

8-26-2020

INVESTIGATION OF THE CARRIER LIFETIME IN NEUTRON-DOPED SILICON DEPENDING ON THE CONCENTRATION OF THE INITIAL BORON

Jakhongir Zokirzhanovich Mirzaraimov
doctoral student, NamETI

Sherzod Akhmadovich Makhmudov
associate professor, candidate of physics and mathematics institute of nuclear physics, AS RUz, head of laboratory of solid state physics

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/buxdu>

 Part of the [Life Sciences Commons](#)

Recommended Citation

Mirzaraimov, Jakhongir Zokirzhanovich and Makhmudov, Sherzod Akhmadovich (2020) "INVESTIGATION OF THE CARRIER LIFETIME IN NEUTRON-DOPED SILICON DEPENDING ON THE CONCENTRATION OF THE INITIAL BORON," *Scientific reports of Bukhara State University*. Vol. 4 : Iss. 4 , Article 2.

DOI: 10.52297/2181-1466/2020/4/4/2

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/buxdu/vol4/iss4/2>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific reports of Bukhara State University by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.

6. Mejsosudarstvennim standartom GOST 32144-2013 «Elektricheskaya energiya. Sovmestimost texnicheskix sredstv elektromagnitnaya. Normi kachestva elektricheskoy energii v sistemax elektrosnabjeniya obshogo naznacheniya» (protokol №55-P ot 25 marta 2013 g. S.15).
7. Semyonov A.S., Samsonov A.V. i dr. Izmerenie i analiz pokazateley kachestva elektricheskoy energii potrebiteley promishlennix predpriyatiy. // Nauchniy jurnal «Estestvennie i texnicheskie nauki». - M., №6(84), 2015. S.446-450. ISSN: 1684-2626.
8. Sapunov M. Voprosi kachestva elektroenergii. // Informatsionno-spravochnoe izdanie «Novosti elektrotexniki». - M., №4(10), 2001. S.112-117.
9. Usmanov E.G., Abduraimov E.X., Karimov R.Ch. Ispolzovanie beskontaktnix rele dlya uluchsheniya kachestva elektroenergii. // Jurnal «Vestnik TashGTU». - T., 2013. №3-4. S. 48-51.
10. Karimov R.Ch. Research of the stabilizer of current taking into account the highest harmonicas in systems of power supply. // Scientific journal «European Science review» Austria (Vienna), 2015. № 9-10. September-October. PP. 144-146.
11. Rasulov A.N., Karimov R.Ch. Operating mode of the stabilizer of current on active and inductive loading. // Scientific journal «European Science review» Austria (Vienna), 2015. №9-10. September-October. PP. 140-143.
12. Rasulov A.N., Karimov R.Ch., Rafiqov M.Z., Alardonov O.R. Kuchlanish stabilizatori-ning ishonchlilik ko'rsatkichlari. // Halqaro ilmiy-amaliy anjuman maqolalari to'plami. II-shu'ba. Andijon sh., 2018. 468-472-b.
13. Tashanov O.I., Karimov R.Ch., Tolipova S.B. Ispolzovanie optotiristornoe beskontaktnoe rele napryajeniya dlya uluchsheniya kachestva elektroenergii. // Mejdunarodnaya nauch-no-prakticheskaya konferentsiya. Rossiya (g. Chelyabinsk), 2017. Chast 3. S. 127-130.
14. Karimov R.Ch., Bobojanov M.K., Rasulov A.N., Usmanov E.G. Controlled switching circuits based on non-linear resistive elements. // E3S Web of Conferences 139, 01039 (2019), [Scopus.com, doi.org/10.1051/e3sconf/201913901039](https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913901039)
15. Usmanov E.G., Rasulov A.N., Bobojanov M.K., Karimov R.Ch. Non-contact voltage relay for switching windings of a boost transformer. // E3S Web of Conferences 139, 01079 (2019), [Scopus.com, doi.org/10.1051/e3sconf/201913901079](https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913901079).

УДК: 621.315.592

**БОШЛАНГИЧ БОР КОНЦЕНТРАЦИЯСИГА ҚАРАБ НЕЙТРОН БИЛАН
ЛЕГИРЛАНГАН КРЕМНИЙДА ЗАРЯД ТАШУВЧИЛАРНИНГ
ЯШАШ ВАҚТИНИ ҲАМ ИШОНЧЛИК**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В НЕЙТРОННО-
ЛЕГИРОВАННОМ КРЕМНИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ
ИСХОДНОГО БОРА**

**INVESTIGATION OF THE CARRIER LIFETIME IN NEUTRON-DOPED SILICON
DEPENDING ON THE CONCENTRATION OF THE INITIAL BORON**

Мирзарайимов Жаҳонгир Зокиржанович

докторант НамИТИ,

Махмудов Шерзод Ахмадович

доцент, к.физ.-мат.н. Института ядерной физики АН РУз,

заведующий лабораторией физики твердого тела

Mirzaraimov Jakhongir Zokirzhanovich

doctoral student, NamETI,

Makhmudov Sherzod Akhmadovich

associate professor, candidate of physics and mathematics institute of nuclear physics,

AS RUz, head of laboratory of solid state physics

Аннотация. Нейтрон билан легирланган монокристалли кремнийдаги заряд ташувчиларнинг яшаш вақтининг (τ) дастлабки бор концентрациясига боғлиқлиги кўриб чиқилади. Натижаларда озчилик заряд ташувчиларни ёпишиши даражасида қайта тақсимлаш билан изоҳланади. Компенсацияланган p -Si $\langle B, P \rangle$ ва бошқариладиган p -Si $\langle B \rangle$ намуналарда релаксация жараёни турли ёллар билан содир бўлади: p -Si $\langle B, P \rangle$ учун яшаш вақти 98 секунд ва p -Si $\langle B \rangle$ учун эса 5 секунд. Тадқиқ қилинган намуналарда ўтказувчанлик бўйича турли даражадаги микроҳархиллик туфайли заряд ташувчиларнинг бошлангич

концентрацияси ортиши билан (бу ҳолда бор-В) компенсирланган кремнийда яшаи вақти ҳам ортиши аниқланган.

Таянч сўзлар: кремний, микроҳархиллик, диффузия, бор, концентрация, нейрон билан легирлаш, потенциал тўсиқ, яшаи вақти.

Аннотация. В статье обсуждаются зависимости времени жизни носителей заряда (τ) в нейтронно-легированного монокристаллического кремния от исходной концентрации бора. Полученные результаты объясняются перераспределением неосновных носителей на уровне прилипания. В компенсированном $p\text{-Si}\langle B,P\rangle$ и контрольном $p\text{-Si}\langle B\rangle$ релаксационный процесс происходит различным образом: $\tau \approx 98$ с для $p\text{-Si}\langle B,P\rangle$, и $\tau \approx 5$ с для $p\text{-Si}\langle B\rangle$. При этом с ростом исходной концентрации носителей заряда (в данном случае бора-В) в компенсированном кремнии наблюдается возрастание τ (при равных значениях ρ), которое обусловлено различной степенью микронеоднородности по проводимости в исследованных образцах.

Ключевые слова: кремний, времени жизни, концентрация, нейтронно-легированном, потенциальный барьер, микронеоднородность.

Abstract. The dependence of the lifetime of charge carriers (τ) in monocrystalline silicon on the concentration of light copper and post-diffusion cooling is discussed. The results obtained are explained by the redistribution of non-basic carriers at the adhesion level. In the compensated $p\text{-Si}\langle B,P\rangle$ and the control $p\text{-Si}\langle B\rangle$, the relaxation process occurs in different way $\tau \approx 98$ s for $p\text{-Si}\langle B,P\rangle$, and $\tau \approx 5$ s for $p\text{-Si}\langle B\rangle$. At the same time, with the growth of the initial concentration of charge carriers (in this case boron-B) in the compensated silicon, an increase τ (with equal values ρ) is observed, which is due to a different degree of micro-uniformity in conductivity in the studied samples.

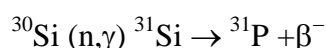
Key words: silicon, lifetime, concentration, neutron-doped, potential barrier, microinhomogeneity.

Кремний – основной материал современной полупроводниковой электроники. Технология полупроводниковых приборов базируется во многом на управлении процессами генерации и подавления дефектов. Одним из важных свойств кремния является время жизни носителей заряда. Одним из технологических операций при получении нейтронно-легированного монокристаллического кремния (НЛК) является термический отжиг при высоких температурах. Результаты, полученные различными авторами по изменению электрофизических параметров при термообработке НЛК, особенно времени жизни носителей тока не всегда согласуется [1,2].

Причина этого, на наш взгляд, является различные условия и режим термообработки кремния (температура, время отжига, геттерирующая среда, удельное сопротивление кристалла и др.) после нейтронного легирования. В данной работе измерением электрофизических параметров и методом затухания фотопроводимости изучалось влияние высокотемпературной обработки на рекомбинационные свойства НЛК в зависимости от концентрации бора [3-6,15].

Для решения поставленной задачи в качестве исходного материала использовался монокристаллические кремния p – типа проводимости, выращенные методом Чохральского, с удельным сопротивлением $1 \div 100$ Ом·см.

Подготовленные образцы помещают в кварцевую ампулу и запаивают. Далее, ампулы образцам подвергают нейтронному облучению в канале атомного реактора ВВР-СМ до легированного кремния основных носителей заряда атомами фосфора наведенного в результате ядерного реакции (НЛК), интенсивности тепловых нейтронов составляет $I \sim 1 \cdot 10^{14}$ см⁻³ [2,6,10]:



При этом концентрацию введенного фосфора можно рассчитать по формуле:

ANIQ VA TABIIY FANLAR

$$N_p = 1,7 \cdot 10^{-4} \Phi,$$

где $\Phi = I \cdot t$ – интегральный поток медленных нейтронов, см^{-2} , I – плотность потока медленных нейтронов, $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, t – время облучения, с.

После этого, облученные кремниевые образцы помещают в бокс, до тех пор, пока не превышает предельно допустимый уровень мощности γ -излучения.

Далее, отжиг радиационных дефектов (РД) проводилось при температуре ~ 1270 К на воздухе, в течение ~ 30 мин. с последующим медленным охлаждением ($5 \div 10$) град/мин. Для удаления, слоя, нарушенного во время резки, используется двухсторонняя шлифовка на шлифовальном станке с применением микропорошков М-14 – М 5 с последовательным уменьшением диаметра абразива. При этом с каждой стороны удаляется слой толщиной не менее 50 мкм. После механической обработки, шайбы (пластины) промывают $2 \div 3$ раза в дистиллированной воде, кипятят (обезжиривают) в толуоле, а затем в дистиллированной воде.

Для выяснения номинального значения подвижности основных носителей заряда, проводился изотермический отжиг, при температуре ~ 1270 К. Омические контакты на p-Si<B,P> и p-Si получали путем припаивания сплава Sn+In (50 % + 50 %) при температуре ~ 400 К. Электрофизические рекомбинационные параметры легированного кремния приведены в табл. [9-12,15].

Таблица 1

Тип и электрофизические параметры образцов кремния

№	Тип образцов	Удельное сопротивление ρ , Ом·см	Концентрация носителей заряда p , см^{-3}	Подвижность заряда, μ , $\text{см}^2 / \text{В} \cdot \text{с}$	Высота потенц. барьера (Δ), мэВ
1.	p-Si	9,8	$1,9 \cdot 10^{15}$	315	5
2.	p-Si<B,P> $\rho \approx 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$	9,1	$2,3 \cdot 10^{15}$	280	23
3.	p-Si	1800	$1,3 \cdot 10^{13}$	280	10
4.	p-Si<B,P> $\rho \approx 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$	1500	$1,5 \cdot 10^{13}$	275	115,7

Как видно из табл. 1. подвижности основных носителей заряда в нейтронно-компенсированном кремнии p-типа (при идентичности ρ) изменяется в зависимости от исходной концентрации бора, т.е. при вышеуказанной температуре отжига радиационные дефекты отжигаются не полностью. Время жизни носителей заряда в НЛК практически не зависит от концентрации бора и составляет около мкс секунд [13,16].

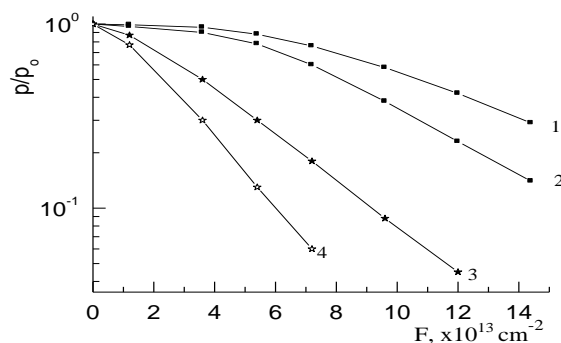


Рис. 1. Зависимость относительного изменения концентрации носителей заряда в кремнии от флюенса быстрых нейтронов: 1 – p-Si ($\rho = 9,8$ Ом·см); 2– p-Si<B,P> ($\rho = 8,6$ Ом·см); 3 – p –Si<P> ($\rho = 1800$ Ом·см) ; 4– p-Si<B,P> ($\rho = 1500$ Ом·см) [117]

Как видно из рисунка 2 подвижность носителей заряда (μ) увеличивается с ростом времени изотермического отжига и, чем больше концентрации компенсирующих донорных центров (в данном случае, фосфора), тем больше номинальное значение μ сдвигается в сторону большего времени отжига (при этом концентрация основных носителей заряда в

ANIQ VA TABIIY FANLAR

исследованных образцах остаётся практически неизменной). Следовательно, можно сказать, что для достижения номинального значения концентрации носителей заряда достаточно температуры 1270 К и времени отжига $t = 30$ мин., а для уменьшения влияния структурных дефектов (например, областей разупорядочения) необходимо увеличить время отжига. Кинетика релаксации неравновесных носителей заряда в компенсированном материале происходит различным образом: $\tau_2 \approx 98$ с для $p\text{-Si}\langle B, P \rangle$, а $\tau_2 \approx 5$ с для $p\text{-Si}\langle B \rangle$. Отличие релаксационных процессов в компенсированном и контрольном кремнии объясняется различной степенью микронеоднородности по проводимости.

Таблица 2.

Таблица – Электрофизические параметры нейтронно-легированного кремния в зависимости от исходного материала ($T_{\text{отж}} = 1270$ К, $t_{\text{отж}} = 30$ мин)

№	Исходный образец	Нейтронно-легированный кремний (НЛК)				Время облучения тепловыми нейтронами, t, с
		ρ , Ом·см	p (или n), см ⁻³	μ , см ² /В·с	τ , с	
1.	КДБ-1	$2,8 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^{13}$	170	$6 \cdot 10^{-7}$	
2.		$2,6 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^{13}$	200	$8 \cdot 10^{-7}$	
3.		$2,9 \cdot 10^3$	$1,95 \cdot 10^{13}$	180	$6 \cdot 10^{-7}$	
4.		$4 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^{12}$	700	$9 \cdot 10^{-7}$	
5.	КДБ-10	$3,7 \cdot 10^3$	$6,1 \cdot 10^{12}$	282	$3 \cdot 10^{-6}$	
6.		$3,6 \cdot 10^3$	$6,34 \cdot 10^{12}$	274	$2 \cdot 10^{-6}$	
7.		$3,6 \cdot 10^3$	$6,94 \cdot 10^{12}$	250	$1,5 \cdot 10^{-6}$	
8.		$5 \cdot 10^4$	$1,25 \cdot 10^{11}$	1000	$1 \cdot 10^{-6}$	
9.	КДБ-100	$2,4 \cdot 10^3$	$7,9 \cdot 10^{12}$	330	$6 \cdot 10^{-6}$	
10.		$2 \cdot 10^3$	$9,7 \cdot 10^{12}$	320	$7 \cdot 10^{-6}$	
11.		$2,2 \cdot 10^3$	$8,74 \cdot 10^{12}$	325	$5 \cdot 10^{-6}$	

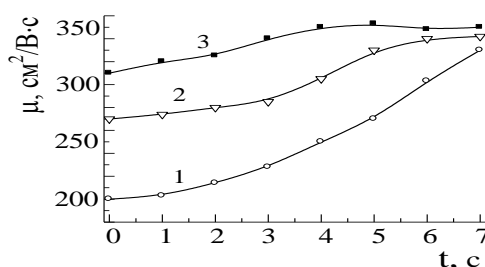


Рис. 2. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры изотермического отжига в НЛК (после температуры отжига $T_{\text{отж}} = 1270$ К, $t = 30$ мин) при различном флюенсе тепловых нейтронов (см⁻²): $1 \cdot 10^{19}$; $2 \cdot 10^{18}$; $3 \cdot 10^{17}$

Изменение времени жизни носителей заряда от длительности термообработки показано на рис. 3.

Как видно из рис. 3. с увеличением времени отжига значения τ вначале возрастает, а затем стабилизируется. Этот эффект, на наш взгляд, связан с неконтролируемыми примесями в объеме материала, создающими глубокие энергетические уровни. Незначительное увеличение значений τ с уменьшением концентрации атомов бора (приведенные в табл. 2.), также подтверждает, что значение τ связано неконтролируемыми примесями.

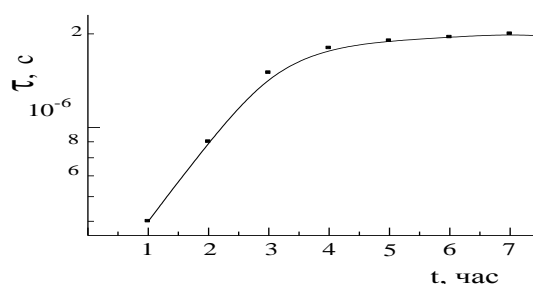


Рис. 3. Зависимость времени жизни носителей заряда в НЛК (исходный КДБ-1) от длительности отжига, при температуре ~ 1270 К.

На основе полученных результатов (табл.2.) показана возможность получения термостабильного высокоомного материала НЛК, который может использоваться для создания полупроводниковых приборов работающих до частоты ~ 1 МГц.

Таким образом, на основе полученных экспериментальных результатов можно сделать следующие выводы:

– С ростом времени изотермического отжига подвижность носителей заряда (μ) растет и, чем больше концентрация фосфора, тем больше смешается номинальное значение μ в сторону большего времени отжига, что связано с неполным отжигом структурных дефектов (в данном случае, область разупорядочения).

– В компенсированном p-Si<B,P> и контрольном p-Si релаксационный процесс происходит различным образом: $\tau \approx 98$ с для p-Si<B,P>, и $\tau \approx 5$ с для p-Si. При этом с ростом исходной концентрации носителей заряда (в данном случае бора-B) в компенсированном кремнии наблюдается возрастание τ (при равных значениях ρ), которое обусловлено различной степенью микронеоднородности по проводимости в исследованных образцах.

– Термостабилизация времени жизни носителей заряда в НЛК зависит от исходной концентрации бора, т.е. чем больше исходная концентрация бора, тем больше длительность термоотжига.

Работа выполнена в рамках гранта Ф2-ФА-Ф121 Комитета по координации и развития науки и технологий при Кабинете Министров РУз.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Fizicheskie osnovi injenerii defektov v texnologii kremnievix silovix visokovoltnix i svetoizluchayushix struktur: avtoreferat dis. ... doktora fiziko-matematicheskix nauk: 01.04.10 / Sobolev Nikolay Alekseevich; [Mesto zashiti: Fiz.-texn. in-t im. A.F. Ioffe RAN]. - Sankt-Peterburg, 2009. - 34 s.*

2. Yunusov M.S., Karimov M., Djalelov M.A. *K voprosu o stabilizatsii elektrofizicheskix svoystv v kompensirovannom kremnii pri obluchenii g-kvantami 60So // FTP. - Sankt-Peterburg, 2001. T- 35. №3. S. -317-320.*

3. Bannaya V.F., Nikitina Ye.V. *Elektricheskiy probay v chistom n- i p-Si <http://journals.ioffe.ru/articles/45610> // Fizika i texnika poluprovodnikov, S. Peterburg. 52(3), 2018, S. 291-294.*

4. *Vliyanie termoobrabotki i legirovaniya na svoystva monokristallicheskogo kremniya: dissertatsiya ... kandidata texnicheskix nauk: 05.27.06 / Timoshina Margarita Igorevna; [Mesto zashiti: Nats. issled. texnol. un-t]. - Moskva, 2011. - 209 s.: il. Texnologiya i oborudovanie dlya proizvodstva poluprovodnikov, materialov i priborov elektronnoy texniki OD 61 12-5/32*

5. Kojemyako A.V., Yevseev A.P., Balakshin Yu.V., Shemuxin A.A. <https://journals.ioffe.ru/articles/47734> *Физика и техника полупроводников. 2019, выпуск 6, С. 810.*

6. Kojitov L.V., Timoshina M.I., Pildon V.I., Shepel P.N. *«Vliyanie primesey na radiatsionnuyu stoykost kremniya, tezisi dokladov Tretey Rossiyskoy konferentsii «Kremniy-2003», s. 443.*

7. Svetlichnyy A.M., Polyakov V.V. *Vliyanie skorosti nagreva pri bistroy termicheskoy obrabotke poluprovodnikovix plastin na shum diodov //*

8. Tashmetov M.Yu., Makhmudov Sh.A., Sulaymonov A.A., Rafikov A.K., Abdurayimov B.J.. *Geliotexnika, 2018. Vip. 6. S. 61-64.*

9. Makhkamov Sh., Tashmetov M.Yu., Makhmudov Sh.A., Rafikov A.K., Sulaymonov A.A., Mirzarayimov J.Z. *Study of thermal stability of life time of charge carriers in overcompensated n-Si<B,S> // The Ninth International Conference —Modern Problems of Nuclear Physics and Nuclear Technologies, September 24-27, 2019. PP. -219-223.*

10. Makhkamov Sh., Tashmetov M.Yu., Makhmudov Sh.A., Rafikov A.K., Sulaymonov A.A., Mirzarayimov J.Z. *Photoresistors based on compensated Si<B,S> // The Ninth International Conference —Modern Problems of Nuclear Physics and Nuclear Technologies, September 24-27, 2019. PP. -227-229.*

11. Taran Yu.N., Kutsova V.Z., Uzlov K.I., Nosko O.A., Kritskaya TV. *«Vliyanie legirovaniya na strukturu i svoystva poluprovodnikovogo kremniya» Izvestiya Vuzov, materialy elektronnoy texniki № 1,2003, s. 26-29.*

12. Makhkamov Sh., Tashmetov M.Yu., Makhmudov Sh.A., Rafikov A.K., Sulaymonov A.A., Mirzarayimov J.Z. *Study of thermal stability of life time of charge carriers in overcompensated n-Si<B,S> // The Ninth International Conference —Modern Problems of Nuclear Physics and Nuclear Technologies, September 24-27, 2019. PP. -219-223.*

13. Makhkamov Sh., Tashmetov M.Yu., Makhmudov Sh.A., Rafikov A.K., Sulaymonov A.A., Mirzarayimov J.Z. *Photoresistors based on compensated Si<B,S> // The Ninth International Conference —Modern Problems of Nuclear Physics and Nuclear Technologies, September 24-27, 2019. PP. -227-229.*

14. Guchel R.I., Krastsov A.A., Stuk A.A.. *O vremeni jizni neosnovnix nositeley zaryada v neytronno-legirovannom kremnii // Ximiya v interesax ustoychivogo razvitiya 9. Moskva.2001 g. S. -879-883.*