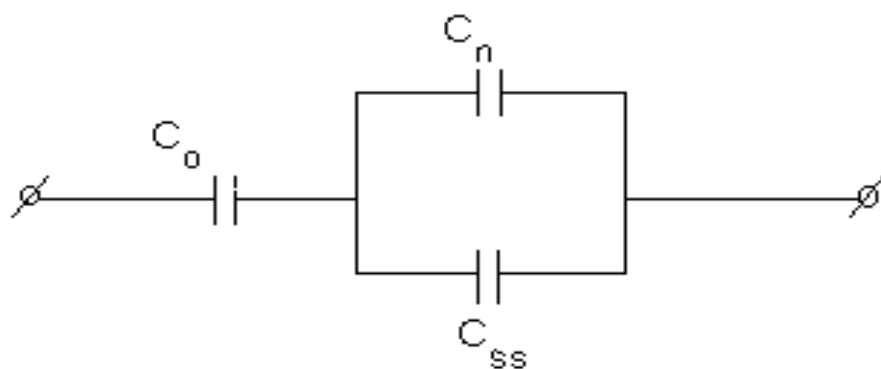
$$C_s(Y_s) = \frac{qn_0(\exp Y_s - 1)}{\left( \frac{2n_0 kT}{\epsilon \epsilon_0} \right)^{\frac{1}{2}} (\exp Y_s - Y_s - 1)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.13)$$

кўринишда ёзамиз. Идеал металл-диэлектрик-яримўтказгич структурада сиртий зарядлар мавжуд бўлмайди, натижада сиртий ҳолатлар сифими нолга тенг бўлади. Демак МДЯ структуранинг соддалашган эквивалент схемасини диэлектрик қатлам сифими ( $C_0$ ) ва яримўтказгич сифими ( $C_s$ ) нинг кетма-кет уланиши сифатида тасаввур қилиш мумкин. (2.3-расм) Структуранинг тўла сифимини эса қуйидаги ифода ёрдамида ифодалаш мумкин.

$$C = \frac{C_0 C_s}{C_0 + C_s} \quad (2.14)$$

МДЯ структурадаги доимий кучланиш тушуви ( $U$ ):

$$U = U_0 + U_s + U_i \quad (2.15)$$



2.3.-расм.МДЯ-структурасининг эквивалент схемаси:  $C_o$  – оксид қатлам сиғими,  $C_n$  – яримўтказгич қатламининг ҳажмий заряд сиғими.  $C_{ss}$  – сиртий ҳолат 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. (2.14) тенгламанинг охириги хади 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  $\varphi_s$  орқали ифодалаш керак.

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

$$E = -\frac{d\varphi}{dx} \text{ ва } C_0 = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_0 S}{x} \quad (2.16)$$

(16) дан фойдаланиб идеал металл-диэлектрик-яримўтказгич структурада кучланиш тушуви учунқуйидаги ифодани оламиз:

$$\Delta U = \left( \frac{2n_0 kT}{\varepsilon \varepsilon_0} \right)^{\frac{1}{2}} (\exp Y_s - Y_s - 1)^{\frac{1}{2}} \varepsilon_1 \varepsilon_0 \frac{S}{C_0} + \frac{kT}{q} Y_s \quad (2.17)$$

Бу ерда:  $\varepsilon_1$  - диэлектрикнинг диэлектрик сингдирувчанлиги,  $S$ —структура юзаси,  $T$ -структура температураси.

(2.12), (2.13) ва (2.16) 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 (2.15) ифода ёрдамида характеристиканинг юқори сифими ( $C_0$ ) катталиги бўйича аниқланади. Асосий заряд ташувчилар концентрацияси қуйидаги:

$$N = 2,59 \cdot 10^4 \frac{T}{S^2} \frac{1}{C_i^2} \quad (2.18)$$

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

$$C_i = \frac{C_0 C_{\min}}{C_0 - C_{\min}} \quad (2.19)$$

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:

$$\Delta U = \frac{Q_{ss} S}{C_o} \quad (2.20)$$

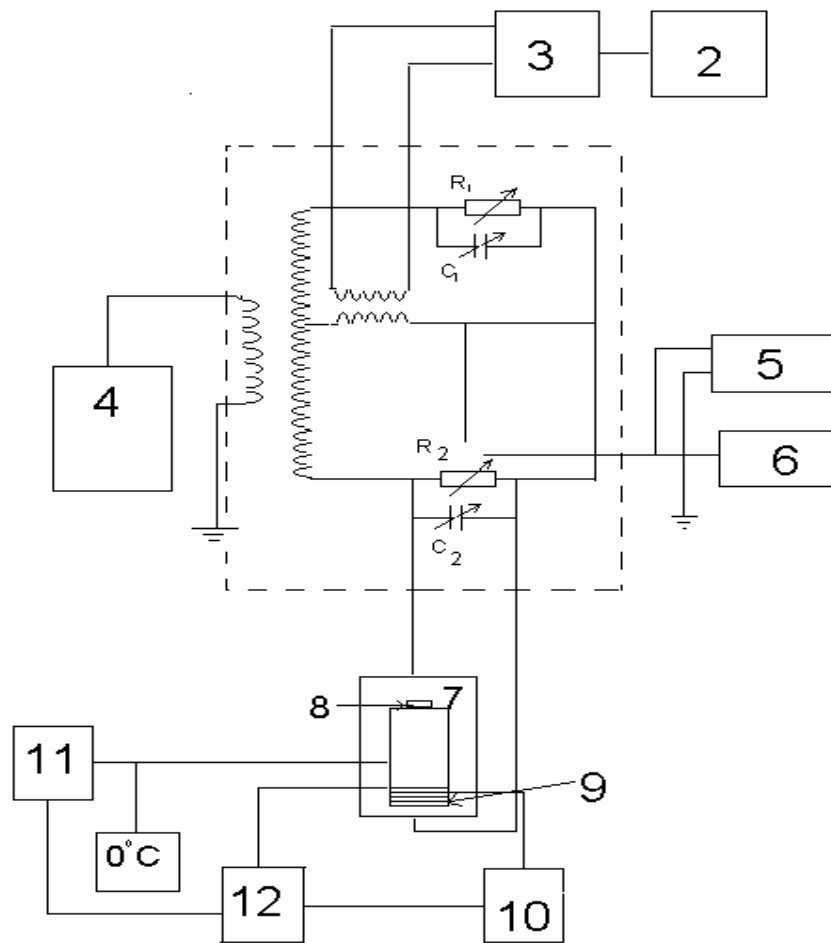
$Q_{ss}/q = N_{ss}$  ( $N_{ss}$ - сиртий ҳолатлар зичлиги) ифодадан фойдаланиб, сиртий ҳолатлар ва кучланиш тушувини боғловчи муносабатни ҳосил қиламиз:

$$N_{ss} = \frac{\Delta U}{qS} C_o \quad (2.21)$$

### 2.3. Ўлчов қурилмасининг тавсифи

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

Ундан кейин кучайтирилган сигнал С1-78 турдаги осциллографига (3) га 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 коэффиценти 1:5 тенг. 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 камера(7) га 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 С-V боғлиқларини ўлчашига етарли.

МДЯ структураларнинг температуравий боғлиқларини олиш учун улар криостатга 7 жойлаштирилади, бунда температурахромель-алюмель термопараси ёрдамида назорат қилинади. Юқори аниқлик учун термопарани ишлов қаноти 0<sup>0</sup>С 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 озиқланишини 10, бошқаради. Криостатга жойлаштирилган структура азотнинг буғлари ёрдамида музлатилади.

Критилган схема ҳароратни 0,1<sup>0</sup> С қийматда стабилликга олиб келади. Келтирилган [21] қурилмани ўлчаш аниқлигини ошириш учун схемага бир оз ўзгариш критдик. Кўприк схемасига қўшимча прецизионли 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 кенгайтди.

## III-BOB. ОЛИНГАН НАТИЖАЛАР ВА УЛАРНИНГ ТАҲЛИЛИ

### 3.1. Al – SiO<sub>2</sub> – n-Si турдаги МДЯ-структураларнинг асосий параметрларини аниқлаш

3.1-расмда келтирилган экспериментал вольт-фарада характеристикасидан яримўтказгич таглик ва диэлектрикнинг бир қатор параметрлари аниқланди.

#### 1. Яримўтказгич материалнинг типиди.

Кучланиш ортиб бориши билан, сиғим ҳам ортиб борса, Яъни максимал кучланишда, сиғим максимал қийматга эришса:

$$V=V_{\max} \text{ да } (C/C_0)=(C/C_0)_{\max} \text{ бўлса,}$$

яримўтказгич(n) тип бўлади.

#### 2. Диэлектрик қатламнинг сиғими.

Al – SiO<sub>2</sub> – n-Si турдаги МДЯ-структуранинг диэлектрик сиғими C<sub>0</sub> = 975 пФ га тенглигини аниқладик.

#### 3. Диэлектрик қатламнинг қалинлиги.

$$d = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_0}{C_0} S = 0.108 \text{ мкм} = 1000 \text{ \AA}$$

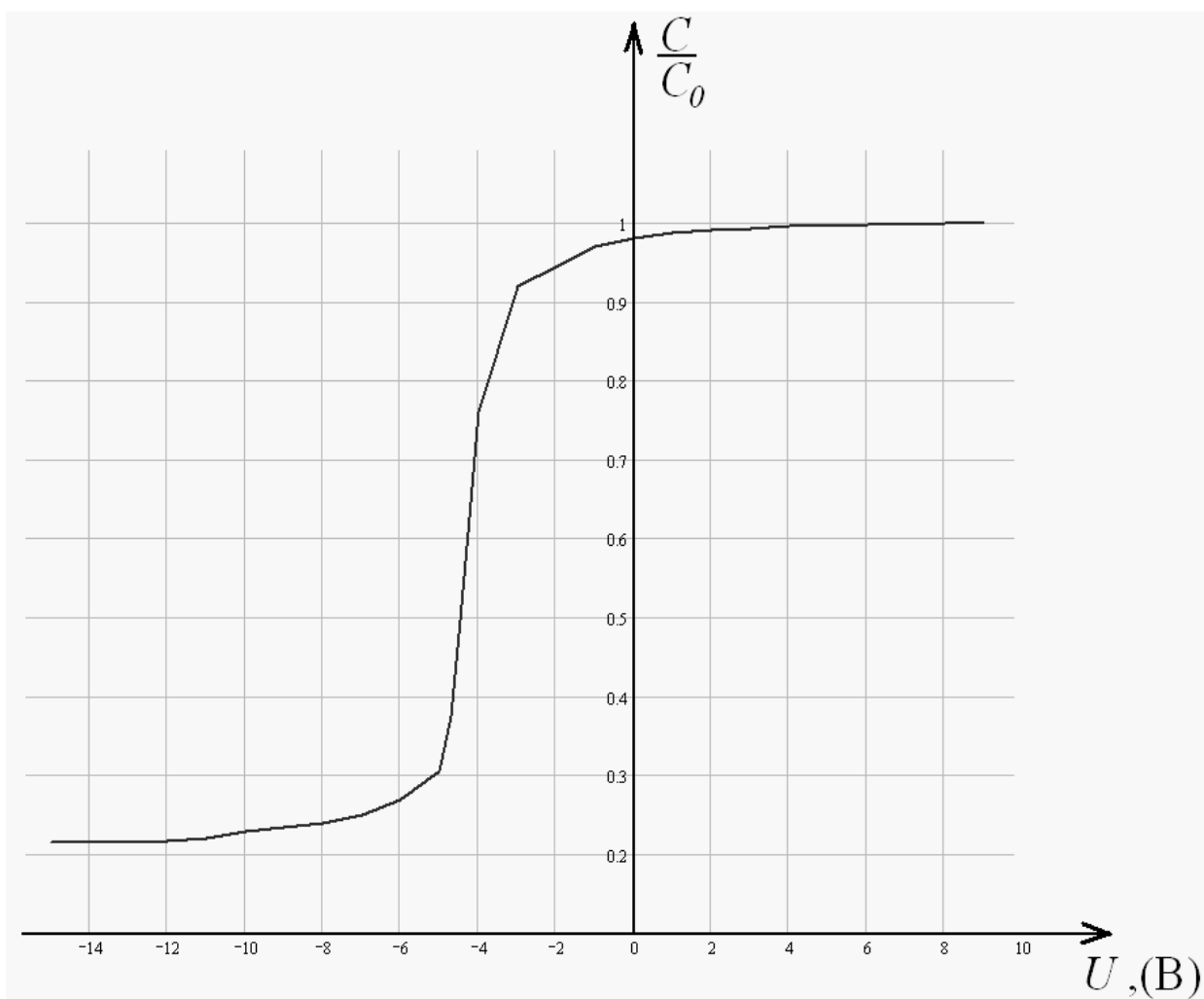
#### 4. Легировчи кириндининг концентрацияси.

$$N_M = \frac{2 \left( 2\phi - \frac{kT}{q} \right)}{\varepsilon \varepsilon_0 q} \cdot \left( \frac{c_0}{c_{\min}} - 1 \right)^{-2} = 5.7 \cdot 10^{14} \cdot \text{см}^{-3}$$

**3.1-жадвал:**МДЯ – структуранинг вольт–фарада характеристикаси учун эксперимент натижалари

№	U (В)	C (пФ)	$\frac{C}{C_0}$	
1	0	957	0.981	
2	1	963	0.988	
3	2	967	0.992	
4	3	969	0.994	
5	4	971	0.996	
6	5	972	0.997	
7	6	973	0.998	
8	7	974	0.999	
9	8	975	1.0	
10	9	975	1.0	
11	-1	948	0.970	
12	-2	931	0.945	
13	-3	894	0.920	
14	-4	742	0.760	
15	-4.3	576	0.590	
16	-4.5	464	0.480	
17	-4.7	366	0.375	
18	-5	298	0.305	
19	-6	260	0.270	
20	-7	245	0.250	
21	-8	236	0.240	
22	-9	229	0.235	
23	-10	222	0.230	
24	-11	216	0.220	
25	-12	213	0.218	
26	-13	211	0.216	
27	-14	211	0.216	
28	-15	211	0.216	

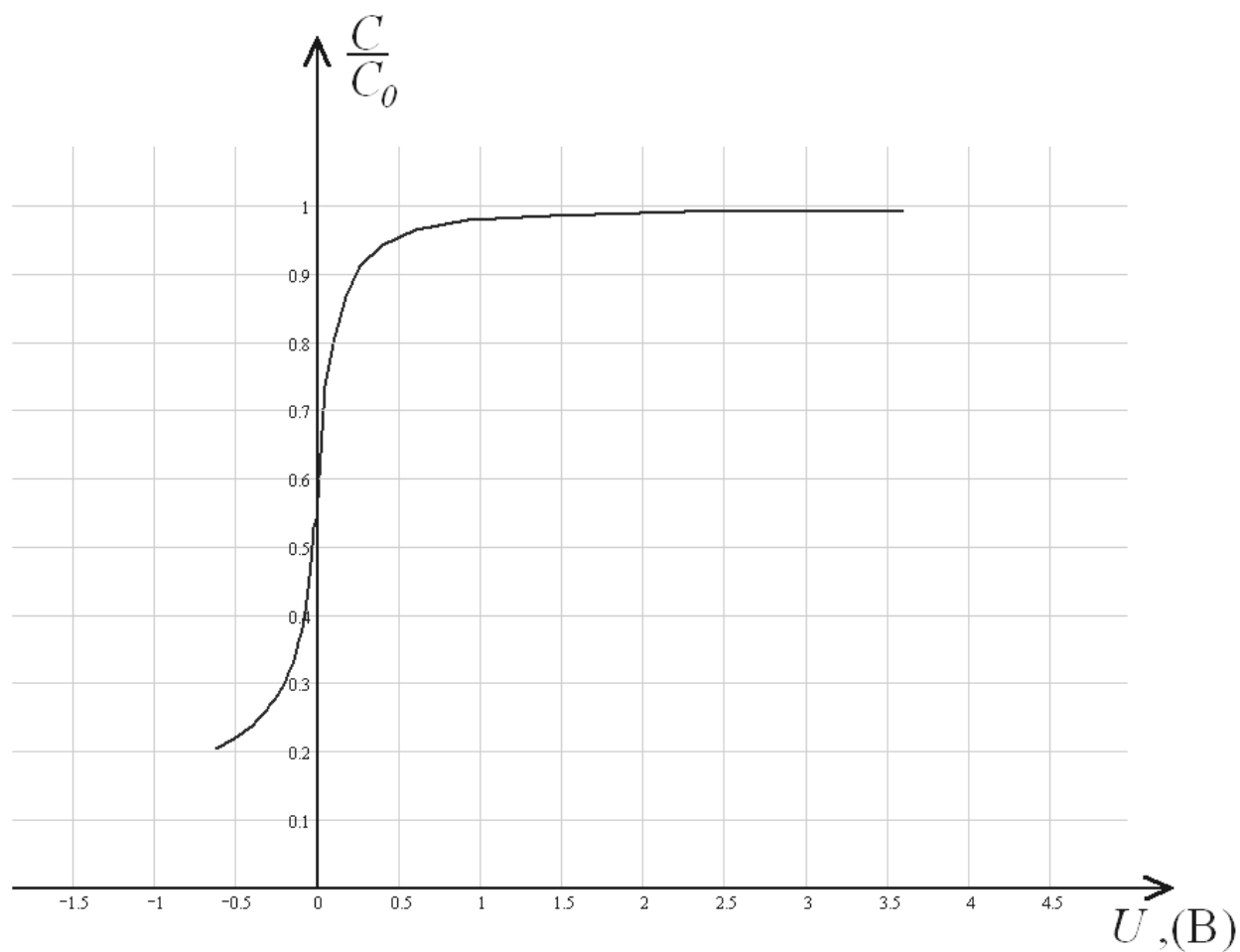
$q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл – электрон заряди  
 $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{Ж}{К}$  – Больцман доимийси  
 $T = 292$  К – ҳона температураси  
 $\epsilon = 11,7$  – диэлектрикнинг диэлектрик сингдирувчанлиги  
 $\epsilon_1 = 3,8$  – яримўтказгичнинг диэлектрик сингдирувчанлиги  
 $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-14}$  Ф/см – электр доимийси  
 $S = 3,14 \cdot 10^{-2}$  см<sup>2</sup> – намуна юзаси



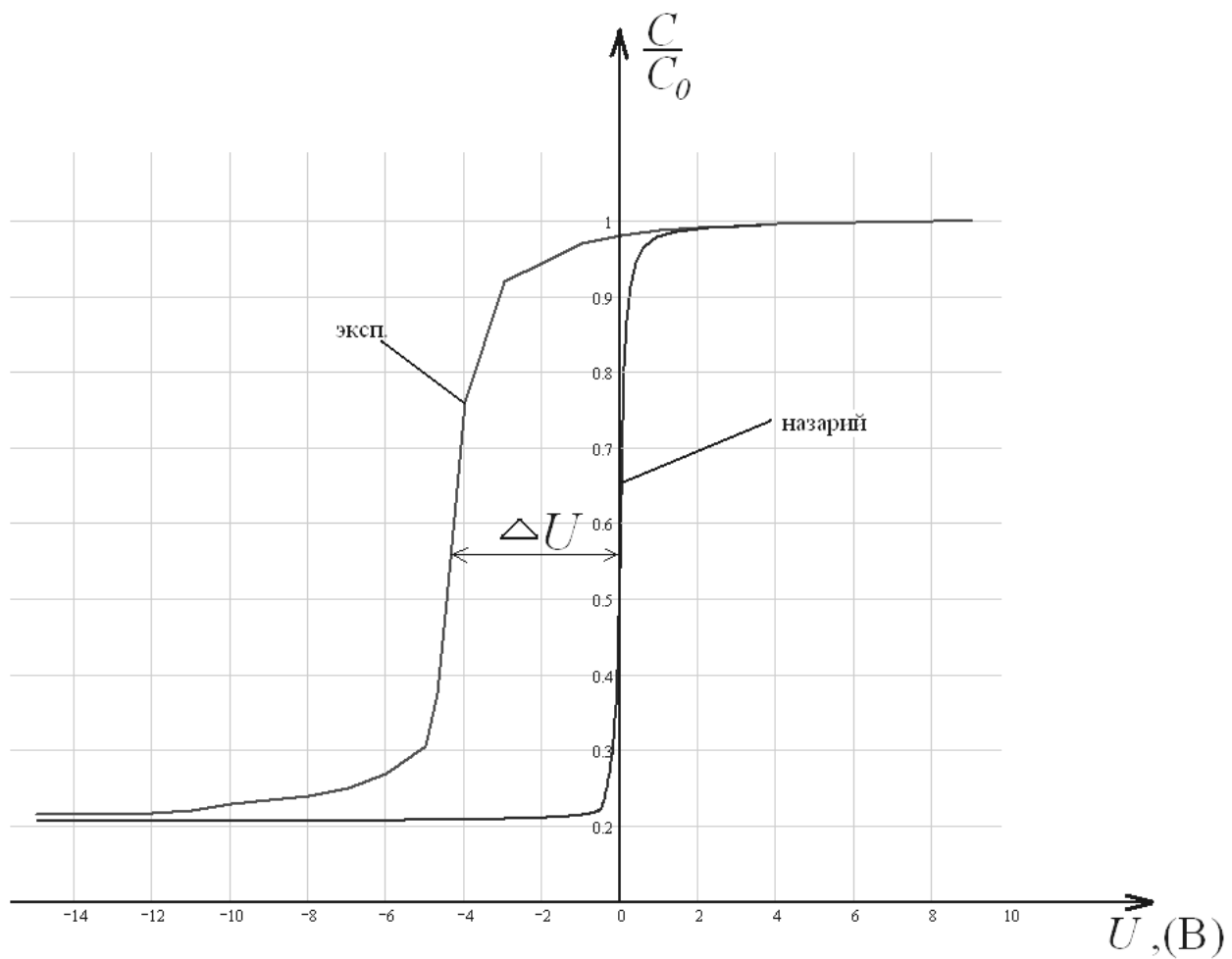
**3.1-расм:**МДЯ – структуранинг диэлектрик қатлам сифими катталигига нормаллаштирилган экспериментал вольт–фарада характеристикаси

**3.2-жадвал:**МДЯ – структуранинг назарий вольт–фарада  
характеристикасини чизиш учун ҳисобланган натижалар

№	Y	C(Y) (нФ)	U(Y) (В)	$\frac{C}{C_0}$
1	1	2.727	0.044	0.736
2	2	4.102	0.097	0.808
3	3	6.400	0.165	0.868
4	4	10.236	0.258	0.913
5	5	16.614	0.393	0.944
6	6	27.185	0.598	0.965
7	7	44.663	0.917	0.979
8	8	73.521	1.426	0.987
9	9	121.133	2.249	0.992
10	10	199.656	3.588	0.995
11	-1	1.402	-0.011	0.590
12	-2	1.091	-0.026	0.528
13	-3	0.892	-0.043	0.478
14	-4	0.760	-0.061	0.438
15	-5	0.667	-0.080	0.406
16	-6	0.600	-0.099	0.381
17	-7	0.548	-0.120	0.360
18	-8	0.508	-0.140	0.342
19	-9	0.475	-0.161	0.327
20	-10	0.448	-0.182	0.315
21	-11	0.425	-0.204	0.303
22	-12	0.405	-0.225	0.293
23	-13	0.388	-0.247	0.285
24	-14	0.373	-0.269	0.276
25	-15	0.359	-0.291	0.269
26	-16	0.347	-0.313	0.262
27	-17	0.336	-0.335	0.256
28	-18	0.326	-0.357	0.251
29	-19	0.317	-0.379	0.245
30	-20	0.308	-0.402	0.24
31	-25	0.274	-0.515	0.219
32	-30	0.250	-0.629	0.204



3.2-расм:МДЯ – структуринг назарий вольт–фарада характеристикаси



**3.3-расм:**МДЯ – структуранинг диэлектрик қатлам сифими катталигига нормаллаштирилган экспериментал ва назарий вольт–фарада характеристикаларини солиштириш

**3.3-жадвал:** Экспериментал ва назарий вольт–фарада  
характеристикаларини солиштириш асосида олинган натижалар

№	Y	$\Delta U$ (В)	$N_{ss}$ ( $10^{11} \text{ см}^{-2}$ )	E(Y) (эВ)
1	1	4.094	7.942	0.235
2	2	3.997	7.754	0.210
3	3	3.765	7.304	0.185
4	4	3.408	6.611	0.160
5	5	2.693	5.224	0.135
6	6	1.898	3.682	0.110
7	7	1.117	2.167	0.085
8	-1	4.289	8.320	0.285
9	-2	4.374	8.486	0.310
10	-3	4.457	8.646	0.335
11	-4	4.489	8.708	0.360
12	-5	4.540	8.807	0.385
13	-6	4.581	8.887	0.410
14	-7	4.630	8.982	0.435
15	-8	4.660	9.040	0.460
16	-9	4.689	9.097	0.485
17	-10	4.738	9.192	0.510
18	-11	4.796	9.304	0.535
19	-12	5.025	9.748	0.560
20	-13	5.153	9.997	0.585
21	-14	5.471	10.614	0.610
22	-15	5.709	11.075	0.635
23	-16	6.087	11.809	0.660
24	-17	6.265	12.154	0.685
25	-18	6.643	12.887	0.710
26	-19	6.921	13.427	0.735
27	-20	7.398	14.352	0.760

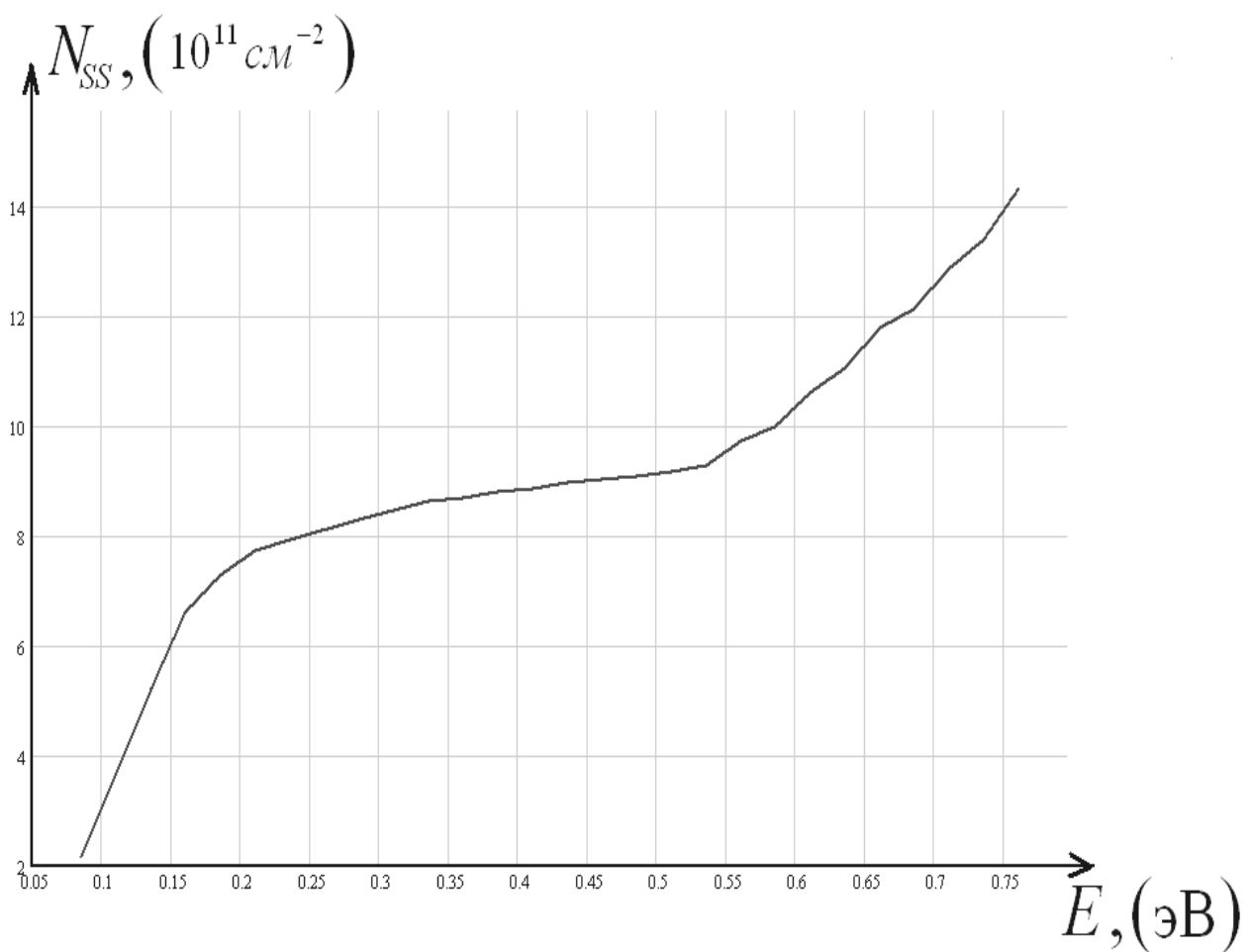


### 3.2. МДЯ-структурадаги сиртий ҳолатлар зичлигини аниқлаш

Тузилмаларга берилган кучланишлар (ва, бинобарин, ажралиш чегарасида сиртий потенциал) турли қийматларга эга бўлганда  $Q_s$  катталигини аниқлаб сиртий ҳолатлар заряди  $Q_{ss}$  ни ва уларнинг  $N_{ss}$  зичлигини аниқлаб олиши мумкин: (1.4) ва

$$E = \frac{E_g}{2} - \varphi - \frac{kT}{q} \varphi \quad (3.1)$$

Сиртий ҳолатларнинг дифференциал зичлиги ( $dN_{ss}/dE$ )  $N_{ss}$  нинг  $\varphi$  ва  $E$  га ( $E$ -МДЯ тузилмага берилган ташқи кучланиш аниқлайдиган  $\varphi_s$  сиртий потенциалнинг қийматига мос келган энергия) боғланишини график равишда дифференциаллаш йўли билан аниқланади. Шундай қилиб,  $dN_{ss}/dE$  ва  $N_{ss}$  ларни ҳисоблаш аниқлиги экспериментал вольт-фарада характеристикаларини ўлчаш аниқлигига ва  $C$ - $V$  боғланишлар ҳисоби аниқлигига боғлиқдир. Экспериментал ва назарий  $C$ - $V$  боғланишларни таққослаш диэлектрикдаги жойлашган заряд катталигини, сиртий ҳолатлар зичлиги қийматини ва уларнинг яримўтказгич тақиқланган зонаси бўйича энергетик тақсимотини аниқлаб олиш имконини беради.



**3.4-расм:** Сиртий ҳолатлар зичлиги ва таъқиқланган соҳа энергияси орасидаги боғланиш

## ХУЛОСА

1. МДП структураларнинг таркибий кисмлари ва асосий параметрлари кўриб чиқилди.
2. МДП структураларнинг параметрларини аниқлашнинг сизимий усулларининг солиштирув таҳлили ўтказилди. ЮЧ C-V усулнинг афзалликлари келтириб ўтилди.
3. Наъмунавий МДП структуранинг экспериментал C-V боғланишлари олинди ва унинг ёрдамида тагликнинг ўтказувчанлик типи, диэлектрик сизими, диэлектрик калинлиги ва легирловчи қиринди концентрацияси аниқланди.
4. Назарий C-V боғланиш ҳисобланди. Уни тажрибада олинган C-V характеристикалар билан таққосланиб, Si-SiO<sub>2</sub> бўлиниш чегарасидаги сиртий ҳолатлар зичлиги аниқланди.

## АДАБИЁТЛАР

1. О. О. Маматкаримов, С. И. Власов, Д. Э. Назиров. Яримўтказгич материаллар ва асбоблар физикаси практикуми. ЎзМУ, Тошкент 2006.
2. А.Тешабоев Яримўтказгичлар ва яримўтказгичли асбоблар технологияси. Тошкент 2005.
3. Зи С. Физика полупроводниковых приборов Т.2. пер.с англ. М.: Мир. -1984- с.456
4. Чистов Ю.С., Сыноров В.Ф. Физика МОП-структурВоронеж:ВГУ. - 1989- С. 222.
5. Литовченко В.Г., Горбань А.П. Основы физики микронэлектронных систем метал-диэлектрик–полупроводник. Киев:Наукова Думка.- 1978. 316с.
6. Зайнабидинов С.З., Власов С.И., Насиров А.А. Неравновесные процессы на границе раздела полупроводник-диэлектрик. Ташкент: Университет,-1995. 112с.
7. Овсяк В.Н. Поверхностные состояния в полупроводниках. Новосибирск: издательство НГУ, -1980. С. 91.
8. Парчинский П.Б. Влияние ультразвуковой обработки на плотность поверхностных состояний на границе раздела кремний-диоксид кремния, облученной  $\gamma$ -квантами. Микроэлектроника –2005- т.34, №6, С. 420-423.
9. Власов С.И., Алимов Т.Ш., Пак Т.Х., Мазинов А.С. Влияние протонного облучения на спектр поверхностного состояний в МДП-структурах. Узбекский физический журнал –1991- №6, С.46-48.
10. Зайнабидинов С.З., Йулчиев Ш. Влияние  $\gamma$ -облучения на поверхностные генерационные токи в МОП -структурах. ДАН РУз –2002- №1, С.22-24.

11. Власов С.И., Алимов Т.Ш., Пак Т.Х. Релаксация емкости МДП-структуры при наличии поверхностных состояний. Известия АН УзССР, серия физико-математических наук –1989. №4, С.56-58.
12. Йулчиев Ш.Х., Парчинский П.Б., Мансуров Х.Ж. Диэлектриклар физикаси Андижон: –2004. 86 б.
13. Орешкин П.Т. Физика полупроводников и диэлектриков М.: Высшая школа, -1977. 448с.
14. Зайнабидинов С.З., Гулямов Г., Далиев Х.С., Каримов И.Н., Насиров А.А. Поведение плотности поверхностных состояний на границе раздела Si-SiO<sub>2</sub> под влиянием нейтронного облучения // ДАН УзССР –1985- №7, с.31-32.
15. Пичугин И.Г., Таиров Ю.М. Технология полупроводниковых приборов. М.: Высшая школа. 1984-288с.