

КРЕМНИЙ КРИСТАЛЛ ПАНЖАРАСИДА НИКЕЛЬ КИРИШМА АТОМЛАРИНИНГ ГЕТТЕРЛОВЧИ ХОССАЛАРИ

К.А.Исмайлов – физика - математика фанлари доктори, профессор

Х.У.Камалов – физика - математика фанлари фалсафа доктори

Бердақ номидаги Қорақалпоқ давлат университети

Б.К.Исмайлов – физика - математика фанлари фалсафа доктори

Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети

Таянч сўзлар: геттерланиш, кремний, никель, диффузия, рекомбинация марказлари.

Ключевые слова: геттерирование, кремний, никель, диффузия, рекомбинационные центры.

Key words: gettering, silicon, nickel, diffusion, recombination centers.

Кремнийда рекомбинация марказларини ҳосил қилувчи киришма атомларнинг геттерланиши катта амалий аҳамиятга эга. Бу нафақат асосий бўлмаган заряд ташувчиларнинг яшаш вақтини орттиришга имкон беради, балки электрон қурилмаларни ишлаб чиқариш жараёнида кўп марта термо ишлов бериладиган материалнинг электр ва рекомбинация параметрларининг барқарорлигини таъминлайди [1].

Киришма атомларининг геттерланишининг мавжуд усули асосан ҳар хил киришма атомларини (Au, Gd, Sm) ва бошқа ноёб эр элементларини киритиш орқали [2-4], радиация таъсирида, лазер билан ишлов бериш [5], шунингдек ион имплантацияси ёрдамида кремний юзасида ғовакли ёки аморф қатлам яратиш орқали амалга оширилади [6,7].

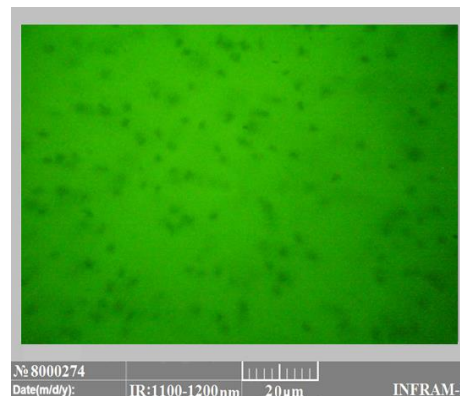
Шу билан бирга, юқорида кўрсатилган усуллардан фойдаланиш нафақат электр параметрларига, балки бошланғич материалдаги таркибий ўзгаришларга ҳам сезиларли таъсир қилади. Шунинг учун ушбу усулларнинг самарадорлиги катта эмас.

Ушбу мақолада кристалл панжарасида мавжуд бўлган ҳар хил термо ишловларда вужудга келувчи, шунингдек термонуксонларни ҳосил қилувчи бошқариб бўлмайдиган киришма атомларни геттерлаш имконини берувчи янги оригинал усул таклиф қилинган.

Бу кремний панжарасида электронейтрал никель атомларининг кластерларини шакллантириш орқали амалга оширилади. Маълумки, никель киришма атомлари етарлича катта эрувчангликка ($N \sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$) ва катта диффузия коэффициентига ($T = 1200^\circ \text{C}$ $D \sim 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$) эга.

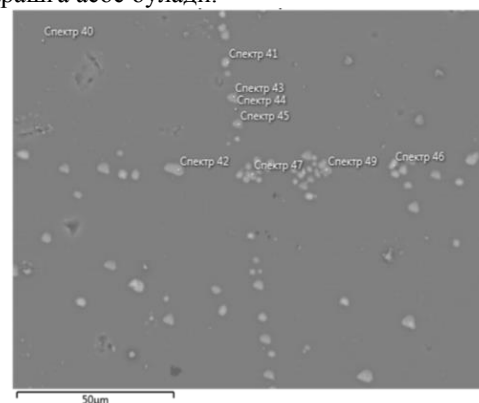
Кремний панжарасида никель киришма атомларининг асосий қисми электронейтрал ҳолатда жойлашган бўлиб (99,99%) ва улар электронейтрал кластерларнинг шаклланишида қатнашади. Никель атомларининг электроактив қисми ($N < 10^{14} \text{ см}^{-3}$) p типли $\rho < 100 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ва n типли $\rho < 40 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ кремний параметрларига деярли таъсир қилмайди. Никель киришма атомларининг кластерлари кучли ва самарали геттерлаш марказлари бўлиб хизмат қилади.

Бошланғич материал сифатида p -типдаги, кристаллография ориентацияси (111), дислокация зичлиги $S \leq 10^3 \text{ см}^{-2}$ ва солиштира қаршилиги $\rho = 1, 3, 5, 10, 40, 100 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ бўлган кремний монокристаллари танлаб олинган. Намуналар $T = 1200^\circ \text{C}$ ҳароратда вакуумли ампуларларда $t = 15 \div 60$ дақиқа давомида, пуркаш йўли билан ҳосил қилинган металл никель қатламидан легирланган. ИНФАРИМ-И инфрақизил микрокопи шунингдек сканерловчи электрон микроскоп ёрдамида никель киришма атомлари кластерларининг ҳолати ўрганилди. Ўрганилган кластерларнинг никель киришма атомлари кластерлари эканлигига ишонч ҳосил қилиш учун уларнинг таркиби EDS усули асосида тадқиқ этилди.

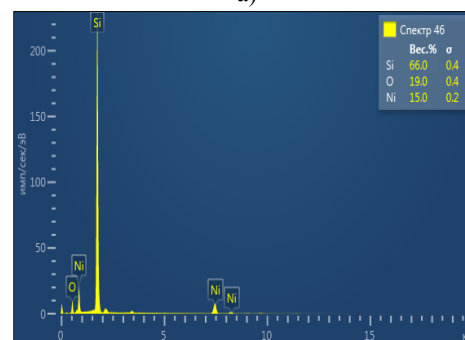


1-расм. Кремнийдаги никель киришма атомлари кластерлари $T = 1200^\circ \text{C}$ $t = 30$ дақиқа.

Тажриба натижалари асосида аниқланишича, кластерлар кремний, никель ва кислород атомларидан иборат бўлиб, уларнинг фоиз ҳисобидаги микдори қуйидагича: кремний-66%, никель-15%, кислород-19% ташкил қилди. Олинган маълумотларга таяниб, никель атомлари кислород атомларини сезиларли геттерлайди дейиш мумкин. Бу - кластерларни никель ва кислород атомлари билан бойитилган кремний соҳасида бўлади деб қарашга асос бўлади.



а)

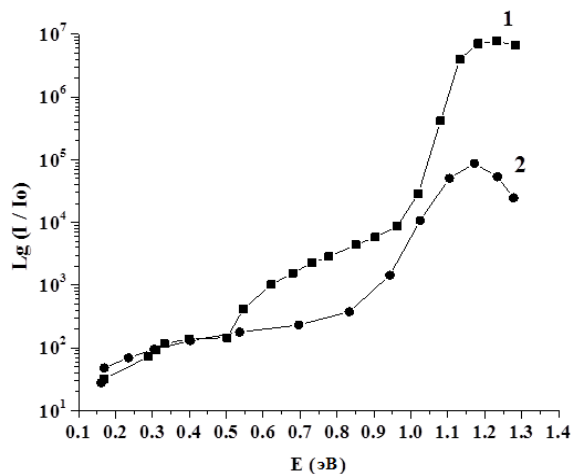


б)

2-расм. а) сиртда никель кластерларининг тақсимоти, б) энергодисперс рентген спектроскопиясини қўллаш орқали аниқланган никель киришма атомлари кластерларининг таркиби

Олтингугурт киришма атоми нима учун танланганига тўхтайдиган бўлсак, олтингугурт билан легирланган кремний материали асосида ИҚ соҳада ишлайдиган сезгир фото кабул қилгичларни яратиш имкони мавжуд. Кремнийда олтингугурт киришма атомлари асосий донор энергетик сатҳларидан ташқари ($E_1=E_C-0,188$ эВ ва $E_2=E_C-0,48$ эВ) бошқа энергетик сатҳларни ҳосил қилиш мумкин, бундай ҳолда олтингугурт киришма атомлари билан легирланган кремнийда никель киришма атомлари кластерларни бўлиши фотосезгирлики ошириш имконини беради ҳамда кремнийда олтингугурт киришма атомларининг бошқа энергетик сатҳларини юзага чиқаради. Тажиба тадқиқотларининг натижалари 1-жадвалда тақдим этилган. Натижаларнинг кўрсатишича, никель ва олтингугурт билан бир вақтда легирланган кремний намуналарнинг параметрлари фақат олтингугурт билан легирланган кремнийнинг параметрларига амалий жиҳатдан мос келади. Бу Ni атомларининг борлиги кремнийдаги олтингугурт атомлари ҳолатига ҳеч қандай таъсир қилмаслигини билдиради. Тадқиқот натижаларининг таҳлили бу намуналарда никель киришма атомларининг кластерлари борлигини кўрсатди. Si<S> ва Si<Ni,S> намуналар фотоўтказувчанлигини спектрал боғлиқлиги ўрганилди. Si<Ni,S> намуналарнинг фотосезгирлиги барча намуналарда ва спектрнинг текширилаётган барча соҳасида

Si<S> намуналарга қараганда анча катта эканлиги аниқланди, айниқса бу $h\nu=0,5\div 1,1$ эВ оралиғидаги соҳада яққол кўринди. Бу бошқариб бўлмайдиган атомларнинг кремний ҳажмида никель киришма атомлари кластерлар билан геттерланиши Si<Ni,S> намуналарнинг фотосезгирлигини нафақат хусусий ютилиш спектри соҳасида, балки ИҚ нурланишининг ($\lambda=2,5\div 11$ мкм) анча узун тўлқинлар соҳасида ҳам ошириш имконини беради.

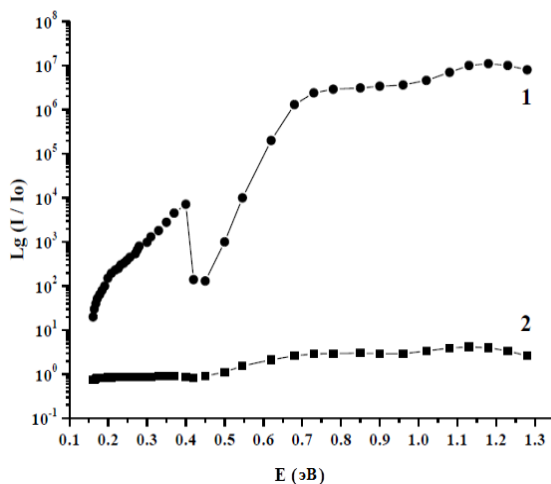


3-расм. $T=100$ K (1.-Si<Ni,S>, 2.-Si<S>) да намуналар фотоўтказувчанлигининг спектрал боғлиқлиги
1-жадвал. Намуналарнинг электр параметрлари

№	Намуналар	ρ , (Ом·см)	μ , (см ² /В·с)	ЎТ	N , (см ⁻³)	E , (эВ)	F , (эВ)	N_{AS} , (см ⁻³)
1	Si <Ni>	0,95	265	p	$2,50 \cdot 10^{15}$	0,22	0,17	-
2	Si <S>	9,5	1193	n	$5,50 \cdot 10^{14}$	0,24	0,27	$4,3 \cdot 10^{15}$
3	Si <Ni,S>	11	1166	n	$4,87 \cdot 10^{14}$	0,30	0,27	$4,2 \cdot 10^{15}$

Никель кластерларининг геттерлаш хоссалари кремнийда марганецга ўхшаган бошқа киришма атомлар мавжуд бўлганда тадқиқ этиш илмий аҳамиятга эга. Дастлабки материал сифатида p -тип $\rho=3$ Ом·см солиштирма қаршиликли кремний материали олинди. Намуналар $T=1200$ °C $t=30$ минут давомида легирлангандан сўнг $T=1070$ °C да марганец киришма атомлари диффузия қилинди. Назорат материал сифатида Mn атомлари паст ҳароратли диффузия усули билан легирланган кремний олинди. Олинган материалларнинг параметрлари 2-жадвалда келтирилган.

2-жадвалдан кўриниб турибдики, тадқиқ этилаётган материалнинг солиштирма қаршилиги деярли бир тартибга кам бўлди. Намуналарнинг фотоэлектрик хоссалари ҳам ўзаро тубдан фарқ қилди. Бундан никель кластерлари марганец атомларининг кластерларини изоляциялаши, яъний никель киришма атомларининг марганец атомларига нисбатан геттерлаш хоссаси намоён бўлар экан. Буни тасдиғи сифатида 4-расмда олинган намуналарнинг спектрал тавсифларини кўрсатиш мумкин.



4-расм. $T=100$ K (1.-Si<Mn>, 2.-Si<Ni,Mn>) да намуналар фотоўтказувчанлигининг спектрал боғлиқлиги 2-жадвал. $T=1070$ °C ҳароратдаги диффузиядан кейин намуналарнинг электр параметрлари

№	Киришма атомлари	ρ , (Ом·см)	μ , (В/см·с)	ЎТ	N , (см ⁻³)	I_{epu}/I
1	Ni, Mn	$1,5 \cdot 10^2$	230	p	$1,8 \cdot 10^{14}$	8,3
2	Mn	$2,3 \cdot 10^3$	390	p	$7 \cdot 10^{12}$	2530

Шундай қилиб, олинган натижаларга асосланиб, кремний панжарасида никель киришма атомларининг кластерларини ҳосил қилиш орқали ҳар хил зарарли киришма атомларни (панжарада мавжуд, шунингдек киритилган) ҳамда рекомбинация марказлари ва термо нуксонларни ҳосил қилувчи кислород атомларини геттерлаш мумкин.

Адабиётлар

1. Астащенко А.С., Бринкевич Д.И., Петров В.В. Свойства кремния, легированного примесью никеля методом диффузии. // Доклады БГУИР. 2008, Т. 38. № 8, -С. 37-43.
2. Абдурахманов К.П., Далиев Х.С., Куликов Г.С., Лебедев А.А., Утамарадова Ш.Б., Юсупова Ш.А. Локальные геттерирование железа слоем металла, напыленного на поверхность кремния. // ФТП. 1993, Т. 27. вып 7. с. 1222-1224.
3. Назыров Д.Э. Геттерирование золота самарием и гадолинием в кремнии. // Электронная обработка материалов 2007, №3, - С. 77-82.
4. Амальская Р.М., Баграев Н.Т., Клячкин Л.Е., Суханов В.Л. Геттерирование в кремнии в условиях генерации вакансий. // ФТП. 1992. Т. 26. Вып. 6. -С. 1004-1007.
5. Бохан Ю.И., Каменков В.С., Толочко Н.К. Доминирующие факторы лазерного геттерирования кремниевых пластин. // ФТП. 2015. Т. 49. Вып. 2. -С. 278-282.
6. Куликов А.В., Перевошиков В.А., Скупов В.Д., Шенгуров В.Г. Низкотемпературное радиационно-стимулированное геттерирование примесей и дефектов в кремнии слоями пористого кремния. // Письма ЖТФ. 1997. Т. 23. Вып. 13. -С. 27-31.
7. Перевошиков В.А., Скупов В.Д. Дальнейшее геттерирование микродефектов в монокристаллах кремния при формировании на их поверхности слоев пористого кремния и ионном облучении // Письма ЖТФ. 1999. Т. 25. Вып. 8. -С. 50-54.

РЕЗЮМЕ

Ушбу мақолада кремнийнинг кристалл панжарасида никель киришма атомларининг кластерларини ҳосил қилиб, турли хил бошқариб бўлмайдиган киришма атомларни, шунингдек рекомбинация марказлари ва термонуксонларни ҳосил қилувчи кислород атомларини геттерлашни амалга ошириш мумкинлиги кўриб чиқилган.

РЕЗЮМЕ

В данной статье рассмотрено, что формируя кластеров примесных атомов никеля в кристаллической решетке кремния, можно реализовать геттерирование различных неконтролирующих примесей, а также атомов кислорода стимулирующих генерацию рекомбинационных центров и термодфектов.

SUMMARY

This article considers that by forming clusters of impurity nickel atoms in the crystal lattice of silicon, it is possible to realize gettering of various uncontrolling impurities, as well as oxygen atoms stimulating the generation of recombination centers and thermal defects.

МАГИСТРАЛ КАНАЛЛАРДАГИ СУВНИНГ БЕҚАРОР ҲАРАКАТИНИ ОПТИМАЛ БОШҚАРУВ МАСАЛАСИНИНГ МАТЕМАТИК МОДЕЛИ

А.А.Қудайбергенов - таянч докторант

Мирзо Улугбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети

Таянч сўзлар: очик канал, магистрал канал, канал қисми, оқим, нишаблик, бошқарув, дифференциал тенглама, Сен-Венан тенгламаси, сув сарфи, сув сатҳи, гидротехник иншоот, сифат мезони.

Ключевые слова: открытый канал, магистральный канал, участок канала, поток, уклон, управление, дифференциальное уравнение, уравнение Сен-Венана, расход воды, уровень воды, гидротехническое сооружение, критерий качества.

Key words: open channel, main channel, channel section, flow, slope, control, differential equation, Saint-Venant equation, water flow, water level, hydraulic structure, quality criterion.

Кириш. Очик каналлардаги оқимнинг беқарор ҳаракатини тавсифловчи тенгламаларни Барре де Сен-Венан 1871 йилда (Хуберт Шансон 2004) ишлаб чиққан бўлса ҳам уларни доимий ҳолатда муҳандислик амалиётида муваффақиятли фойдаланишнинг имкони кам. Бундай вазиятнинг сабаблари тенгламаларнинг математик мураккаблиги ва очик каналларнинг ўзига хос хусусиятлари эди. Ушбу қийинчиликларни бартараф этиш учун гидрологлар беқарор оқимни тавсифловчи оддийроқ тенгламаларни қидирмоқдалар [1,2,9].

Ҳозирги вақтда сув хўжалиги объектларининг динамикасини моделлаштириш масаласига ягона тизим ёндашуви йўқ, аммо алоҳида объектларнинг математик моделларининг турли хил мураккабликлари мавжуд,

шунинг учун сув таъминоти ва сув тақсимотининг мураккаб жараёнларини тасвирлайдиган математик моделларни танлаш зарур даражада аниқлик билан жуда муаммоли вазифадир.

Тақсимланган параметрларга эга бўлган динамик моделлар асосан Сен-Венан тенгламаси билан таърифланади ва оқим параметрларини магистрал канал қисмлари бўйича узунлик ва вақт бўйича тақсимланишини ҳисобга олади [4].

Моделлар ва натижалар. Магистрал канал қисмининг ҳолати беқарор сув оқими билан характерланади ва энергиянинг сақланиш қонунлари кўринишидаги Сен-Венан дифференциал тенгламалар системаси билан тасвирланади [3,5,12, 14].

$$B \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q,$$

$$\frac{1}{g\omega} \left(\frac{\partial Q}{\partial t} + 2v \frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \left[1 - \left(\frac{v}{c} \right)^2 \right] \frac{\partial z}{\partial x} = \left[i + \frac{1}{B} \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} \right)_{h=const} \right] \left(\frac{v}{c} \right)^2 - \frac{Q|Q|}{K^2}, \quad (1)$$

бу ерда $v = \frac{Q}{\omega}$; $c = \sqrt{\frac{g\omega}{B}}$; $Q = Q(x, t)$ – сув сарфи;
 $z = z(x, t)$ – эркин сиртнинг ординатаси; g – гравитацион доимий; i – туб нишаблик; $B = B(z)$ – ҳаракатдаги кесимнинг сирти бўйлаб оқимнинг кенглиги; $\omega = \omega(z)$ – ҳаракатдаги кесимнинг майдони;
 $c = c(z)$ – кичик тўлқинларнинг тарқалиш тезлиги;
 $K = K(z)$ – сарф модули.

Гиперболик типдаги хусусий ҳосилаларни дифференциал тенгламаларнинг (1) системада оқим массасининг ва импульсининг сақланиш тенгламалари бўлиб, очик канал қисмида сувнинг беқарор ҳаракатининг математик моделини ифодалайди.

Оқим ҳаракатини аниқловчи функциялар сифатида бу ерда $Q(x, t)$ – сув сарф ва $z(x, t)$ – эркин сиртнинг ординатаси танланади. t – вақт ва x эркин ўзгариш бўйлама координатаси булади.