

**RADIATSIYAVIY NUQSONLAR BILAN LEGIRLANGAN MIKRO NOBIRJINSLI  
KREMNIY NAMUNASINI FOTOO'TKAZUVCHANLIGIGA TA'SIRI**

**Mirzarayimov Jaxongir Zokirjanovich**

IIV Namangan akademik litseyi Umumta'lim fanlari kafedrası  
boshlig'i f.-m.f.b.f.d., PhD [mirzarayimov@bk.ru](mailto:mirzarayimov@bk.ru) tel-  
998995306955

**Sulaymonov Abdurakhmon Abdurashidovich**

Fanlar akademiyasi yadro fizika institute Yadro energetikasi va  
yadroviy texnologiyalar laboratoriyasi katta ilmiy xodimi Texnika  
fanlari nomzodi [sulaymonov1882@gmail.com](mailto:sulaymonov1882@gmail.com) tel-998974099226

**Anatatsiya;** kremniy namunasida radiatsiyaviy nuqsonlarni hosil qilib arzon va tashqi tasirlarga sezgir termo va foto datchiklarni yaratish yarimo'tkazgichlar fizikasi va texnologiyasining dolzarb vazifasi hisoblanadi.

Ushbu ishda Xoll koeffitsienti usuli bilan namunalarning solishtirma qarshiligi, harakatchanligi, kontsentratsiyasi va statsionar fotoo'tkazuvchanlik metodi bilan zaryad tashuvchilarning yashash vaqti aniqlangan.

Ushbu ishda kompensirlangan monokristall kremniy materialni olish radiatsiyaviy nurlantirish texnologiyasi usulidan foydalaniladi yaniy kremniy monokristalini tez neytronlar bilan nurlantirish orqali, bu namunaning fotoelektrik parametrlarini maqsadli o'zgartirishga imkon beradi.

Texnologik maqsadlarda nurlantirish usullaridan foydalanish, bir tomondan, hosil bo'lgan nuqsonlar tarkibini boshqarishni va boshqa tomondan, radiatsiyaviy texnologik jarayonini optimallashtirish yo'llarini izlashni o'z ichiga oladi.

**Kalit so'zlar;** fotodatchik, Fermi satx, p-n-tipli, solishtirma qarshilik, patensial to'siq, chuqur energetik satx, radiatsion nuqson, o'tkazuvchanlik zona.

**ВЛИЯНИЕ НА ФОТОПРОВОДИМОСТЬ ОБРАЗЦА ЛЕГИРОВАННОГО  
МИКРОПОРИСТОГО КРЕМНИЯ С РАДИАЦИОННЫМИ ДЕФЕКТАМИ**

**Анатасия;** Создание дешевых и чувствительных термо- и фотосенсоров путем создания радиационных дефектов в образце кремния является актуальной задачей физики и техники полупроводников.

В данной работе относительное сопротивление, подвижность, концентрация образцов определялись методом коэффициента Холла, а время пребывания носителей заряда - методом стационарной фотопроводимости.

В данной работе использован метод получения компенсированного монокристаллического кремниевого материала методом радиационной технологии облучения, то есть облучением монокристалла кремния быстрыми нейтронами, что позволяет целенаправленно изменять фотоэлектрические параметры образца.

Использование методов облучения в технологических целях включает, с одной стороны, контроль состава образующихся дефектов, а с другой - поиск путей оптимизации радиационного технологического процесса.

**Ключевые слова;** фотосенсор, уровень Ферми, p-n-тип, удельное сопротивление, потенциальный барьер, глубокий энергетический уровень, радиационный дефект, зона проводимости.

EFFECT ON PHOTOCONDUCTIVITY OF A SAMPLE OF DOPED MICROPOROUS SILICON WITH RADIATION DEFECTS

**Anastasia;** The creation of cheap and sensitive thermo- and photosensors by creating radiation defects in a silicon sample is an urgent task in semiconductor physics and engineering.

In this work, the relative resistance, mobility, and concentration of samples were determined by the Hall coefficient method, and the residence time of charge carriers was determined by the stationary photoconductivity method.

In this work, a method was used to obtain a compensated monocrystalline silicon material using radiation irradiation technology, that is, by irradiating a silicon single crystal with fast neutrons, which makes it possible to purposefully change the photovoltaic parameters of the sample.

The use of irradiation methods for technological purposes includes, on the one hand, the control of the composition of the resulting defects, and, on the other, the search for ways to optimize the radiation technological process.

**Keywords;** photosensor, Fermi level, p-n type, resistivity, potential barrier, deep energy level, radiation defect, conduction band.

So'nggi paytlarda fotodatchiklar, termo va boshqa datchiklarni olish uchun chuqur energetik satxlarini hosil qiladigan mikronobirjisli kompensirlangan kremniydan foydalanish taklif qilinmoqda [1-6]. Shu bilan birga, datchiklarni termal diffuziya usulida ishlab chiqarish uchun bir xil fotoelektrik va elektrofizik xususiyatlarga ega bo'lgan katta miqdordagi kompensirlangan materialni olish qiyin. Birinchidan, kremniyga kompensatsionar arashmalarning kichik diffuziya koeffitsiyenti tufayli yuqori haroratli diffuziyada qabul qiluvchi (yoki donor) aralashmani kiritish orqali kompensirlashning kerakli aniqligini ta'minlash juda qiyin. Ikkinchidan, chuqur energetik satx beruvchi kompensatsiyalangan kremniy ishlabchiqarish texnologiyasining murakkabligi tufayli, yuqori haroratli diffuziyadan keyin namunadagi aralashmalarning notekis taqsimlanishi va diffuziyadan keyingi sovutish tezlikka sezilarli darajada bog'liqlik tufaylidir.

Ilmiy izlanishlarga ko'ra [1-6], zamonaviy usullar yordamida amalga oshirildi Neytron nurlangan p-tipli kremniyda, chuqur energetik satxlarni yuqori yarmida akseptor markazli nuqsonlar aniqlangan:  $E_s-0,18$  eV vakansiya + kislorod kompleksli (a-markaz);  $E_s-0,40$  eV vakansiya + donor atomi kompleksli (e-markaz);  $E_s-0,24$ ,  $E_s-0,39$ ,  $E_s-0,54$  eV divakansiyaga tegishli satxlarni ko'rilgan. Asosan, bu nuqsonli markazlar nurlangan n-p-tipli kremniyning elektrofizik xususiyatlarini o'zgartirish uchun xizmat qiladi.

Ma'lumki, kremniyni nurlantirib qayta ishlov berish jarayonida namuna to'la hajmidagi radiatsiyaviy nuqsonlari hosil bo'ladi va kristalning kompensatsiya darajasi manba materialidagi zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi va nurlanish oqimi bilan belgilanadi, shu bilan birga asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi oshishi bilan neytronlarning nurlanish vaqti ham oshadi (neytron oqimining zichligi doimiydir).

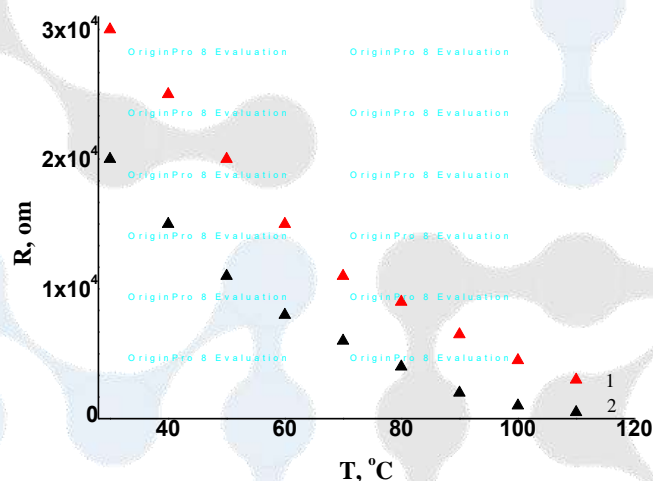
Boshqa tomondan, namunani neytronlar bilan nurlantirishda kiritmalarni faolligini kamaytirish uchun asosiy zaryad tashuvchilarning minimal konsentratsiyasiga ega bo'lgan monokristalli kremniydan foydalanish kerak. Shu munosabat bilan, 70 - 150  $\text{om}\cdot\text{sm}$  o'ziga xos qarshilikka ega bo'lgan p-n-tipli monokristalli kremniy ishlatilgan, namunada Fermi satxi xona haroratida  $E_s-(0,32 \div 0,36)$  eV o'tkazuvchanlik zonasining pastki qismidan joylashadi.

Tanlab olingan namunalarning o'lchamlari  $5 \times 5 \times 0,5$   $\text{mm}^3$  ni tashkil qiladi va  $n^+-n-n^+$  strukturalar esa 1050 °S haroratda 120 min. vaqt davomida fosforni termodiffuziya qilish usuli bilan hosil qilingan.

Kompensatsiyalangan namunalar foto elektrik parametrlari –  $R_t/R_s$  nisbatning o'zgarishi asosida nazorat qilingan. Bu yerda  $R_t$ - yoritilmagandagi qarshilik (birligi Om),  $R_s$ - yoritilgandagi qarshilik (birligi Om). Yorug'lik va yoritilganlik qarshiliklar  $E = 200$  lyuks energiyada o'lchandi.

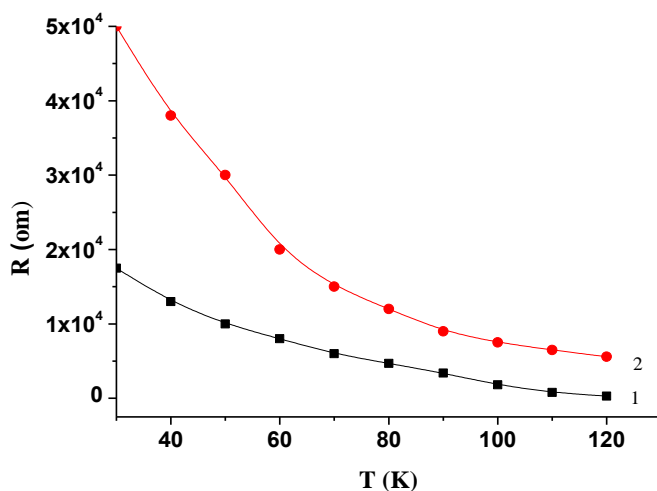
Shunday qilib, n-tipli oldindan neytron bilan nurlantirilgan, mis va iridiy kiritmasi bilan legirlangan kremniy asosidagi namunalari o'rganish natijasida 305÷600K harorat oralig'ida ishlaydigan bir xil xususiyatlarga ega issiqlikni sezuvchi  $n^+-n-n^+$  strukturali foto va termo datchiklarni yaratish imkoniyati aniqlandi

Tayyorlangan namunalar ( $n^+-n-n^+$  strukturali) kvarts ampulasiga joylashtirilgan va kavsharlangan, yadroreaktori kanalida neytron nurlanishida (tez neytronlarning intensivligida  $\phi = (3\div4) \cdot 10^{12} \text{sm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) asosiy zaryad tashuvchilarni akseptor nurlanish nuqsonlari bilan to'liq qoplangunga qadar nurlantiriladi. Qorong'u qarshilik 303 dan 373 K gacha bo'lgan harorat bog'liqligini o'lchash orqali nazorat qilingan.

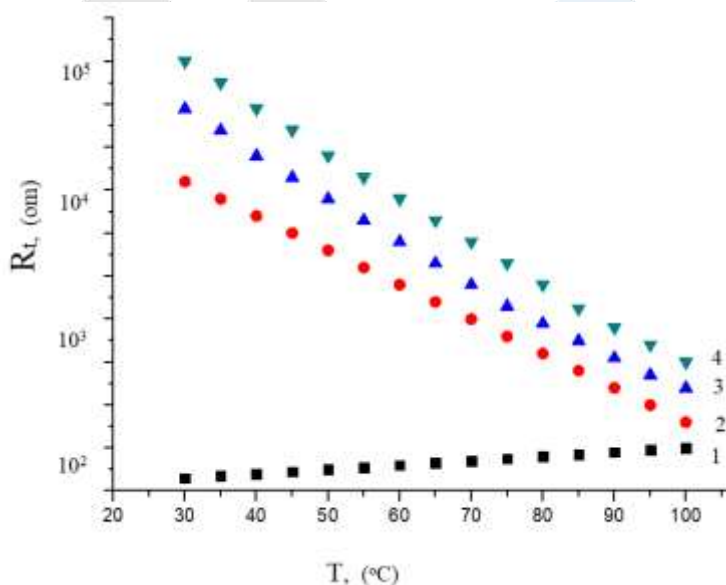


**1-rasm. Mis atomi bilan legirlangan kremniydan tayyorlangan fotorezistorlar qarshiligining ( $n^+-n-n^+$ strukturalar) haroratga bog'lanishi grafi: 1- qorong'ida; 2 - yorug'likda**

1-rasmdan ko'rinib turibdiki,  $R_t$  qiymatlari ta'sir qilish vaqti  $t=60$  s dan keyin amalda maksimal qiymatiga etadi. Shuni ta'kidlash kerakki, tez neytronlarning oqim tezligi  $2 \cdot 10^{14} \text{sm}^{-2}$  bo'lganda, solishtirma qarshilik (100÷170) Om·sm bo'lgan rezistorlarning  $R_t$  qiymatlari solishtiriladi (2-rasm). Ushbu namunalarda Fermi satxi  $E_c-0,50$  eV dan pastda joylashgan va hosil bo'lgan  $E_c-0,18$  va  $E_c-0,39$  eV satxlari to'liq ionlangan bo'ladi, chunki Fermi satxining tarmoqli bo'shlig'ining o'rtasiga siljishi tufayli tez neytronlarning oqimi kuchayadi. Fosfor atomlarining konsentratsiyasi + vakansiya (E-markaz) bilan bog'liq bo'lgan  $E_c-0,40$  eV satx konsentratsiyasi nurlanishdan keyin ham kichik qiymatga ega ( $< 10^{12} \text{sm}^{-3}$ ), ya'ni kremniyning elektr xususiyatlariga ta'sir qilmaydi. Shuning uchun, fosforning dastlabki donor legirlashdan asosan  $E_c-0,54$  eV akseptor divakansiya sohalarini ishtirok etadi, deb taxmin qilish mumkin.



2-расм. Иридий атоми билан легирланган кремнийдан тайёрланган фоторезисторлар қаршилигининг ( $n^+-n-n^+$  структуралар) ҳароратга боғланиши



3-rasm.  $n^+-n-n^+$  - strukturali namunani elektr qarshiligining ( $\rho_0 = 170 \text{ Om}\cdot\text{sm}$ ) tez neytron oqimlari bilan nurlanishdan oldingisi 1; va keyingisi ( $\text{sm}^{-2}$ ): 2 –  $5 \cdot 10^{13}$ ; 3 –  $8 \cdot 10^{13}$ ; 4 –  $2 \cdot 10^{14}$  haroratga qarab o'zgarishi

Nurlangan namunaning fotoelektrik parametrlarini barqarorlashtirish uchun 20 daqiqa davomida 493 K haroratda termo diffuziya amalga oshirildi.  $R_t/R_s$  ni tavlaniish haroratiga nisbatan o'lchash natijalari 1-jadvalda keltirilgan °C

1a-jadval.

Mis atomi bilan legirlangan namunalarining termik ishlov berilgan  $R_t/R_s$  o'zgarishi natijalarini termik qizdirishga bog'liqligi keltirilgan

	$R_t/R_s$ nisbiy o'zgarish ko'pligi			
Termik toblanishdan oldin	1,2	1,1	1,12	1,3
Termik toblanishdan keyin	11,2	9,7	11,1	12

# THE MULTIDISCIPLINARY JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

## VOLUME-5, ISSUE-6

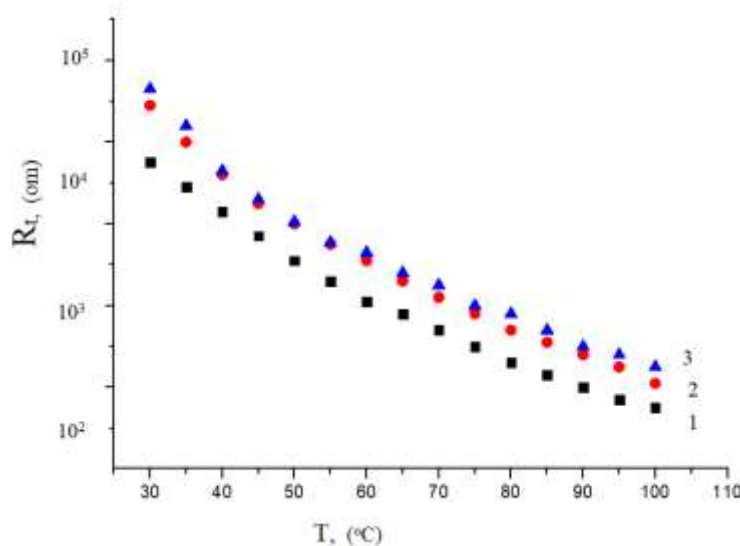
Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, termik ishlov berilgandan so‘ng elektr qarshilikning o‘zgarishi karrali o‘sadi va mis bilan legirlangan namunalarda 10 martagacha o‘zgarishni ortishi kuzatiladi.

1b-jadval.

Iridiy atomi bilan legirlangan namunalarning termik ishlov berilgan  $R_t/R_s$  o‘zgarishi natijalarini termik qizdirishga bog‘liqligi keltirilgan

	$R_t/R_s$ nisbiy o‘zgarish ko‘pligi			
	Termik toblanishdan oldin	2	4.5	9.5
Termik toblanishdan keyin	80.5	120.5	160.2	145.6

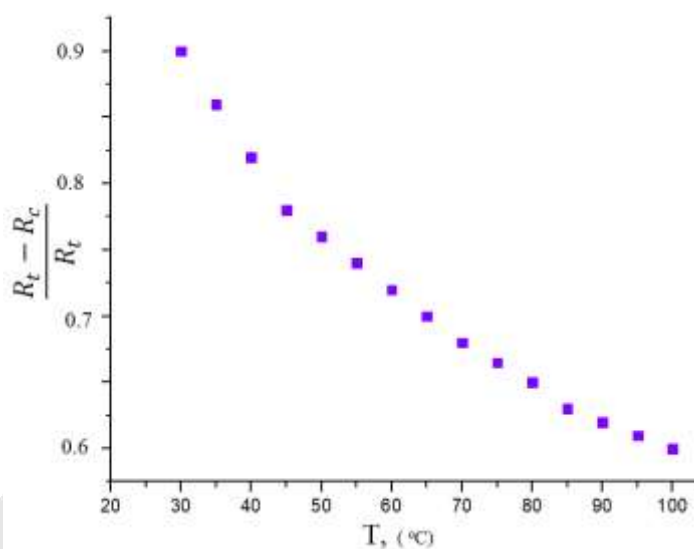
Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, termik ishlov berilgandan so‘ng elektr qarshilikning o‘zgarishi karrali o‘sadi va iridiy bilan legirlangan namunalarda 40 martagacha o‘zgarishning ortishi kuzatiladi.



**4-rasm. Boshlang‘ich solishtirma qarshiligi har xil  $\rho_0=1-70$ ; 2-100; 3-170 (Om·sm) bo‘lgan n+-n-n+- strukturali kremniy uchun nurlangan keyingi elektr qarshiligining haroratga bog‘liqligi:**

4 –rasmda n+-n-n+- strukturali kremniy tez neytronlar oqimida ( $\sim 2 \cdot 10^{14} \text{sm}^{-2}$ ) nurlantirib solishtirma qarshiligi ( $\rho_0=170 \text{ Om} \cdot \text{sm}$  asosida olingan)  $E \sim 200$  lyuks energiyaga ega namunalarni haroratga qarab yoritilishida elektr qarshiligining nisbiy o‘zgarishi ko‘rsatilgan. Olingan bog‘liqlik quyidagi iboralar bilan tavsiflanadi:

$$(R_T - R_C) / R_T = \exp(-670 / T) \quad (1)$$



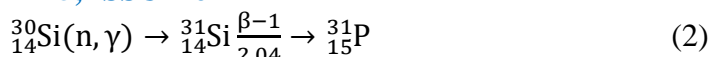
**5-rasm. Temperatura o'zgarishiga qarab  $n^+ - n - n^+$  - strukturali fotorezistorlarning elektr qarshiligini nisbiy o'zgarishi  $E = 200$  Ik**

Radiatsiya bilan kompensirlangan kremniyni o'rganish natijasida  $303 \div 373$  K harorat oralig'ida ishlaydigan bir xil xususiyatlarga ega foto va termaldatchiklarni yaratish imkoniyati aniqlandi.

Radiatsiyaviy nuqsonlar bilan kompensirlangan  $\sim 373$  K haroratgacha ishlaydi kremniy asosida olingan sifatli fotorezistor, foto va termaldatchiklar olish imkoniyatini ko'rish mumkin (5-rasm).

Ma'lumki, kremniyda termik va radiatsiyon nuqsonlarning to'planishi ko'p hollarda yarimo'tkazgichli namunalarda elektrofizik parametrlarni o'zgarishiga olib keladi. Agar bu nuqsonlarning konsentratsiyasi zaryad tashuvchilarning dastlabki konsentratsiyasi bilan taqqoslanadigan bo'lsa, kompensirlangan kremniyning elektr xususiyatlarining radiatsiya qarshiligi ortadi [1-2]. Ko'plab tadqiqotchilar nurlanishdan keyin hosil bo'ladigan nuqsonlarning kremniy namunasidagi elektr xususiyatlariga ta'sir qiladi deb hisoblashadi, ayrimlari esa yuqori va past qarshiliklar orasidagi potensial to'siqlar (D) balandligini ortishiga olib keladi deb hisoblashadi. Shu bilan birga, past va yuqori qarshilikli orasidagi potensial to'siqlarning radiatsiyon nurlanish ta'sirida kremniyning elektr xususiyatlariga ta'siri hali ham yetarli darajada o'rganilmagan. Radiatsion nurlantirib legirlangan p-tipli kremniyni ( $p\text{-Si} < B, P, Cu >$ ;  $p\text{-Si} < B, P, Ir >$ ) elektrofizik parametrlarining o'zgarishi yuqori va past qarshiliklari orasidagi potensial to'siqning balandligi radiatsiyaga ta'siri barqarorligiga oshiradi. Biz olgan p-tipli kremniy namunasining Boshlang'ich solishtirma qarshiligi  $1 \div 20$  Om·sm oralig'idagi bo'lgan. Tadqiqotlarni o'tkazishda kompensirlangan kremniy olish uchun fosfor (P) va bor (B) bilan legirlangan n- va p-tiptagi namunalardan foydalanildi. Bu namunalar Choxralskiy usuli bilan o'stirilgan. Tadqiqotni bajarishda kremniydagi kislorod miqdori  $(5 \div 10) \cdot 10^{17} \text{sm}^{-3}$  ga teng, dislokatsiyalarning zichligi  $10^4 \text{sm}^{-2}$  va solishtirma qarshiligi  $\rho \approx 3 \div 100$  Om·sm oralig'ida bo'lgan n- va p-tipli namunalardan hamda neytron bilan legirlangan ( $p\text{-Si} < B, P >$ ) p-tipli (NLK) kremniydan ham foydalanildi.

10 MVt quvvatli BBP-CM atom reaktorining neytronlari oqim zichligi  $\sim (0,002 \div 8) \cdot 10^{13}$  neytr./ $\text{sm}^2 \text{sek}^{-1}$  bo'lgan gorizontal va vertikal kanallarida ( $\sim 320$  K haroratda) radiatsiyaviy usul bilan kompensirlangan n- va p-tipli kremniy olindi. Kompensirlangan p-tiptagi kremniy olish uchun,  $\text{Si}^{30}$  izotopining sekin neytron ta'sirida  $\text{P}^{31}$  ga aylanish reaksiyasiga asoslangan.



Kiritilgan fosfor konsentratsiyasini  $N_p=1,7 \cdot 10^{-4} \cdot F$  formula orqali hisoblash mumkin. Bu yerda F-sekin neytronlarning oqim zichligi, neytr.·sm<sup>-2</sup>·sek<sup>-1</sup>.

Nurlantirishdan oldin va keyin namunalarning zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini o'lash orqali sekin neytronlar oqimini aniqlash mumkin. Namunalar nurlantirilgandan keyin Ortiqcha nuqsonlarni yo'qotish maqsadida SUOL-0,44/12 gorizontaal pechida ~1000 °S haroratda 30 minut qizdirilib ~5-10 grad/min tezlikda xona haroratiga tushuncha sovutildi.

Kremniy namunasiga omik kontaktlar Sn+In (50%+50%) 120 °C haroratda kavsharlash yo'li bilan olindi. Shottki diodlarni tayyorlash uchun esa silliqilgan kremniy sirtiga alyumin va surma purkash yo'li bilan amalga oshirildi.

Бизга маълумки, электрон - электрон (  $n^{\min}-n^{\max}$  ) ўтиш ёки ковак-ковак (  $p^{\min}-p^{\max}$  ) ўтиш орасидаги энергетик интерваллар потенциал тўсиқнинг баландлиги билан аниқланади [3]:

$$\Delta = \varphi q = kT \ln \frac{n_0^{\max}}{n_0^{\min}}; \quad \Delta = \varphi q = kT \ln \frac{p_0^{\max}}{p_0^{\min}}, \quad \Delta = kT \ln \frac{\tau}{\tau_0} \quad (3)$$

бу ерда  $n_0^{\max}$ ,  $p_0^{\max}$  - ва  $n_0^{\min}$ ,  $p_0^{\min}$  - мос равишда заряд ташувчиларнинг максимал ва минимал концентрациялардир.

$$p^{\max} = p_0 \left(1 + \frac{p^{\max} - p^{\min}}{2p_0}\right) - K \quad \text{va} \quad p^{\min} = p_0 \left(1 - \frac{p^{\max} - p^{\min}}{2p_0}\right) - K \quad (4)$$

zaryad tashuvchilarning maksimal va minimal konsentratsiyasi;  $K=(N_p/p)$  – kompensatsiya darajasi,  $N_p$  – induktsiyalangan fosfor atomlarining konsentratsiyasi,  $p_0$  – nurlanishdan oldingi zaryad tashuvchilarning o'rtacha konsentratsiyasi;  $\tau_0$ ,  $\tau$  - p-tipli kremniyning neytron bilan legirlashdan oldin va keyin asosiy zaryad tashuvchilarning yashash vaqti.

Kremniyning 1050 °S temperaturada diffuziya qilingan namunasining elektrofizik parametrlari olingan, natijalar 2-jadvalda keltirib o'tilgan.

2-jadval.

**Kremniy namunasini elektrofizik parametrlari olingan natijalar keltirilgan**

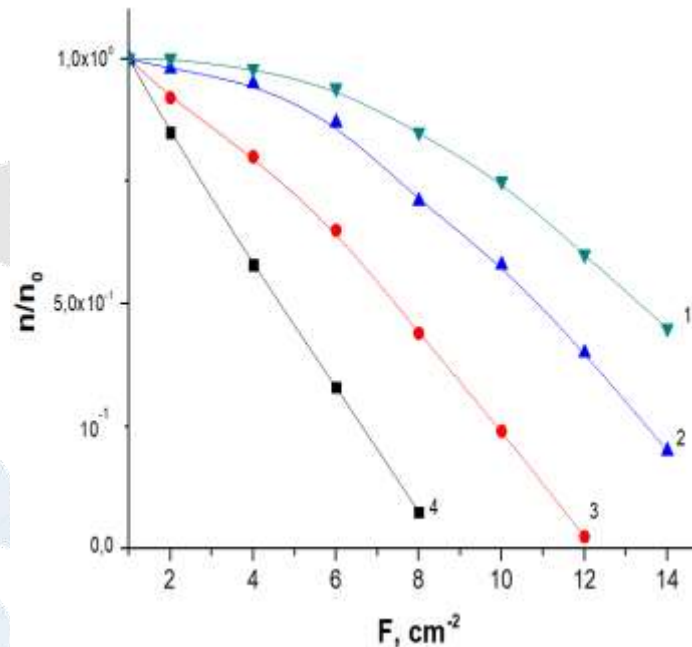
№	Namunalar	Solishtirma qarshilik, $\rho$ (Om·sm)	Zaryad tashuvchining konsentratsiyasi, N (sm <sup>-3</sup> )	Harakatchanligi, $\mu$ (sm <sup>2</sup> /V·s)	Potensial to'siqning balandligi energiyasi, $\Delta$ (meV)
1	<i>p-Si&lt;B&gt;</i>	9.8	$1.9 \cdot 10^{15}$	345	5
2	<i>p-Si&lt;B,P&gt;</i>	9.1	$2.3 \cdot 10^{15}$	330	23
3	<i>p-Si&lt;B,P,Ir&gt;</i>	1800	$1.3 \cdot 10^{15}$	280	30
4	<i>p-i&lt;B,P,Cu&gt;</i>	1500	$1.5 \cdot 10^{15}$	215	105.7

Jadvaldan ko'rinib turibdiki Potensial to'siqning balandligi energiyasi nurlantirilgan *p-Si<B,P,Ir>* va *p-Si<B,P,Cu>* namunalarda oddiy namunaga nisbatan kattaroq bo'lishi aniqlangan. Masalan; iridiy kirishmasi bilan boyitilgan kremniyda oddiy namunaga nisbatan to'siqning balandligi energiyasi 6

marotaba ko'pligi, mis kirishmasi kiritilgan kremniy namunada esa to'siqning balandligi energiyasi 20 barobar ortganligi kuzatildi.

Keyinchalik, bu namunalar atom reaktorining gorizontall kanalida ~ 300 K haroratda neytronlar bilan nurlantirildi. Radiatsiya nuqsonlari (RD) hosil bo'lish samaradorligi Xoll koyeffitsiyentida va xona haroratidagi qarshilikni o'lchash yo'li bilan o'rganildi.

Tadqiqot natijalari 6-rasmda keltirilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki,  $p\text{-Si}\langle B,P,Ir\rangle$  va  $p\text{-Si}\langle B,P,Cu\rangle$  namunalarida asosiy zaryad tashuvchilarni olib tashlash tezligi (2 va 4egri chiziqlar) nazorat namunalari (1 va 3egri chiziqlar) nisbatan yuqori.



**6-rasm. Kremniydagi asosiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining nisbiy o'zgarishining tez neytronlar oqimiga bog'liqligi: 1 –  $p\text{-Si}\langle B,P,Ir\rangle$  ( $\rho = 9,8 \text{ Om}\cdot\text{sm}$ ); 2 -  $p\text{-Si}\langle B,P\rangle$  ( $\rho = 8,6 \text{ Om}\cdot\text{sm}$ ); 3 –  $p\text{-Si}\langle P\rangle$  ( $\rho = 1800 \text{ Om}\cdot\text{sm}$ ); 4–  $p\text{-Si}\langle B,P,Cu\rangle$  ( $\rho = 1500 \text{ Om}\cdot\text{sm}$ )**

Kuzatilayotgan ta'sirni tushuntirish uchun to'siq modeli taklif etiladi. Ushbu modelning mohiyati quyidagicha. Ma'lumki, kristall massasida asosiy bor (yoki fosfor) aralashmalari, kislorod va uglerodning texnologik aralashmalari notekis taqsimlanishi natijasida kristalning asosiy qismida past qarshilikli ( $p_{\max}$ ) va yuqori qarshilikli ( $p_{\min}$ ) o'tkazuvchanlik zonalar hosil bo'ladi. Bu joylar orasidagi kontaktlarning mavjudligi zaryad tashuvchilar uchun ahamiyatsiz potensial to'siq  $\Delta_0$  paydo bo'lishiga olib keladi (2-jadva). Bunda  $p_{\max}$ - va  $p_{\min}$  – zonalar uchun Fermi satxning ( $E_f$ ) energiyasini xolati bir xil bo'lib qoladi va uning holati  $p_{\max}$  – oraliqni belgilaydi [4-6]. Neytronlar bilan nurlangan p-tipli kremniy namunalarida nuqsonlar ionlanish energiyalari hosil qiladi:  $E_v + 0,18 \text{ eB}$ ,  $E_1 = E_v + 0,28 \text{ eB}$ ,  $E_2 = E_v + 0,35 \text{ eB}$ ,  $E_3 = E_v + 0,40 \text{ eB}$ .

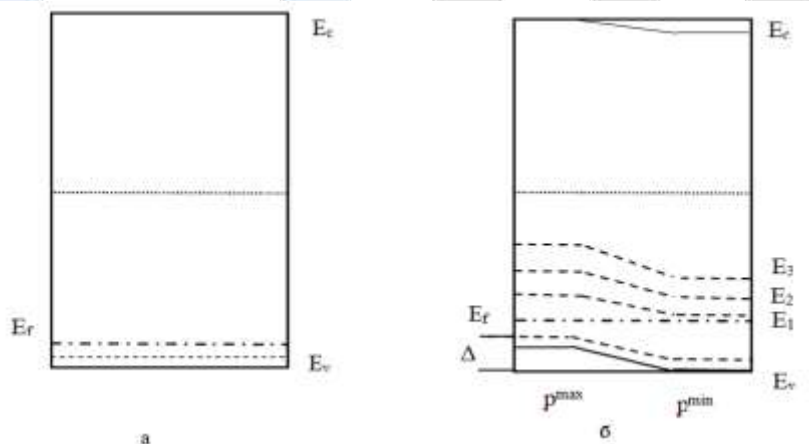
Bizning holatda,  $E_f \geq E_v + 0,20 \text{ eB}$  shuning uchun  $p_{\max}$  sohasida barcha kuzatilgan donor radiatsiyaviy nuqsonlar to'liq ionlashtirilgan deb hisoblangan.  $p\text{-Si}\langle B\rangle$  da  $p_{\min}$  qisman ionlashgan zonalar aro bo'lsa,  $p\text{-Si}\langle B,P,Ir\rangle$  va  $p\text{-Si}\langle B,P,Cu\rangle$  da ular to'liq ionlashgan (masalan, 1 va 2 namunalar uchun 7b va 8b-rasm). Bundan tashqari, asosiy zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi kovaklar ( $p=N_v$ ), ya'ni  $R_N$  ( $N_{RN}$ ) konsentratsiyasidan yuqori ekanligiga ishonishgan ( $N_v > N_{RN}$ ).

Neytron nurlanishining dastlabki bosqichlarida kristalning  $p_{\min}$ -zonalar yuqori qarshilikka ega bo'ladi,  $p_{\max}$ -zonalar esa deyarli hech qanday tashuvchining kompensatsiyasini his qilmasdan, bir xil

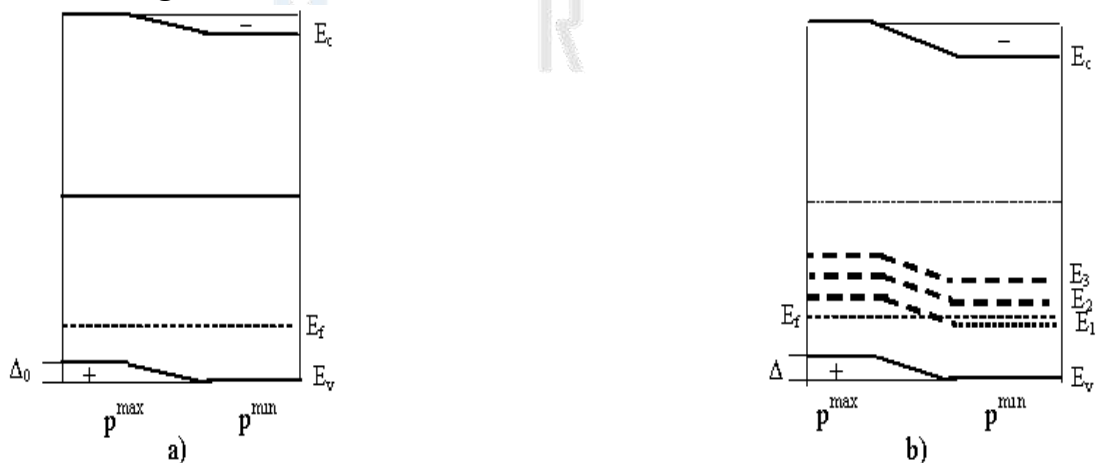
THE MULTIDISCIPLINARY JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

VOLUME-5, ISSUE-6

past qarshilikka ega bo'lib qoladi. Bu xolatda kompensatsiya darajasining sezilarli farqi tufayli nurlanish bu sathlar orasidagi potentsial to'siqning ( $\Delta_0 \rightarrow \Delta$ ) boshlang'ich balandligining oshishiga olib keladi (7b-rasm). Neytron nurlanishining fulensi oshishi  $\Delta_0 \rightarrow \Delta$  ga olib keladi, ya'ni o'z navbatida, RN  $p_{min}$ -sohasini to'ldirish darajasining oshishiga, bu holni  $E_1$  orqali ko'rishimiz mumkin. Bunday holda,  $p_{min}$ -sohasidan bo'shagan kovaklar  $p_{max}$ -sohaga o'tadi. Oxir oqibat (ma'lum bir nurlanish oqimiga qadar) bir hil bo'lmagan (kompensatsiyalangan) materialning valentlik zonasida erkin kovaklarning kontsentratsiyasi, bo'shatilgan kovaklarning kontsentratsiyasi  $p_{min}$  sohasidagi  $E_1$  nuqsonlari tomonidan tutilgan elektronlar kontsentratsiyasiga teng bo'lmaguncha deyarli o'zgarmaydi (7b-rasm), ya'ni  $p_{max}$  sohasida  $E_f$  ning energiyasi holatida sezilarli o'zgarish bo'lmaguncha davom etadi. Yuqorida aytib o'tilganidek bunday mikronobirjinsli bo'lgan materialdagi  $p_{max}$  - sohadagi o'tkazuvchan hisoblanadi. Xuddi shunday ta'sir ilgari n-Si<P>namuna uchun ham ko'rilgan [5]. Neytron nurlanishiga qayta-qayta ta'sir qilishdan oldin p-Si<B,P>namunalarda p-Si<B,P,Ir>va p-Si<B,P,Cu>lardan yuqori potentsial to'siq balandligi va o'tkazuvchanlik jihatdan bir biri bilan anchaga farq qilishi ko'rilgan. Barcha namunalarda (p-Si<B,P>, p-Si<B>, p-Si<B,P,Ir>va p-Si<B,P,Cu>) asosiy zaryad tashuvchini olib tashlash tezligini solishtirish uchun nurlanish paytida paydo bo'ladigan RN konsentratsiyasi deyarli bir xil deb hisoblangan. Bunday sharoitda, yuqori qarshilik sohasida radiatsiyon nuqsonlarining zaryadlanish holati Fermi sathga nisbatan sezilarli darajada farq qiladi, deb aytishimiz mumkin (7 (b) va 8 (b)-rasmlarga qarang).



7-rasm. p-tipli namunalarni neytron nurlanishidan oldin (a) va keyin (b) nurlanish bilan kompensatsiyalangan kremniyda hosil bo'lgan bir jinsli bo'lmagan  $p_{max}$  - va  $p_{min}$  - sohalarning modellari:  $E_1 = E_v + 0,28eV$ ,  $E_2 = E_v + 0,35eV$  va  $E_3 = E_v + 0,40eV$



## THE MULTIDISCIPLINARY JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

### VOLUME-5, ISSUE-6

**8-rasm. Neytron bilan legirlangan kremniyda hosil bo'lgan bir jinsli bo'lmagan  $p_{\max}$ - va  $p_{\min}$ -sohalar modellari: (a) dan oldin va takroriy neytron nurlanishidan keyin (b):  $E1=E_v + 0,28eV$ ,  $E2=E_v + 0,35eV$  va  $E3 = E_v + 0,40eV$**

Shuning uchun,  $p_{\min}$ -sohada RN ning elektronlar bilan to'ldirilishi neytronlar bilan nurlantrilgan kremniyda nazoratdagiga qaraganda tezroq sodir bo'ladi ( $p$ -Si<B,P,Ir>;  $p$ -Si<B,P,Cu>> $p$ -Si<B,P>> $p$ -Si<B>hisobiga) (8-rasm), mos ravishda neytronlar bilan nurlantrilgan kremniylarda zaryad tashuvchilarni tezligi ham ortadi.

#### Xulosa

Олдиндан нейтрон билан легирланган кремнийга мис ва иридий атомлари билан термик ишлов берилгандан сўнг электр қаршилиқнинг ўзгариши каррали ўсиши ва мис билан легирланган намуналарда 10 мартагача ўзгариши ортиши, иридий билан легирланган намуналарда эса 40 мартагача ўзгариши кузатилди.

#### Adabiyotlar

1. Karimov M., Makhkamov Sh., Makhmudov Sh.A., Muminov R.A., Rakhmatov A.Z., Sulaimanov A.A., Tursunov N.A. Peculiarities of influence of radiation defects on photoconductivity of silicon irradiated by fast neutrons. (*Applied Solar Energy, Allerton Press, Inc., 2010*) vol. 46 (4), pp. 298-300.
2. Sh.A. Makhkamov, M.Yu. Tashmetov, Sh.A. Makhmudov, A.K. Rafikov, A.A. Sulaimonov. [Диффузия атомов примеси родия в кремнии для датчиков](#) // FRANCE international conference: "Scientific approach to the modern education system" Part 10, 5th December, - Pp. -95-98.y 2022
3. M. Yu. Tashmetov, Sh. A. Makhmudov, A. A. Sulaymonov, A. K. Rafikov, B. Zh. Abdurayimov. Photosensors Based on Neutron Doped Silicon // ISSN 0003-701X, Applied Solar Energy, 2019, Vol. 55, No. 1, pp. 71–73.
4. Sh Makhmudov, A Sulaymonov, A Rafikov, G Xudayberganova. Study of after diffusion regions in highly doped silicon // International scientific journal Science and Innovation, ISSN: 2181-3337, V-1, №6, October 9, 2022, - Pp. -402-404. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7178339>
5. Каримов М., Махкамов Ш., Турсунов Н., Махмудов Ш.А., Сулаймонов А.А. Влияние быстрых нейтронов на электрофизические свойства ядерно-легированного кремния р-типа // Известия вузов, Физика. – Томск. 2011. – Вып. 5 – С. 75-78.
6. M Karimov, Sh Makhkamov, NA Tursunov, Sh A Makhmudov, AA Sulaimonov. "The effect of fast neutrons on the electrophysical properties of nucler-doped  $p$ -silicon" // Russian Physics Journal 2011/10. vol 54. Pp589-593.