

**KREMNIY MONOKRISTALIDA NANOBYEKTAR HOSIL BO'LISHINING
ION-IMPLANTATSIYA MIQDORIGA BOG'LIQLIGINI O'RGANISH**

Arziqulov E.U¹

Salohiddinov F¹

Nurmaxammadov U.O²

¹-Sh.Rashidov nomidagi SamDU, Muhandislik fizikasi institute.

Qattiq jismlar fizikasi kafedrası professor o'qituvchilari

²-magistr, "O'zMMI" DM Samarqand filiali mutaxassisi.

uchqunnurmuhammedov@gmail.com Tel.: 97-912-35-58.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15247185>

Annotatsiya. Hozirgi vaqtda ion implantatsiya usuli materiallarning sirt xususiyatlarini maqsadli o'zgartirishning keng qo'llaniladigan usullaridan biridir. Ion implantatsiyasini qo'llashning asosiy sohasi yarimo'tkazgich kristallariga aralashmalarni kiritishdir. Ushbu maqolada Kremniy kristallini Bor bilan implantatsiya qilgandan keyingi strukturasining eksperimental tadqiqotlari natijalari keltirilgan. Yorug'likning kombinatsion sochilishi usulining yarimo'tkazgich kristallarining sirt tuzilishidagi buzilishlarga yuqori sezgirliigi ko'rsatilgan. Spektrometr yurug'likning kombinatsion sochilish spektroskopik metodi yoki Romanov spektroskopiyasiga asoslangan.

Kalit so'zlar: Yorug'likning kombinatsion sochilishi, Kremniy monokristalli, Romanov spektroskopiyasi, ion-implantatsiya, implantatsiya dozasi.

**ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ НАНООБЪЕКТОВ В
МОНОКРИСТАЛЛЕ КРЕМНИЯ ОТ ОБЪЕМА ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ**

Аннотация. В настоящее время ионная имплантация является одним из широко используемых способов направленного изменения поверхностных свойств материалов. Основная область применения ионной имплантации – введение примесей в полупроводниковые кристаллы. Приведены результаты экспериментальных исследований структуры кристаллов кремния после имплантации ионами бора. Показана высокая чувствительность метода Комбинаторное рассеяние света к нарушениям поверхностной структуры полупроводниковых кристаллов. Работа спектрометра основан на методе спектроскопии комбинационного рассеяния света, или романовской спектроскопии.

Ключевые слова: Рамановское рассеяние света, монокристалл кремния, спектроскопия Романова, ионная-имплантация, доза имплантации.

STUDYING THE DEPENDENCE OF THE FORMATION OF NANOOBJECTS IN SILICON SINGLE CRYSTAL ON THE AMOUNT OF ION IMPLANTATION

Abstract. At present, ion implantation is one of the widely used methods of targeted change of surface properties of materials. The main area of application of ion implantation is introduction of impurities into semiconductor crystals. The results of experimental studies of the structure of silicon crystals after implantation with boron ions are presented. High sensitivity of the Combinatorial Light Scattering method to violations of the surface structure of semiconductor crystals is shown. The spectrometer operation is based on the method of Raman spectroscopy, or Romanov spectroscopy.

Key words: Raman scattering of light, Silicon single crystal, Romanov spectroscopy, ion implantation, implantation dose.

Ion implantatsiyasi past haroratli jarayon bo'lib, uning yordamida bir elementning ionlari qattiq nishonga tezlashadi va shu bilan nishonning fizik, kimyoviy yoki elektr xususiyatlarini o'zgartiradi. Ion implantatsiyasi yarimo'tkazgichli qurilmalarni ishlab chiqarishda va metallga ishlov berishda, shuningdek materialshunoslik tadqiqotlarida qo'llaniladi.

Ionlar nishonning elementar tarkibini o'zgartirishi mumkin. Ion implantatsiyasi, shuningdek, ionlar nishonga yuqori energiya bilan ta'sir qilganda kimyoviy va fizik o'zgarishlarga olib keladi. Bor, fosfor yoki mishyak bilan yarimo'tkazgichlarni legerlash qilish ion implantatsiyasining keng tarqalgan qo'llanilishidir.

Yarimo'tkazgichga implantatsiya qilinganida, har bir legerlash atomi silliqlangandan keyin yarimo'tkazgichda zaryad tashuvchini yaratishi mumkin. Bu uning yaqinidagi yarimo'tkazgichning o'tkazuvchanligini o'zgartiradi.

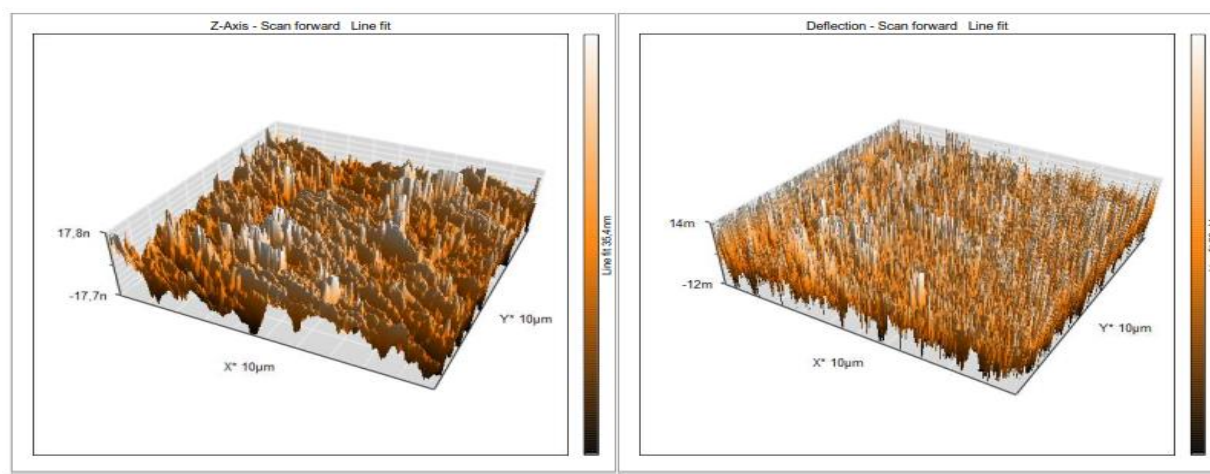
Ushbu taqdim etilayotgan ish atom kuch mikroskopi (AKM) va yorug'likning kombinatsion sochilishi (YKS) metodlariga asoslangan holda kremniy monokristallida nanoo'lchamli obyektlar hosil bo'lishi o'rganilgan. Kremniy monokristallari yuzasidagi ob'ektlarning morfologiyasini o'rganish uchun AKM usuli kontakt rejimida ko'p funktsiyali skanerlash atom kuch mikroskopi AFM Core 300 dan (3-rasm) foydalanildi.

Namunalar o'lchangan laboratoriya xonalarining harorati, nisbiy namligi va atmosfera bosimi doimiy tekshirildi. Laboratoriya xonasining harorati, nisbiy namligi va atmosfera bosimi "TROTEC DL200D" turidagi yuqori aniqlikdagi universal dataloger yordamida amalga oshirildi.

Tadqiqotlar 2024-yilning noyabr oyida Samarqand davlat universiteti qoshidagi muhandislik fizikasida institutning professor o'qituvchilari va "O'zbekiston milliy metrologiya instituti" DM Samarqand filiali mutaxassisleri ishtirokida o'tkazildi.

Kremniy namunalari yuzasining uch o'lchovli tasvirlari 1-rasmda ko'rsatilgan. 1-rasmdan ko'rinib turibdiki, har xil nano o'lchamdagi ob'ektlar sirtida aniq ajratilgan.

Namunalar yuzasida hosil bo'lgan kremniy monokristallarida nano o'lchamdagi jismlar hosil bo'lishining geometrik parametrlari aniqlanadi.



1-rasm. Kremniy namunasi yuzasining uch o'lchovli AKM tasvirlari.

Bizga ma'lumki, YKS metodi qattiq jismlarning tebranish spektrlarini o'rganishning informatsion usullaridan biri ekanligi ma'lum. Agar sirtga tushuvchi nurlanish kvantlarining energiyasi E_0 bizning tajribalarimizda yarimo'tkazgich yoki dielektrikning ta'qiqlangan zonasi kengligi E_g dan katta bo'lsa, namuna KDB-0,04 markali bir kristalli kremniy bo'lsa), unda ikkilamchi nurlanish faqat o'rganilayotgan materialning sirt qatlamida (bir necha mikron) sodir bo'ladi. Sirtida YKS turli faktorlar (harorat, kuchlanish, nurlanish) ga bog'liq.

YKS tarqalish zonasining intensivligi, joylashuvi va kengligi ularning o'lchamlari, turli kuchlanish va haroratlarda va turli nurlanishlarda qimmatli ma'lumotlarni beradi.

Tadqiqotlar "Renishaw" (Buyuk Britaniya) kompaniyasi tomonidan ishlab chiqarilgan InVia Raman Spektrometrida o'tkazildi (2-rasm). Spektrometr YKS spektroskopik metodi yoki Romanov spektroskopiyasiga asoslangan.



2-rasm. “Renishaw” (Buyuk Britaniya) kompaniyasi tomonidan ishlab chiqarilgan InVia Raman Spektrometri.



3-rasm. “AFM Core 300” turidagi atom kuch mikroskopi.

Biz KDB-004 turidagi (Bor bilan legirlangan, kovakli elektr oʻtkazuvchanlikka ega boʻlgan, nisbiy qarshiligi $0.04 \text{ Om}\cdot\text{sm}$ boʻlgan kremniy) kremniyning spektrlarini oʻrgandik.

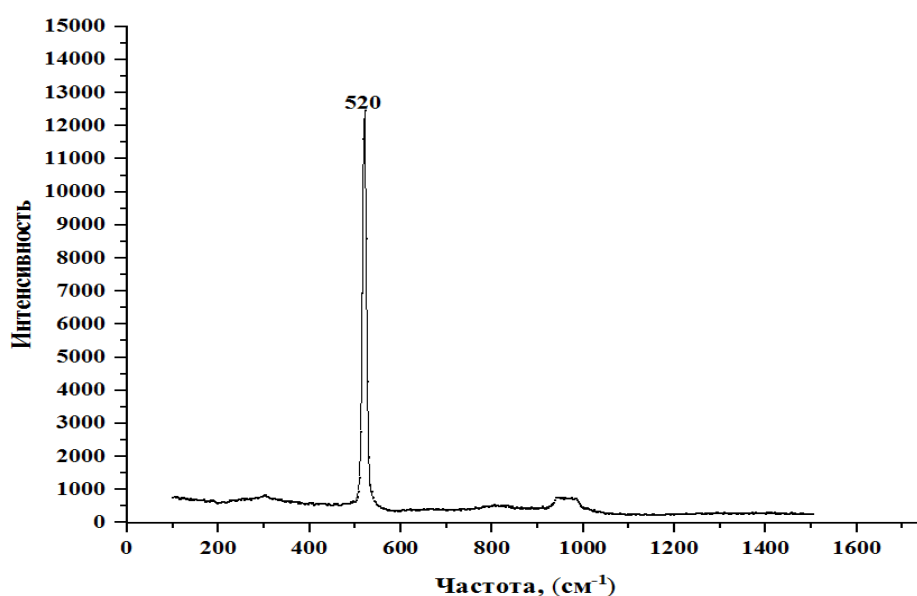
Uning kristallografik yoʻnalishi $[111]$ koʻrinishida boʻladi. Namuna dastlab $5,0 \times 8 \times 10$ mm oʻlchamda kesilgan va ishlov berilgan, keyin pasta bilan silliqilgan. Ushbu operatsiyalardan soʻng, namunalar toluolda tozalangan, demonizatsiyalangan suv oqimida yuviladi.

Oʻlchovlar xona haroratida toʻlqinlar soni $50\text{-}1000 \text{ sm}^{-1}$ oraligʻida amalga oshirildi.

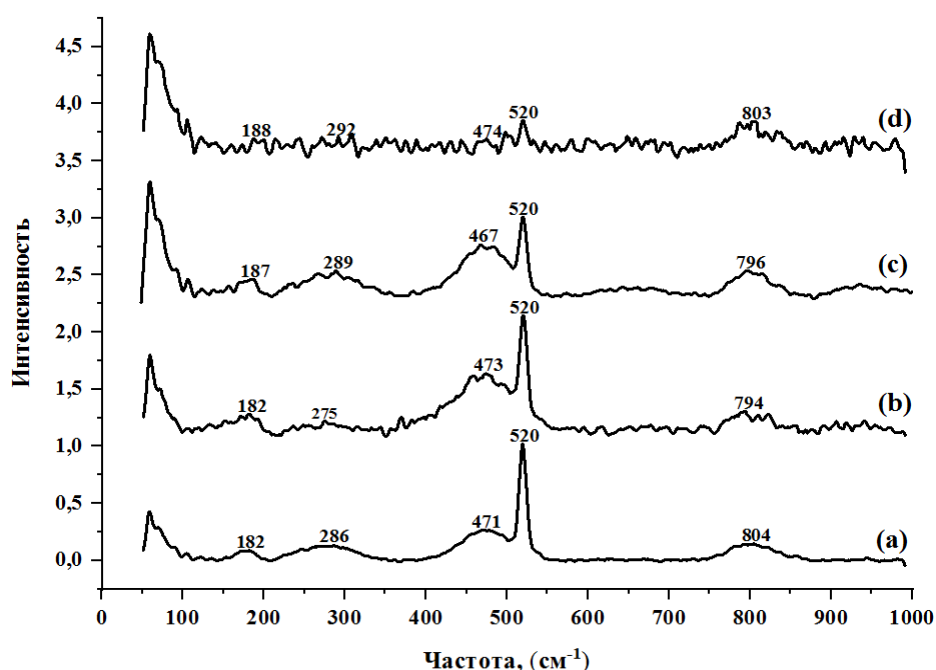
Qoʻzgʻatuvchi manba sifatida 532 nm toʻlqin uzunligi va 50 mVt nominal quvvatga ega boʻlgan Cobolt CW 532 nm DPSS lazeridan foydalanildi. Oʻlchovlar davomida 1800 shtrix/mm davriga ega boʻlgan difraksion panjara va qayd qilish uskunasi sifatida standart Renishaw CCD Camera detektori ishlatilgan.

4-rasmda oʻrganilayotgan kristallning YKS spektrlari koʻrsatilgan. Kremniy boʻyicha eksperimental maʼlumotlarning natijalari shuni koʻrsatdiki, ionlantirilmagan kremniy spektri 520 sm^{-1} chastotada tor choʻqqi va 301 sm^{-1} va 971 sm^{-1} chastotali keng choʻqqilarni oʻz ichiga oladi.

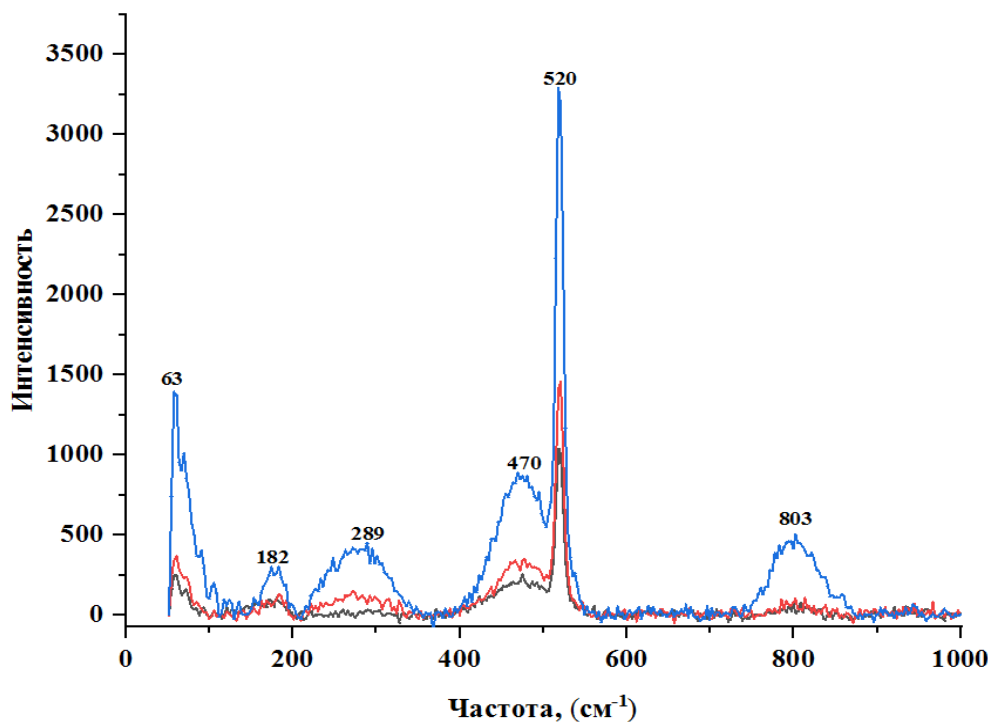
Implantatsiya dozasi $5 \cdot 10^{15}$ dan $1,0 \cdot 10^{17}$ ion/sm² gacha bo'lgan ionli implantatsiya qilingan namunalarning YKS spektrlari 5-rasmda ko'rsatilgan. 6-rasmdan ko'rinib turibdiki, dastlabki namunadan farqli o'laroq, ion-implantatsiya qilingan namunalarda YKS spektrida 63, 182, 289, 470 va 803 sm⁻¹ chastotali 5 ta yangi cho'qqilar, ulardan 4 tasi 520 sm⁻¹ ga teng markaziy cho'qqiga nisbatan past chastotalar tomon va yuqori chastotalar yo'nalishi bo'yicha joylashuvi va intensivligi implantatsiya dozasiga qarab o'zgaradi.



4-rasm. 200 mkm qalinlikdagi nanokristalli kremniyning ion-implantatsiyalanmagan holatidagi spektrlari.



5-rasm. Ion-implantatsiyalangan kremniy YKS spektrlarining implantatsiya dozasiga bog'liqligi: implantatsiya dozasi, ion/sm^2 : a – $5,0 \cdot 10^{15}$, b – $1,0 \cdot 10^{16}$, c – $5,0 \cdot 10^{16}$, d – $1,0 \cdot 10^{17}$, ionlar energiyasi 40 keV, $T = 300 \text{ K}$



6-rasm. Namunaning turli qismlarida spektr intensivligining lokal o'zgarishi.

Implantatsiya dozasi $5 \cdot 10^{15}$ dan $1,0 \cdot 10^{17} \text{ ion}/\text{sm}^2$ gacha bo'lgan ion-implantatsiya qilingan namunalarning YKS spektridagi lokal o'zgarishlar 6-rasmda ko'rsatilgan.

Rasmdan ko'rinib turibdiki, spektrdagi intensivlikning bunday o'zgarishi barcha ion implantatsiya qilingan namunalardagi nanostrukturaviy xususiyatlarni aniqlash imkonini berdi.

Fonon diapazoni holati va shakli intensivligining kuzatilgan o'zgarishi monokristalli kremniy plyonkalarining nanostrukturaviy tarkibi va tuzilishi haqida to'liq ma'lumotni o'z ichiga oladi.

REFERENCES

1. Каримуллин К. Р., Зуйков В. А., Самарцев В. В. Детектирование световых импульсов в режиме счета фотонов//Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки. 2006. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/detektirovanie-svetovyyh-impulsoy-v-rezhime-scheta-fotonov> (дата обращения: 30.08.2022).

2. Жепаров Ф.С., Львов Д.В. Нейтронные исследования конденсированных сред: Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2012. – 188 с.
3. <https://www.renishaw.com/en/invia-confocal-raman-microscope-6260>
4. Кордона М. Рассеяние света в твердых телах. М.: Мир, 1979. – 392 с.
5. Shuker R., Gammon R. Raman scattering selection-rule breaking and the density of states in amorphous materials. Phys. Rev.B. 1970. V.25, N 4. P.222-225.
6. Бродский М.Х. Комбинационное рассеяние света в аморфных полупроводниках. Рассеяние света в твердых телах. Под ред. М. Кардоны. М., "Мир", 1979. Гл.5, С. 239-289.