

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ
«ФИЗИКА-КУЁШ» ИЛМИЙ ИШЛАБ ЧИКАРИШ БИРЛАШМАСИ
ФИЗИКА-ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ

Қўлёзма ҳуқуқида
УДК 621. 315. 592

АКИМОВА ЖУМАХАН ОРАЗБАЕВНА

**Но, La, Eu ЭЛЕМЕНТЛАРИ БИЛАН ЛЕГИРЛАНГАН КРЕМНИЙДА
НУҚСОНЛАР ҲОСИЛ БЎЛИШ ЖАРАЁНЛАРИ ВА УЛАРНИНГ
ТЕХНОЛОГИК КИРИШМАЛАР: О ВА С БИЛАН ЎЗARO ТАЪСИРИ**

01.04.10 – яримўтказгичлар физикаси

физика – математика фанлари номзоди илмий
даражасини олиш учун ёзилган диссертация

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т И

ТОШКЕНТ – 2010

Диссертация Мирзо Улуғбек номли Ўзбекистон Миллий университети қошидаги Амалий физика илмий-текшириш институти ва Бердах номли Қорақалпоғистон давлат университетида бажарилди.

Илмий раҳбар: физика-математика фанлари номзоди, доцент
Далиев Хожакбар Султанович

Расмий оппонентлар: физика-математика фанлари доктори, профессор
Шамирзаев Сезгир Хабибуллаевич

физика-математика фанлари доктори
Маматкаримов Одилжон Охундедаевич

Етакчи ташкилот: Тошкент давлат техника университети

Диссертация ҳимояси “__”_____ 2010 йил соат ____да Д 015.08.01 физико-математика фанлари номзоди илмий даражасини олиш учун диссертация ҳимоясига Ихтисослашган Кенгаш мажлисида ЎЗР ФА С.В.Стародубцева номидаги Физика-техника институтида бўлиб ўтади.
Манзил: Тошкент ш., Бодомзор йўли кўчаси, 2 Б уй ,

Тел.: (8-10-99-871) – 2331271

Факс:(8-10-99-871) - 235-42-91; E-mail: Karimov@uzsci.net

Диссертация билан ЎЗР ФА Физика-техника институти кутубхонасида ва ЎЗР ФА фундаментал кутубхонасида танишиш мумкин.

Автореферат «__»_____ 2010 й тарқатилди.

Ихтисослашган Кенгаш
илмий котиби
ф.-м.ф.д., профессор

Каримов А. В.

1. ДИССЕРТАЦИЯНИНГ УМУМИЙ ТАВСИФИ

Тадқиқотнинг долзарблиги. Охирги йилларда махсус хоссали яримўтказгич материалларга бўлган қизиқиш кескин ортди. Бундай материалларни олиш учун нодир-ер ва ўтув элементлари билан легирлаш янада кенг қўлланилмоқда. Бу эса, шу аралашмалар билан легирланган кремнийнинг махсус яримўтказгичли асбобларда, масалан, ҳар хил турдаги фотоқабулқилгичлар, қуёш элементлари ва юқори радиацион муқобил, термик стабил ва бошқа қурилмаларда қўлланилиши билан боғлиқ.

Маълумки, нодир-ер элементларининг (НЕЭ) киришмалари кремнийда электронейтрал бўлиши билан биргаликда унинг мавжудлиги термик ва радиацион нуқсонлар ҳосил бўлиш жараёнига сезиларли таъсир қилади. Лекин, бунга оид илмий маълумотлар турлича ва қарама-қарши тавсифларга эга.

Бундан ташқари, кўпчилик экспериментлар Холл эффекти ёрдамида ўтказилган бўлиб, электрўтказувчанлик, магнит қабул қилувчилик ва бошқа ўлчаш усуллариининг ўлчаш сезгирлиги нисбатан кичикдир. Кремнийда нодир-ер элементларининг табиатини батафсил текшириш учун юқори сезгирлик ва катта ажрата олиш қобилиятига эга бўлган каттарок информатив методлар (сиғим спектроскопия, электрон парамагнетик резонанс ва б.) ни қўллаш керак.

Шунинг учун, термик ва радиацион таъсирда кремнийдаги гольмий, лантан ва европий атомларининг табиатини чуқур сатҳларнинг ностационар сиғим спектроскопияси (DLTS), фотосиғим (ФЕ) методи ва ИҚ-ютилиш усуллари билан комплекс равишда ўрганиш шак-шубҳасиз долзарбдир.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Кўп тадқиқотларнинг натижаларини таҳлили шуни кўрсатадики, кремнийдаги НЕЭ лари киришмалари электр фаоллик кўрсатмасдан ундаги термик ва радиацион нуқсонлар ҳосил бўлиш жараёнига сезиларли таъсир қилар экан. Баъзи бир тадқиқотчиларнинг натижаларига кўра, кремнийни нодир-ер элементлари билан легирлаш, ундаги термик ҳамда радиацион нуқсонларнинг ҳосил бўлишига тўсқинлик қилар экан. Шу вақтгача кремнийдаги НЕЭ ларининг киришмаларини табиати комплекс равишда тадқиқ қилинмаган ва мавжуд натижалар қарама-қарши тавсифга эга.

Диссертация ишининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация ишининг натижалари ЎзР ФТМ нинг № п. 2.1.68 “Т-ионли киришмалар билан легирланган кремний монокристалларида нуқсонли структураларнинг пайдо бўлиши ва ривожланиш жараёнларини текшириш” ва № ОТ-Ф2-081. “Киришма-нуқсон ассоциатли кремний монокристаллида нуқсонлар ҳосил бўлиш қонуниятини ва яримўтказгич-диэлектрик бўлимларида яширин чегараларнинг ҳосил бўлиш динамик жараёнларини ўрганиш” грантларининг ҳисоботига киритилган.

Тадқиқот мақсади. Но, La, Eu элементлари билан легирланиб, диффузия усулида киритилган ҳамда намунани ўстириш жараёнида киритилган киришмали кремнийнинг хоссаларини ҳамда киришмаларнинг

ўзаро таъсирини ва γ -нурланишнинг уларнинг хоссаларига таъсирини ўрганиш тадқиқотнинг асосий мақсадидир.

Тадқиқот вазифалари:

1. Si<Ho>, Si<La> ва Si<Eu> намуналарини электрофизик хоссаларини текшириш ҳамда диффузия усулида ҳамда намунани ўстириш жараёнида легирланган Si<Ho>, Si<La> ва Si<Eu> даги чуқур сатҳларнинг энергетик спектрини ўрганиш.

2. Кремнийда термик нуқсон ҳосил бўлиш жараёнида гольмий, европий ва лантан киришмаларининг ролини ўрганиш.

3. γ -квантлари билан нурланган кремнийда радиацион нуқсонларнинг ҳосил бўлишини гольмий, европий ва лантан атомларининг таъсирини ўрганиш.

4. ИҚ-спектроскопия ёрдамида гольмий, европий ва лантан атомларининг кремнийдаги технологик киришмалар (О ва С) билан ўзаро таъсирини ўрганиш.

Тадқиқот объекти ва предмети. Чохральский усули билан ўстирилган ва тигелсиз соҳали эритиш усулларида олинган кремний монокристалларининг диффузия усулида ва кремнийни ўстириш жараёнида киритилган НЕЭ (Ho, La, Eu) аралашмали намуналарда нуқсон ҳосил бўлиш жараёнларини экспериментал тадқиқ қилиш тадқиқот объектидир.

Тадқиқот методлари. Тадқиқотда чуқур сатҳларни ностационар сиғим спектроскопияси (DLTS), фотосиғим ва ИҚ-ютилиш усуллари қўлланилди.

Тадқиқот гипотезаси. Технологик факторларга (омилларга) боғлиқ ҳолда кремнийда гольмий, лантан ва европийнинг чуқур сатҳларини ҳосил бўлиш самараси узгариши кузатилди.

Химояга олиб чиқиладиган асосий ҳолатлар:

1. Кремний кристалл панжарасига диффузия усулида ёхуд унинг ўстирилиш жараёнида Ho, La, Eu атомларининг киритилиши НЕЭ концентрациясига боғлиқ ҳолда оптик фаол кислороднинг концентрациясини 10-15 % га камайишига олиб келади.
2. n-Si<Ho>, n- Si<La> ва n Si<Eu> намуналарида солиштирма қаршилиқ (ρ) нинг нисбатан ортиши ва p-Si<Ho>, p- Si<La> ва p-Si<Eu> намуналарида эса камайиши нодир-ер элементларининг акцептор марказларини ҳосил қилиши билан боғлиқ.
3. Ho, La ва Eu киришмаларининг Si да бўлиши, уни γ -квантлар билан нурлашда бўладиган радиацион нуқсонлар ҳосил бўлиш тезлигини камайтиради.

Илмий янгилиги:

1. Кремнийнинг гольмий, европий ва лантан киришмалари бўлгандаги хоссалари илк бор комплекс тадқиқ қилинди ва бу киришмалар юқори температурали диффузия усулида киритилганда, кремнийнинг электрофизик хоссаларини кескин ўзгаришига олиб келиши аниқланди.

2. Технологик факторларга (омилларга) боғлиқ ҳолда кремнийда Ho, La ва Eu нинг сатҳларини ҳосил бўлиш самараси кузатилди.

3. Илк бор сиғим спектроскопияси усули ёрдамида кремнийда Но, Ла ва Еи атомларининг, уларни диффузиялаш усули билан киритилганда ҳосил қилган чуқур сатҳларнинг энергетик спектрлари аниқланди. Бу киришмаларнинг диффузион киритилиши, кремнийда термик ва радиацион нуқсонларни ҳосил бўлиш самарасини камайтиради ҳамда унинг параметрларини стабиллаштиради.

4. НЕЭ киришмалари билан Si кристаллини ўстириш жараёнида легирланган намуналарда уларнинг чуқур сатҳлар ҳосил қилиши, киришманинг сезиларли концентрацияларида кузатилмайди, лекин, 1000-1200⁰С температура интервалида намунани юқори температурали ишлаш натижасида НЕЭ атомларининг фаоллашиши ҳамда қатор чуқур сатҳларнинг ҳосил бўлиши кузатилди.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. НЕЭ билан ҳар хил технологик усулларда легирланган кремнийнинг параметрлари оптималлаштирилди ва бу усул ишончли ва тикланувчан параметрли ҳар хил яримўтказгичли асбобларни яратишда қўлланилиши мумкин. Кремнийга Но, Ла ва Еи атомларини киритилиши натижасида унинг термик стабиллиги ва радиацион барқарорлигини ошириш бўйича олинган натижалар яримўтказгичли асбобларни яратишда технологик тавсия сифатида қўлланилиши мумкин.

Натижаларнинг жорий қилиниши. Диссертация ишида олинган оригинал натижалар радиацион-турғун ва термик стабил бўлган яримўтказгичли асбобларни яратишда асос бўлиб хизмат қилиши мумкин.

Ишнинг синовдан ўтиши. Илмий-тадқиқот ишларининг натижалари куйидаги Халқаро ва Республика илмий конференцияларида маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтган: “Неравновесные процессы в полупроводниках и в полупроводниковых структурах” (Тошкент, 2009); “Прикладные проблемы физики полупроводников” (Тошкент, 2009); “Проблемы полупроводникового материаловедения” (Андижон, 2000); “Рост, свойства и применение кристаллов” (Нукус, 2005); “Неравновесные процессы в полупроводниках и в полупроводниковых структурах” (Тошкент, 2007); “Олима аёлларнинг Фан-техника тараққиётида тутган ўрни” (Тошкент, 2008); “Структурна релаксация у твердых тілах” (Украина, 2009).

Натижаларнинг эълон қилинганлиги. Диссертация материаллари бўйича 14 та илмий иш чоп этилган, жумладан 4 та илмий мақола ва 10 та конференция маърузаларининг тезислари.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш бўлими, 4 та боб, хулоса ва 104 та фойдаланилган адабиётлар рўйхати ҳамда 21 та расм, 5 та жадвал мавжуд бўлиб, умумий ҳажми 114 бетни ташкил қилади.

2. ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация ишнинг мавзусини долзарблиги, тадқиқотининг мақсади ва вазифалари асосланган, илмий янгилиги, назарий ва илмий аҳамияти ҳимояга олиб чиқиладиган ҳолатлар ёритилган.

Биринчи бобда нодир-ер элементлари (НЕЭ) билан легирланган кремнийни тадқиқотига бағишланган адабиётлар ва уларни ўрганишнинг ҳозирги кундаги аҳволи таҳлил қилинган. Ўстириш жараёнида легирланган кремнийнинг хоссалари таҳлил қилинган. Шу билан бирга диффузия методи асосида НЕЭ билан легирланган кремнийни тадқиқ қилиш натижалари таҳлил қилинган. Шу жумладан НЕЭ билан легирланган кремнийнинг хоссаларига назорат қилиб бўлмайдиган технологик киришмаларнинг таъсири тўғрисидаги адабиётларда келтирилган натижалар умумлаштирилиб таҳлил қилинди. НЕЭ бўлган кремнийнинг электрофизик хоссаларига ҳар хил омилларнинг таъсири бўйича натижалар ҳам критик таҳлил қилинди.

Иккинчи бобда намуналарни тайёрлаш технологиялари ҳамда эксперимент методикалари ёритилган. Чуқур сатҳларни сиғим спектроскопиясининг назарий асослари кўрилди. Тўсиқ структураларда, р-п ўтишларда, чуқур сатҳларда, температура ўзгаришида рўй берувчи ностационар жараёнлар тавсифланган. DLTS усулида чуқур сатҳларнинг параметрларини аниқлаш методлари келтирилган. Шунингдек, DLTS ўлчаш методикаси бетафсил ёритилган ва тўрт-зонд методи билан солиштирма қаршилиқни ўлчаш усули келтирилган.

ИҚ-ютилиш спектрларини ўлчаш методикаси ёритилган. Кремнийда кислород ва углерод киришмаларининг концентрациясини аниқлаш учун такомиллаштирилган ва 2 нур схемасида ишлайдиган SPECORD-75IR инфрақизил спектро-фотометр қўлланилди. Спектрометр ИҚ-соҳадаги, 1200 дан 400 см⁻¹ гача бўлган спектрлар учун намунадан ўтган нурларни тўлқин сони функцияси кўринишда ёзиб олишга имкон беради. Шу жумладан намуналарни тозалаш технологияси, термик ишлаш тамойиллари ва диод структураларни олиш технологиялари ёритилган.

Учинчи боб Но, La ва Eu атомлари билан диффузион легирланган кремнийнинг хоссаларини тадқиқотига бағишланган. Бу бобда Но, La ва Eu киришмалари бўлган кремнийнинг хоссаларини комплекс тадқиқ қилиш натижалари келтирилган намуна сифатида Чохральский усулида ўстирилган п-турдаги (кислородли кремний) ва тигелсиз соҳавий эритилган (кислородсиз кремний) ва НЕЭ билан легирланган кремний монокристаллари намуна сифатида ишлатилди.

Намунанинг солиштирма қаршилиги 5÷100 Ом·см бўлиб, ўлчамлари 14x7x1 см³, юзаси <111> текислигига мос бўлди. Текшириладиган намуналар дастлаб HF да тозаланди, бидистилланган сувда ювилди ва оптик кварц найга жойланиб, юқори температурада, яъни 1250⁰С да СУОЛ туридаги печда бир неча соат қиздирилди. Печь температураси қилибровка қилинган платина-платинородий термopара ёрдамида ±5⁰С аниқликда назорат қилинди. Бошқа ҳолларда намуналарни термоишловчи 900-1200⁰С температура интервалида 0,5÷100 соат давомида амалга оширилди. Юқори температурада қиздирилган

намуналарни совутиш 3 хил тезликларда амалга оширилди. Кислород ва углерод концентрацияларини аниқлаш мақсадида ИҚ-ютилиш спектрларини ўлчаш учун намуна ёқлари механик силлиқланди. 1200⁰С температурада 50 соат давомида Но, La ва Eu билан диффузион легирланган кремний намуналарининг солиштирма қаршиликлари тўрт-зонд усулида аниқланди ва уларнинг қийматлари дастлабки n-ва р-турдаги намуналарнинг солиштирма қаршиликлари билан таққосланди. Ўлчашлар ҳар хил турдаги ўтказувчанликка эга бўлган 4 сериядаги кремний намуналарида амалга оширилди. Бу тадқиқотлар натижалари шуни кўрсатадики, гольмий билан легирланган n-турдаги барча намуналарда ўтказувчанлик турининг ўзгариши ва солиштирма қаршиликнинг кескин ўзгариши рўй берар экан.

р-турдаги намуналарда эса бу ҳолда солиштирма қаршилиқ қиймати бироз камаяди ва ўтказувчанлик тури эса ўзгармасдан қолар экан.

Гольмий билан диффузион легирланган ва термоишлов берилган кремний намуналарида солиштирма қаршилиқ намуна чуқурлиги (қалинлиги) бўйича ўлчанди. $Si < Ho >$ намуналарида солиштирма қаршилиқни намуна кесими бўйича тақсимоти $erfc$ -функция бўйича ўзгармаслиги кўрсатилди ва у боғланиш икки қисмдан иборат экан: бошланғич қисмда ~90 мкм чуқурликкача ρ нинг кескин ортиши кузатилади, сўнгра ρ нинг қиймати стабиллашади ва ρ нинг намуна қалинлиги бўйича сезиларли ўзгариши кузатилмайди.

Таққослаш мақсадида дастлабки солиштирма қаршилиги 15 Ом·см бўлган n-ва р-турдаги ўтказувчанликли намуналарга 1200⁰С температурада 42 соат давомида назорат термоишлови берилди. Ўлчашлар ҳар хил турдаги учта намуналар учун ўтказилди.

Ўлчаш натижалари n-Si ва р-Si учун назорат термоишлов натижасида ўтказувчанлик турининг ўзгармаслигини кўрсатди. Лекин, n-турдаги намуналар учун солиштирма қаршилиги қийматини бироз камайиши, р-турдаги намуналар учун эса солиштирма қаршиликнинг қийматини бироз ортиши кузатилди.

Параллел равишда бу намуналарда ИҚ-ютилиш спектрларини ўлчаш амалга оширилди. Тадқиқот учун дастлабки намуналар сифатида Чохральский усулида ўстирилган n-ва р-турдаги кремнийлар ишлатилди ва улардаги оптик фаол кислород ва углерод концентрациялари мос равишда $N_o^{onm} = 6 \cdot 10^{17} \div 1,2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ва $N_c^{onm} = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ни ташкил қилди. Дастлабки намуналарнинг солиштирма қаршилиги 5 Ом·см дан 100 Ом·см гача бўлиб, механик силлиқланган намуналарнинг қалинлиги 1÷1,5 мм ни ташкил қилди. Кислород концентрацияси N_o^{onm} ва углерод концентрацияси N_c^{onm} 1100 см⁻¹ (кислород полосаси-соҳаси) ва 610 см⁻¹ (углерод полосаси-соҳаси) соҳаларида ИҚ-ютилиш спектрларига асосан баҳоланди. Ютилиш спектрлари 300 К да икки нурли схемада инфрақизил спектрофотометр SPECORD-75IR ёрдамида ўлчанди.

Назорат (эталон) намуна сифатида шу қалинликдаги механик силлиқланган ва $N_o^{onm} \leq 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $N_c^{onm} = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ концентрацияли кислородсиз кремний ишлатилди. N_o^{onm} ва N_c^{onm} лар ИҚ-ютилиш усули билан аниқланди. Бу натижаларнинг таҳлили шуни кўрсатадики, n - ҳамда p - турдаги гольмий киритилган Si да оптик фаол кислороднинг концентрацияси бир хил шароитда термоишлов берилган назорат намуналарига нисбатан $10 \div 20\%$ га камайиши кузатилди. Шунингдек, $\lambda = 16,4$ мкм тўлқин узунликдаги, оптик фаол углерод ютувчи ИҚ-ютилиш спектрлари ўрганилди. Назорат намуналарида ва легирланган намуналарда оптик фаол углероднинг камайиши кузатилмади.

Шу жумладан, дастлабки кремний намуналарида, эритмадан ўстириш жараёнида легирланган кремний ҳамда ҳар хил термоишлов циклларида сўнг ИҚ-ютилиш спектрларини ўлчаш натижалари, намунани юқори температурали термоишлов бериш натижасида $n - Si < Ho >$ да оптик фаол кислороднинг концентрациясини ошишини кўрсатади. Термоишлов температурасининг ортиши билан N_o^{onm} нинг ошиш самараси ортади. Масалан, $n - Si < Ho >$ намунасини 1000°C температурада қиздириш ва тоблаш ундаги фаол кислороднинг $8 \div 10\%$ га ортишига олиб келса, 1200°C температурада термоишлов бериш ва тоблаш, ундаги N_o^{onm} нинг ортиши $\sim 15 \div 20\%$ ни ташкил қилади.

Сиғим ўлчашларини амалга ошириш учун легирланган ва назорат кристалларида юқори вакуумда олтинни пуркаш орқали диодлар тайёрланди.

Омик контакт кимёвий тозаланган никель ёки сурмани вакуумда пуркаш ёрдамида ҳосил қилинди.

DLTS спектрлари доимий кучланиш ва доимий сиғим маромларида, ҳар хил эмиссия тезликлари дарчаларида вақтларнинг (t_2 ва t_1) фиксация қилинган нисбатларида $\left(\frac{t_2}{t_1} = 3, \quad t_1 = 1 \div 500 \text{ мс} \right)$ бир каррали ёки кўп каррали сканерлаш йўли билан ўлчанди ва тескари силжишни ташлаш импульсининг даври $t_f = 1 \text{ мкс} \div 100 \text{ мс}$ вақт оралиғида ўзгартирилди. Бир каррали сканерлаш усулида ўлчанган спектрларни қайта ишлаш—уларни назарий DLTS эгри чизиқлари билан таққослаб, сўнггра Аррениус графиги $\ln(\Theta) \sim f(\tau)$ чизилди, бу боғланишнинг қиялигидан эса чуқур сатҳларни ионизация энергияси аниқланди. Кўп каррали сканерлашда ва ҳар хил эмиссия тезликлари дарчасида битта DLTS спектр Аррениус эгри чизигининг битта нуқтасини беради.

Вольт-фарад характеристикаларидан $\frac{1}{C^2} = f(V_{mec})$ боғланишлар аниқланди. Барча тадқиқ қилинган диодлар учун бу боғланишлар чизиқли бўлди ва бу эса яримўтказгичнинг ҳажми бўйича киришмаларнинг текис тақсимланганлигини тасдиқлайди.

$n - Si < Ho >$ ҳамда $p - Si < Ho >$ тайёрланган диодлар учун $T=300K$ да $\frac{1}{C^2} = f(V_{mec})$ боғланиш бўйича аниқланган ҳажмий заряд қатламидаги ионлашган марказларнинг концентрацияси дастлабки кремнийдаги майда киришмалар концентрациясига мос келади.

$n - Si < Ho >$ типик намуна учун $T=300K$ ва $77K$ даги $\frac{1}{C^2} = f(V_{mec})$ боғланишлар олинди. Бу натижалар асосида маълум бўлдики, $T=77K$ да ҳажмий заряд қатламидаги зарядланган марказларнинг концентрацияси чуқур сатҳлар қайта зарядка қилинганда, $T=300K$ даги концентрациясига тенг бўлмас экан. Бу эса Ho сатҳларини табиатини аниқлашга имкон бермади. Барча $n - Si < Ho >$ дан қилинган диодлар учун сифимининг ёруғликсиз релаксацияси рўй бермади, яъни $E_c < 0,15 \text{ эВ}$ ли нисбатан кичик сатҳлар концентрацияси ҳисобга олмаслик даражада кичик. $n - Si < Ho >$ ва $p - Si < Ho >$ намуналари учун олинган.

$E_c - 0,23 \text{ эВ}$ ли чуқур сатҳ назорат намуналарда кузатилди, зеро унинг концентрацияси бир хил температурада ишлов берилган $n - Si < Ho >$ га нисбатан 5-6 марта кўп. Бу эса гольмий атомларининг мавжудлиги, кремнийда термик нуқсонларни ҳосил бўлишини камайтиради деб фараз қилишга имкон беради. Ўстирилиши жараёнида гольмий билан легирланган кремний учун ўлчанган DLTS спектрлари шуни кўрсатадики, Ho нинг кремний таркибида бўлиши етарлича концентрацияда қандайдир чуқур сатҳларни ҳосил бўлишига олиб келмас экан. Нейтрон-активацион таҳлил ёрдамида ўтказилган тажриба шуни кўрсатадики, гольмий атомларининг кремнийдаги концентрацияси юқори экан ($N_{Ho} = 2 \cdot 10^{16} - 8 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$). Бу эса қатор тадқиқотчиларнинг нодир-ер элементларининг кремнийда электронейтраллиги ҳақидаги фикрларини тасдиқлайди.

Гольмий атомларининг термик таъсирда фаоллашиш имкониятини аниқлаш ва унинг термик нуқсонлар ҳосил бўлиш жараёнига таъсирини ўрганиш мақсадида намуна юқори температураларда, яъни 900°C ва 1200°C да 2 соат давомида қиздирилиб, сўнгра тезда совутилди. Si да Ho киришмаси бўлганда ва юқори температурали термоишлов натижасида DLTS спектрида максимуми $T=112 \text{ K}$ ва 160 K га мос келган иккита чўққи пайдо бўлди. Бу чўққилар асосида чизилган Аррениус боғланишининг қиялиги асосида аниқланган сатҳларнинг ионизация энергиялари $E_c - 0,23 \text{ эВ}$ ва $E_c - 0,38 \text{ эВ}$ га тенг эканлигини, бу чуқур сатҳларда электронларни тутиш кесими $4 \cdot 10^{-17} \text{ см}^2$ ва $\sigma_n \sim 2 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$ га тенглигини кўрсатди.

$E_c - 0,23 \text{ эВ}$ сатҳи термоишлов берилган назорат намуналарда ҳам кузатилди, лекин унда $n - Si < Ho >$ намуналарнинг тақик соҳасини юқори қисмида бошқа чуқур сатҳлар кузатилмади. Шуни таъкидлаш лозимки, $n - Si < Ho >$ намуналарини $T > 1100^\circ\text{C}$ ларда қиздириш ва уни тоблаш намунани компенсациялашга олиб келди. Бундай намуналарда сифим ўлчашларни амалга ошириш мумкин бўлмай қолди.

1200⁰C температурада 50 соат давомида европий билан диффузион легирланган кремнийнинг хоссалари ҳам ўрганилди. Солиштирма қаршилиқни ўлчаш натижалари шуни кўрсатдики, ўтказувчанликнинг тури ўзгарди ва солиштирма қаршилигининг кескин ортиши кузатилди. Шуни таъкидлаш лозимки, европий билан легирланган кремнийнинг солиштирма қаршилиги гольмий билан ишланганниқидан тахминан битта тартибга кам. р-турдаги Si ни европий билан легирланганда, унинг ўтказувчанлик тури сақланади, солиштирма қаршилиги эса бироз камаяди.

Si<Eu> намуналарида солиштирма қаршилиқни тақсимот кесими (намуна қалинлиги бўйича) худди Si<Ho> даги каби бўлиб, erfс-функция билан тавсифланмайди ва иккита қисмдан иборат: аввалига 90 мкм чуқурликкача солиштирма қаршилиқнинг кескин ортиши кузатилади, кейинги соҳада солиштирма қаршилиқ қиймати стабиллашиб, намуна чуқурлиги бўйича деярли ўзгармайди. Шуни таъкидлаш лозимки, назорат намуналарида (НЕЭ киришмасиз) функциянинг қиймати намуна кесими бўйича ўзгармайди. Бу сериядаги намуналар учун параллел равишда ИҚ-ютилиш спектрларини ўлчаш амалга оширилди. Олинган натижалар таҳлили шуни кўрсатадики, кремний панжарасига европий ва гольмий киришмаларини киритилиши, ундаги тугунлараро оптик фаол кислородларга тегишли ютилиш полосаларини интенсивлигини камайишига олиб келади. Лекин, европий киритилгандаги ютилиш полосасининг камайиш эффекти гольмий киритилгандагига қараганда 8-12 % га камроқ. Шунингдек, оптик фаол углеродга тегишли интервалдаги ИҚ-ютилиш полосалар спектрлари ўрганилди. Ўлчаш натижалари шуни кўрсатдики, бу намуналар учун углерод концентрацияси деярли ўзгармас экан.

Шу намуналарда DLTS спектрларини ҳам ўлчаш амалга оширилди (1-расм). Ўлчаш натижалари шуни кўрсатадики, n-Si<Eu> намуналари учун, DLTS спектрларида $T_m=110$ К (А чўққи), $T_m=180$ К (В чўққи) ва $T_m=270$ К (С чўққи) лар мос равишда 3 та максимум кузатилди. DLTS нинг ҳар бир чўққиси учун тузилган $\lg \Theta = f\left(\frac{1}{T}\right)$ боғланишидан, юқори температурали термоишловдан сўнг n-Si<Eu> да тақик соҳанинг юқори қисмида вужудга келувчи чуқур сатҳларнинг ионизация энергиялари фиксацияланган бўлиб, $E_t: 0,23$ эВ, $0,39$ эВ ва $0,43$ эВ га тенг эканлиги ҳамда мос равишда электронларни тутиш кесимлари $4 \cdot 10^{-17} \text{ см}^2$, $2 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$ ва $7 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$ эканлиги келиб чиқди.

Юқори температурали термоишлов берилган назорат намуналари (Eu йўқ) учун DLTS спектрлари ҳамда $n-Si<Eu>$ да, энергия ионизацияси $E_c - 0,23$ эВ бўлган битта чуқур сатҳ кузатилди. В сатҳнинг концентрация диффузия температураси ҳамда $n-Si<Eu>$ учун диффузияда сўнгги совутиш тезлигига кучли боғлиқ. Аксинча, назорат намуналарида ҳам кузатиладиган А сатҳлар концентрацияси N_{Eu} да боғлиқ эмас ва у юқори температурали термоишлов температурасининг ортиши билан сезиларли даражада камаяди.

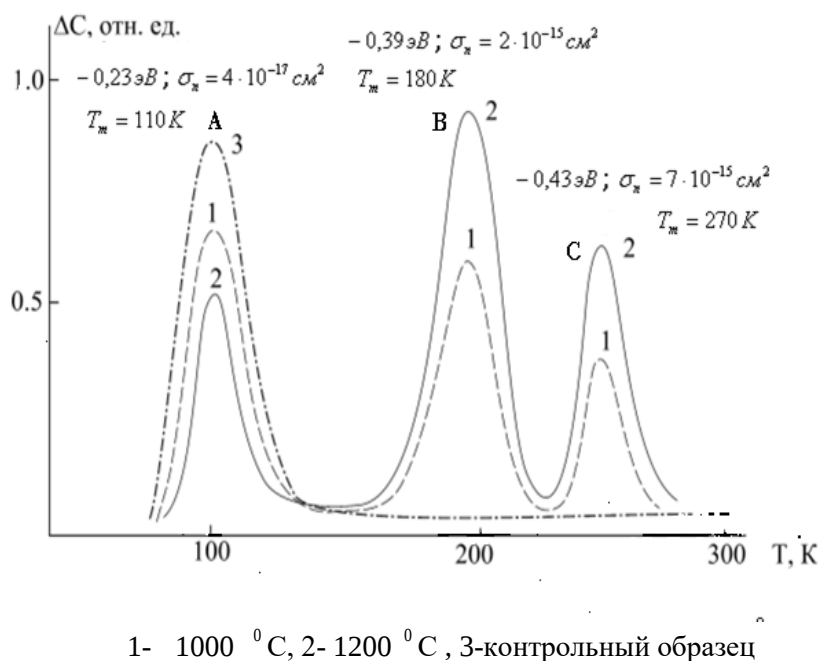


Рис. 1. ЮХК европий билан легирланган кремний намуналарининг DLTS спектры

Шуни таъкидлаш лозимки, бир хил температурадаги термоишлов ва диффузиядан сўнг бир хил тезликда совутилганда $n-Si < Eu >$ намуналардаги чуқур сатҳлар концентрацияси назорат намуналариникидан бир тартибга кам.

Кремнийни гольмий ва европий билан легирлангани каби, кремнийни лантан билан легирлаш амалга оширилди. DLTS спектрларини ўлчаш натижалари шуни кўрсатдики, La билан легирланган $n-Si$ намуналарида ионизация энергияси фиксацияланган: $E_c - 0,23 \text{ эВ}$ ва $E_v + 0,32 \text{ эВ}$ ҳамда заряд ташувчиларни тутиш кесимлари $\sigma_n = 4 \cdot 10^{-17} \text{ см}^2$ ва $\sigma_p = 1 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ бўлган иккита чуқур сатҳлар ҳосил бўлар экан. Яна шу нарса кузатилдики, $E_v + 0,32 \text{ эВ}$ чуқур сатҳнинг ҳосил бўлиш самараси La концентрациясига боғлиқ экан.

Чуқур сатҳлар концентрацияси $T_{\text{диф}}$ ва $v_{\text{сов}}$ га кучли боғлиқлиги кузатилди: $T_{\text{диф}}$ ва $v_{\text{сов}}$ қанча катта бўлса, Si даги $E_v + 0,32 \text{ эВ}$ ли чуқур сатҳлар концентрацияси шунча катта бўлади.

Тўртинчи бобда киришмалар орасидаги ўзаро таъсирлар ва Ho, La ва Eu билан легирланган кремнийнинг хоссаларига ташқи факторларнинг: юқори температурали термоишлов ва нурлашнинг таъсири тадқиқотларини натижалари келтирилган. Шу бобда DLTS ёрдамида бир вақтда гольмий ва темир билан легирланган кремнийдаги киришмалар ўзаро таъсирини текшириш натижалари келтирилган. Шу жумладан алоҳида-алоҳида гольмий ва темир билан легирланган кремнийдаги чуқур сатҳларнинг энергетик спектрлари ўрганилди. Алоҳида ва биргаликда гольмий ва темир билан

кремнийни легирлаш ҳавоси сўриб олинган кварц ампулада $T = 900 - 1250^{\circ}\text{C}$ да 2-50 соат давомида газ фазасидан диффузиялаш методи билан амалга оширилди ва намунани совутиш ҳар хил тезликларда ўтказилди.

Ўлчаш натижалари шуни кўрсатадики, $n - \text{Si}$ ва темирни киритиши унинг $n - \text{Si} < \text{Fe} >$ солиштирма қаршилигини сезиларли ўзгаришига олиб келмайди, лекин $p - \text{Si}$ га киритилиши, унинг солиштирма қаршилигини кескин оширади (яъни $p - \text{Si} < \text{Fe} >$ намуналари юқори омли бўлиб қолади), баъзи ҳолларда ($T_d = 1200^{\circ}\text{C}$ да Fe нинг диффузияси бўлиб, сўнгра тез совутилганда) $p - \text{Si}$ намуналари компенсацияланиб қолади. Бу натижалар темирни кремнийга диффузиялаганда ҳосил бўладиган чуқур сатҳларнинг донор тавсифга эга бўлишини кўрсатади.

Но ва Fe атомларини Si панжарасига бир вақтда ёки кетма-кет киритилиши паст омли $n - \text{Si}$ нинг солиштирма қаршилигини етарли даражада оширади, $p - \text{Si}$ да $\text{Si} < \text{Ho} >$, $\text{Si} < \text{Fe} >$ ва $\text{Si} < \text{Ho}, \text{Fe} >$ намуналарида чуқур сатҳларнинг энергетик спектрини ўлчаш натижаларини кўрамиз.

$n - \text{Si} < \text{La} >$ ва $p - \text{Si} < \text{La} >$ намуналаридаги DLTS спектрларининг таҳлили шуни кўрсатадики, лантан атомларининг кремнийга диффузия усули билан киритилганда, унинг таққ соҳасини юқори ярмида ионизация энергияси фиксацияланган қийматли ($E_c - 0,23 \text{ эВ}$ ва $E_c - 0,38 \text{ эВ}$) ҳамда электронларни тутиш кесими $\sigma_n \sim 4 \cdot 10^{-17} \text{ см}^2$ ва $\sigma_n \sim 2 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$ бўлган иккита чуқур сатҳлар ва шу жумладан битта ионизация энергияси $E_v + 0,29 \text{ эВ}$ ва коваклар тутиш кесими $\sigma_p = 5 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ бўлган таққ соҳанинг пастки ярмида бўлган чуқур сатҳ кузатилди. Но ва Fe атомларини Si га бир вақтда ва кетма-кет киритилиши, электр актив бўлган темир атомларига боғлиқ чуқур сатҳлар вужудга келмаслиги кўрсатилди. DLTS спектрларида фақат Но билан боғлиқ болган чуқур сатҳлар кузатилди ва электроактив гольмий атомларининг концентрацияси намунага темир киритилиши билан ўзгармайди. Шундай қилиб, Si ҳажмида Но атомларининг мавжуд бўлиши унда Fe нинг чуқур сатҳларини ҳосил бўлишига имкон бермайди. Эҳтимол, Но атомларининг Si панжарасида мавжуд бўлиши Fe атомларини дезактивация қилиши, яъни уни фаол бўлмаган ҳолатга келтириши, юза структурасини ўзгартириши ва ҳ.з бўлиши мумкин.

Si даги электрофаол бўлмаган киришмаларнинг махсус киритилган ва Si га махсус фойдали хоссалар берувчи (масалан, фотосезгирлик, термосезгирлик ва ҳ.з.) киришмаларга таъсирини ўрганиш катта қизиқиш уйғотади. Шу сабабли гольмий атомларининг никель атомларини кремнийдаги табиатига таъсири ўрганилди. Юқори таъкидлангандек, Но Si га уни ўстириш жараёнида киритилди, сўнгра диффузиялаш усули билан никель киритилди. $n - \text{Si} < \text{Ho} >$ да гольмийнинг етарлича концентрацияси бўлганда ҳам, DLTS спектрларини ўлчаш натижалари унда чуқур сатҳлар бўлмаслигини кўрсатди. Нейтронно-активацион таҳлил ҳам намунада

гольмий концентрациясининг деярли юқори $2 \cdot 10^6 \div 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ эканлигини кўрсатди. Демак, Но атомлари Si ҳажмида электронейтрал ҳолатда бўлар экан.

Олинган экспериментал натижаларни таққосланиши ва таҳлили Но атомларининг Si да бўлиши, ундаги $E_c - 0,23 \text{ эВ}$ ли чуқур сатҳларни концентрациясини камайишига олиб келади. Шунингдек, гольмий атомлари HEЭ ва изовалент элементар каби Si да термик нуқсон ҳосил бўлишини камайишига олиб келади, $E_c - 0,23 \text{ эВ}$ ли чуқур сатҳлар $n - Si < Ho + Ni >$ да $n - Si <$ юқори температурали термоишлов > намуналардагига нисбатан жуда кичик.

Бундан ташқари, никель билан боғлиқ бўлган $E_c - 0,41 \text{ эВ}$ ли чуқур сатҳлар концентрацияси $n - Si < Ho + Ni >$ намуналарда $n - Si < Ni >$ намуналарга нисбатан анча юқори. Бундан келиб чиқадики, кремний панжарасида гольмий атомларининг бўлиши кремнийдаги никель марказларининг ҳосил бўлиш самарасини оширар экан. Бундан ташқари, $n - Si < Ni >$ ва $n - Si < Ho + Ni >$ намуналарини паст температураларда ишлов бериш бўйича дастлабки ўтказилган экспериментларнинг кўрсатишича, гольмий атомлари қандайдир даражада никельнинг кремнийдаги хоссаларини стабиллаштиради: Si даги Ni га боғлиқ чуқур сатҳларнинг термоишлов натижасида $n - Si < Ni >$ намуналарда камайиши Но атомлари бўлганда $2 \div 3$ марта секин рўй беради. Шунингдек, Si ни ўстириш жараёнида HEЭ киритилган $Si < Eu, Ti >$ намуналари ҳамда $Si < Ti >$ намуналари учун олинган DLTS спектрлари таққосланиб, бу намуналарда фақат ионизация энергиялари $E_c - 0,23 \text{ эВ}$ ва $E_c - 0,27 \text{ эВ}$ бўлган иккита чуқур сатҳлар пайдо бўлиши кўрсатилди. Биринчи чуқур сатҳнинг параметрлари термоишлов берилган назорат намуналардаги термодфект сатҳларига тўғри келади, иккинчи чуқур сатҳ параметрлари Ti нинг маълум маркази параметрига мос келади. Ҳисоблаш натижалари шуни кўрсатадики, Si панжарасида Eu киришмаларининг бўлиши, Ti нинг сатҳларини ҳосил бўлиш самарасини оширади, бу эса Ti атомларини электрофаоллик улушини ортиши билан боғлиқ бўлиши мумкин. $Si < Eu >$ намуналарини Ti атомлари билан қўшимча легирлаш, Eu атомлари билан боғлиқ бўлган $E_c - 0,40 \text{ эВ}$ ва $E_c - 0,46 \text{ эВ}$ сатҳларни ҳосил бўлишига тўсқинлик қилади, $Si < Eu, Ti >$ намуналари учун DLTS спектрида чуқур сатҳлар кузатилмайди. Паст температурали термоишлов экспериментлари шуни кўрсатадики, чуқур сатҳларнинг $Si < Eu, Ti >$ намуналарида куйиши, $Si < Ti >$ намуналаридагига нисбатан секинроқ рўй беради. Бу эса, Si панжарасида Eu атомларининг бўлиши Ti сатҳлари хоссаларини стабиллайди.

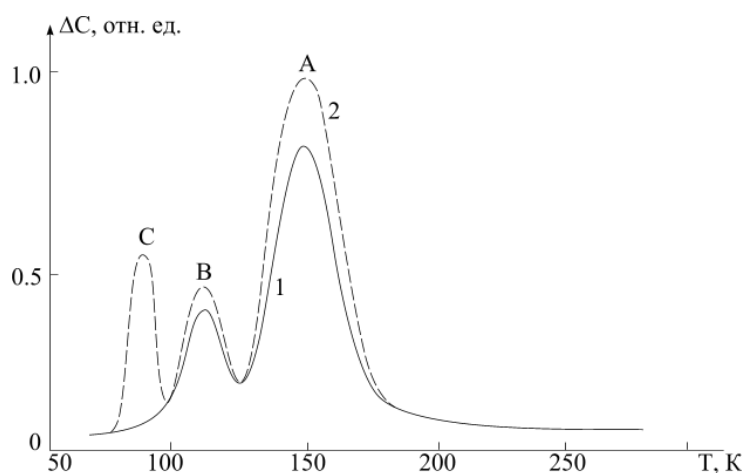
Шундай қилиб, Eu сатҳларининг бўлмаслиги, $Si < Eu, Ti >$ намунасида Ti сатҳларининг концентрациясини ошиши ва параметрларини стабиллашуви, Eu ва Ti атомлари ўзаро таъсирлашиши натижасида улар қатнашувида қандайдир комплекс ҳосил қилиши эҳтимолдан ҳоли эмас. Бу

ғояни $Si < Eu, Ti >$ намуналарининг ИҚ-ютилиш спектрларини ўлчаш натижалари ҳам тасдиқлайди.

Маълумки, НЕЭ ларнинг Si панжарасида бўлиши, бир ҳолларда намунанинг термостабиллигини оширади, бошқа ҳолларда эса радиацион чидамлигини оширади. Шунинг учун НЕЭ билан легирланган кремний хоссаларига нурлашнинг таъсирини ўрганиш маълум қизиқишга эга. Но мисолида НЕЭ билан легирланган кремнийнинг хоссаларига γ -нурлашнинг таъсирини тақиқ қилиш натижаларини кўрамиз.

Эксперимент учун Но нинг ҳар хил концентрацияси ва тугунлараро кислороди бўлган $n-Si < Ho >$ намуналари учун DLTS спектрлари таҳлил қилинганда, ионизация энергияси $E_c - 0,17$ эВ бўлган янги чуқур сатҳ пайдо бўлиши маълум бўлди ва унинг параметрлари маълум РД-А-марказ (вакансия комплекси-кислород) параметрларига мос экан. Кислородсиз намуналарда эса 2 та янги $E_c - 0,17$ эВ ва $E_c - 0,43$ эВ ли чуқур сатҳлар кузатилди, зеро иккинчи чуқур сатҳ асосий бўлиб, унинг параметрлари бошқа маълум РД-А-марказ (вакансия комплекси-фосфор) параметрларига мос келади. Бундай А ва Е марказлар назорат намуналари (Si, Но йўқ) да ҳам кузатилади.

Нурланган $n-Si < Ho >$ ва нурланган назорат намуналарида кузатилган чуқур сатҳларни нурланиш фазасига боғлиқлигини таққослаш шуни кўрсатадики, назорат намуналарига нисбатан таркибида Но бўлган намуналарда РД нинг ҳосил бўлиш тезлиги кичик экан.



1- облучениягача; 2- γ -облучениедан кейин

Расм. 2. Гольмий билан легирланган кремний намуналарининг DLTS спектри

Шундай қилиб, Но атомларининг Si да бўлиши, унда РД нинг ҳосил бўлиш самарасини камайтиради. Бу эффект, бизнинг фикримизча, Но атомларининг нурлаш натижасида ҳосил бўладиган дефектлар билан ўзаро таъсири билан боғлиқдир. Шуни таъкидлаш лозимки, РД нинг ҳосил бўлиш самараси НЕЭ киритиш усулига боғлиқ. Гольмий билан диффузиялаш усулида легирланган кремнийда Е-марказлар умуман ҳосил бўлмайди. РД нинг ҳосил бўлиш

самарасини камайиши Eu киришмали Si да ҳам кузатилди. Бу эффектлар, фикримизча, НЕЭ атомларининг кристалл панжара дефектлари ҳамда нурлашда ҳосил бўлган дефектлар билан ўзаро таъсирлашиш хусусиятларига боғлиқдир. Шунини таъкидлаш лозимки, $Si < Eu >$ намуналарида $Si < Ho >$ намуналарга нисбатан РД нинг асосийлари-А-марказ (вакансия комплекси-кислород) ва Е-марказ (вакансия комплекси-фосфор) концентрациялари бир мунча кичик. Бу факт, эҳтимол бу намуналарда НЕЭ киришмалари билан бир қаторда кислород, углерод атомлари, вакансиялар ва бошқалар ҳам жараёнларда қатнашишини тасдиқлайди.

3. Хулоса

1. $n - Si < Ho >$ намуналарини ҳар хил маромда (T , $v_{сов}$) юқори температурали термоишлов қилинмасдан аввал ва кейин солиштирма қаршиликларини ўлчаш шунини кўрсатадики, термоишлов намуналарининг p сини қиздириш вақтига боғлиқ равишда оширади, бу эса гольмий киришмали Si да компенсацияловчи марказларнинг ҳосил бўлиши билан боғлиқ. Юқори температурада ишлов бериш натижасида гольмий атомларининг фаоллаши туфайли ҳосил бўлган марказлар акцептор тавсифга эга. $n - Si$ га Ho атомларининг диффузияланиб киритилиши, унинг солиштирма қаршилигини ортишига олиб келади, $p - Si$ да эса солиштирма қаршиликнинг сезиларли ўзгариши кузатилмайди.
2. Гольмий ва европий киришмали кремнийнинг солиштирма қаршилигининг тақсимотини профили бир хил ва бу Ho ва Eu атомларининг кремнийдаги ҳосил қилувчи сатҳларининг табиатини бир хил эканлигидан далолат беради. Лекин ҳар хил чуқурликдан (90 мкм Ho учун ва 80 мкм Eu учун) бошлаб солиштирма қаршилиқ қиймати стабиллашади ва солиштирма қаршиликнинг стабил қиймати Ho киришмали бўлганда Eu киришмалига нисбатан унинг электр ўтказувчанлиги катта эканлигини кўрсатади.
3. Ўстириш жараёнида гольмий билан легирланган кремнийнинг оптик хоссалари ўрганилди. Юқори температурали термоишлов оптик фаол тугунлараро кислород концентрациясини ошириш кўрсатилди ва бу, эҳтимол, термик таъсирда гольмий билан кислород комплексининг парчаланиши билан боғлиқ бўлиши мумкин ҳамда бунда оптик фаол углеродда ютилиш полосалари (16,5 мкм) да ҳеч қандай ўзгариш кузатилмади.
4. Намуналарга юқори температурали термоишлов бериш ундаги тугунлараро оптик фаол кислород концентрациясини ошишига олиб келди ва бу эса, эҳтимол, термик таъсир натижасида гольми билан кислород комплексини парчаланиши билан боғлиқдир.

4. ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ

По материалам диссертации опубликовано 14 научных работ из них 4 статьей и 10 тезисов:

1. Далиев Х.С., Утамурадова Ш.Б., Хамиджонов И.Х., Акбаров А.Ж., Мирзаирова И.К., Акимова Ж.О., Влияние термической обработки на образование центров с глубокими уровнями в кремнии, легированном европием или лантаном. Неорганические материалы, 2001, т.37, №5, С. 527-529.
2. Х.С.Далиев, Б.К.Даулетмуратов, Ш.Б.Утамурадова, И.К.Мирзаирова, Ш.Х.Далиева, Ж.О.Акимова, З.О.Олимбеков, Особенности дефектообразования в кремнии при легировании никелем различными методами Оптоэлектроника и полупроводниковая техника, 2009, вып.44. С.112-116.
3. Ш.Б.Утамурадова, Х.С.Далиев, Б.К.Даулетмуратов, Ш.Х.Далиев, Ж.О.Акимова, Исследование взаимодействия лантана с кислородом в кремнии ДАН 2009, вып.1. С.21-23.
4. Мамадалимов А.С. Утамурадова Ш.Б. Акимова Ж.О. Дефектообразование в кремнии с примесью гадолиния.// Сборник трудов международной конференции."Прикладные проблемы физики полупроводников". – ТашГУ.Ташкент. – 15-17 сентябрь 1999. – С.32.
5. Далиев Х.С., Утамурадова Ш.Б. ,Акимова Ж.О., Исследование свойств нейтронно-легированного кремнии с примесью марганца. Сборник трудов международной конференции."Прикладные проблемы физики полупроводников" 15-17 сентябрь 1999.ТашГУ.Ташкент. С.32.
6. Далиев Х.С., Хамиджонов И.Х., Акбаров А.Ж., Мирзаирова И.К., Акимова Ж.О., Об активации атомов Eu и La в кремнии под воздействием внешних факторов. Сб. трудов Межд. конференции. «Прикладные проблемы физики полупроводников». Ташкент, 1999, С.16-17.
7. Зайнабидинов С.З. Далиев Х.С. Акбаров А.Ж., Акимова Ж. Влияние внешних факторов на поведение некоторых редкоземельных элементов в кремнии Сб. труд. Науч.-прак. сем. «Проблемы полупроводникового материаловедения». Андижан, 1999, С.3.
8. Далиев Х.С., Утамурадова Ш.Б. ,Акимова Ж.О., Далиев Ш.Х., Влияние радиации на свойства кремния с примесями редкоземельных элементов IV Республиканской конференций "рост, свойства и применение кристаллов" РСПК-2005.27-29 октябрь 2005.С.52-53.
9. Далиев Х.С., Утамурадова Ш.Б. , Акимова Ж.О., Инфракрасная спектроскопия кремния с примесью гадолиния Неравновесные процессы в полупроводник и в полупроводниковых структурах НИИ прикладной физики Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека. г. Ташкент, 2007. С.33
10. Утамурадова Ш.Б., Далиев Ш.Х., Акимова Ж.О., Атабаев Т.Ш., Влияние лазерного излучения на свойства кремния, легированного гольмием Неравновесные процессы в полупроводник и в полупроводниковых структурах НИИ прикладной физики Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека. г. Ташкент, 2007.С.36.
11. Утамурадова Ш.Б., Далиев Х.С., Далиев Ш.Х., Акимова Ж.О., Примесные атомы гольмия в кремнии Вестник. ФАНУз. 2008. №2. С. 13-14.

12. Утамурадова Ш.Б., Ж.О.Акимова, Изучение особенностей межпримесного взаимодействия в кремнии с примесями Но и Fe помощью ИК-спектроскопии “Олима аёлларнинг Фан-техника тараққетида тутган ўрни” Илмий амалий анжуман мақолалар тўплами 2008. С.197-198
13. Утамурадова Ш.Б., Далиев Х.С., Даулетмуратов Б.К., Далиев Ш.Х., Акимова Ж.О., Влияние атомов гафния на свойства границы раздела Si-SiO₂ Материалы международной конференции. ”Структурна релаксація у твердих тілах” 19-21 май 2009 рік, Вінниця, Україна.С.176-177.
14. Утамурадова Ш.Б., Далиев Ш.Х., Каландаров Э.К., Акимова Ж.О., Влияние воздействия термообработки и межпримесного взаимодействия на электрофизические свойства кремния, легированного лантаном. Материалы 2– международной конференции «Неравновесные процессы в полупроводниках и в полупроводниковых структурах» Ташкент, 2009.С.77-79.

РЕЗЮМЕ

диссертации Акимовой Жумахан Оразбаевны на тему:

«Процессы дефектообразования в кремнии, легированном Ho, La, Eu и их взаимодействие с технологическими примесями O и C» на соискание ученой степени кандидата физико – математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников

Ключевые слова: полупроводник, кремний, редкоземельные элементы, гольмий, лантан, европий, никель, легирование, примеси, отжиг, внешние воздействия, термостабильность, радиационная стойкость.

Объекты исследования: Si, легированный Ho, La, Eu диффузионным методом и в процессе выращивания, а также дополнительно легированный Ti и Ni.

Цель работы: изучение свойств Si, легированного Ho, La, Eu путем высокотемпературной диффузии и в процессе выращивания Si из расплава, а также исследование влияния легирования Si<Ho> различных термических обработок и воздействия радиации на свойства Si<Ho>.

Методы исследования: нестационарная емкостная спектроскопия глубоких уровней, фотоемкость и инфракрасная спектроскопия.

Полученные результаты и их новизна: впервые выполнено комплексное исследование свойств кремния с примесями гольмия, европия и лантана и установлено, что введение этих примесей путем высокотемпературной диффузии приводит к существенному изменению электрофизических свойств кремния. Изучена эффективность образования уровней Ho, La и Eu в кремнии в зависимости от технологических факторов. Впервые с помощью емкостной спектроскопии определен энергетический спектр ГУ, создаваемых атомами Ho, La и Eu в кремнии при их диффузионном введении. Обнаружено, что диффузионное введение этих примесей приводит к снижению эффективности образования термических и радиационных дефектов и стабилизации параметров кремния. Установлено, что в кремнии, легированном примесями РЗЭ при выращивании, ГУ в заметной концентрации не наблюдается, но последующая высокотемпературная обработка в интервале температур 1000-1200 °С приводит к активации атомов РЗЭ и образованию ряда глубоких уровней.

Практическая значимость: проведенная оптимизация параметров Si, легированного РЗЭ может быть служить в качестве рекомендаций при создании новых полупроводниковых приборов со стабильными и воспроизводимыми параметрами.

Степень внедрения и экономическая эффективность: полученные результаты по повышению термической стабильности и радиационной стойкости параметров кремния путем введения атомов Ho, La и Eu могут быть использованы в качестве рекомендаций при изготовлении различных полупроводниковых приборов.

Область применения: полупроводниковое материаловедение и микроэлектроника.

Физика-математика фанлари номзоди илмий даражасига даъвогар
Акимова Жумахан Оразбаевнанинг 01.04.10 – яримўтказгичлар физикаси
ихтисослиги бўйича: «Но, La, Eu лар билан легирланган кремнийда
нуқсонлар ҳосил бўлиш жараёнлари ва уларнинг технологик киришмалар О
ва С билан узаро таъсири» мавзусидаги диссертациясининг

РЕЗЮМЕ СИ

Таянч сўзлар: яримўтказгич, кремний, легирлаш, киришмалар, нодир
ер элементлари, гольмий, лантан, никель, легирлаш, киришмалар, қайта
ишлов бериш, ташқи таъсирлар, иссиқликка чидамлилиги, радиацияга
чидамлилиги.

Тадқиқот объектлари: диффузия ва ўстириш жараёнида гольмий,
лантан ва европий билан легирланган кремний ва уларга қўшимча Ti ва Ni
атомлари билан легирланиши жараёни.

Ишнинг мақсади: ўстириш пайтида ва диффузия усули ёрдамида
кремнийга Но, La, Eu атомларини киритиб, турли иссиқлик ишлови ва
гольмий билан легирланган кремнийга радиация таъсирини ўрганиш.

Тадқиқот методлари: Чуқур сатҳларнинг ностационар сиғимли
спектроскопияси, фотосиғим ва инфрақизил спектроскопия.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги: ўстириш пайтида ва
диффузия усули ёрдамида нодир ер элементи Но, La ва Eu билан легирланган
Si хусусиятлари комплекс усуллар ёрдамида биринчи бор тадқиқ этилди ва
шу киришмаларга юқори ҳароратли ишлов берилганда кремнийнинг
электрофизик хусусиятларини ўзгаришга олиб келиши аниқланган. Но, La ва
Eu атомлари кремнийга киритилганда уларнинг ҳосил қиладиган сатҳлари-
нинг самаралиги технологик факторларга боғлиқлиги ўрганилди. Но, La ва
Eu атомлари кремнийга киритилганда термик ва радиацион нуқсонларни
ҳосил бўлиш самаралигини камайтиришга олиб келиши ва кремний
параметрларини стабиллашуви аниқланди. Ўстириш пайтида нодир ер
элементлари кремнийга киритилганда чуқур сатҳлар концентрацияси
сезиларли эмаслиги ва уларга юқори ҳароратли ишлов 1000-1200 °C
берилганда эса нодир ер элементлар атомларининг фаоллашиши ва бир қатор
чуқур сатҳларнинг ҳосил бўлиши аниқланди.

Амалий аҳамияти: нодир ер элементлари билан легирланган
кремнийга ҳар хил технологик жараёнларда ишлов берилиш жараёни
ўрганилиб унинг параметрлари оптималлаштирилди. Бундан ташқари
гольмий билан легирланган кремнийга никель ва титан атомларини қўшимча
легираш орқали кремнийнинг параметрларининг стабиллигини ошириш
йўллари ишлаб чиқилди. Бу эса ўз навбатида радиацияга ва температурага
чидамли материаллар олиш имкониятини беради.

Татбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги: Олинган
натижаларга кўра, Но, La ва Eu атомлари билан легирланган кремний
иссиқликка ва радиацияга чидамлилиги янги турдаги яримўтказгичли
асбобларни яратиш имкониятини беради.

Қўлланиш соҳаси: яримўтказгичлар материалшунослиги, ярим-
ўтказгичлар асбобсозлиги, микроэлектроника ва оптоэлектроника.

RESUME

Thesis of Akimova Jumakhan Orazbaevna on the scientific degree competition of the doctor of philosophy in physics-mathematic speciality 01.04.10- physics of semiconductors on the subject: «The processes of defect formation in silicon doped Ho, La, Eu and their interaction with technological impurities O and C»

Key words: the semiconductor, silicon, rare earth elements, holmium, nickel, doping, impurity, heat treatment, external influences, thermal stability, radiating stability.

Subject of research: Si, doped with Ho, La, Eu by diffusion method and during crystal grows, Si <Ho>, doped with Ti and Ni.

Purpose of work: studying of properties

Methods of research: deep levels transient spectroscopy, photocapacity and infrared spectroscopy.

The results obtained and their novelty: For the first time it is carried out complex research of properties Si with impurity holmium, europium and lanthanum is carried out and it is revealed that introduction of these doping by high temperature diffusions leads to the existing changes of electrophysic properties of silicon. Efficiency of formation of levels Ho, La and Eu in silicon depends on technology factors have been investigated. For the first time energetic specter DL was determined with the help of spectroscopy capacity, created by atoms Ho, La and Eu in silicon at their diffusion introduction. It is revealed that diffusion introduction in these impurity leads to decrease of efficiency formation of thermal and radiating defects and stabilization of parameters silicon.

It is established that doped impurity REE during crystal grows, DL in noticeable evaporation is not observed, but the subsequent high temperature in an interval temperatures 1000-1200°C leads to activation of atoms REE and formation of DL.

Practical value: the lead optimization of parameters Si, doped with REE can be serve as recommendations at creation of new semi-conductor devices with stable and reproduced parameters.

Degree of embed and economic effectivity: the received results on increase of thermal stability and radiating stability of parameters of silicon introduction of Ho, La and Eu atoms can be used as recommendations at manufacturing various semi-conductor devices;

Field of application: semiconductor material researching, production of semiconductor devices, microelectronics and optoelectronics.