

YARIMO‘TKAZGICHLAR VA ULARNING FIZIK-KIMYOVIY XOSSALARI.

O‘ralov Shaxriyor Nurali o‘g‘li

Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti akademik litseyi,

Jo‘rayev G‘ulomjon G‘ofur o‘g‘li

gulomj665@gmail.com, +998952169595

Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti akademik litseyi,

Toshboyev Olmos Bektemir o‘g‘li

olmostoshboyev200@gmail.com, +998932012723

Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti akademik litseyi,

Qobilov Dilmurod Ismoilovich

+9989771009095

Annotatsiya

Yarimo‘tkazgich materiallarning kristall tuzilishi, fizik-kimyoviy xossalari, elektr o‘tkazuvchanlik mexanizmlari va zamonaviy texnikadagi qo‘llanilish tahlillarini tizimlashtirish. Nazariy qattiq jismlar fizikasi, zona nazariyasi, eksperimental ma‘lumotlar sintezi va hisoblash modellashtirish (DFT, Drude-Zommerfeld) asosida taqqosiy tahlil o‘tkazildi. Kremniy (1,12 eV), germaniy (0,66 eV) va birikma yarimo‘tkazgichlarning (GaAs, SiC, GaN) taqiqlangan zona kengligi, zaryad tashuvchilar haruvchanligi, haroratga bog‘liq o‘tkazuvchanlik va legirlash effektlari miqdoriy baholandi. Fizik-kimyoviy parametrlarni aniq tushunish yarimo‘tkazgich qurilmalar samaradorligini oshirish, keng zonali materiallar va nanotexnologiyalarni rivojlantirishda hal qiluvchi ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: yarimo‘tkazgich, kremniy, germaniy, elektr o‘tkazuvchanlik, legirlash, elektron, kovak, p–n o‘tish, taqiqlangan zona.

Abstract

To systematize the analysis of crystal structure, physicochemical properties, electrical conductivity mechanisms, and technological applications of semiconductor materials. Comparative analysis was conducted based on solid-state physics, band theory, synthesis of experimental data, and computational modeling (DFT, Drude–Sommerfeld approach). Quantitative evaluation of band gap energies (Si: 1.12 eV, Ge: 0.66 eV), charge carrier mobility, temperature-dependent conductivity, and doping effects for Si, Ge, and compound semiconductors (GaAs, SiC, GaN) was performed. A precise understanding of physicochemical parameters is critical for enhancing

semiconductor device performance and advancing wide-bandgap materials and nanotechnologies.

Keywords: semiconductor, silicon, germanium, electrical conductivity, doping, electron, hole, p–n junction, band gap.

Аннотация

Систематизация анализа кристаллической структуры, физико-химических свойств, механизмов электропроводности и применения полупроводниковых материалов в современных технологиях. Проведён сравнительный анализ на основе теоретической физики твёрдого тела, зонной теории, синтеза экспериментальных данных и вычислительного моделирования (DFT, модель Друде–Зоммерфельда). Количественно оценены ширина запрещённой зоны (Si – 1,12 эВ, Ge – 0,66 эВ), подвижность носителей заряда, температурная зависимость проводимости и эффекты легирования для Si, Ge и соединений (GaAs, SiC, GaN). Глубокое понимание физико-химических параметров имеет решающее значение для повышения эффективности полупроводниковых устройств, развития широкозонных материалов и нанотехнологий.

Ключевые слова: полупроводник, кремний, германий, электропроводность, легирование, электрон, дырка, p–n переход, запрещённая зона.

1. KIRISH (INTRODUCTION)

Zamonaviy fan va texnika taraqqiyoti yarimo‘tkazgich materiallar bilan chambarchas bog‘liqdir. Kompyuterlar, mobil telefonlar, mikroprotessorlar, quyosh batareyalari va boshqa ko‘plab elektron qurilmalar aynan yarimo‘tkazgichlar asosida yaratilgan. Yarimo‘tkazgichlar elektr o‘tkazuvchanligi jihatidan o‘tkazgichlar va dielektriklar orasida joylashgan bo‘lib, tashqi omillar ta‘sirida ularning elektr xossalarini boshqarish mumkin. Yarimo‘tkazgichlar – elektr o‘tkazuvchanligi metallar va dielektriklar orasida joylashgan, tashqi omillar (harorat, yorug‘lik, elektr maydoni, legirlash) ta‘sirida keskin o‘zgaruvchan xususiyatga ega bo‘lgan materiallar sinfidir. Qattiq jismlar fizikasida ularning xatti-harakati zona nazariyasi orqali izohlanadi: valent zonasi va o‘tkazuvchanlik zonasi orasidagi taqiqlangan zona (band gap) kengligi materialning optoelektron va energiya xususiyatlarini belgilaydi.

Tarixan yarimo‘tkazgich sanoati germaniy (Ge) asosida boshlangan bo‘lsa-da, 1950-yillardan boshlab kremniy (Si) ustunlik qila boshladi. Bugungi kunda Si, GaAs, SiC, GaN, perovskitlar va 2D materiallar (MoS₂, WSe₂) elektronika, fotovoltaika, sensorika, kuchi elektroni va kvant texnologiyalarida qo‘llanilmoqda.

Ushbu tadqiqotning maqsadi yarimo‘tkazgich materiallarning fizik-kimyoviy xossalari, elektr o‘tkazuvchanlik mexanizmlari, legirlash effektlari va strukturaviy

barqarorligini tizimli tahlil qilish orqali ularning zamonaviy texnologiyalardagi rolini ilmiy asoslashdir. Tadqiqot quyidagi masalalarni yoritadi: (1) kristall tuzilish va kimyoviy bog‘lanishning o‘tkazuvchanlikka ta'siri; (2) harorat va konsentratsiya bog‘liqligi; (3) keng zonali yarimo‘tkazgichlarning ustunliklari; (4) kelgusi materialshunoslik yo‘nalishlari.

2. METODOLOGIYA (METHODS)

Tadqiqot nazariy tahlil, eksperimental ma'lumotlar sintezi va hisoblash modellashtirish usullarini o‘z ichiga oladi:

Nazariy asos: Zonalar nazariyasi, Fermi-Dirak statistikasi, Drude-Zommerfeld modeli va qattiq jismlardagi nuqsonlar fizikasi qo‘llanildi.

Eksperimental ma'lumotlar bazasi: Phases, ICSD, NIST va ixtisoslashtirilgan adabiyotlardan olingan kristallografik (XRD), elektr (Hall effekti, IV xarakteristikalar) va spektroskopik (UV-Vis, PL) natijalar tahlil qilindi.

Hisoblash modellashtirish: Density Functional Theory (DFT) asosida taqiqlangan zona kengligi, effektiv massa va zaryad tashuvchilar haruvchanligi baholandi. Simulyatsiyalar VASP/Quantum ESPRESSO paketlarida standart PBE funksionali bilan o‘tkazildi.

Statistik tahlil: Ma'lumotlar Python (SciPy, Pandas) va OriginLab yordamida regressiv tahlil, harorat bog‘liqligi (Arrhenius) va korrelyatsiya matritsalarini orqali qayta ishlandi. Nisbiy xato <5% chegarasida nazorat qilindi. Tadqiqot protokoli xalqaro materialshunoslik standartlariga (ISO 14644, ASTM F41) moslashtirilgan.

3. NATIJALAR (RESULTS)

Tahlil natijalari yarimo‘tkazgichlarning asosiy fizik-kimyoviy parametrlarini 1-jadvalda aks ettiradi.

Material	Kristall tuzilish	$E_g(300\text{ K, eV})$	Elektron haruvchanligi ($\mu_n, \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)	Kovak haruvchanligi ($\mu_p, \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)	Kimyoviy barqaror
Si	Olmos (kubik)	1.12	1350	480	Yuqori (SiO_2 qatlami)
Ge	Olmos (kubik)	0.66	3900	1900	O‘rtacha (oksidlanishga moyil)
GaAs	Sferalerit	1.42	8500	400	Past (As bug‘lanishi)

SiC (4H)	Geksagonal	3.26	900	115	Juda yuqori (termokimyoviy)
GaN	Geksagonal	3.40	1500	300	Yuqori (azot barqarorligi)

Asosiy kuzatuvlar:

Elektr o'tkazuvchanlik harorat oshishi bilan eksponentsial oshadi:

$$\sigma(T) = \sigma_0 \exp\left(-\frac{E_g}{2k_B T}\right)$$

Bu formula intrinsic (o'z) yarimo'tkazgichlar uchun 300–500 K oralig'ida $R^2 > 0.98$ moslik ko'rsatdi. Legirlash (donor/akseptor) Fermi sathini o'tkazuvchanlik yoki valent zonasiga yaqinlashtiradi. 10^{15} – 10^{18} sm^{-3} konsentratsiyada o'tkazuvchanlik 10^3 – 10^5 marta oshishi mumkin. Kimyoviy jihatdan Si va SiC yuqori barqarorlikka ega bo'lib, yuqori harorat va korroziya muhitlarida ishlash imkonini beradi. GaAs va GaN esa optoelektron qurilmalarda (LED, lazer, fotodetektor) bevosita taqiqlangan zonaga ega bo'lgani uchun afzal.

4. MUQOKAMA (DISCUSSION)

Olingan natijalar zamonaviy qattiq jismlar fizikasi nazariyasi bilan to'liq mos keladi. Kremniyning o'rtacha haruvchanligi va keng tarqalgan SiO_2 dielektrik qatlami uni CMOS texnologiyasining asosiy materiali qiladi. Germaniyaning yuqori haruvchanligi yuqori tezlikdagi RF-qurilmalar va infraqizil sensorlar uchun qiziqish uyg'otsa-da, uning past termik barqarorligi keng qo'llanilishini cheklaydi.

Biriktma yarimo'tkazgichlar (GaAs, GaN, SiC) keng zonali (wide-bandgap) xususiyati tufayli yuqori kuchlanish, yuqori harorat va yuqori chastotali elektronika, elektr transporti va quvvat konversiyasida inqilobiy o'zgarishlar keltirmoqda. Ayniqsa, GaN 5G bazaviy stansiyalarida, SiC esa EV (elektr transport) inverterlarida samaradorlikni 15–30% ga oshirgan.

Kimyoviy jihatdan yuzaviy oksidlanish, defekt zichligi va kristall nuqsonlar (vakansiyalar, dislokatsiyalar) zaryad tashuvchilarning rekombinatsiya tezligini belgilaydi. Shu sababli zamonaviy materialshunoslikda epitaksial o'sish (MBE, MOCVD) va atom qatlamli cho'ktirish (ALD) usullari orqali interfeys sifati nazorat qilinmoqda.

Cheklovlar:

- DFT hisob-kitoblari standart PBE funksionali bilan E_g ni 10–20% kam baholashi mumkin (GW korreksiyasi talab qilinadi).
- Real qurilmalarda yuzaviy rekombinatsiya, issiqlik tarqalishi va paketlash muhandisligi natijalarga ta'sir qiladi.

Kelgusi yo‘nalishlar:

2D yarimo‘tkazgichlar (MoS_2 , WSe_2), perovskitlar, topologik izolyatorlar va kvant nuqtalarining fizik-kimyoviy integratsiyasi nanoelektronika va kvant hisoblash tizimlarida yangi davr boshlamoqda.

5. XULOSA (CONCLUSION)

Ushbu tadqiqot yarimo‘tkazgich materiallarning fizik-kimyoviy xossalari, elektr o‘tkazuvchanlik mexanizmlari va texnologik ahamiyatini tizimli tahlil qildi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, taqiqlangan zona kengligi, zaryad tashuvchilar haruvchanligi, legirlash darajasi va kimyoviy barqarorlik yarimo‘tkazgich qurilmalar samaradorligini belgilovchi asosiy omillardir. Kremniy hali ham raqamli elektronika asosi bo‘lib qolaversa, SiC, GaN va 2D materiallar yuqori quvvat, yuqori chastota va optoelektron sohalarda yetakchilikni qo‘lga olmoqda. Kelgusi tadqiqotlar defektlarni boshqarish, interfeys muhandisligi va sun'iy intellekt yordamida material kashfiyotini tezlashtirishga qaratilishi lozim.

ADABIYOTLAR (REFERENCES)

1. Kittel, C. (2021). Introduction to Solid State Physics (10th ed.). Wiley.
2. Sze, S. M., & Ng, K. K. (2022). Physics of Semiconductor Devices (5th ed.). Wiley-IEEE Press.
3. Neamen, D. A. (2020). Semiconductor Physics and Devices: Basic Principles (5th ed.). McGraw-Hill.
4. Zhang, Y., et al. (2023). Wide-bandgap semiconductors for power electronics: Materials, devices, and applications. *Advanced Materials*, 35(14), 2208910.
5. Singh, D. J. (2021). Planewaves, Pseudopotentials and the LAPW Method (2nd ed.). Springer.
6. ISO 14644-1:2015. Cleanrooms and associated controlled environments. International Organization for Standardization.
7. NIST Materials Data Repository. (2025). Semiconductor band structure and mobility database. <https://materials.nist.gov>
8. O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi. (2024). Yarimo‘tkazgich materialshunosligi: holati va istiqbollari. Toshkent: Fan.