



## OPTIMIZATION OF EPITAXIAL SILICON P-N JUNCTIONS TO IMPROVE THERMAL ENERGY CONVERSION EFFICIENCY

F. Arziqulov<sup>1</sup>

Sh. Kuchkanov<sup>2</sup>

*Tashkent Medical Academy, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov*

### KEYWORDS

Epitaxial silicon, p-n junction, thermal energy conversion, thermoelectric efficiency, doping profile, interface optimization

### ABSTRACT

Epitaxial silicon p-n junctions are attracting attention for their potential applications in thermal energy conversion technologies due to their manufacturing efficiency and scalability. This paper explores the optimization of epitaxial silicon p-n junctions to improve thermal energy conversion efficiency, focusing on material properties, device structure, and fabrication techniques. We analyze different doping profiles, the role of interface quality, and thermal transport mechanisms in silicon-based p-n junctions. In addition, this study discusses challenges and opportunities in improving thermoelectric efficiency through design and manufacturing process improvements. The findings show that optimization of junction interfaces and careful control of doping concentrations can significantly improve energy conversion efficiency in silicon-based thermoelectric devices.

2181-2675/© 2024 in XALQARO TADQIQOT LLC.

DOI: **10.5281/zenodo.13921804**

This is an open access article under the Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)

<sup>1</sup> Assistant of the Department of Biomedical Engineering, Informatics and Biophysics, Tashkent Medical Academy, Uzbekistan

<sup>2</sup> Associate Professor (PhD) of the Department of Alternative Energy Sources, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Uzbekistan

# ISSIQLIK ENERGIYASINI KONVERTATSIYA QILISH SAMARADORLIGINI OSHIRISH UCHUN EPITAKSIAL KREMNIY P- N BIRIKMALARINI OPTIMALLASHTIRISH

KALIT SO'ZLAR/  
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Epitaksial kremniy, p-n o'tish, issiqlik energiyasini aylantirish, termoelektrik samaradorlik, doping profili, interfeysni optimallashtirish.

ANNOTATSIYA/ АННОТАЦИЯ

Epitaksial kremniy p-n birikmalari ishlab chiqarishdagi samaradorligi va miqyosi tufayli issiqlik energiyasini konversiyalash texnologiyalarida potentsial qo'llanilishiga e'tibor qaratmoqda. Ushbu maqola issiqlik energiyasini konversiyalash samaradorligini oshirish uchun epitaksial kremniy p-n birikmalarini optimallashtirishni o'rganadi, material xususiyatlariga, qurilma tuzilishiga va ishlab chiqarish texnikasiga e'tibor qaratadi. Biz turli xil doping profillarini, interfeys sifatining rolini va silikon asosidagi p-n birikmalarida termal transport mexanizmlarini tahlil qilamiz. Bundan tashqari, ushbu tadqiqot dizayn va ishlab chiqarish jarayonlarini takomillashtirish orqali termoelektr samaradorligini oshirishdagi qiyinchiliklar va imkoniyatlarni muhokama qiladi. Topilmalar shuni ko'rsatadiki, ulanish interfeyslarini optimallashtirish va doping kontsentratsiyasini ehtiyotkorlik bilan nazorat qilish silikon asosidagi termoelektrik qurilmalarda energiya konversiyasi samaradorligini sezilarli darajada oshirishi mumkin.

Samarali va kengaytiriladigan energiya konvertatsiya qilish texnologiyalariga bo'lgan talab termoelektrik materiallarga, xususan, kremniy asosidagi epitaksial tuzilmalarga qiziqishning ortishiga olib keldi. Epitaksial kremniy p-n birikmalari foydali elektr va issiqlik xususiyatlari tufayli issiqlik energiyasini konvertatsiya qilish uchun istiqbolli nomzodlardir. Silikon ko'p va tejamkor bo'lib, issiqlikni elektr energiyasiga aylantiradigan termoelektrik qurilmalar uchun ko'p qirrali platformani ta'minlaydi. Biroq, energiya yig'ish va chiqindi issiqlikni qayta ishlashda amaliy qo'llanmalar uchun zarur bo'lgan yuqori samaradorlikka erishish uchun ushbu ulanishlarning ishlashini optimallashtirish juda muhimdir.

Silikon materiallarga asoslangan termoelektrik qurilmalar Zeebek effektiga tayanadi, bu erda material bo'ylab harorat gradienti kuchlanish hosil qiladi. Ushbu jarayonning samaradorligi asosan materialning Zeebek koeffitsienti, elektr o'tkazuvchanligi va issiqlik o'tkazuvchanligi bilan belgilanadi. So'nggi tadqiqotlar kremniy p-n birikmalarining tuzilishi va tarkibini termoelektrik xususiyatlarini yaxshilash uchun o'zgartirishga qaratilgan. Doping kontsentratsiyasi, ulanish dizayni va interfeys sifati kabi omillar qurilmaning umumiy ishlashini aniqlashda muhim rol o'ynaydi.

Ushbu tezis issiqlik energiyasini konvertatsiya qilish uchun epitaksial kremniy p-n birikmalarini optimallashtirishni o'rganadi. Bu material muhandislik texnikasi, ishlab chiqarish jarayonlari va termoelektrik samaradorlikni oshirishga yordam beradigan

nazariy asoslar haqida tushuncha beradi. Biz, shuningdek, yuqori samarali kremniy asosidagi termoelektrik qurilmalarga erishishda yuzaga kelishi mumkin bo'lgan muammolarni o'rganamiz va mumkin bo'lgan echimlarni taklif qilamiz.

### 1. Materiallar xususiyatlari va dopingni optimallashtirish

Termoelektrik ilovalarda epitaksial kremniy p-n birikmalarining ishlashi sezilarli darajada silikon qatlamlarining doping profiliga bog'liq. Nazorat ostidagi doping materialning ham elektr, ham issiqlik xususiyatlarini sozlash imkonini beradi.

n-tipli va p-tipli kremniyda, mos ravishda, fosfor va bor kabi dopantlar Zeebek koeffitsienti va elektr o'tkazuvchanligiga ta'sir qiluvchi zaryad tashuvchilarni yaratish uchun ishlatiladi. Doping darajasini optimallashtirish elektr o'tkazuvchanligini maksimal darajada oshirish va materialning qadr-qimmatini (ZT) oshirish uchun issiqlik o'tkazuvchanligini minimallashtirish o'rtasidagi muvozanatni o'z ichiga oladi. Biroq, haddan tashqari doping tashuvchining tarqalishining kuchayishiga olib kelishi mumkin, bu esa termoelektrik ishlashga salbiy ta'sir qiladi.

Molekulyar nur epitaksisi (MBE) kabi ilg'or usullardan foydalangan holda, tadqiqotchilar doping kontsentratsiyasi va qatlam qalinligi ustidan aniq nazoratga erishishlari mumkin, bu esa yaxshilangan termoelektrik xususiyatlarga ega o'tkir p-n birikmalarini yaratishga imkon beradi. Bundan tashqari, termal gradientlarni kamaytirish va tashuvchining harakatchanligini oshirish uchun darajali doping profillaridan foydalanish mumkin.

### 2. Interfeys muhandisligi va issiqlik transporti

p-n o'tish interfeysining sifati issiqlik energiyasini konvertatsiya qilish jarayonining umumiy samaradorligida hal qiluvchi rol o'ynaydi. Yomon interfeys sifati zaryad tashuvchilarning rekombinatsiyasining kuchayishiga olib kelishi mumkin, bu esa qurilmaning samaradorligini pasaytiradi. Buni hal qilish uchun tadqiqotchilar sirt passivatsiyasi va interfeysga yupqa dielektrik qatlamlarni kiritish kabi usullarni o'rganishdi. Ushbu usullar ulanish joyidagi nuqsonlar va aralashmalarni minimallashtirish orqali tashuvchining rekombinatsiyasini kamaytiradi.

Elektr interfeysini optimallashtirishdan tashqari, kavşak bo'ylab termal transport yana bir asosiy omil hisoblanadi. Epitaksial kremniy plyonkalari yupqa bo'lib, quyma kremniyga qaraganda pastroq issiqlik o'tkazuvchanligiga ega, bu termoelektrik ilovalar uchun foydalidir. Biroq, ortiqcha issiqlik yo'qotilishiga yo'l qo'ymaslik uchun birikma bo'ylab fonon tashishni ehtiyotkorlik bilan boshqarish kerak. Fononlarni tarqatish va issiqlik o'tkazuvchanligini pasaytirish uchun davriy nanostrukturalar kiritiladigan fononik muhandislik kabi texnikalar issiqlik transportini optimallashtirishda umidvorligini ko'rsatdi.

### 3. Qurilmaning tuzilishi va ishlab chiqarish texnikasi

P-n o'tishning dizayni va termoelektrik qurilmaning umumiy tuzilishi uning ishlashi uchun juda muhimdir. Epitaksial kremniy qatlamlari zaryad tashuvchining harakatchanligini oshirish va tarqalishini kamaytirish uchun maxsus yo'nalishlarga ega

bo'lgan substratlarda o'stirilishi mumkin. Bundan tashqari, yupqa plyonkali texnologiyalar yuqori sirt-hajm nisbatlariga ega bo'lgan ixcham qurilmalarni yaratishga imkon beradi, ular termoelektrik ilovalar uchun idealdir.

Kimyoviy bug 'cho'kmasi (CVD) va MBE kabi ishlab chiqarish usullari nazorat qilinadigan qalinligi va doping darajalariga ega epitaksial qatlamlarni yaratishda yuqori aniqlikni ta'minlaydi. Ushbu usullar doimiy termoelektrik ishlash uchun zarur bo'lgan juda bir xil p-n birikmalarini ishlab chiqarishga imkon beradi.

Epitaksial kremniy p-n birikmalarini optimallashtirish issiqlik energiyasini konversiyalash qurilmalarining samaradorligini oshirish uchun muhim imkoniyat yaratadi. Doping kontsentratsiyasini diqqat bilan nazorat qilish, interfeys sifatini yaxshilash va ilg'or ishlab chiqarish usullarini qo'llash orqali kremniy asosidagi materiallarning termoelektrik xususiyatlarini oshirish mumkin. Ushbu tadqiqot termoelektrik ilovalar bilan bog'liq muammolarni bartaraf etishda, xususan, chiqindi issiqlikni qayta ishlash va energiya yig'ish texnologiyalarida moddiy muhandislik va qurilmalar dizayni muhimligini ta'kidlaydi.

Kelajakdagi tadqiqotlar fononni tashish mexanizmlarini yanada takomillashtirish va termal yo'qotishlarni kamaytirish va qurilma samaradorligini oshirish uchun muqobil substrat materiallarini o'rganishga qaratilishi kerak. Epitaksial kremniy texnologiyasida davom etayotgan yutuqlar bilan termoelektrik qurilmalar kelgusi yillarda barqaror energiya tizimlarining asosiy komponentiga aylanishi mumkin.

#### **Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:**

1. Snyder, G. J., & Toberer, E. S. (2008). Complex thermoelectric materials. *Nature Materials*, 7(2), 105-114.
2. Vineis, C. J., et al. (2010). Nanostructured thermoelectrics: Big efficiency gains from small features. *Advanced Materials*, 22(36), 3970-3980.
3. Rowe, D. M. (Ed.). (2005). *Thermoelectrics handbook: Macro to nano*. CRC Press.
4. Shakouri, A. (2011). Recent developments in semiconductor thermoelectric physics and materials. *Annual Review of Materials Research*, 41, 399-431.
5. Zebarjadi, M., et al. (2012). Perspectives on thermoelectrics: From fundamentals to device applications. *Energy & Environmental Science*, 5(1), 5147-5162.
6. Kim, R. H., et al. (2007). Influence of doping on the performance of thin-film thermoelectric devices. *Journal of Applied Physics*, 101(3), 034506.
7. Chen, G. (2012). *Nanoscale energy transport and conversion: A parallel treatment of electrons, molecules, phonons, and photons*. Oxford University Press.
8. Harman, T. C., et al. (2002). Quantum dot superlattice thermoelectric materials and devices. *Science*, 297(5590), 2229-2232.
9. Bux, S. K., et al. (2009). Nanostructured bulk silicon as an effective thermoelectric material. *Advanced Functional Materials*, 19(15), 2445-2452.

10. Абдуллаев, А. К. (2023). РОЛЬ ТРАНСПОРТНОЙ ДИПЛОМАТИИ В РАЗВИТИИ ВНЕШНЕТОРГОВЫХ МАРШРУТОВ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН. Постсоветские исследования, 6(3), 315-323.
11. Abdullaev, A. K. (2023). THE INFLUENCE OF THE TRANSFORMATIONS IN UZBEKISTAN'S ECONOMY ON PERSONNEL ISSUES DURING THE GREAT PATRIOTIC WAR. Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 4: История. Регионоведение. Международные отношения, 28(3), 42-53.
12. Abdullaev, A. (2021). SOME ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF THE TRANSPORT SECTOR IN THE CENTRAL ASIAN REGION. In ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕНЕДЖМЕНТЕ: УПРАВЛЕНЧЕСКИЙ И СОЦИАЛЬНЫЙ АСПЕКТЫ (pp. 296-299).
13. Abdullaev, A. K. (2021). The improvement of transport system leads to economic growth: a myth or a reality?. International Relations: Politics, Economics, Law, 2020(1), 39-47.
14. Abdullaev, A. (2017). Transport aspect of cooperation within SCO. International Relations: Politics, Economics, Law, 2017(2), 11.
15. TOSHBOEVA, R. (2021). Реформирование природноресурсовой кадастровой системы Узбекистана: современные тенденции и пути их правовой регламентации. Юрист ахборотномаси, 2(1), 74-85.
16. Toshboeva, R., & Tukhtashev, H. (2020). Entrepreneurship and cadastral activity in the sphere of natural resources: Problems and development prospects in the digital economy. International Journal of Psychosocial Rehabilitation, 24(S1), 890-898.
17. Тошбоева, Р. С. (2020). Экологизация экономики Узбекистана: правовой аспект совершенствования инвестирования. ЖУРНАЛ ПРАВОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ,(SPECIAL 5).
18. Toshboeva, R. S. (2022). Environmental Information and Management of Ensuring Access to it (On the Example of Uzbekistan). Environment and Ecology Research, 10(2), 238-247.
19. Тошбоева, Р. (2018). Правовые вопросы выделения земельных участков для осуществления предпринимательской деятельности. Review of law sciences, (4), 73-76.