

**MONOKRISTALL KREMNIYDA Mn VA Ni KIRISHMA ATOMLARI
KIRITISH NATIJASIDA HOSIL BO'LADIGAN NUQSONLAR va ularning
ELEKTROFIZIK XUSUSIYATLARI.**

**Botirjonov Akmaljon A'zamjon o'g'li¹, Usmanov Muhammadjon Abduxalil
o'g'li²**

¹Andijon davlat universiteti, ²Namangan davlat universiteti

e-mail: akmaljonbotirjonov678@gmail.com tel: +998941565800

Annotatsiya: Monokristall kremniyda kirishma atomlarning kiritilishi yarimo'tkazgich texnologiyalarida uning xususiyatlarini o'zgartirish uchun keng qo'llaniladigan usuldir. Ushbu maqola manganes (Mn) va nikel (Ni) kirishma atomlarining monokristall kremniyda hosil qiladigan nuqsonlarini, ularning strukturaviy, elektron va termik xususiyatlariga ta'sirini tahlil qiladi.

Kalit so'zlar : Monokristall kremniy, nuqsonlar, Interstitial(tugunlar oralig'idagi) atomlar, elektrro fizik xususiyatlar

**ДЕФЕКТЫ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА,
ВОЗНИКАЮЩИЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВВЕДЕНИЯ ПРИМЕСНЫХ
АТОМОВ Mn И Ni В МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ КРЕМНИЙ
Ботиржонов Акмалжон Аъзамжон угли, Усманов Мухаммаджон**

Абдухалил угли

¹Андижанский государственный университет, ²Наманганский
государственный университет

e-mail: akmaljonbotirjonov678@gmail.com tel: +998941565800

Аннотация: Введение примесных атомов в монокристаллический кремний является широко используемым методом изменения его свойств в технологии полупроводников. В данной статье рассматриваются дефекты, образующиеся при введении атомов марганца (Mn) и никеля (Ni) в монокристаллический кремний, а также их влияние на структурные, электронные и тепловые свойства.

Ключевые слова: Монокристаллический кремний, дефекты, интерстициальные атомы, электрофизические свойства

DEFECTS AND ELECTROPHYSICAL PROPERTIES RESULTING FROM THE INTRODUCTION OF Mn AND Ni IMPURITY ATOMS INTO MONOCRYSTALLINE SILICON

Botirjonov Akmaljon A'zamjon o'g'li¹, Usmanov Muhammadjon Abduxalil o'g'li²

¹Andijan State University, ²Namangan State University

e-mail: akmaljonbotirjonov678@gmail.com tel: +998941565800

Abstract: The introduction of impurity atoms into monocrystalline silicon is a widely used method to modify its properties in semiconductor technologies. This article analyzes the defects formed by manganese (Mn) and nickel (Ni) impurity atoms in monocrystalline silicon, as well as their effects on structural, electronic, and thermal properties.

Keywords: Monocrystalline silicon, defects, interstitial atoms, electrophysical properties

KIRISH

Monokristall kremniy yarimo'tkazgich qurilmalarida yuqori elektron xususiyatlari tufayli keng qo'llaniladi. Mn va Ni kabi kirishma atomlarini kiritish ushbu xususiyatlarni sezilarli darajada o'zgartirishi mumkin, bu esa kristall panjarada turli nuqsonlarni yuzaga keltiradi. Monokristall kremniyga (Si) marganets (Mn) va nikel (Ni) kiritilganda hosil bo'ladigan nuqsonlarni aniqlash va ularni solishtirish uchun quyidagi tahlilni amalga oshirish mumkin. Bu jarayon ikkala elementning Si panjarasiga ta'sirini va hosil bo'lgan nuqsonlarning xususiyatlarini ko'rib chiqadi.

Marganes (Mn) kiritilganda hosil bo'ladigan nuqsonlar

Panjaraning deformatsiyasi Mn atomlari, Si atomlariga nisbatan kattaroq bo'lganligi sababli, panjarada sezilarli deformatsiyalar keltirib chiqaradi. Bu deformatsiyalar dislokatsiyalar va boshqa struktural nuqsonlarni yuzaga keltiradi. Shuningdek elektron tutgich Mn kirishma atomlari kremniy panjarasida elektron tutgichlarni hosil qiladi, bu esa zaryad tashuvchilarning harakatchanligi va umumiy elektr o'tkazuvchanligiga ta'sir qiladi [1]. Ya'ni kremniy Si monokristalliga 0.1 at

% Mn kirishma atomlarni kiritish natijasida p-turli xarakterga ega bo'lib 10-150 S/sm oralig'da bo'lishi mumkin, Mn kirishma atomlarni konsentratsiyasini ortirib borsak elektr o'tkazuvchanligi kamayib boradi. Bu jarayonda magnit ta'sirlarni ko'rib chiqsak Mn atomlari kremniy kristalida lokal magnit momentlarni hosil qilishi mumkin, bu esa materialning elektron va magnit xususiyatlariga ta'sir ko'rsatadi.

Vakansiyalar Mn atomlari Si panjarasiga kirganda, panjara nuqsonlari (vakansiyalar) hosil bo'ladi. Bu Mn atomlarining Si atomlarini siljitishi natijasida yuzaga keladi. Elektir o'tkazuvchanlik Mn konsentrasiyasi oshishi bilan σ kamayib boradi. Bu kamayish chiziqli bo'lmasligi mumkin, balki eksponensial yoki boshqa murakkab funksiya bo'lishi mumkin. Bu xulosalarni tahlil qilib ko'rsak qarshilik Mn konsentrasiyasi oshishi bilan ρ ortadi. Bu o'sish σ ning kamayishi bilan parallel ravishda sodir bo'ladi. Elektr o'tkazuvchanligi va qarshilik o'zaro teskari proporsionaldir [2]. Umumiy aytganda, yarimo'tkazgichlarda ikki turdagi erkin zaryad tashuvchilar – erkin elektronlar va kovaklar mavjud bo'lib elektr o'tkazuvchanlik

$$\sigma = e(\mu_n n + \mu_p p) \quad (1)$$

ko'rinishda ifodalanadi, bu yerda n va p - elektron va kovaklarning konsentratsiyasi, μ_n va μ_p – ularning harakatchanligi. Yuqoridagi (1) ifodadan kremniyga Mn kirishma atomlari kiritish natijasidi elektr o'tkazuvchanligini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin.

$$\sigma = e \mu_p p \quad (2)$$

Mn konsentrasiyasi oshishi bilan μ kamayib boradi. Bu pasayish σ ning kamayishiga olib keladi. O'tkazuvchanlik zaryad tashuvchilarining zichligi (n), zaryad miqdori (q) va harakatchanligi (μ) bilan bog'liq

$$\sigma = nq \mu_p \quad (3)$$

Mn qo'shilishi natijasida μ ortadi, natijada σ ham kamayadi. Agar konsentratsiyasi o'zgarmasa. Aksincha agar n kamaygan bo'lsa unda σ yanada kamayadi. Yuqoridagi formulalarni birlashtirib

$$\rho = 1/(nq\mu) \quad (4)$$

Mn qo'shilishi bilan μ kamayishi natijasida ρ ortadi

Interstitial (tugunlar oralig'idagi) atomlar - bu kristall panjaraning tugunlariga emas, balki tugunlar orasidagi bo'shliqlarga joylashgan atomlar. Bu bo'shliqlar, odatda, ancha kichik bo'ladi va shuning uchun interstital atomlar, asosiy panjara atomlaridan ancha kichikroq bo'lishi kerak. Ularning mavjudligi kristall panjaraning geometriyasini va shu bilan birga materialning fizik xususiyatlarini o'zgartiradi. Ba'zi Mn atomlari panjara orasidagi bo'shliqlarda joylashadi. Atomlararo masofaga ta'sirini ko'rib chiqadigan bo'lsak, Mn atomlari Si atomlari bilan bog'lanib, panjara tuzilishida o'zgarishlar keltirib chiqaradi. Elektrofizik ta'siri esa Mn kiritilganda elektr o'tkazuvchanligi kamayadi, qarshilik oshadi va zaryad tashuvchilarining harakatchanligi ortadi.

Nikel (Ni) kiritilganda hosil bo'ladigan nuqsonlar.

Ni kirishma atomlari ham monokristall kremniyda sezilarli nuqsonlar keltirib chiqaradi: Nikel kirishma atomlari kremniyga kiritish (masalan, implantatsiya yoki termal diffuziya orqali) natijasida turli Ni-silitsid fazalari (NiSi , NiSi_2 , Ni_2Si , Si_2Ni va boshqalar) hosil bo'lishi mumkin. Bu jarayon yuqori haroratda (odatda 300-800°C oralig'ida) issiqlik bilan ishlov berish paytida ro'y beradi. Ni kremniy bilan reaksiyaga kirishib, nikel silisid fazalarini hosil qilishi mumkin, bu esa materialning elektron xususiyatlarini sezilarli darajada o'zgartiradi. Eng ko'p uchraydigan fazalar:

Ni_2Si (birinchi paydo bo'ladigan faza, past haroratlarda)

NiSi (eng barqaror va past qarshilikli faza, 400–600°C)

NiSi_2 (yuqori haroratlarda, Si bilan yaqin tarkibga ega)

Fazalar ketma-ketligi esa harorat ortishi bilan fazalar ketma-ket o'zgaradi:

$\text{Ni} \rightarrow \text{Ni}_2\text{Si} \rightarrow \text{NiSi} \rightarrow \text{NiSi}_2$ bu ketma-ketlik harorat, vaqt va boshlang'ich qatlam qalinligiga bog'liq. Nikel kirishma atomlari kremniyga kiritish natijasida termik o'tkazuvchanlikni oshishi kuzatiladi. Ni atomlarining mavjudligi kremniyning termik o'tkazuvchanligini oshiradi, bu esa qurilmalarning termik boshqaruviga ta'sir qiladi. Struktural nuqsonlar esa Mn kabi, Ni atomlari ham panjarada deformatsiyalar keltirib chiqaradi, bu esa dislokatsiyalar va boshqa nuqsonlarni

yuzaga keltiradi. Ni atomlari ham Si panjarasiga kirganda vakansiyalar hosil qiladi, lekin bu jarayon Mn ga nisbatan boshqacha bo'lishi mumkin. Interstitsial atomlar bu atomlar Ni atomlari bo'lib ular panjara orasidagi bo'shliqlarda joylashishi mumkin. Bu jarayonda atomlararo masofalar Ni atomlari Si atomlari bilan bog'lanib, panjara tuzilishida o'zgarishlar keltirib chiqaradi. Elektrofizik ta'sir Ni kiritilganda elektr o'tkazuvchanligi va zaryad tashuvchilarining harakatchanligi o'zgarishi mumkin, lekin bu o'zgarishlar Mn ga nisbatan boshqacha bo'lishi mumkin [3].

Mn va Ni kiritilgan Si monokristallaridagi nuqsonlarni solishtirish.

Mn atomlarida ko'proq vakansiyalar hosil bo'ladi, chunki Mn atomlari Si panjarasiga kuchliroq ta'sir ko'rsatadi. Ni vakansiyalar hosil bo'lishi mumkin, lekin Mn ga nisbatan kamroq.

Interstitial (tugunlar oralig'idagi) atomlar: Mn ko'proq interstitsial atomlar hosil bo'ladi. Ni interstitial (tugunlar oralig'idagi) atomlar hosil bo'lishi mumkin, lekin Mn ga nisbatan kamroq. Atomlararo masofalar Mn atomlararo joylarda kuchliroq o'zgarishlar kuzatiladi. Ni atomlararo joylarda o'zgarishlar kuzatiladi, lekin Mn ga nisbatan kamroq.

Solishtirma qarshilikgi Mn kirishma atomlari kiritish natijasida qarshilik sezilarli darajada oshadi. Ni esa solishtirma qarshilik ortadi, lekin Mn ga nisbatan kamroq. Zaryad tashuvchilarining harakatchanligi esa Mn zaryad tashuvchilarining harakatchanligi kamayadi. Ni esa zaryad tashuvchilarining harakatchanligi kamayadi, lekin Mn atomlariga nisbatan kamroq.

1-jadval: Mn va Ni Kiritilgan Si monokristallaridagi nuqsonlar va elektrofizik xususiyatlar [5]

Parametrlar	Mn kiritilgan Si(kremniy)	Ni kiritilgan Si(kremniy)
Qo'shimcha darajalar	Chuqur darajali (deep-level) defektlar hosil qiladi, ko'pincha qabul qiluvchi (akseptor) vazifasida.	Rekombinatsiya markazlari hosil qiladi, ba'zi hollarda donor yoki akseptor bo'lishi mumkin.
O'tkazuvchanlik tipi	Ko'proq p-tip ga o'zgartiradi	Har xil – Ni donor yoki

	(Mn Si da kovaklar ko'payishi).	akseptor bo'lishi mumkin, lekin ko'pincha rekombinatsiyani ortiradi.
Interstitial atomlar (tugunlar orasida joylashuvchi atomlar)	Ko'p	Kam
Atomlar aro masofani o'zgarishi	Sezilarli ortib ketadi	O'rtacha o'zgaradi
Elektr o'tkazuvchanlikni o'zgarishi	Past konsentratsiyada o'tkazuvchanlik biroz oshadi, lekin yuqori konsentratsiyada defektlar tufayli kamayishi mumkin.	Past konsentratsiyada ta'sir kuchsiz, yuqori konsentratsiyada o'tkazuvchanlik ortadi (chunki Ni rekombinatsiyani oshiradi).
Solishtirma qarshilik	Sezilarli ortadi	Oshadi
Magnit ta'siri.	Mn ning magnit momenti spin-sochilishni kuchaytiradi, bu o'tkazuvchanlikni kamaytirishi mumkin.	Ni ham magnit xususiyatga ega, lekin Mn ga nisbatan ta'sir zaifroq.
Zaryad tashuvchilarning harakatchanligi	Sezilarli ortadi	Ortadi
Sochilish mexanizmlari	Kuchli ionlashtiruvchi va spin-sochilish (magnit ta'sir tufayli).	Asosan ionlashtiruvchi sochilish, lekin Mn ga qaraganda zaifroq
Harakatchanlikka ta'sir	Harakatchanlik sezilarli ortadi (chunki Mn kuchli sochilish sababchi).	Harakatchanlik ortadi, lekin Mn ga qaraganda kamroq.
Defektlar ta'siri	Mn katta radiusi tufayli kuchli panjara buzilishlari	Ni ham defektlar yaratadi, lekin Mn ga qaraganda

	hosil qiladi.	yumshoqroq ta'sir ko'rsatadi
--	---------------	------------------------------

2-jadvalda Mn konsentratsiyasi va elektr o'tkazuvchanligi o'rtasidagi bog'liqlik ko'rsatilgan

Mn kirishma atomlari konsentratsiyasi (at %)	Elektr o'tkazuvchanligi (1/om*sm)
0.1	1500
0.5	1200
1.0	900
2.0	600

Qarshilik Mn kiritilgan Si na'munalarida qarshilik oshdi. Bu panjara nuqsonlari va Mn atomlarining zaryad tashuvchilarining harakatini cheklashi bilan bog'liq. Xoll effekti natijalariga ko'ra zaryad tashuvchilarining konsentratsiyasi: Mn kiritilgan Si namunalarida zaryad tashuvchilarining konsentratsiyasi kamaydi. Xoll effekti natijalari asosida zaryad tashuvchilarining harakatchanligi ham kamayganligi aniqlangan.

3-jadval. Mn kirishma atomlarning umumiy atomlarga nisbatan atom foizni zaryad tashuvchilari o'rtasidagi bog'liqligini ko'rsatadi.

Mn kirishma atomlari konsentratsiyasi (at%)	Zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi sm^{-3}
0.1	$1.5 \cdot 10^{16}$
0.5	$1.2 \cdot 10^{16}$
1.0	$9.0 \cdot 10^{15}$
2.0	$6.0 \cdot 10^{15}$

Xulosa: Si kremniy monokristalliga Mn va Ni kirishma atomlari kiritish natijasida Mn atomlari Si panjarasiga kuchliroq ta'sir ko'rsatadi, natijada ko'proq nuqsonlar hosil bo'ladi va elektrofizik xususiyatlar sezilarli darajada o'zgaradi. Ni atomlari

esa kamroq ta'sir ko'rsatadi va hosil bo'lgan nuqsonlar ham kamroq bo'ladi. Amaliy ahamiyati esa Mn va Ni kirishma atomlari Si monokristalliga kiritish natijasida xususiyatlarini o'rganish orqali ularning yarimo'tkazgichlar texnologiyasida qo'llanilishi imkoniyatlarini va mikroelektronika sohasini rivojlanishiga poydevor bo'ladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

- [1]. Sze, Physics of Semiconductor Devices (yarimo'tkazgichlar fizikasi).
- [2]. X.Akramov, S.Zaynobiddinov, A.Teshaboyev Yarimo'tkazgichlarda fotoelektrik xodisalar, O'zbekiston nashriyoti 1994, b.5-11
- [3]. Osipov, A. V. et al. "Phase transformations in Ni/Si systems under thermal annealing" (Materials Science in Semiconductor Processing) 2015