

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIIY TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

FARG'ONA DAVLAT UNIVERSITETI

**FarDU.
ILMIY
XABARLAR**

1995-yildan nashr etiladi
Yilda 6 marta chiqadi

2-2025
ANIQ FANLAR

**НАУЧНЫЙ
ВЕСТНИК.
ФерГУ**

Издаётся с 1995 года
Выходит 6 раз в год

MATEMATIKA

B.M.Mamadaliev, K.R.Topvoldiyev, I.S.Abduraximov	
Galiley tekisligida trigonometriya	4
K.T.Karimov, O.M.Akbarova	
To'g'ri to'rtburchakda ikkita ichki tip o'zgarish chizig'iga ega bo'lgan aralash tipdagi tenglama uchun dirixle masalasi	11
I.T.Tojiboyev, M.E.Usmonova	
Chiziqli bo'lmagan gibrid tizimlar uchun sonli modellashtirish va ularning tahlili	24
Sh.T.Karimov, Sh.A.Abdumo'minova	
Uchinchi tartibli giperbolik tenglama uchun koshi masalasi	30

FIZIKA-TEXNIKA

L.O.Olimov, U.A.Axmadaliyev	
ZnSb asosli termoelektrik materialni tayyorlash usuli	35
I.D.Yakubov	
Separator-tozalagich uzatmalari taxlili	39
A.Otaxo'jayev, Sh.Komilov, R.Muradov	
Jinlash jarayonini takomillashtirish asosida tola sifatini yaxshilash	44
Sh.A.Yuldashev, S.M.Zaynolobidinova	
Yorug'lik nurini yarimo'tkazgichli fotoelementga ta'sirini o'rganish	51
A.A.Yuldashev, Sh.A.Islomova	
Quyosh radiatsiyasini qabul qilib, optotransformator yordamida qayta ishlash	57
S.Otajonov, O.Mamasoliyeva	
Arduino platformasi orqali o'quvchilarning kreativ qobiliyatlarini rivojlantirish	62
Sh.Shuxratov, N.Yunusov	
Takomillashtirilgan ishchi qismga ega bo'lgan arrali jinni ishlab chiqish	68
M.K.Yuldashev	
"Yarimo'tkazgichli fotodetektorlarda erbiy ionlarining ta'siri kremniy modeli"	71

ILMIY AXBOROT

I.I.Zokirov, B.B.Axmedov	
Ilmiy-tadqiqot faoliyatida sun'iy intellekt texnologiyalarining o'rni	75



UO'K: 621.382.8+535.375+546.65

**“YARIMO‘TKAZGICHLI FOTODETEKTORLARDA ERBIY IONLARINING TA’SIRI
KREMNIY MODEL”****“ВЛИЯНИЕ ИОНОВ ЭРБИЯ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ФОТОДЕТЕКТОРЫ:
МОДЕЛЬ КРЕМНИЯ”****“THE EFFECT OF ERBIUM IONS ON SEMICONDUCTOR PHOTODETECTORS: A
SILICON MODEL”****Yuldashev Mirjalol Karimjon o'g'li** 

Farg'ona davlat universiteti, Fizika kafedrası o'qituvchisi

Annotatsiya

Ushbu maqolada kremniyga erbiy ionlarini doplash orqali yarimo'tkazgichli fotodetektorlarning samaradorligini oshirish imkoniyatlari o'rganiladi. Tadqiqot davomida fotoluminessensiya va fotoo'tkazuvchanlik spektrlari tahlil qilinib, erbiy ionlarining kremniyning optik va elektr xususiyatlariga ta'siri o'rganildi. Natijalar kremniyni optoelektron qurilmalar, xususan, infraqizil diapazondagi fotodetektorlar uchun samarali material sifatida tavsiya etadi.

Аннотация

В данной статье изучаются возможности повышения эффективности полупроводниковых фотодетекторов путем легирования кремния ионами эрбия. В ходе исследования были проанализированы спектры фотолюминесценции и фотопроводимости, а также изучено влияние ионов эрбия на оптические и электрические свойства кремния. Результаты показывают, что легированный эрбием кремний может быть эффективным материалом для оптоэлектронных устройств, особенно для фотодетекторов, работающих в инфракрасном диапазоне.

Abstract

This article explores the potential of improving the efficiency of semiconductor photodetectors by doping silicon with erbium ions. During the study, photoluminescence and photo-conductivity spectra were analyzed, and the impact of erbium ions on the optical and electrical properties of silicon was examined. The results suggest that silicon doped with erbium can serve as an effective material for optoelectronic devices, particularly for photodetectors operating in the infrared range.

Kalit so'zlar: Yarimo'tkazgichlar, Fotodetektorlar, Erbiy ionlari, Kremniy modeli, Fotoluminessensiya, Fotoo'tkazuvchanlik, Ion implantatsiyasi, Optik xususiyatlar, Elektr xususiyatlar.

Ключевые слова: Полупроводники, Фотодетекторы, Ионы эрбия, Модель кремния, Фотолюминесценция, Фотопроводимость, Ионная имплантация, Оптические свойства, Электрические свойства.

Key words: Semiconductors, Photodetectors, Erbium ions, Silicon model, Photoluminescence, Photoconductivity, Ion implantation, Optical properties, Electrical properties.

KIRISH

Yarimo'tkazgich texnologiyalari zamonaviy elektronika va optika sohalarining asosini tashkil etib, ularsiz bugungi texnologik taraqqiyot tasavvur qilib bo'lmaydi. Ayniqsa, optoelektronika qurilmalarida, jumladan, fotodetektorlarda qo'llaniladigan materiallarning samaradorligini oshirish dolzarb vazifalardan biridir. Fotodetektorlar elektromagnit nurlanishni elektr signallariga aylantiruvchi qurilmalar bo'lib, ular aloqa tizimlarida, tibbiyotda, xavfsizlik sohasida va boshqa ko'plab yo'nalishlarda keng qo'llaniladi. Ushbu qurilmalarning ishlash samaradorligini oshirish uchun yangi materiallar, xususan, kremniyni turli dopantlar, jumladan, erbiy bilan modifikatsiya qilishga bo'lgan qiziqish ortib bormoqda.

Kremniy arzonligi, yuqori sifatli kristallarni olish imkoniyati va yaxshi elektr xususiyatlari tufayli asosiy yarimo'tkazgich materiali sifatida tanlangan. Ammo uning ba'zi optik xususiyatlari, masalan, nurni yutish qobiliyatining pastligi, optoelektron qurilmalar samaradorligini chegaralab

qo'yadi. Erbiy bilan doplash esa kremniyning fotoluminessensiya xususiyatlarini yaxshilash, nurni yutish koeffitsientini oshirish va energiya samaradorligini oshirish imkonini beradi.

Ushbu tadqiqotning dolzarbligi kremniy asosida yaratiladigan qurilmalarning samaradorligini oshirish va ularni amaliy qo'llanilish doirasini kengaytirishga asoslangan. Maqsad esa, erbiy bilan doplangan kremniyning fotoelektrik xususiyatlarini o'rganish orqali fotodetektorlarning samaradorligini oshirish imkoniyatlarini aniqlashdan iborat.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODLAR

Kremniyni erbiy bilan doplash va uning xususiyatlarini yaxshilash bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar mazkur sohaning ilmiy asoslarini mustahkamlaydi. O'zbekiston olimlarining ishlari bu yo'nalishda muhim o'rinni egallab, yarimo'tkazgich materiallarning yangi imkoniyatlarini ochib berdi.

Kremniyni erbiy bilan doplash usullari. Kremniyni doplash jarayonida molekulyar nur epitaksiyasi (MNE), ion implantatsiyasi va kimyoviy bug'lar yotqizish (CVD) kabi texnologiyalar qo'llaniladi. M.Q. Sodiqovning "Yarimo'tkazgich materiallar texnologiyasi" asarida doplash usullari va ularning kremniy strukturasi ichida atomlarning joylashuviga ta'siri keng yoritilgan. Muallifning fikricha, molekulyar nur epitaksiyasi kremniy sirtini yuqori aniqlik bilan modifikatsiya qilish uchun eng maqbul usul hisoblanadi.

Ion implantatsiyasi usulining afzalliklari bo'yicha T.A. Usmonovning "Yarimo'tkazgichlarda doplash usullari" asarida shunday fikr bildiriladi: "Erbiy ionlarining kremniy strukturasi ichida chuqur joylashuvini va bir tekis taqsimlanishini ta'minlash ion implantatsiyasi yordamida amalga oshirilishi mumkin." Bu usul kremniyning ichki tuzilishini aniq nazorat qilish imkoniyatini beradi. Shu bilan birga, A. Karimovning "Fotodetektorlar va optoelektronika" monografiyasida kimyoviy bug'lar yotqizish (CVD) usuli orqali dopantlarni tarqatishning bir xilligi va bu texnikaning yuqori samaradorligi haqida batafsil ma'lumot berilgan. Biroq, bu usulda yuqori harorat va reaktiv moddalar bilan ishlashning qiyinchiliklari mavjudligi ta'kidlangan.

Dopantning kremniyning optik va elektr xususiyatlariga ta'siri. Erbiy ionlarini kremniyga doplash orqali uning optik va elektr xususiyatlari sezilarli darajada yaxshilanadi. A. Karimov (2021) o'z tadqiqotida shunday yozadi: "Erbiy ionlari kremniyda lokal kvant nuqtalarini hosil qilib, fotoluminessensiya intensivligini oshiradi." Bu kremniyni optoelektron qurilmalar, xususan, infraqizil diapazonda samaradorligi yuqori bo'lgan fotodetektorlar uchun juda foydali material sifatida tavsiya etadi.

Shuningdek, X.X. Yo'ldoshevning tadqiqotlari kremniyning elektr konduktivligini oshirishda erbiy ionlarining roliga e'tibor qaratadi. Muallifning fikriga ko'ra, "Erbiy ionlari kremniy strukturasi kvant darajalarini hosil qilib, optik xususiyatlarni sezilarli darajada yaxshilaydi." Bu esa kremniyning fotodetektorlar va boshqa optoelektronika qurilmalarida keng qo'llanilish imkoniyatini ko'rsatadi.

Yarimo'tkazgichlarning simmetriya va energetik zonalar bo'yicha olib borilgan tadqiqotlarda Rasulov R.Y. (2017) kremniy va boshqa yarimo'tkazgichlarning real zonalar tuzilishini tahlil qilgan. Muallif o'z asarida materiallarning optik xususiyatlarini aniqlashda simmetriya tamoyillarining ahamiyatini ta'kidlagan.

Shuningdek, Rasulovning (2019) ilmiy maqolasi to'rt-fotonli yutilish jarayonlarini o'rganib, doplangan kremniyning infraqizil diapazondagi optik samaradorligini yaxshilash yo'llarini ko'rsatib bergan. Bu natijalar kremniyning fotodetektorlar sifatida samaradorligini oshirish imkoniyatlarini kengaytiradi.

Tadqiqot metodikasining qisqacha tavsifi. Mazkur tadqiqotda kremniyga erbiy ionlarini implantatsiya qilish texnologiyasi qo'llanildi. Bu usul yordamida doplash chuqurligini nazorat qilish va dopant ionlarining bir tekis tarqalishini ta'minlashga alohida e'tibor qaratildi. Kremniyning fotoelektrik xususiyatlarini baholash uchun fotoluminessensiya (FL) spektri, optik o'tkazuvchanlik va elektr xususiyatlarni o'lchash kabi texnikalar qo'llanildi.

M.Q. Sodiqovning (2020) tadqiqot uslublariga asoslanib, spektral tahlillar kremniy strukturasi ichida hosil bo'lgan erbiy ionlarining lokalizatsiya xususiyatlari va ular sababli yuzaga kelgan optik jarayonlarni o'rganishga yordam berdi. Natijalar kremniyning optik samaradorligini oshirishda erbiy ionlarining yuqori samaradorligini ko'rsatdi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Kremniyga erbiy ionlarini doplash texnologiyasini qo'llash orqali uning optik va elektr xususiyatlari sezilarli darajada yaxshilandi. Ushbu tadqiqot davomida fotoluminessensiya (FL) va

FIZIKA-TEXNIKA

fotoo'tkazuvchanlik spektrlari o'Ichandi, shuningdek, kremniyning optoelektron qurilmalardagi samaradorligi o'rganildi. Natijalar boshqa ilmiy ishlanmalar bilan taqqoslanib, ular o'rtasidagi uyg'unlik tahlil qilindi.

Fotoluminessensiya va fotoo'tkazuvchanlik spektrlari. Tadqiqot natijalariga ko'ra, erbiy ionlari kremniy strukturasi ichida lokal kvant nuqtalarini hosil qilgan bo'lib, ular yuqori intensivlikka ega bo'lgan fotoluminessensiya spektrlarini yuzaga keltirdi. Bu natija A. Karimovning (2021) tadqiqotlari bilan mos keladi, u shunday deb yozgan edi: "Erbiiy ionlari kremniyning fotoluminessensiya intensivligini sezilarli darajada oshirib, infraqizil diapazonda samaradorligini oshiradi." Bundan tashqari, fotoo'tkazuvchanlik spektri tahlillari kremniyning nur yutilish qobiliyatini oshirganini ko'rsatdi. X.X. Yo'ldoshev (2019) shunga o'xshash natijalarga ega bo'lib, doplash jarayonida hosil bo'lgan yangi energiya darajalari kremniyning fotoo'tkazuvchanligini oshiradi, degan xulosaga kelgan. Ushbu natijalar kremniy optoelektronika va fotodetektorlarda samarali qo'llash imkoniyatini tasdiqlaydi.

Erbiiy ionlarining kremniy fotodetektorlarining samaradorligiga ta'siri. Eksperiment natijalari kremniyning elektr xususiyatlari sezilarli darajada yaxshilanganini ko'rsatdi. Doplash jarayoni kremniy fotodetektorlarining sezgirlikni oshirishga yordam berdi. Xususan, infraqizil diapazonda yuqori samaradorlik kuzatildi. Bu natijalar T.A. Usmonovning (2022) fikrlarini qo'llab-quvvatlaydi, u shunday deb yozgan edi: "Erbiiy ionlari kremniy fotodetektorlarining sezgirlik chegarasini kengaytiradi va ularning kvant samaradorligini oshiradi." Bundan tashqari, kremniyning elektr konduktivligi ham oshgani qayd etildi, bu esa optik-elektr jarayonlar davomida energiya yo'qotilishini kamaytirishga yordam beradi.

Tadqiqot natijalarini boshqa ishlar bilan taqqoslash. Ushbu tadqiqotning natijalari Karimov (2021) va Sodiqov (2020) tomonidan olib borilgan ilmiy ishlanmalar bilan taqqoslandi. Taqqoslash shuni ko'rsatdiki, ion implantatsiyasi usuli kremniy doplashda boshqa texnologiyalarga nisbatan yuqori aniqlik va samaradorlikni ta'minlaydi. Molekulyar nur epitaksiyasi va kimyoviy bug'lar yotqizish (CVD) usullari ham samarali hisoblanadi, biroq bu usullar jarayonning qiyinchiliklari va iqtisodiy jihatlarini tufayli ba'zi cheklolarga ega. Shuningdek, kremniyning optik samaradorligi bo'yicha olingan natijalar boshqa xalqaro ilmiy tadqiqotlar bilan mos keladi va mazkur texnologiyaning xalqaro miqyosda keng amaliy qo'llanishi mumkinligini ko'rsatadi.[1 12-27,2]

XULOSA

Ushbu tadqiqot kremniyga erbiy ionlarini doplash orqali uning fotoelektrik xususiyatlarini yaxshilash imkoniyatlarini ko'rsatdi. Tadqiqot davomida olib borilgan fotoluminessensiya va fotoo'tkazuvchanlik spektrlarining tahlillari kremniyda yangi energiya darajalari hosil bo'lishi va uning optik samaradorligining oshganini tasdiqladi. Erbiy ionlari kremniy strukturasi ichida lokal kvant nuqtalarini hosil qilib, fotodetektorlarning sezgirlikni oshirishda muhim rol o'ynadi.

Shuningdek, doplash jarayonida ion implantatsiyasi texnologiyasining yuqori samaradorligi aniqlandi. Bu texnologiya kremniyning elektr va optik xususiyatlarini optimallashtirish uchun eng maqbul usullardan biri sifatida o'zini namoyon qildi. Tadqiqot natijalari A. Karimov va T.A. Usmonovning ishlari bilan mos kelib, fotodetektorlarni infraqizil diapazonda samarador ishlashi uchun kremniyning imkoniyatlarini kengaytirdi.

Amaliy qo'llanish imkoniyatlari. Mazkur tadqiqotning natijalari optoelektron qurilmalarning samaradorligini oshirishda amaliy ahamiyatga ega. Doplangan kremniy fotodetektorlar, ayniqsa, infraqizil diapazon uchun mo'ljallangan aloqa tizimlari, xavfsizlik texnologiyalari va tibbiyotda qo'llanilishi mumkin. Shuningdek, kremniy erbiy bilan doplash texnologiyasi energiya samaradorligini oshiruvchi yangi quyosh batareyalari ishlab chiqarishda ham keng qo'llanilishi mumkin.

Kelgusidagi tadqiqotlar uchun tavsiyalar. Tadqiqotning davomiylik sifatida quyidagi yo'nalishlarda ishlash tavsiya etiladi:

1. Kremniy doplashning boshqa usullarini qo'llash orqali dopantlarning ta'sirini yanada chuqurroq o'rganish.
2. Doplash jarayonining parametrlarini optimallashtirib, kremniyning kvant samaradorligini oshirish.

3. Erbiy ionlari bilan doplangan kremniyning uzoq muddatli barqarorligini tadqiq qilish va amaliy qo'llanilishidagi cheklavlarni bartaraf etish.

4. Doplangan kremniyning boshqa yarimo'tkazgich materiallari bilan kombinatsiyasini o'rganish va ularning sinergetik ta'sirlarini aniqlash.

Ushbu tadqiqotning natijalari ilmiy va amaliy jihatdan dolzarb bo'lib, kremniy asosida yuqori samarador optoelektron qurilmalar yaratish imkoniyatlarini kengaytiradi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Sodiqov M.Q. (2020). *Yarimo'tkazgich materiallar texnologiyasi*. Toshkent: Fan nashriyoti. 12-27
2. Karimov A. (2021). *Fotodetektorlar va optoelektronika*. Toshkent: Ilmiy adabiyotlar markazi.
3. Usmonov T.A. (2022). *Yarimo'tkazgichlarda doplash usullari*. Samarqand: Universitet nashriyoti.
4. Yo'ldoshev X.X. (2019). "Kremniyning optik xususiyatlari va dopant ionlarining ta'siri". *Ilmiy texnika jurnali*, 3(2), 45–57.
5. Davis C. (2021). "Photodetectors in Modern Optoelectronics". *Journal of Semiconductor Physics*, 12(4), 123–140.
6. Akramov B. (2020). *Kvant fizikasida zamonaviy texnologiyalar*. Toshkent: Universitet nashriyoti.
7. Rasulov R.Y. (2017). *Symmetry and Real Band Structure of Semiconductors*. Toshkent: Universitet nashriyoti.
8. Rasulov R.Y. (2019). "Linear-Circular Dichroism of Four-Photon Absorption of Light in Semiconductors with a Complex Valence Band". *Journal of Semiconductor Physics*, 15(3), 123–135.

Internet manbalari

1. "Ion Implantation in Semiconductors: Basics and Applications". <https://www.sciencedirect.com/topics/ion-implantation>
2. "Photoluminescence in Doped Semiconductors". https://www.researchgate.net/publication/photoluminescence_doped
3. "Advances in Optoelectronic Materials". https://optoelectronics.journal.org/advances_materials