

ДИФФУЗИОН ТЕХНОЛОГИЯ БИЛАН $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ АСОСИДА ГЕТЕРО ВА ВАРИЗОН СТРУКТУРА ҲОСИЛ ҚИЛИШ ВА УНИНГ ОПТИК ХУСУСИЯТЛАРИНИ ҲАМЛАШИ

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

Ғ.А.Кушиев – таянч докторант

О.Б.Турсунов – таянч докторант

Ш.И.Ҳамроқулов – таянч докторант

Тошкент давлат техника университети

Таянч сўзлар: гетеро ва варизон тузилмалари, диффузия, ҳарорат, датчик, фотоэлемент.

Ключевые слова: гетеро и варизонные структуры, диффузия, температура, датчик, фотоэлемент.

Key words: hetero and graded-gap structures, diffusion, temperature, sensor, photo element.

Кириш. Яримўтказгичлар физикаси соҳасида $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ асосидаги гетеро-варизон структура ҳосил қилиш амалий жиҳатдан катта қизиқиш уйғотмоқда. Муайян структуравий параметрларга эга бундай тузилмаларни ишлаб чиқариш $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ асосидаги структуралар сезгирлигининг спектрал минтақасини сезиларли даражада кенгайтириш ва улар асосида келажакда фотодетекторлар ва сенсорлар яратиш имконини беради [1-3]. $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ қаттиқ қоришмалар асосан суюқ фаза эпитаксия усули ёки ўстириш жараёнида олинади. Бироқ мазкур усуллар кристалл сиртида қалинлиги ва таркиби бошқариладиган қаттиқ қоришмани, шунингдек кремний панжарасида германий асосида наноўлчамли структурани олишга имкон бермайди. Кремнийни германий билан диффузион усулда легирлаш, германий атомларини кремнийдаги диффузия коэффициентлари кичиклиги туфайли иқтисодий ва технологик нуқтаи назардан мураккабдир. Германийнинг диффузия коэффициентини ҳароратга боғлиқлиги қуйидаги ифода билан ёритилади:

$$D = 6 \cdot 10^5 \exp\left(-\frac{5.28}{kT}\right).$$

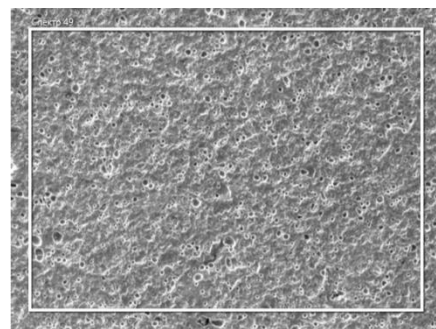
Юқоридаги ифодага мувофиқ $T=1250^\circ\text{C}$ ҳароратда диффузия коэффициенти $D \sim 4 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2/\text{сек}$ ни таъкил қилади.

Намуна тайёрлаш технологияси ва уларнинг тадқиқот усуллари.

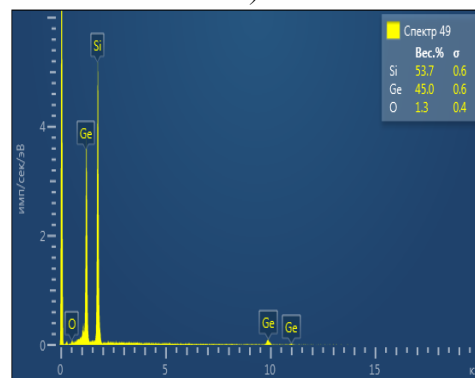
Бундай структура ҳосил қилиш учун диффузия технологияси ёрдамида кўплаб тадқиқотлар олиб борилмоқда. Биз диффузия технологиясидан фойдаланган ҳолда бундай структура ҳосил қилиш учун дастлабки материал сифатида КЭФ-100 маркали монокристалл кремнийлар фойдаландик. Барча ҳолатлар учун намуна ўлчамлари бир хил $V = 8 \times 4 \times 1 \text{ мм}^3$ ўлчамли таъкил қилади. Паст ҳароратли диффузия жараёни [4-5] қуйидагича амалга оширилди. Вакуумлаштирилган ампула ичида бўлган кремний намунаси билан диффузанти ҳона ҳароратида ($T=300 \text{ К}$) диффузион тезлик билан минимум ҳароратга $T_{\min}=840^\circ\text{C}$ қиздирилди ва мазкур ҳароратда 30 дақиқа вақт ушлаб турилди. Шундан кейин печ ҳарорати керакли бўлган максимал қийматгача $T_{\max}=1200^\circ\text{C}$ кўтарилиб, мазкур ҳароратда намуна 20 соат вақт ушлаб турилди. $T_{\max}$ ва $T_{\min}$ (максимал ва минимал) қийматлари, шунингдек берилган ҳароратда ушлаб туриш вақти диффузанти ҳароратига боғлиқ бўлади.

Тадқиқот натижалари.

Юқоридаги технология асосида кремнийда германий диффузияси газ фазасидан $T=1250^\circ\text{C}$ ҳароратда $t=10$ соат давомида амалга оширилди ($P=1 \text{ атм}$). 1-расмда сканерловчи электрон микроскоп (MIRA Тесла 3) ёрдамида олинган намунанинг топографияси кўрсатилган. Яъни кремнийга германий қоришма атомлари билан бойитилган қатламнинг қалинлиги аниқланди, бу тахминан $5 \div 6 \text{ мкм}$



а)



б)

1-расм. а) Кремнийга германий қоришма атомлари билан бойитилган қатламнинг томонининг топографияси.

б) EDS да олинган рентген энергия дисперсив микроанализ натижалари. (спектр 49).

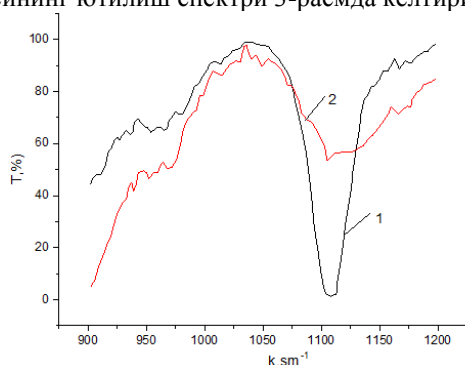
Тадқиқот натижалари (1-расм) шуни кўрсатдики, кремний юзасида юпқа қатлам ҳосил бўлиб, у материал атомларининг фойзаларида кўрсатилган. Унда кремний концентрацияси $\sim 53.7\%$, германий $\sim 45\%$ ва кислород $\sim 1.3\%$ ни таъкил этди, бу маълумотлар кремний кристалли қатламларининг сиртлари германий атомларининг деярли ярмидан иборат эканлигини тасдиқлайди.

1200° да узок вақт диффузия қилингандан кейин намунага кимёвий ишлов берилди ва Ван дер Пау методи ёрдамида $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ намунасининг асосий электр параметрлари ўлчанди [6-7]. Натижалар шуни кўрсатдики, диффузиядан кейин намунанинг солиштирма қаршилиги 6 поғона камайган ва концентрацияси эса 7 поғона ошган. Бизга маълумки, германий электронларининг ҳаракатчанлиги ҳона ҳароратида ($T=300 \text{ К}$) $\mu=3900 \text{ (см}^2/\text{В} \cdot \text{с)}$ га кремнийники эса $\mu=1500 \text{ (см}^2/\text{В} \cdot \text{с)}$ га тенг. Бундан кўринадики, германий электронларининг ҳаракатчанлиги кремний электронлари ҳаракатчанлигидан 2 марта каттароқдир. Бизнинг натижаларимизда, яъни $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ структурасининг ҳаракатчанлиги кремний электронлари ҳаракатчанлигидан $20 \div 25\%$ га кўплигини кўришимиз мумкин (2-жадвал)

2-жадвал. Кремнийга германий диффузиясидан кейинги электрофизик параметрлари.

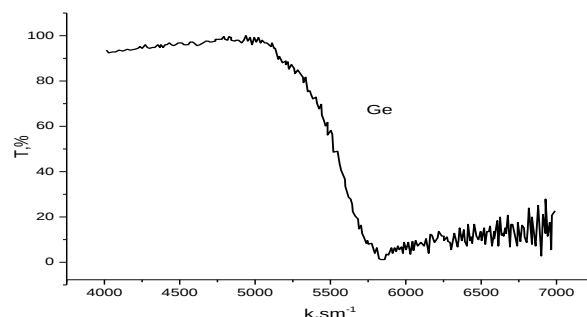
Намуна	Тип	ρ (Ом·см)	μ (см ² /В·с)	N, см ⁻³
Дастлабки кремний намунаси КЭФ-100	n	99	1190	$4 \cdot 10^{15}$
Кремнийга германий диффузиясидан кейинги намуна	n	$4.2 \cdot 10^{-4}$	1530	$1.25 \cdot 10^{20}$

Киришмалар киритиш ёрдамида кремнийнинг фундаментал параметрларидан бири бўлган ютилиш спектрини ўзгартириши мумкин эмас. Бироқ кремнийда коришма атомлари концентрацияси 10^{21}см^{-3} дан ошганда турли хил ўлчамдаги кластерлар ҳосил бўлиши исботланган [7-8]. Германий кремнийда ҳам ковалент атом, ҳам чексиз эрувчанликка эга бўлганлиги учун гетероваризонали структура ҳосил қилиш имконияти катта. Кремнийга германий диффузия қилинган намуналарнинг ютилиш спектри Фурье ФСМ1202 спектрометрда 2-расмда келтирилган қонуният аниқланди. Германийли Si намуналарида кислороднинг ютилиш пики $10 \div 15\%$ га камайиши кузатилди. Қўшимча равишда юқорида электр параметрлари келтирилган монокристалл германий намунасининг ютилиш спектри 3-расмда келтирилди.



2-расм. Ge диффузия қилинган намуналарнинг ютилиш спектри. 1) Кремний намунаси (КЭФ-100)

2) Кремнийга германий диффузиясидан кейинги намуна



3-расм. монокристалл германий.

Натижаларни муҳокама қилиш.

Шундай қилиб, кремнийга германий атомларининг х пенетрацион чуқурлигини назорат қилиш учун ишлаб чиқилган диффузия технологиясидан фойдаланиб $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ асосида гетеро- ва варизон структуралар яратиш мумкинлиги аниқланди. Экспериментал натижаларни таҳлил қилишдан маълум бўлишича, кремнийдаги германий атомларининг диффузия технологиясини такомиллаштириш орқали $\lambda=1 \div 3$ мкм спектрнинг ИҚ соҳаси юқори сезувчанликка эга бўлган $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ структурасини олиш мумкин. Бундан ташқари кремнийнинг фундаментал параметрларидан заряд ташувчилар ҳаракатчанлиги ва ютилиш спектрининг ўзгариши мумкинлиги кўрсатилди. Олинган натижалар кремний сиртида германий иштирокида, гетероваризон структура ҳосил қилиши билан тушунтириш мумкин.

Адабиётлар

1. 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.
2. Bakhadyrkhanov M.K., Ayupov K.S., Mavlyanov G.Kh., Isamov S.B. Semiconductors, 44(9), 1145. 2010.
3. Бахадирханов М.К., Абдурахманов Б.А., Зикриллалев Х.Ф. Приборы. 5(215), 39. 2018.
4. Пархоменко Ю.Н., Белогоорохов А.И., Герасименко Н.Н., Иржак А.В., Лисаченко М.Г. Физика и техника полупроводников. 2004, Т.38, -С. 593-597.
5. Бурбаев Т.М., Заварицкая Т.Н., Курбатов В.А., Мельник Н.Н., Цветков А.А., Журавлев К.С., Никифоров А.И.. ФТП. 2001, №8, -С.979-985.
6. Калядин А.Е., Соболев Н.А., Стрельчук А.М., Аруев П.Н., Забродский В.В., Шеек Е.И. Физика и техника полупроводников, 2016, Т. 50, В. 2. -С.250-253. 10.
7. Ульянов В.А., Яковлева Н.И., Никонов А.В. Успехи прикладной физики. 2020. Т. 8. № 3. -С. 199-208.
8. Турсынбаев С.А., Камалов А.Б., Илиев Х.М., Тачилин С.А., Кушиев Г.А. Физика полупроводников и микроэлектроники. // Научный журнал. 2019, том 1, выпуск 4.
9. Белов А.Г., Голубятников В.А., Григорьев Ф.И., Лысенко А.П., Строганкова Н.И. Приборы и техника эксперимента. №5. 2014. -С. 115-120.
10. Бахадирханов М.К., Аюпов К.С., Мавлянов Г.Х., Илиев Х.М., Исамов С.Б. Микроэлектроника. –Москва: 2010. Т. 39. Вып. 6. -С. 426 - 429.

РЕЗЮМЕ

$\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ гетеро ва варизон структура асосида куёш элементлари ривожланиши ва яратилиши ҳам жуда кизик. $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ асосидаги бундай конструкцияларни маълум параметрлар ва конструкциялар асосида ишлаб чиқариш сезгирликнинг спектрал минтақасини сезиларли даражада кенгайтиришга имкон беради ва янги турдаги фотодетекторлар, датчиклар ва фотоэлементларни яратишга имкон беради.

РЕЗЮМЕ

Разработка и создание фотоэлементов на основе $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ структур, также представляет очень интересное внимание. Так как получение таких структур на основе с определенными параметрами и структурной позволяет существенно расширить спектральную область чувствительности и позволяет создание новых типов фотоприемников, датчиков и фотоэлементов.

SUMMARY

The development and creation of solar cells based on $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ hetero and graded-gap structures is also very interesting. Since the production of such structures based on $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ with certain parameters and structural allows one to significantly expand the spectral region of sensitivity and allows the creation of new types of photodetectors, sensors, and photocells.