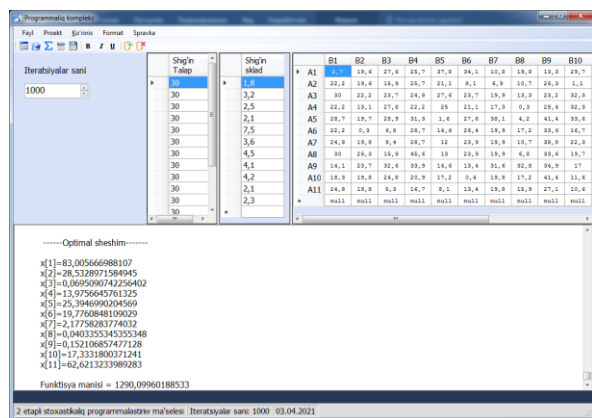




1 – сўрёт.

Солай етип, ёндиристи басқаруудың бир ҳәм еки этапылы стохастикалық транспорт мәселелери стохастикалық квазиградиентлер усылы менен шешилди ҳәм бул усылдың алгоритмине C# объектке бағдарланған программаластыруу тилинде программалық тәмийнат ислеп шығылды. Нәтийжеде төмендеги көринистеги оптимал шешимге ийе болдык:

$$x_1 = 83,005666988107 \quad x_2 = 28,5328971584945 \quad x_3 = 0,06950907422564$$

$$x_4 = 13,9756645761325 \quad x_5 = 25,3946990204596 \quad x_6 = 19,7760848109029$$

$$x_7 = 2,17758283774032 \quad x_8 = 0,04033553453554 \quad x_9 = 0,152106857477128$$

$$x_{10} = 17,333180037124 \quad x_{11} = 62,6213233989283$$

$$F(x) = 1290,09960188533$$

Әдебиятлар

1. Юдин Д.Б. Математические методы управления в условиях неполной информации. – М.: Сов.радио, 1979. –С. 392.
2. Ермольев Ю.М. Методы стохастического программирования. – М.: «Наука», 1976. –С. 200.
3. Ермольев Ю.М., Мирзоахмедов Ф. Прямые методы стохастического программирования в задачах планирования запасов. –Киев: «Кибернетика», 1976, № 6.
4. Dantzig G.B., Madansky A. On the solution of twostage linear programs under uncertainty. -Prob.1961, 1.
5. Гупал А.М., Баженов Л.Г. Стохастический метод линеаризации. –Киев: «Кибернетика», 1972, № 3.
6. Мирзоахмедов Ф., Михалевич М.В. Прикладные аспекты стохастического программирования. – Душанба: «Маориф», 1989. –С. 341.
7. Утеулиев Н.У. Стохастические модели и методы оптимизации природопользования. –Ташкент.: «Алоқahi». 2019. –С.128.
8. Утеулиев Н.У., Орынбаев А.Б. Ёндиристи басқаруудың еки этапылы стохастикалық транспорт мәселесин стохастикалық квазиградиентлер усылы жәрдеминде шешуу. Илим ҳәм тәлим-тәрбияның әҳмийетли мәселелери. Республикалық илимий-теориялық конференция материаллары. 4-бөлим. – Нөкис: НМПИ, 2019. 243-245-б.
9. Johnson B. Professional Visual Studio 2017. John Wiley & Sons, Inc., Indianapolis. -Indiana. –P. 864.

РЕЗЮМЕ

Ушбу мақолада ишлаб чиқаришни бошқаришнинг бир ва икки босқичли стохастик транспорт дастурлаш масалаларини ечиш алгоритмларига Microsoft Visual Studio 2017 муҳитида C# дастурлаш тилида дастурий таъминот яратиш масаласи қаралади.

РЕЗЮМЕ

В этой статье рассматривается разработка программного обеспечения для решения одно-и двухэтапных стохастических транспортных задач управления производством в среде Microsoft Visual Studio 2017 на языке программирования C#.

SUMMARY

This article discusses the problem of creating software in the C# programming in the Microsoft Visual Studio 2017 Environment on the algorithms for solving one-and two-stage stochastic transport issues of functional mining.

КРЕМНИЙГА ФОСФОР ВА ГАЛЛИЙНИНГ КЕТМА-КЕТ ДИФФУЗИЯСИ НАТИЖАСИДА ГАЛЛИЙ КОНЦЕНТРАЦИЯСИНING ОШИШИ

Н.Ф.Зикриллаев – физика - математика фанлари доктори, профессор

С.Б.Исамов – физика - математика фанлари бўйича фалсафа доктори

Х.С.Турекуев - таянч докторант

Тошкент давлат техника университети

А.Б.Камалов - физика-математика фанлари доктори, доцент

Ж.О.Акимов - физика-математика фанлари номзоди, доцент

Ажинийёз номидаги Нукус давлат педагогика институти

Таянч сўзлар: Кулон ўзаро таъсири, галлий, фосфор, кремний, эрувчанлик, тақсимот.

Ключевые слова: Кулоновское взаимодействие, галлий, фосфор, кремний, растворимость, распределение.

Key words: Coulomb interaction, gallium, phosphorus, silicon, solubility distribution.

Кириш. Киришма атомларининг бир-бири билан кристалл панжарада ўзаро таъсири алоҳида илмий ва амалий аҳамиятга эга. Бир турдаги киришма атомларининг бир-бири билан ўзаро таъсири туфайли ҳар хил турдаги моно-атомли нано- ва микро-кластерларнинг ҳосил бўлиши етарли даражада ўрганилган [1-3], бу нано-кластерли яримўқазгич материаллар диффузия усули билан шакллантирилади, уларни бошқа технологик усуллар билан олишнинг имкони йўқ. Киришма атомларининг табиатига қараб кластерлар (электр нейтрал, магнит, кўп зарядли ва бошқалар) ноёб электрофизик параметрларга ва функционал имкониятларга эга материаллар олишга имкон беради [4-7].

Ga ва P элементларининг кремний панжарасидаги ўзаро таъсирини ўрганиш катта қизиқиш уйғотади.

Биринчидан, ўзаро таъсирлар натижасида бундай ҳар хил таркибли, тузилиши ва табиатига эга бинар нано кластерларни ҳосил қилиш мумкин, иккинчидан, Ga ва P элементларининг ($N \geq 10^{20} \div 10^{21} \text{ см}^{-3}$) жуда юқори эрувчанлиги туфайли, бу етарли даражада юқори концентрацияли бирикмалар олишга имкон беради, бу эса кремнийнинг энергетик тузилишига сезиларли таъсир кўрсатиши мумкин. Ва ниҳоят, учинчидан, бу элементларнинг кремнийдаги диффузия коэффицентини ($D \sim 10^{-12} \div 10^{-13} \text{ см}^2/\text{с}$) паст бўлганлиги сабабли ҳам сирт қисмида, ҳам кристаллнинг ҳажмида бинар кластерларни зарурий қалинлиги билан ҳосил қилиш мумкин. [8-10].

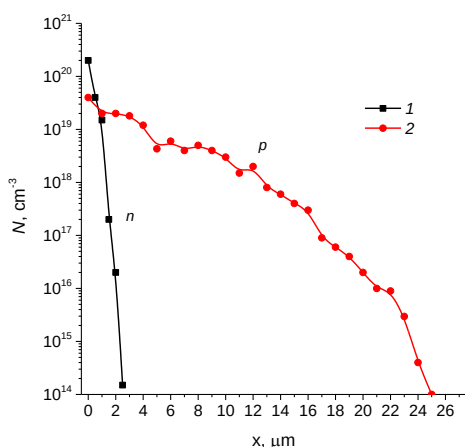
Ушбу ишнинг мақсади киришмаларнинг кетма-кет диффузияси пайтида кремнийдаги фосфор (P) ва галлий (Ga) атомларининг ўзаро таъсирини ўрганиш.

Намуна тайёрлаш технологияси ва уларнинг тадқиқот усуллари. Бошланғич материал сифатида КЭФ-100 монокристалл кремний ишлатилди. Намунага аммоний фосфатни суриб, ҳавода $T = 1000^\circ\text{C}$, $t = 2$ соат давомида фосфор диффузия қилинди. Бунда намуна юзасида фосфор концентрацияси $N_p = 2 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$ ни ташкил этди. Галлийнинг кремнийга диффузияси (КЭФ-100) газ фазадан $T = 1250^\circ\text{C}$ ҳароратда 4 соат давомида амалга оширилди. Кейин фосфор билан легирланган намуналарга $T = 1250^\circ\text{C}$ да 4 соат давомида галлий диффузия қилинди. Шу билан бирга, солиштириш учун фосфор диффузия қилинган (галлийсиз) кремний намунаси $T = 1250^\circ\text{C}$, $t = 4$ соат киздирилди.

Концентрацион тақсимотлар 4 зонд усули ёрдамида 1 микрон катламни кимёвий емирилиш натижасида олиб ташлаш йўли билан ўлчанди. Фосфор ва галлий (электронлар ва коваклар) концентрациясини ҳисоблашда, киришма атомлари концентрацияси юқори бўлганда заряд ташувчилар ҳаракатчанлигининг ўзгариши ҳисобга олинган [11].

Тадқиқот натижалари. 1-расмда $T = 1000^\circ\text{C}$, $t = 2$ соат давомида диффузиядан сўнг кремнийдаги фосфор атомлари концентрациясининг тақсимои келтирилган. Шу билан бирга КЭФ-100 намуналарида $T = 1250^\circ\text{C}$, $t = 4$ соат диффузиядан сўнг галлийнинг концентрацион тақсимои ҳам келтирилган. Таҷриба натижалардан кўрииб турибдики, фосфорнинг сиртдаги концентрацияси $N_p = 2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$, $x = 2,5 \text{ мкм}$ чуқурликда эса унинг концентрацияси $\sim 10^{14} \text{ см}^{-3}$ гача камаёди (1-расм, 1-эгри чизик) бу ҳолда намуна ўтказувчанлиги ҳар доим n типда қолди. Бу адабиёт маълумотларига тўғри келади [12-14].

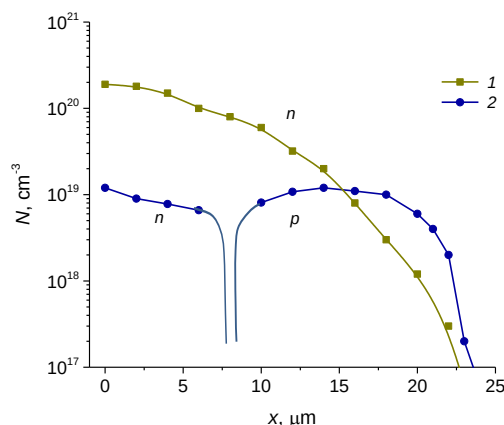
Шу билан бирга, диффузиядан сўнг галлийнинг сирт концентрацияси $T = 1250^\circ\text{C}$, $t = 4$ соатда $4 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ га етади ва намуна чуқурлиги бўйича монотон равишда камаёди ва $x = 25 \text{ мкм}$ да $\sim 10^{14} \text{ см}^{-3}$ га тенг бўлади. Бундай ҳолда, галлий тақсимоида намуналар p -типда қолиши аниқланди. Ушбу маълумотлар [15,16] адабиётлар билан ҳам тасдиқланган.



1-расм. Ga ва P атомларининг кремнийга алоҳида диффузия қилингандаги тақсимои. 1-эгри чизик фосфорнинг кремнийга $T = 1000^\circ\text{C}$, $t = 2$ соат диффузиясидан кейинги тақсимои, 2 –эгри чизик галлийнинг кремнийга $T = 1250^\circ\text{C}$, $t = 4$ соат диффузиясидан кейинги тақсимои.

2-расмда $T = 1250^\circ\text{C}$, $t = 4$ соат (1-эгри чизик) да кўшимча киздиришдан сўнг назорат намуналарида фосфор концентрациясининг тақсимои, шунингдек $T = 1000^\circ\text{C}$, $t = 2$ соат да фосфор билан легирланган намунага $T = 1250^\circ\text{C}$ да $t = 4$ соатда галлий диффузия қилинган кремний намуналарида заряд ташувчилар концентрациясининг тақсимои кўрсатилган (2-эгри чизик). Кўрииб турибдики, $T = 1250^\circ\text{C}$, $t = 4$ соатлик кўшимча киздириш натижасида фосфорнинг сирт концентрацияси бироз пасаяди, аммо кириш чуқурлиги $x = 25 \text{ мкм}$ (эгри 1) га етади, $x = 0 \div 25 \text{ мкм}$ ораликда, намуналар аниқ n -тип ўтказувчанликка эга бўлган.

$T = 1000^\circ\text{C}$, $t = 2$ соат фосфор билан легирланган намунага $T = 1250^\circ\text{C}$, $t = 4$ соат давомида галлий диффузия қилинган намуналардаги концентрациянинг тақсимланиши (2-эгри чизик) шуни кўрсатадики, ўрганилаётган намуналар $x = 7,5 \div 8 \text{ мкм}$ чуқурликда n типдаги ўтказувчанликка эга. Бундай ҳолда, электронларнинг (фосфор) концентрацияси пасаяди ва $x > 7,5 \div 8 \text{ мкм}$ бўлганда намуналар i -типли ўтказувчанликка эга бўлади. $x = 7,5 \div 10 \text{ мкм}$ ораликда ковак концентрацияси ошади ва $x = 8 \div 15 \text{ мкм}$ ораликда коваклар (галлий) концентрацияси деярли доимий бўлиб қолади ва $x > 20 \text{ мкм}$ дан кейин кескин камаёди.

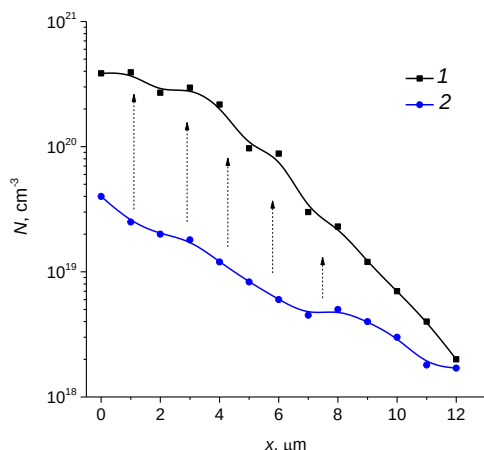


2-расм. (1-эгри чизик) Фосфор билан ($T = 1000^\circ\text{C}$, $t = 2$ соат) легирланган намунанинг кўшимча $T = 1250^\circ\text{C}$, $t = 4$ соат қиздириш натижасида олинган концентрацион тақсимои, (2-эгри чизик) Фосфор билан ($T = 1000^\circ\text{C}$, $t = 2$ соат) легирланган намунага галлийни $T = 1250^\circ\text{C}$, $t = 4$ соат диффузиясидан кейинги концентрацион тақсимои.

Ушбу натижалар кремний таркибида фосфорнинг мавжудлиги галлий концентрациясининг ошишига олиб келади деган фикрни билдиришга имкон беради.

3-расмда фосфор атомлари киритилмаган кремнийга галлий атомларининг $T = 1250^\circ\text{C}$, $t = 4$ соатлик диффузиясидан сўнг концентрацион тақсимои, шунингдек галлий атомларининг ($T = 1000^\circ\text{C}$, $t = 2$ соатда фосфор атомлари билан легирланган) бир хил диффузия шароитида ҳисобланган концентрацион тақсимои тасвирланган. Ушбу натижалардан намуналарда диффузия шароити бир хил бўлишидан қатъи назар, фосфорсиз намуналарга нисбатан фосфор кўшилган намуналарда галлий атомларининг концентрацияси тақсимои 4-6 барабар кўп эканлиги келиб чиқади. Олинган ушбу таҷриба натижалари [17,18] даги муаллифлар ишини қисман

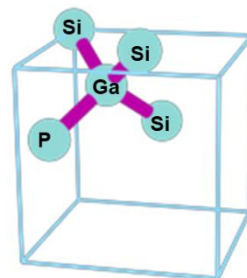
тасдиқлайди, у ерда фосфорнинг бор билан ўзаро таъсири ўрганилган.



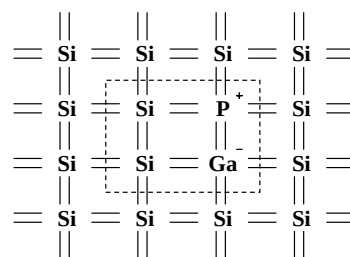
3-расм. Кремнийдаги (2-эгри чизик) галлийнинг (фосфорсиз) ва галлий нинг (фосфор билан легируланган) (1-эгри чизик) тақсимоти.

Натижаларни муҳокама қилиш. Олинган тадқиқот натижаларини донор (фосфор) ва акцептор киришма атомлари (галлий) нинг ўзаро компенсацияси билан изохлаш мумкин эмас. Бу фосфор атомлари иштирокида галлий атомлари концентрациясининг ошишига олиб келмаслиги керак. Шунинг учун бу ҳодиса фосфор ва галлий атомларининг ўзаро таъсири билан боғлиқ деб тахмин қилиш мумкин. Бундай комплекслар фақат фосфор ва галлий атомлари ёнма-ён бўлган ҳолатларда мавжуд бўлиши мумкин, яъни улар

кремний панжарада иккита ёнма-ён жойларни эгаллайдилар (4-расм, а). Бундан ташқари, кремний панжарасининг тугунларида жойлашган $[P^+Ga^-]$ комплексларини ҳосил бўлиши билан боғлиқ. Бундай комплекслар ҳосил бўлганда $Si_2P^+Ga^-$ турдаги янги бинар электр нейтрал панжараси ҳосил бўлади (4-расм, б).



а)



б)

Рис.4. Кремний панжарасида $Si_2P^+Ga^-$ бинар электронейтрал панжараси.

Литература

- Ludwig G.W., Woodbury H.H., Carlson R.O. Phys J.Chem. Sol., **8**, 490 (1959).
- Kreissl J., Gehlhoff W. Phys. Stat. Sol. (b), **145**, 609 (1988).
- Мильвидский М.Г., Чалдышев В.В. ФТП, **32**(5), 513 (1998).
- Bahadirkhanov M.K., Ismaylov B.K., Ismailov K.A., Zikrillayev N.F., Isamov S.B. International Journal of Advanced Science and Technology, **29** (9), 6308 (2020).
- Bakhadyrkhanov M.K., Ayupov K.S., Mavlyanov G.Kh., Isamov S.B. Semiconductors, **44**(9), 1145 (2010).
- Бахадирханов М.К., Абдурахманов Б.А., Зикриллаев Х.Ф. Приборы. **5**(215), 39 (2018).
- Bakhadyrkhanov M.K., Iliev Kh.M., Mavlonov G.Kh., Ayupov K.S., Isamov S.B., Tachilin S.A. Technical Physics, **64**(3) 385 (2019).
- Bakhadyrhanov M.K., Sodikov U.X., Iliev Kh.M., Tachilin S.A. Tuerdi Wumaier. Materials Physics and Chemistry, **1**, 89 (2019).
- Гречихин Л.И., Латушкина С.Д., Комаровская В.М., Шмермбек Ю. Упрочняющие технологии и покрытия. **9**, 5 (2015).
- Bahadirkhanov M.K., Askarov Sh.I., Norkulov N. Phys. Stat. Sol. (a) **142**, 339 (1994).
- Conwell. E.M.. Proceedings of the IRE. **46**(6), 1281 (1958).
- Florakis A., Janssens T., Posthuma N., Delmotte J., Douhard B., Poortmans J. and Vandervorst W. Energy Procedia, **38**, 263 (2013).
- García-Tabarés E., Martín D., García I., Rey-Stolle I.. Solar Energy Materials and Solar Cells, **116**, 61 (2013).
- Л.Н. Александров, Т.В. Бондарева, Г.А. Качурин, И.Е. Тыщенко. ФТП, **25**(2), 227 (1991).
- Королев Д.С., Михайлов А.Н., Белов А.И., Васильев В.К., Гусейнов Д.В., Окулич Е.В. ФТП, **50**(2), 274 (2016).
- Ahlgren T., Likonen J., Slotte J., Raisanen J., Rajatorja M., and Keinonen J. Phys. Rev. B, **56**(8), 4597 (1997).
- Тишковский Е.Г., Ободников В.И., Таскин А.А., Феклистов К.В., Серяпин В.Г. ФТП, **34**(6), 655 (2000).
- Гадияк Г.В. ФТП, **31**(4), 385 (1997).

РЕЗЮМЕ

Кремнийга галлийнинг диффузияси жараёнида юқори концентрацияли фосфорнинг мавжудлиги галлийнинг эрувчанлигининг сезиларли даражада ошиши қонуниятини ўрганилди. Олинган натижалар галлий ва фосфор атомларининг ўзаро таъсири билан изохлабди, Кулон кучлари натижасида тақсимотнинг кескин ўзгариши аниқланди.

РЕЗЮМЕ

Наличие высоких концентраций фосфора при диффузии галлия в кремний установило закон значительного увеличения растворимости галлия. Полученные результаты объяснены взаимодействием атомов галлия и фосфора, а резкое изменение распределения обнаружено в результате действия кулоновских сил.

SUMMARY

The presence of high concentrations of phosphorus during the diffusion of gallium into silicon established the law of a significant increase in the solubility of gallium. The results obtained were explained by the interaction of gallium and phosphorus atoms, and a sharp change in the distribution was found as a result of the action of Coulomb forces.