

YARIMO‘TKAZGICHLARNI LEGIRLASH ORQALI ULARNING ELEKTR VA FOTOELEKTRIK XUSUSIYATLARINI BOSHQARISH

Abubakirov Qilichbek Ro'zmatjon o'g'li

FarDU 010410 -yarim o'tkazgichlar fizikasi

yo'nalishi tayanch doktoranti

+998 94-372-31-61

abubakirovqilichbek802@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.22869596>

Received: 15 September 2026 • Accepted: 20 September 2026 • Published: 21 September 2026

Annotatsiya

Ushbu maqolada yarimo'tkazgichlarni legirlash orqali ularning elektr va fotoelektrik xususiyatlarini boshqarishning fizik asoslari tahlil qilinadi. Legirlash jarayonida kirishma atomlarining yarimo'tkazgich kristall panjarasiga kiritilishi, donor va akseptor energetik sathlarining shakllanishi hamda zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining o'zgarishi ko'rib chiqilgan. Termik diffuziya va ion implantatsiyasi kabi asosiy legirlash usullarining fizik mohiyati yoritilgan. Ayniqsa, kremniyni selen bilan legirlashning materialning elektr o'tkazuvchanligi, infraqizil nurlanishni yutishi va fotoelektrik javobiga ta'siri tahlil qilingan. Adabiyotlar tahlili asosida legirlash konsentratsiyasi, harorat va termik ishlov rejimlarining fotoqabulqilgich parametrlariga ta'siri bo'yicha xulosalar chiqarilgan.

Kalit so'zlar:

yarimo'tkazgich, legirlash, kremniy, selen, kirishma, donor, akseptor, diffuziya, ion implantatsiyasi, elektr o'tkazuvchanlik, fotoelektrik xususiyat, infraqizil nurlanish.

KIRISH

Yarimo'tkazgich materiallarning elektr va optik xususiyatlarini boshqarish zamonaviy mikroelektronika, optoelektronika, quyosh energetikasi va infraqizil texnikaning muhim vazifalaridan biridir. Yarimo'tkazgichning elektr xususiyatlari uning tarkibidagi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi va harakatchanligiga, fotoelektrik xususiyatlari esa yorug'lik energiyasining materialda yutilishi va zaryad tashuvchilar hosil bo'lish jarayonlariga bog'liq. Ushbu parametrlarni boshqarishning eng samarali usullaridan biri legirlash hisoblanadi. "Legirlash — asosiy yarimo'tkazgich material tarkibiga ma'lum miqdorda kirishma atomlarini kiritish jarayonidir." Kirishma atomlari kristall panjarada qo'shimcha energetik sathlar hosil qiladi. Natijada elektronlar va kovaklarning konsentratsiyasi, Fermi sathi hamda elektr o'tkazuvchanlik o'zgaradi.

Pichler yarimo'tkazgichlarda legirlovchi atomlarning asosan kristall panjaraning tugunlarida joylashishini va donor yoki akseptor sifatida faoliyat ko'rsatishini qayd etgan [1, 1-bet]. Shu sababli legirlashni faqat kimyoviy tarkibni o'zgartirish jarayoni emas, balki yarimo'tkazgichning energetik va elektron tuzilishini boshqarish usuli sifatida qarash mumkin. Ideal yarimo'tkazgich kristallida elektronlarning energiyasi valentlik zonasi va o'tkazuvchanlik zonasi bilan tavsiflanadi. Ushbu zonalar orasida taqiqlangan energetik zona mavjud. Kirishma atomlarining kristall panjaraga kiritilishi natijasida taqiqlangan zona ichida qo'shimcha energetik sathlar paydo bo'ladi.

Donor kirishmalar elektron berishga moyil bo'lib, o'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlar konsentratsiyasini oshiradi. Akseptor kirishmalar esa elektronlarni qabul qilib, kovaklar hosil bo'lishiga olib keladi.

Zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining o'zgarishi elektr o'tkazuvchanlikka bevosita ta'sir qiladi:

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

bu yerda:

σ - elektr o'tkazuvchanlik;

q - elektron zaryadi;

n - elektronlar konsentratsiyasi;

p - kovaklar konsentratsiyasi;

μ_n va μ_p - elektron va kovaklarning harakatchanligi.

Demak, legirlash orqali n , p , μ_n va μ_p parametrlarini o'zgartirish orqali materialning elektr xususiyatlarini boshqarish mumkin.

Yarimo'tkazgichlarni legirlashda bir nechta texnologik usullardan foydalaniladi. Ulardan eng asosiylari:

1. termik diffuziya;
2. ion implantatsiyasi;
3. lazer yordamida legirlash;
4. qisqa muddatli termik ishlov berish.

Termik diffuziyada kirishma atomlari yuqori harorat ta'sirida yarimo'tkazgich kristalliga kirib boradi. Diffuziya oqimi Fikning birinchi qonuni bilan ifodalanadi:

$$J = -D \frac{\Delta C}{\Delta x}$$

Diffuziya koeffitsienti esa:

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

ko'rinishida yoziladi.

Bu tenglama haroratning diffuziya jarayonidagi muhim rolini ko'rsatadi. Harorat oshishi bilan diffuziya koeffitsienti ortadi va kirishma atomlarining kristall ichiga kirib borish tezligi oshadi.

Ion implantatsiyasi zamonaviy yarimo'tkazgich texnologiyasida keng qo'llaniladigan usullardan biridir. Bunda kirishma elementi ionlashtirilib, yuqori energiyali ionlar oqimi shaklida kristallga yo'naltiriladi. Ushbu usulning asosiy afzalligi kirishma atomlarining konsentratsiyasi va kristall ichiga kirish chuqurligini boshqarish imkoniyati. Biroq ion implantatsiyasi kristall panjarada nuqsonlar hosil qilishi mumkin. Shuning uchun implantatsiyadan keyingi termik ishlov muhim ahamiyatga ega.

Legirlashning eng muhim natijalaridan biri yarimo'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligini boshqarish imkoniyatidir. Kirishma konsentratsiyasining o'zgarishi natijasida zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi o'zgaradi. Natijada materialning solishtirma qarshiligi $\rho = \frac{1}{\sigma}$ munosabat orqali o'zgaradi. Legirlash yordamida n-tip yarimo'tkazgich p-tip yarimo'tkazgich p-n o'tish yuqori yoki past qarshilikli qatlamlar hosil qilish mumkin. Shu sababli legirlash diod, tranzistor, fotodiod, quyosh elementi va boshqa elektron qurilmalarni tayyorlashda asosiy texnologik jarayonlardan biri hisoblanadi.

Fotoelektrik jarayonda yarimo'tkazgichga tushgan foton energiyasi elektronlarni yuqori energetik holatga o'tkazishi mumkin. Foton energiyasi:

$$E = h\nu = hc/\lambda$$

formula bilan aniqlanadi.

Agar foton energiyasi materialdagi elektronning tegishli energetik o'tishini ta'minlash uchun yetarli bo'lsa, elektron-kovak juftliklari hosil bo'ladi. Legirlash orqali taqiqlangan zona ichida qo'shimcha energetik sathlar hosil qilinishi natijasida materialning nurlanishni yutish xususiyatlari o'zgarishi mumkin. Bu ayniqsa chuqur energetik sathlar hosil qiluvchi kirishmalar bilan legirlangan yarimo'tkazgichlarda muhimdir.

Selen bilan giperlegirlangan kremniy bo'yicha olib borilgan tadqiqotlarda uning infraqizil fotoqabulqilgichlar uchun istiqbolli material ekanligi ko'rsatilgan.

Zhou va hammualliflar selen bilan giperlegirlangan kremniyning kremniy asosidagi infraqizil fotoqabulqilgichlarda qo'llanish imkoniyatiga ega ekanligini ko'rsatgan [3, PDF 1-bet]. Hammadi tadqiqotida esa selen bilan legirlangan kremniy fotodiodida 263 K haroratda 3,8 μm to'liq uzunligida

maksimal fotojavob kuzatilgani qayd etilgan [2, 153-bet]. Bu natija legirlash orqali kremniyning infraqizil diapazondagi fotoelektrik sezgirlikni boshqarish mumkinligini ko'rsatadi.

Legirlash samaradorligi faqat kirishma elementining turiga emas, balki uning konsentratsiyasiga ham bog'liq. Kirishma konsentratsiyasi oshishi bilan dastlab zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi ortadi. Biroq juda yuqori konsentratsiyalarda kirishma atomlarining o'zaro ta'siri kuchayib, klasterlar va boshqa komplekslar hosil bo'lishi mumkin. Shuning uchun fotoqabulqilgich yaratishda optimal legirlash konsentratsiyasini aniqlash muhim hisoblanadi.

Selen bilan giperlegirlangan kremniy bo'yicha tadqiqotlarda juda yuqori selen konsentratsiyalarida materialning elektr va optik xususiyatlari sezilarli o'zgarishi ko'rsatilgan. Yarimo'tkazgichlarni legirlashning asosiy afzalliklari quyidagilardan iborat:

- 1- materialning elektr o'tkazuvchanligini kerakli qiymatga moslashtirish mumkin.
- 2- n-tip va p-tip yarimo'tkazgichlarni hosil qilish imkoniyati mavjud.
- 3- kirishma energetik sathlarini hosil qilish orqali optik va fotoelektrik xususiyatlarni o'zgartirish mumkin.
- 4- infraqizil nurlanishni yutish diapazonini kengaytirish imkoniyati mavjud.
- 5- fotodiod va fotoqabulqilgichlarning sezgirlikni oshirish uchun material parametrlarini optimallashtirish mumkin.

XULOSA

Yarimo'tkazgichlarni legirlash ularning elektr va fotoelektrik xususiyatlarini boshqarishning samarali fizik-texnologik usullaridan biridir. Legirlash natijasida zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi, energetik sathlar, Fermi sathi, elektr o'tkazuvchanlik va optik yutilish xususiyatlari o'zgaradi.

Termik diffuziya va ion implantatsiyasi yarimo'tkazgichlarni legirlashning asosiy usullari bo'lib, ularning yordamida kirishma konsentratsiyasi va taqsimotini boshqarish mumkin.

Selen bilan legirlangan kremniy alohida ilmiy qiziqish uyg'otadi. Ilmiy manbalarda selen bilan legirlangan kremniyning infraqizil nurlanishga sezgirlik va fotoqabulqilgichlarda qo'llanish imkoniyatlari ko'rsatilgan. Xususan, 3,8 μm to'lqin uzunligida fotojavobning kuzatilishi ushbu materialning o'rta infraqizil diapazondagi imkoniyatlarini ko'rsatadi. Shu sababli selen bilan legirlangan kremniyning elektr va fotoelektrik xususiyatlarini, shuningdek uning gaz razryadli tizimdagi ishlash mexanizmini o'rganish istiqbolli ilmiy yo'nalish hisoblanadi.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. Pichler P. Role of Defects in the Dopant Diffusion in Si. Semiconductors and Semimetals. 2015. Vol. 91. P. 1–46. DOI: 10.1016/bs.semsem.2014.11.001.
2. Hammad O.A. Photovoltaic properties of thermally-grown selenium-doped silicon photodiodes for infrared detection applications. Photonic Sensors. 2015. Vol. 5(2). P. 152–158. DOI: 10.1007/s13320-015-0241-4.
3. Zhou S. et al. Hyperdoping silicon with selenium: solid vs. liquid phase epitaxy. Scientific Reports. 2015. Vol. 5. Article 8329. DOI: 10.1038/srep08329.
4. Komarov S. et al. Broad infrared absorption band through ion beam hyperdoping of silicon with selenium. Applied Surface Science. 2023. Vol. 639. Article 158168. DOI: 10.1016/j.apusc.2023.158168.
5. Dependence of the optoelectronic properties of selenium-hyperdoped silicon on the annealing temperature. Materials Science in Semiconductor Processing. 2013. Vol. 16. P. 987–991.
6. Metallic conduction behavior in selenium-hyperdoped silicon. Materials Science in Semiconductor Processing. 2014. Vol. 17. P. 134–137.
7. Structural and electrical properties of Se-hyperdoped Si via ion implantation and flash lamp annealing. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. 2018. Vol. 424. P. 52–55.

THESES INFORMATION IN OTHER LANGUAGES

РУССКИЙ

ENGLISH

Abstract

This paper analyzes the physical principles of controlling the electrical and photoelectric properties of semiconductors through doping. The incorporation of impurity atoms into the semiconductor crystal lattice, formation of donor and acceptor energy levels, and variation of charge carrier concentration are considered. The physical mechanisms of thermal diffusion and ion implantation are discussed. Particular attention is paid to selenium doping of silicon and its influence on electrical conductivity, infrared absorption, and photoelectric response.

Keywords: semiconductor, doping, silicon, selenium, impurity, donor, acceptor, diffusion, ion implantation, electrical conductivity, photoelectric properties, infrared radiation.