

## НОДИР ЕР ЭЛЕМЕНТЛАРИ БИЛАН ЛЕГИРЛАНГАН КРЕМНИЙНИНГ ЭЛЕКТРОФИЗИК ХОССАЛАРИ

**Назокат Тураевна Қодирова**

Тошкент фармацевтика институти доценти

**Зухра Боходировна Турсунова**

Тошкент фармацевтика институти катта ўқитувчиси

**Наргиза Бахтиёровна Садикова**

Тошкент фармацевтика институти катта ўқитувчиси

### АННОТАЦИЯ

Кремнийни нодир ер элементлари билан легирлаш бўйича сўнгги йиллардаги илмий ишларнинг кўрсатишича, кремнийда термик ишлов ва радиацион нурланиш таъсири натижасида ҳосил бўладиган термик ва радиациавий нуқсонлар шунингдек, термик ишлов жараёнида кремнийга кириб кетиши ва унинг электрофизик хоссаларини ўзгартириб юбориши мумкин бўлган Ni, Na, Fe каби тез диффузияланувчи киришмалар намунанинг ва унинг асосида ясаладиган асбобларнинг электрофизик параметрларини ўзгартириб юбориши маълум.

**Калит сўзлар:** нодир ер элементлари, акцептор сатх, переципитат, имплантация, тез диффузияланувчи киришмалар.

### КИРИШ

Маълумки, яримўтказгичларнинг хоссалари ривожланиб келаётган қаттиқ жисмлар электроникасида бир томондан яримўтказгич кристаллини чуқур тозалаб, иккинчи томондан, легирлаб уларни аралашма атомларини концентрациясини бошқариш мумкин. Нуқтавий нуқсонлар нурланишни турли аспект тузилишли ва вакант тузилишли нуқсонлар илмий ва техник муаммолари анча вақтлардан бери фақат ҳисобланиб келинади. Термодинамик нуқтаи назардан, кристалл панжарасидаги нуқсонларни бўлиши муқаррар. Негаки, тўғри кристалл ҳолати бир қанча даражаларда асбобни тузилиш сифатида ҳосил бўлади. Буни биринчи навбатда нуқсон пайдо бўлиш жараёнида ҳамда электрон жараёнлар билан биргаликда кўрсатиш зарур.

## АДАБИЁТЛАР ТАҲЛИЛИ ВА МЕТОДОЛОГИЯ

Яримўтказгичларда радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлишини махсус пассивлаш, хусусан кремнийда кристаллга нейтрал киришмани киритиш орқали амалга оширилади. Ушбу киришма эса ҳосил бўладиган электр фаол комплекслар таркибига кирмайдиган бўлиши, Френкель жуфттини ташкил этувчилари учун жамлагич ёки аннигиляция маркази сифатида хизмат қилиши керак. Сўнги йилларда шундай киришмалар сифатида нодир ер элементлари қўлланилмоқда.  $\text{Si}\langle\text{Gd}\rangle$  нинг электр хоссаларига радиациявий нурланишга кучсиз сезувчанлик аниқланган ва ушбу натижани бирламчи радиациявий нуқсонлар учун самарали жамлагич сифатида хизмат қилувчи гадолиний атомларининг тўпланмаларининг радиациявий нуқтавий нуқсонлар билан ўзаро таъсирлашувининг натижаси сифатида изоҳланган. Шунингдек,  $\text{Si}\langle\text{Gd}\rangle$  намуналарининг рекомбинациявий параметрларининг радиация таъсирига барқарорлиги кўрсатилган. Мавзуга доир адабиётларнинг таҳлили. Нодир ер элементлари вакиллари гадолиний ва самарий акцептор киришмалар сифатида биринчи марта [1-3] ишларда ўрганилган. Кремнийга ўстириш жараёнида киритилган иттирий саёз сатҳ ҳосил қилиши ниқланган.

Кремнийни гадолиний билан легирлаш эса, акцептор табиатли марказларнинг пайдо бўлишига сабаб бўлган. 0,03 дан 1,8 масса фоизларида киритилган голмий элементи намунанинг ўтказувчанлик турини ўзгаришига олиб келиши, аммо у кремнийдаги коваклар концентрациясини ўзгартирмаслиги Холл эффекти ва электр ўтказувчанлик методлари ёрдамида аниқланган. Ушбу ҳолда голмий билан боғлиқ янги акцептор чуқур сатҳ  $E_v+0,35$  eV пайдо бўлиши кузатилган. Кремнийни неодим ва тербий билан ионлар имплантацияси ёрдамида легирланганда тақиқланган зонада  $E_c-0,29$  eV ва  $E_c-0,33$  eV донор чуқур сатҳларнинг пайдо бўлиши кузатилган. Шунингдек, нодир ер элементлари кремнийда электрик нейтраллиги кузатилиб, нодир ер элементларининг миқдори тнзт га таъсир қилмаган. Баличенко А.А. ва бошқаларнинг [4] ишида кремнийга ионлар имплантацияси ёрдамида киритилган Gd, Yb ва Smнинг табиатини тадқиқлашган ва диффузиянинг фаолланиш энергияси учун 4 eV; 4,4 eV ва 3,9 eV қийматларни мос равишда Yb, Sm ва Gd учун аниқланган. Юқоридаги барча элементлар кремнийда акцептор табиат намоён қилганлиги, уларнинг электрик фаолланиш даражаси намуналарга киритилган Gd, Yb ва Smнинг умумий концентрациясининг 1ч2% ни ташкил этиши аниқланган.

Ион имплантациясининг дозаси ортиши билан электрик фаол қисм сезиларсиз ортган. Электрон микроскопик тадқиқотлар лантаноидларнинг асосий қисми преципитатлар кўринишида кремнийда жойлашиши кузатилган. Саболев Н.А. ва бошқаларнинг [5-6] ишларида эрбий ва кислородни кремнийга 1-2 MeV энергияли ионлар имплантацияси ёрдамида олинган туннел светодиодлар ва р-п структура ёритилган бўлиб, ушбу структуралар р-п ўтишнинг тешилиш режимида ишлатилган. Ушбу тешилиш режимида эрбийнинг электр люминесценциясининг интенсивлиги эрбийнинг концентрациясига боғлиқ бўлади.

### МУҲОКАМА ВА НАТИЖАЛАР

Кремнийни эрбий билан ион имплантацияси ёрдамида легирланганда 1,54  $\mu\text{m}$  тўлқин узунликли эффектив фотолюминесценция олиш имконияти пайдо бўлиши [7-8] аниқланган. Ушбу фотолюминесценция  $\text{Er}^{+}$  ионларининг парчаланган сатҳлараро кристалл майдонидаги электронларнинг нурланишли ўтишлари натижасидир.

Мастеров В.Ф. ва бошқаларнинг [7-8] ишларида 1-2 MeV энергияли  $1\text{Ч}10^{13}\text{ч}3\text{Ч}10^{14}\text{ см}^{-2}$  дозали голмий, диспрозий, эрбий ва иттербий ионлари билан имплантацияланган ва 600ч900 OС температураларда 0,5ч1 соат вақтлар давомида қиздириб ишлов берилган кремнийнинг фотолюминесценцияси тадқиқланган. Электрик ва оптик фаол марказларнинг концентрациясини орттириш учун кислород ионларини кўшимча имплантация қилинган.

Кремнийга киритилган нодир ер элементлари ва кислороднинг концентрациялари орттирилганда фотолюминесценциянинг интенсивлиги ортиши кўрсатилган.

Энергияси 1 MeV энергияли ва дозаси 1013  $\text{см}^{-2}$  бўлган голмий, диспрозий ионларининг кремнийга имплантацияси ва 600ч900OС температураларда термик ишлов бериш натижасида донор марказлар ҳосил бўлади. Ушбу марказларнинг концентрацияси бошланғич кремнийдаги кислороднинг концентрацияси ёки кўшимча кислород имплантацияси қилинганда ортади. Термик ишлов температураси ва Si:Du ва Si<Ho>да кислороднинг концентрациясига фаолланиш коэффициенти ва донор марказларнинг концентрациявий тақсимотларининг боғлиқ табиати аниқланган. Таркибида лантаноидлар ва киришмалари бўлган камида иккита донор марказлар ҳосил бўлиши мумкин эканлиги кузатилди. Эрбий ва

кислород ионлари имплантацияланган кремний монокристаллари қатламларига термик ишлов беришда донор марказлар ҳосил бўлиши математик моделлаштирилган. Ҳисоблашларнинг кўрсатишича, донор марказларнинг тагликнинг чуқурлиги бўйича концентрациявий тақсимоти тагликдаги кислороднинг ва имплантацияланган кислороднинг таъсири, шунингдек 600ч9000С диапазондаги термик ишловда эрбийнинг донор фаолланиш коэффициентининг ўзаро қониқарли боғланиши кўрсатилган. Назиров Д.Э. ва бошқаларнинг [9] ишларида биринчи марта 70 keV энергияли ва дозаси  $10^{16}$  см<sup>-2</sup>, ионлар токи 10 мкА/ см<sup>2</sup> иттербий ионларининг кремнийга (KEF-15) имплантациясини ва ионлар киритилгандан сўнг, ҳосил бўлган нуқсонларнинг тақсимоти тадқиқланган. Кремнийга имплантацияланган иттербий ионларининг тақсимоти радиациявий бузилишлар тақсимоти билан мос келган. 2Rp(~200E) чуқурликда концентрациявий тақсимотнинг Гаусс қонунидан четлашиши кузатилган. Ушбу чуқурликларда нуқсонлар тақсимоти ҳам монотон ўзгаради.

Тадқиқот методологияси. Кремний намуналари дастлаб никел киришмаси билан бир текис легирланади, сўнгра намунанинг катта сиртларидан бирига гадолинийнинг металл катлами пуркалади ва акрорий термик қиздириш бажарилади. Намуналарни легирлаш жарайни диффузиявий йўл билан  $T = 1200^{\circ}\text{C}$ ,  $t = 2$  соат давомида амалга оширилади. Тадқиқотлар учун ўлчамлари  $20^{10}\text{Ч1}$  мм<sup>3</sup> бўлган КЭФ-15 намуналари қўлланилади. Никел ва гадолиний киришмаларини пуркашдан аввал намуналар кетма-кет равишда бўлмайдиган киришмаларни кремний сиртида йўқотиш учун, толуол, ацетон, шохона ароқ,  $\text{H}_2\text{O}_2:\text{HCl}$  ралашмасида ва дистилланган сувда ювилади. Худди шундай шароитларда назорат намуналари ҳам термик қиздирилади. Кремнийга никелнинг диффузиясидан сўнг намуналар  $\text{HF}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2:\text{HCl}$  ва дистилланган сувда ювилди, сўнгра кимёвий едириш ёрдамида 150 мкм қалинликкача олиб борилди. Кейин намунанинг сиртларидан бирига гадолиний пуркалди ва  $1200^{\circ}\text{C}$ ,  $t = 2$  соат давомида диффузия жараёни амалга оширилди. Диффузиядан сўнг намуналар сиртдан оксидланган қатламни ва диффузияланмай ортиб қолган диффузианти йўқотиш учун яна  $\text{HF}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2:\text{HCl}$  “шохона ароқ”  $\text{HCl} + 3 \text{HNO}_3$  ва дистилланган сувда ювилади. Нодир ер элементлари билан легирланган кремнийда фотоўтказувчанликнинг аномал табиати кўрсатилган, яъни  $10^{13}-10^{16}$  см<sup>-2</sup> концентрацияларда киришмавий фотоўтказувчанлик кузатилмаган.

Концентрация  $>10^{16}$  см<sup>-3</sup> бўлганда, фотоўтказувчанлик сакровчан пайдо бўлган. Кундузги ёритилиш йўқлигида,  $N_{La} < 10^{17}$  см<sup>-3</sup> (фосфор концентрацияси  $N_p \sim 1,7 \cdot 10^{13}$  см<sup>-3</sup>) диапазонда намуна солиштирама қаршилигининг ортиши кузатилади. Солиштирама қаршилигининг ортиши ва киришмавий фотоўтказувчанликнинг гадолий кичик концентрациясида пайдо бўлиши кремнийда фосфорнинг ортишида кузатилади. Бир қатор ишларда олинган натижалар кремнийни ўстириш жараёнида киритилган Gd, Yb ва Sm нинг электик нофаол (электик нейтрал) деган фикрни тасдиқлайди. Киришмавий таркиби бир хил бўлган намуналарда лантаноидларнинг концентрацияси ортганда заряд ташувчиларнинг Холл харакатчанлигининг камайиши кремний ҳажмида нодир ер элементларининг преципитатлари мавжудлиги билан тушунтирилади.

Адабиётларнинг маълумотларидан ҳамма нодир ер элементларининг кимёвий хоссалари бўйича бир-бирига яқинлиги ва бундай ўхшашлик лантаноидларнинг кремнийдаги хоссаларида ҳам умумий ҳолда кузатилади. Нодир ер элементлари кремнийда тақсимланиши коэффицентининг кичик қийматларига эгадир. Бу эса нодир ер элементлари кремний эритмаси жуда юқори бўлган ҳолда эрувчанликнинг кичик қийматларга эга бўлишига олиб келади, натижада кремний қуйманинг узунлиги бўйлаб нотекис тақсимланишига, шунингдек иккинчи фазадаги бирикмалар преципитатлар ёки киришмавий бирикмаларнинг пайдо бўлишига олиб келади. Юқорида шарҳланган адабиётларнинг кўпчилигида, нодир ер элементлари преципитатларининг ўлчамлари нодир ер элементларининг кремнийда пайдо бўладиган концентрациялари ортиб бориши билан бирга бир неча 10 мкм ташкил этади. Бунинг натижасида, преципитатлар кремнийда локал бикр кучланишларнинг ва дислокацияларнинг пайдо бўлишига олиб келади. Гадолийнинг концентрацияси ортиши билан йиғинди магнетик қабулчанлик босқичма-босқич диамагнетикликдан парамагнетиклик ҳолатга (300 К) ўтиши аниқланган. Ушбу ҳол гадолий атомларининг парамагнетизми билан боғлиқ бўлиб, гадолий магнетик қабулчанлигининг сакраши  $NGd \sim 10^{18}$  см<sup>-3</sup> ва  $T=290$  К температурада гадолийнинг ферромагнетик айланиши кузатилади. Лантаноидларга ҳос хусусиятлари орқали ушбу концентрацияларда гадолий атомларининг асосий қисми кристаллда преципитатлар кўринишида жойлашиши мумкин. Гадолийнинг концентрацияси ошганда, магнетик қабулчанликнинг магнет майдон

кучланганлиги ортиши билан камайишини тушунтиришича, бундай боғланиш гадолиний атомларининг тўпламлари атрофида бузилган соҳалар билан боғлиқ бўлиши мумкин. Таҳлил ва натижалар: сиғимнинг изотермик методи буйича олинган натижалар термик ишлов жараёнида гадолиний бошқариб бўлмайдиган тез диффузияланувчи (Au, Cu, Fe, Na, Ni, Mn ва б.) киришмалар учун геттер (тозаловчи) сифатида хизмат қилиши кузатилди. Масалан  $E_c-0,17$  eV (кислород билан кремнийнинг комплекси 1- расм)

$E_c-0,4$  eV (тез диффузияланувчи бошқариб бўлмайдиган киришмаларга хос нуқсон). Чуқур сатҳларнинг концентрациялари гадолиний билан легирланган кремнийда, назорат намуналарига нисбатан (гадолиний киритилмаган кремний) мос термик ишловлар температураларида анча кичик эканлиги аниқланди. Гадолиний кремнийда ҳосил булган термик марказлар ( $E_c-0,17$  eV,  $E_c-0,4$  eV) концентрациясини  $2^3$  марта камайтириши кузатилди. Хулоса ва таклифлар. Гадолиний, самарий ва эрбий билан егирланган кремнийнинг асосий электрофизик параметрларининг радиациянинг таъсирига барқарорлигининг ортиши ҳам кўрсатилган.

## ХУЛОСА

1. Биргаликда ёки кетма-кет кремнийга диффузияси жараёнида тез диффузияланувчи никелнинг гадолиний ёрдамида геттерланиши – уларнинг самарали ўзаро таъсирлашуви аниқланди.

2. Гадолинийнинг кремнийда мавжудлиги термик нуқсонларнинг камайишига олиб келади.

3. Гадолиний киришмалари тез диффузияланувчи бошқариб бўлмайдиган киришмалар билан боғлиқ  $E_c-0,17$  eV,  $E_c-0,4$  eV чуқур сатҳлар ҳосил қилувчи термик нуқсонлар концентрациясини самарали камайтириши кузатилди.

Тадқиқланган  $Si <Ni+ Gd >$  намуналарда тнзт қийматлари ҳажмда назорат намуналарига нисбатан 3-5 марта камайиши кузатилди.

## REFERENCES

1. Mandelkorn J., Schwartz L., Broder J., Kautz H. and Ulman R. Effects of impurities on radiation damage of silicon solar cells// Journal of Applied Physics. – New York, 1964. –V. 35.-PP.2258-2260.

2. Mandelkorn J. Gd or Sm doped silicon semiconductor composition // Patent USA. K1.252-62.3. № 3.409.554. – New York.
3. Салманов А.Р. Исследование поведения примесей редкоземельных элементов и циркония в кремнии и их влияние на его термическую стабильность. Автореф. дис. ... канд. физ. – мат. наук. – Москва, 1978.- 17с.
4. Балыченко А.А., Крылов Б.Г., Макаров В.В., Филиппов Е.И., Шокин А.Н. Особенности поведения ионно-имплантированных РЗЭ в кремнии//В сб. тезисов докладов VI международной конференции по физико химическим основам легирования полупроводниковых материалов. – М., 1988.-С. 91.