

MONOKRISTALL KREMNIYDA Mn VA Ni KIRISHMA ATOMLARI ELEKTROFIZIK
XUSUSIYATLARINI SUN'YI INTELLEKT YORDAMIDA O'QITISH

Botirjonov Akmaljon A'zamjon o'g'li

University of Business and Science, o'qituvchi

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.19828707>

Annotatsiya: Ushbu maqolada monokristall kremniyga marganes (Mn) va nikel (Ni) kirishma atomlarini kiritish natijasida yuzaga keladigan nuqsonlar hamda ularning elektrofizik xususiyatlarga ta'siri tahlil qilingan. Mn va Ni atomlarining kremniy panjarasiga ta'siri, vakansiyalar, interstitsial atomlar va fazaviy o'zgarishlar hosil bo'lishi nuqtai nazaridan solishtirilgan. Shuningdek, elektr o'tkazuvchanlik, solishtirma qarshilik va zaryad tashuvchilar harakatchanligining o'zgarish qonuniyatlari ko'rib chiqilgan. Tadqiqotda sun'iy intellekt usullaridan foydalanib ushbu jarayonlarni modellashtirish va o'qitish imkoniyatlari yoritilgan.

Kalit so'zlar: monokristall kremniy, marganes, nikel, kirishma atomlar, nuqsonlar, elektr o'tkazuvchanlik, solishtirma qarshilik, zaryad tashuvchilar, sun'iy intellekt, modellashtirish.

Аннотация. В данной статье исследуются дефекты, возникающие в монокристаллическом кремнии при введении примесных атомов марганца (Mn) и никеля (Ni), а также их влияние на электрофизические свойства материала. Проведено сравнение воздействия Mn и Ni на кристаллическую решетку кремния с точки зрения образования вакансий, интерстициальных атомов и силицидных фаз. Рассмотрены изменения электрической проводимости, удельного сопротивления и подвижности носителей заряда. Особое внимание уделено применению методов искусственного интеллекта для моделирования и обучения данным процессам.

Ключевые слова: монокристаллический кремний, марганец, никель, примесные атомы, дефекты, электрическая проводимость, удельное сопротивление, носители заряда, искусственный интеллект, моделирование.

Abstract. This paper investigates defects formed in monocrystalline silicon due to the introduction of manganese (Mn) and nickel (Ni) impurity atoms and their influence on the electrophysical properties of the material. The effects of Mn and Ni on the silicon crystal lattice are compared in terms of vacancy formation, interstitial atoms, and silicide phase formation. Changes in

electrical conductivity, resistivity, and charge carrier mobility are analyzed. Special attention is given to the application of artificial intelligence methods for modeling and teaching these processes.

Keywords: *monocrystalline silicon, manganese, nickel, impurity atoms, defects, electrical conductivity, resistivity, charge carriers, artificial intelligence, modeling.*

Monokristall kremniy yarimo'tkazgich qurilmalarida yuqori elektron xususiyatlari sababli keng qo'llaniladi. Kremniy panjarasiga turli kirishma atomlarini, xususan marganes (Mn) va nikel (Ni) kiritish uning elektrofizik xususiyatlarini sezilarli darajada o'zgartiradi hamda turli xil nuqsonlarni yuzaga keltiradi. Ushbu jarayonlarni o'rganish nafaqat fundamental fizika uchun, balki zamonaviy mikroelektronika texnologiyalari uchun ham muhim ahamiyatga ega.

Mazkur ishda Mn va Ni kirishma atomlarining kremniy monokristall panjarasiga ta'siri, hosil bo'ladigan nuqsonlar va ularning elektrofizik xususiyatlarga ta'siri sun'iy intellekt (SI) asosida tahlil qilish va o'qitish modeli orqali ko'rib chiqiladi.

Mn kiritilganda hosil bo'ladigan nuqsonlar va ularning SI orqali tahlili.

Marganes atomlari kremniy panjarasiga kiritilganda, ularning atom radiusi kattaroq bo'lgani sababli panjara deformatsiyasi yuzaga keladi. Bu esa dislokatsiyalar, vakansiyalar va interstitsial nuqsonlar hosil bo'lishiga olib keladi. Shuningdek, Mn atomlari chuqur energetik darajalar hosil qilib, elektron tutgichlar sifatida namoyon bo'ladi.

Sun'iy intellekt algoritmlari (masalan, regressiya va neyron tarmoqlar) yordamida Mn konsentratsiyasi va elektr o'tkazuvchanlik orasidagi bog'liqlikni modellashtirish mumkin. Tajribaviy ma'lumotlar asosida SI quyidagi qonuniyatlarni aniqlaydi:

- Mn konsentratsiyasi ortishi bilan elektr o'tkazuvchanlik kamayadi
- Solishtirma qarshilik ortadi
- Zaryad tashuvchilarining harakatchanligi pasayadi

Elektr o'tkazuvchanlik quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

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

SI yordamida ushbu parametrlarning o'zaro bog'liqligi (n , μ , σ) o'rganilib, optimal legirlash darajalari aniqlanishi mumkin.

Ni kiritilganda hosil bo'ladigan nuqsonlar va ularni o'qitishda SI roli.

Nikel atomlari kremniyga kiritilganda, ular ko'pincha silitsid fazalarni (Ni_2Si , $NiSi$, $NiSi_2$) hosil qiladi. Bu fazalar haroratga bog'liq holda ketma-ket shakllanadi va materialning elektr hamda termik xususiyatlariga ta'sir qiladi.

Sun'iy intellekt yordamida:

- Fazalar hosil bo'lish ketma-ketligi prognoz qilinadi
- Harorat va vaqt parametrlariga bog'liq o'zgarishlar modellashtiriladi
- Elektr o'tkazuvchanlik va rekombinatsiya jarayonlari tahlil qilinadi

Ni atomlari Mn ga nisbatan panjaraga kamroq deformatsiya keltiradi, lekin rekombinatsiya markazlari hosil qilib, zaryad tashuvchilar dinamikasiga ta'sir ko'rsatadi.

Mn va Ni ta'sirini SI asosida solishtirish.

Sun'iy intellekt modellari yordamida Mn va Ni kiritilgan kremniy namunalariidagi nuqsonlar quyidagicha solishtiriladi:

- Mn ko'proq vakansiya va interstitsial nuqsonlar hosil qiladi
- Ni esa asosan silitsid fazalar orqali ta'sir ko'rsatadi
- Mn kuchliroq panjara buzilishiga olib keladi
- Ni ta'siri nisbatan yumshoqroq

SI asosidagi tahlil shuni ko'rsatadiki:

- Mn kuchli sochilish mexanizmlarini keltirib chiqaradi
- Ni esa ko'proq rekombinatsiya jarayonlarini kuchaytiradi

Sun'iy intellekt yordamida o'qitishning afzalliklari.

Mazkur mavzuni sun'iy intellekt asosida o'qitish quyidagi imkoniyatlarni yaratadi:

- Murakkab fizik jarayonlarni vizuallashtirish
- Tajribaviy ma'lumotlar asosida prognoz qilish
- Talabalarda analitik fikrlashni rivojlantirish
- Real materiallar xossalarini modellashtirish

SI yordamida talabalar Mn va Ni kirishmalarining kremniyga ta'sirini nafaqat nazariy, balki amaliy modellashtirish orqali ham o'rganish imkoniyatiga ega bo'ladi.

Xulosa.

Monokristall kremniyga Mn va Ni kirishma atomlarini kiritish uning struktura va elektrofizik xususiyatlarini sezilarli darajada o'zgartiradi. Mn atomlari kuchliroq nuqsonlar hosil qilib, elektr o'tkazuvchanlikni keskin kamaytiradi, Ni esa ko'proq fazaviy o'zgarishlar orqali ta'sir ko'rsatadi.

Sun'iy intellekt yordamida ushbu jarayonlarni o'qitish va tahlil qilish yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika sohasida yangi yondashuvlarni shakllantiradi hamda ilmiy-tadqiqot ishlarining samaradorligini oshiradi.

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