



KREMNIYDA YEVROPIY ATOMLARINING DIFFUZIYA JARAYONLARINI O'RGANISH

Kurbanova U.X.

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti professori

E-mail: qurbonovaogiloy965@mail.com

Xusanboyeva F.R.

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti doktoranti

E-mail: xusanboyevaf2112@mail.com

Tel: +998 94 007 40 93

Annotatsiya: Mazkur tadqiqotda kremniy (Si) kristall panjarasida yevropiy (Eu) atomlarining diffuziya jarayonlari nazariy modellashtirish asosida chuqur o'rganildi. Tadqiqotda atomlarning material chuqurligi bo'yicha taqsimlanishi, diffuziya chuqurligining vaqt va haroratga bog'liqligi, shuningdek dopant atomlarning kristall panjarada tutib qolish hodisasi (trapping effekti) tahlil qilindi. Fick qonunlari va Arrhenius tenglamasi asosida matematik model qo'llanib, atomlarning sirtga yaqin qatlamlarda maksimal konsentratsiyaga ega bo'lishi, chuqurlik ortishi bilan eksponensial kamayishi aniqlandi. Tadqiqot natijalari yevropiy atomlarining Si kristall panjarasida diffuziya jarayonlarini optimallashtirish, atomlarning notekis taqsimlanishini kamaytirish va Si asosidagi optoelektron qurilmalarni samarali ishlab chiqarish bo'yicha amaliy tavsiyalar berish imkonini beradi. Shuningdek, tadqiqot Eu atomlarining fotonika va optoelektronika qurilmalaridagi potentsial qo'llanilishini kengaytirishga yordam beradi.

Kalit so'zlar: kremniy, yevropiy, diffuziya, yarimo'tkazgich, doplash, optoelektronika, trapping effekti, haroratga bog'liqlik.

Abstract: This study thoroughly investigates the diffusion processes of europium (Eu) atoms in silicon (Si) crystal lattice through theoretical modeling. The analysis focused on the distribution of atoms by depth, the dependence of diffusion depth on time and temperature, and the trapping effect, where dopant atoms are immobilized in the crystal lattice. Using Fick's laws and the Arrhenius equation, the modeling showed that atomic concentration is maximal near the surface and decreases exponentially with depth. The results provide practical guidance for optimizing diffusion processes, reducing inhomogeneous dopant distribution, and enhancing the efficiency of Si-based optoelectronic devices. Furthermore, this research supports the broader application of



Eu atoms in photonics and optoelectronic technologies.

Keywords: silicon (Si), europium (Eu), diffusion, semiconductors, doping, optoelectronics, trapping effect, temperature dependence

1. Kirish:

Yarimo‘tkazgich materiallar zamonaviy mikroelektronika va optoelektronika texnologiyalarining asosini tashkil qiladi. Ushbu materiallarning fizik va kimyoviy xossalari, shuningdek, doplangan strukturalari bugungi kunda quyosh panellari, fotodatchiklar, lazerlar va optik sensorlar kabi qurilmalarda keng qo‘llaniladi [1,2]. Eng keng tarqalgan yarimo‘tkazgichlardan biri – kremniy (Si) bo‘lib, u o‘zining barqaror kristall tuzilishi va texnologik qulayligi tufayli sanoat va ilm-fanda yetakchi material hisoblanadi. Kremniy kristall panjarasining asosiy xususiyatlaridan biri – turli qo‘shimcha elementlar (dopantlar) bilan boyitilishi mumkinligi. Bu esa materialning elektr, optik va termik xossalarini boshqarish imkonini beradi. So‘nggi yillarda yarimo‘tkazgichlarda noyob yer elementlari ishlatilishi kengayib bormoqda. Bu elementlar o‘zining yuqori optik faolligi va fotonika qurilmalaridagi qo‘llanilishi bilan ajralib turadi. Jumladan, yevropiy (Eu) atomlari ko‘rinadigan spektrning qizil sohasida kuchli nurlanish xususiyatiga ega bo‘lib, lazerlar, LEDlar, optik sensorlar va boshqa fotonika qurilmalarida ishlatiladi [5]. Si kristall panjarasida Eu atomlarining diffuziyasi, ularning haroratga bog‘liqligi va kristall ichida taqsimlanishi optimizatsiya qilingan qurilmalar yaratish uchun ilmiy jihatdan muhimdir. Masalan, fotodiodlar yoki quyosh elementlarida dopantlarning noto‘g‘ri tarqalishi qurilmaning ishlash qobiliyatini pasaytirishi mumkin. Shu sababli Si kristall panjarasida Eu atomlarining diffuziyasi va ularning tutib qolish mexanizmlari ilmiy jihatdan chuqur tahlil qilinadi [6]. Yarimo‘tkazgichlar sanoatida diffuziya jarayonini nazorat qilish, harorat va vaqt parametrlarini to‘g‘ri belgilash, shuningdek atomlarning trapping effekti ta‘sirini kamaytirish muhim. Shu bilan birga, Si kristall panjarasida Eu atomlarining tarqalishi va konsentratsiyasi nazariy modellashtirish orqali oldindan prognoz qilinadi, bu esa ishlab chiqarish jarayonini optimallashtirishga yordam beradi.

2. Tadqiqot metodikasi:

Diffuziya jarayonlari qattiq jismlar fizikasi nazariyasiga asoslanadi. Atomlarning kristall panjaradagi harakati asosan vakansiya mexanizmi orqali sodir bo‘ladi. Bu mexanizm da atomlar bo‘sh joylar orqali bir pozitsiyadan ikkinchi pozitsiyaga harakat qiladi [9]. Diffuziya jarayonini matematik tavsiflash uchun Fick qonunlari qo‘llaniladi:

$$C(x,t) = C_0 \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right)$$



bu yerda:

$C(x,t)$ - berilgan vaqtdagi x pozitsiyasidagi atom yoki molekula konsentratsiyasi

C_0 - boshlang'ich konsentratsiya (odatda yuzada yoki boshlang'ich qatlamda)

D - diffuziya koeffitsienti (m^2/s)

x - diffuziya chuqurligi yoki fazodagi koordinata

t - diffuziya vaqti (s)

Diffuziya koeffitsienti haroratga bog'liq bo'lib, Arrenius tenglamasi bilan aniqlanadi [6, p.81].

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right)$$

bu yerda:

D - diffuziya koeffisienti (m^2/s)

$D_0 = 3.2 \times 10^{-4} m^2/s$ (materialga xos oldindan koeffitsient)

$E_a = 3.1 eV$ (aktivatsiya energiyasi)

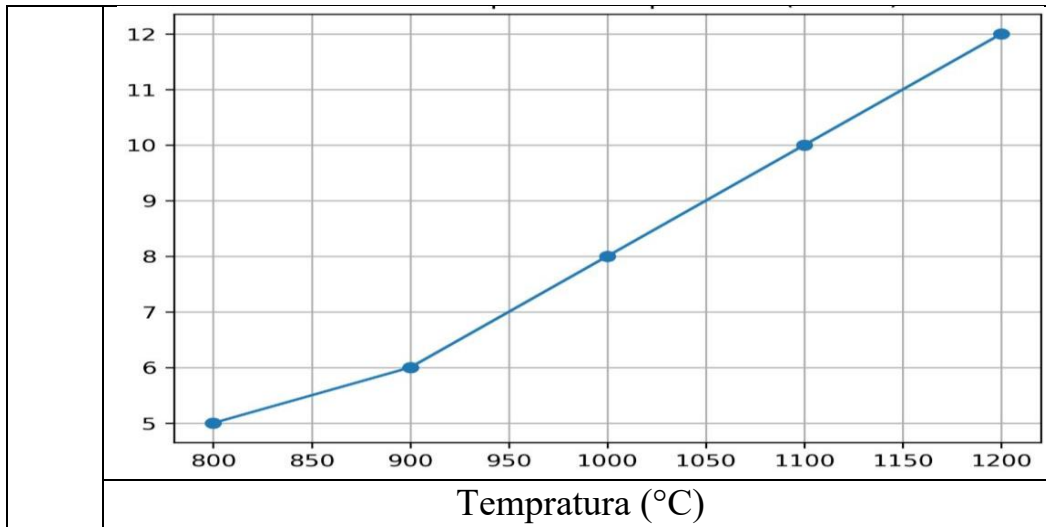
$k = 1.38 \times 10^{-23} J/K$ (Boltsman doimiysi)

T - absolut temperatura (K)

Mazkur tenglamalar asosida yevropiy atomlarining kremniy kristall panjarasidagi diffuziya jarayonlari turli harorat sharoitlarida modellashtirildi.

3. Tadqiqot natijalari

D vs t	Diffuziya chuqurligining vaqtga bog'liqlik grafigi (10 soat)
------------	--



Nazariy hisoblashlar natijasida yevropiy atomlarining kremniy kristall panjarasidagi konsentratsiya taqsimoti aniqlandi. Hisoblash natijalari shuni ko'rsatadiki, atomlar konsentratsiyasi material sirtiga yaqin qatlamlarda maksimal qiymatga ega bo'ladi. Chuqurlik ortishi bilan esa konsentratsiya eksponensial qonun asosida kamayadi [7, p.205]. Diffuziya jarayonining haroratga bog'liqligi ham tahlil qilindi.

1-rasm. Turli haroratlarda olingan natijalar.

Natijalardan ko'rinib turibdiki, 800–1100°C oralig'ida diffuziya chuqurligi nisbatan sekin o'zgaradi. Biroq harorat 1200°C ga yetganda diffuziya jarayoni sezilarli darajada tezlashadi. (1-jadval)

№	Harorat (°C)	Diffuziya chuqurligi(nm)	Vaqt (soat)
1	800	5	10
2	900	6	10
3	1000	8	10
4	1100	10	10
5	1200	12	10

1-jadval. Diffuziya chuqurligini vaqtga bog'liqligi.



Bu holat Arrenius tenglamasiga muvofiq diffuziya koeffitsientining harorat ortishi bilan eksponensial ortishi bilan izohlanadi [6].(2-jadval)

2-jadval.
Diffuziya

№	Harorat (°C)	Diffuziya chuqurligi(nm)	Diffuziya koeffisienti D (m ² /s)
1	800	5	$2,4 \times 10^{-16}$
2	900	6	$7,1 \times 10^{-16}$
3	1000	8	$1,9 \times 10^{-15}$
4	1100	10	$4,8 \times 10^{-15}$
5	1200	12	$1,1 \times 10^{-14}$

chuqurligini diffuziya koeffisientiga bog'liqligi

Tadqiqotda Eu atomlari turli harorat sharoitida modellashtirilib, ularning sirtga yaqin qatlamlarda maksimal konsentratsiyaga ega bo'lishi, chuqurlik ortishi bilan eksponensial kamayishi aniqlandi.

4. Taklif va tavsiyalar.

1. Diffuziya jarayonini nazorat qilish: Eu atomlarining notekis taqsimlanishini kamaytirish uchun harorat va vaqt parametrlarini aniqlik bilan belgilash tavsiya etiladi.
2. Vakansiya mexanizmini monitoring qilish: Kristall panjarada bo'sh joylar sonini nazorat qilish zarur, bu atomlarning ko'chishini optimallashtiradi.
3. Trapping effekti hisobga olish: Dopant atomlarning panjarada tutib qolishi diffuziya profilini o'zgartiradi, shu sababli ishlab chiqarish jarayonida bu effektni kamaytirish kerak.
4. Harorat rejimi optimizatsiyasi: 1200°C dan yuqori haroratlarda diffuziya tezlashadi, shuning uchun ishlab chiqarishda haroratni tavsiya etilgan diapazonda saqlash muhim.
5. Nazariy modellashtirish: Qurilmalarni ishlab chiqarishdan oldin atom diffuziyasini modellashtirish tavsiya etiladi, bu jarayonni optimallashtirishga yordam beradi.

5. Xulosa

1. Kremniy kristall panjarasida Eu atomlarining diffuziya jarayoni eksponensial qonuniyatga bo'ysunadi.
2. Diffuziya tezligi harorat ortishi bilan oshadi, 1200°C da keskin ko'payadi.
3. Trapping effekti va kristall nuqsonlari diffuziya profilini shakllantirishga ta'sir qiladi.
4. Natijalar Si asosidagi optoelektron qurilmalarni loyihalash va ishlab chiqarishda muhim tavsiyalar beradi.
5. Ishlab chiqarishda harorat va vaqt parametrlari, vakansiyalar va trapping effekti nazorat qilinishi zarur.

**Foydalanilgan adabiyotlar**

- [1]. Sze S.M., Ng K.K. Physics of Semiconductor Devices. Wiley, 2021.
- [2]. Pierret R. Semiconductor Device Fundamentals. Pearson, 2019.
- [3]. Pavesi L., Lockwood D. Silicon Photonics. Springer, 2018.
- [4]. Campbell I. Silicon Photonics: An Introduction. Cambridge University Press, 2020.
- [5]. Ashcroft N., Mermin N. Solid State Physics. Cengage Learning, 2016.
- [6]. Mehrer H. Diffusion in Solids. Springer, 2019.
- [7]. Tu K., Mayer J., Feldman L. Electronic Thin Film Science. Wiley, 2018.
- [8]. Schroder D. Semiconductor Material and Device Characterization. Wiley, 2018.
- [9]. Chen W. Semiconductor Nanostructures. CRC Press, 2022.
- [10]. Zikrillayev N.F. et al. Magnetic Properties of Silicon Doped with Europium Atoms. Journal of Nano- and Electronic Physics, 15(6): 06001, 2023