

9-26-2018

# THE FLUCTUATION OF CONDUCTIVITY AND RELAXATION PROPERTIES OF SOLID SOLUTIONS $\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ ( $0 \leq x \leq 0.04$ ) UNDER GAMMA-RAY IRRADIATION

Sirojiddin Zaynabidinovich Zaynabidinov

*Professor of the Department of Physics at Andijan State University, doctor of physics-mathematics, academic*

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

---

### Recommended Citation

Zaynabidinov, Sirojiddin Zaynabidinovich (2018) "THE FLUCTUATION OF CONDUCTIVITY AND RELAXATION PROPERTIES OF SOLID SOLUTIONS  $\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$  ( $0 \leq x \leq 0.04$ ) UNDER GAMMA-RAY IRRADIATION," *Scientific reports of Bukhara State University*: Vol. 1 : Iss. 4 , Article 8.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/buxdu/vol1/iss4/8>

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 [brownman91@mail.ru](mailto:brownman91@mail.ru).

УДК. 621.315.592

**ГАММА КВАНТЛАРИ БИЛАН НУРЛАНТИРИЛГАН  $\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$  ( $0 \leq x \leq 0.04$ ) ҚАТТИҚ ЭРИТМАЛАРИНИНГ ЎТКАЗУВЧАНЛИК ФЛУКТУАЦИЯСИ ВА РЕЛАКСАЦИОН ХОССАЛАРИ**

**ФЛУКТУАЦИЯ ПРОВОДИМОСТИ И РЕЛАКСАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ  $\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$  ( $0 \leq x \leq 0.04$ ) ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ГАММА-КВАНТАМИ**

**THE FLUCTUATION OF CONDUCTIVITY AND RELAXATION PROPERTIES OF SOLID SOLUTIONS  $\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$  ( $0 \leq x \leq 0.04$ ) UNDER GAMMA-RAY IRRADIATION**

**Zaynabidinov Sirojiddin Zaynabidinovich**

*Professor of the Department of Physics at Andijan State University, doctor of physics-mathematics, academic*

**Madaminov Khurshidjon Mukhamedovich**

*Senior teacher of the Department of Physics at Andijan State University, candidate of physics-mathematics*

**Таянч сўзлар:** гамма нурланиш, фотоўтказувчанлик, фототок, релаксация, флукутация, релаксация вақти.

**Ключевые слова:** гамма-облучение, фотопроводимость, фототок, релаксация, флукутация, время релаксации.

**Key words:** gamma irradiation, photoconductivity, photocurrent, relaxation, fluctuation, relaxation time.

*Мазкур ишда  $p\text{Si}-n\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$  ( $0 \leq x \leq 0.04$ ) -тузилмалар фотоўтказувчанлигининг релаксацияси ва спектрал сезгирлигига кичик доза ( $10^5$  Радгача)даги гамма нурланишнинг таъсирини ўрганиш натижалари келтирилган. Тадқиқ этилган тузилмаларда кузатилган релаксация вақти доимийси қийматининг 55 дан 83 мкс гача ортиши ва фотосезгирликнинг нурланиш спектрининг кичик тўлқин узунликли соҳасида кучайиши материал таркибида мавжуд бўлган ўтказувчанлик флукутацияларига боғлиқлиги кўрсатилган.*

*В данной работе представлены результаты исследований по влиянию гамма-излучений малой дозы (до  $10^5$  Рад) на релаксацию фотопроводимости и спектральной чувствительности  $p\text{Si}-n\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$  ( $0 \leq x \leq 0.04$ ) -структур. Показано, что при гамма-облучении наблюдается рост значения постоянной времени релаксации от 55 до 83 мкс и увеличение фоточувствительности структур в коротковолновой области спектра излучения, которые связываются наличием флукутаций проводимости в объеме материала.*

*In this paper, we present the results of studies on the effect of low-dose gamma irradiation (up to  $10^5$  rad) on the relaxation of the photoconductivity and the spectral sensitivity of the  $p\text{Si}-n\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$  ( $0 \leq x \leq 0.04$ )-structures. It has been shown that with gamma irradiation, an increase in the relaxation time constant from 55 to 83  $\mu\text{s}$  and an increase in the photosensitivity of the structures in the short-wave region of the radiation spectrum have been observed, which can be attributed to the presence of conductivity fluctuations in the volume of the material.*

**Введение.** Выращивание новых полупроводниковых материалов и исследование их свойств является одной из актуальных задач в области полупроводникового материаловедения. Ранее в работах [1, 2] нами были приведены технологические условия получения непрерывного твердого раствора  $\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$  ( $0 \leq x \leq 0.04$ ) типа  $A^{\text{IV}}B^{\text{IV}}$  методом жидкофазной эпитаксии и некоторые результаты структурных и фотоэлектрических исследований данных материалов.

Исследования свойств твердых растворов  $\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$  привлекли наше внимание тем, что благодаря изовалентности атомов Sn в кристаллической решетке Si создаются благоприятные условия управления генерационно-рекомбинационными процессами и

переноса носителей заряда в этих материалах и структурах на их основе. Особый интерес представляет влияние внешних воздействий, как гамма-радиация, на эти процессы. В литературе [3-4] существуют разные точки зрения на механизмы действия этих эффектов, возникающих при радиационном облучении.

**Экспериментальная часть.** В данной работе нами были проведены исследования влияния гамма-облучения гамма-лучами изотопа  $^{60}\text{Co}$  дозами  $10^4$  и  $10^5$  Рад на релаксационные свойства  $p\text{Si}-n\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$  ( $0 \leq x \leq 0.04$ ) - структур [5]. Энергия и мощность гамма-лучей составляли  $\sim 1,25$  МэВ и  $0,9$  Рад/с, соответственно.

Время релаксации неравновесных носителей заряда оценивалось по релаксации фотопроводимости при малом уровне возбуждения. Возбуждение осуществлялось лазерным излучением с длиной волны  $0,95$  мкм и мощностью  $5$  мВт/см $^2$  в собственной области поглощения.

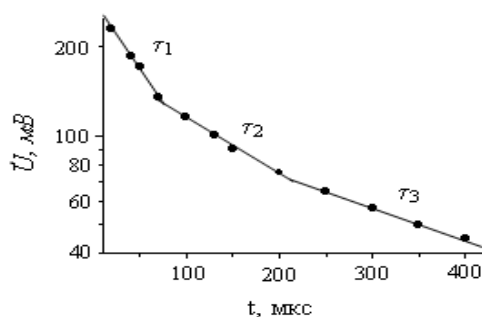
Как известно [5], релаксационная кривая описывается экспоненциальной зависимостью:

$$\Delta n = \Delta n_0 \cdot \exp(-t/\tau), \quad (1)$$

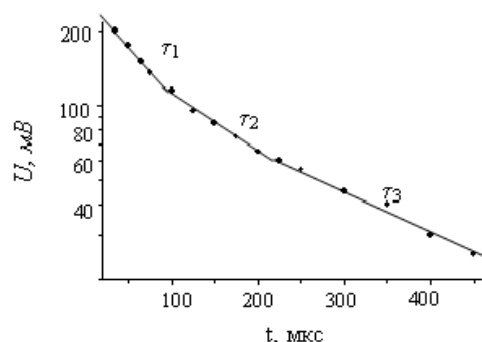
где  $\Delta n_0$  – концентрация неравновесных носителей при достижении стационарного состояния во время фотовозбуждения образца,  $\Delta n$  – концентрация неравновесных носителей после времени  $t$  выключения освещения,  $\tau$  – постоянное время релаксации. Поскольку напряжение ( $U$ ), возникающее при фотовозбуждении  $p$ - $n$  структуры, прямо пропорционально концентрации фотовозбужденных неравновесных носителей, следовательно, время релаксации можно оценить из наклона экспоненциального участка падения напряжения ( $U$ ) по времени:

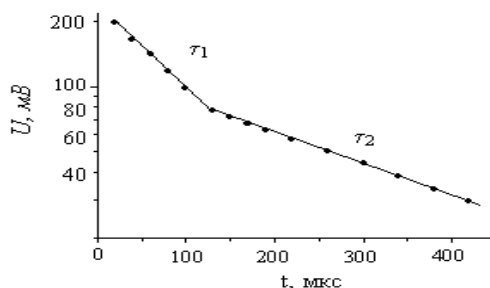
$$\tau = \frac{1}{\text{наклон}}. \quad (2)$$

На рис. 1 представлены релаксационные кривые фотонапряжения для исследованных необлученных (а) и облученных (дозой  $10^4$  Рад (б),  $10^5$  Рад (в)) структур.



**А) до гамма-облучения**



б) после гамма-облучения дозой  $10^4$  Радв) после гамма-облучения дозой  $10^5$  РадРис. 1. Кривые фоторелаксации  $pSi-nSi_{1-x}Sn_x$  ( $0 \leq x \leq 0.04$ )- структур

Из рис. 1а видно, что зависимость для необлученной структуры имеет три участка с разными постоянными временами релаксации:  $\tau_1 \approx 95$  мкс,  $\tau_2 \approx 199$  мкс и  $\tau_3 \approx 370$  мкс. Это свидетельствует о возможном существовании в слое  $Si_{1-x}Sn_x$  в основном 3-х типов эффективных центров рекомбинации, которые влияют на процессы фоторелаксации неравновесных носителей заряда. В этом случае эффективная постоянная времени релаксации ( $\tau_{эф}$ ) неравновесных носителей для необлученных структур, определенная нами по формуле

$$, (3)$$

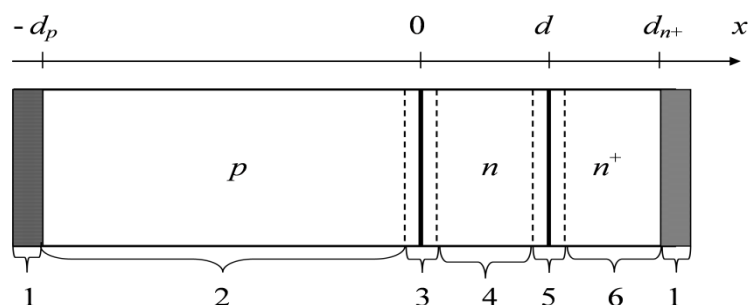
составила  $\tau_{эф} \approx 55$  мкс.

При облучении структуры дозой  $10^4$  Рад постоянные времен релаксации, обусловленные этими центрами, практически не меняются и имеют значения  $\tau_1 \approx 102$  мкс,  $\tau_2 \approx 198$  мкс и  $\tau_3 \approx 302$  мкс, соответственно (рис. 1б). Расчеты показали, что облучение практически не повлияло на эффективное постоянное время релаксации -  $\tau_{эф} \approx 55$  мкс.

Повышение дозы облучения до  $10^5$  Рад обуславливает рост  $\tau_1$  до 115 мкс и  $\tau_2$  до 303 мкс. При этом влияние центров третьего типа полностью отсутствует и эффективная постоянная времени релаксации после облучения дозой  $10^5$  Рад имеет значение  $\tau_{эф} \approx 83$  мкс (рис. 1в).

**Обсуждение экспериментальных результатов.** Наблюдаемое в данной работе увеличение значения постоянной времени релаксации после гамма-облучения дозой  $10^5$  Рад может быть объяснено на основе барьерной модели [6] в неоднородном полупроводнике, в котором существуют флуктуации проводимости в объеме материала (рис. 2).

В работе [7] показано, что в структурах  $pSi-nSi_{1-x}Sn_x$  ( $0 \leq x \leq 0.04$ ) между подложкой  $pSi$  и низкоомной эпитаксиальной пленкой  $nSi_{1-x}Sn_x$  существует высокоомный слой. Высокоомные включения ( $n^-$  области) в низкоомной матрице ( $n^+$  областях) образуют микро-  $n-n^+$  переходы, которые существенно влияют на явления переноса носителей тока (рис. 2).



1 - металлические контакты ( $R_{Om}$ ); 2 - слой  $pSi$  (подложка); 3 - область объемного заряда инжектирующего перехода  $pSi-nSi_{1-x}Sn_x$  ( $0 \leq x \leq 0.04$ ); 4 - высокоомный эпитаксиальный слой

твёрдого раствора  $pSi-nSi_{1-x}Sn_x$  ( $0 \leq x \leq 0.04$ ); 5 - область объёмного заряда инжектирующего перехода  $nSi_{1-x}Sn_x - n^+Si_{1-x}Sn_x$  ( $0 \leq x \leq 0.04$ ); 6 - низкоомный эпитаксиальный слой твёрдого раствора  $n^+Si_{1-x}Sn_x$  ( $0 \leq x \leq 0.04$ ).

Рис. 2. Схема  $R_{Om}-pSi-nSi_{1-x}Sn_x-n^+Si_{1-x}Sn_x-R_{Om}$  ( $0 \leq x \leq 0.04$ ) - структуры

Совокупность  $n^-$  и  $n^+$ -включений в твёрдом растворе в конечном итоге приводит к возникновению потенциального барьера. Величина этого потенциального барьера для  $n-n^+$ -переходов определяется соотношением типа [8]:

$$. (4)$$

Известно, что степень компенсации носителей заряда при облучении в  $n^-$ -областях выше, чем в  $n^+$ -областях, так как компенсирующая роль радиационных дефектов гораздо более ощутима для  $n^-$ -областей. Вследствии этого,  $n^+$ -области кристалла становятся более высокоомными, а  $n^-$ -области, практически не чувствуя компенсацию до определенной дозы гамма-облучения, остаются такими же низкоомными, что и приводит к уменьшению степени заполнения энергетических уровней в  $n^-$ -областях (рис. 3а и 3б). В термодинамически равновесном состоянии положение уровня Ферми ( $E_f$ ) в  $n^-$  и  $n^+$ -областях будет одинаковым.

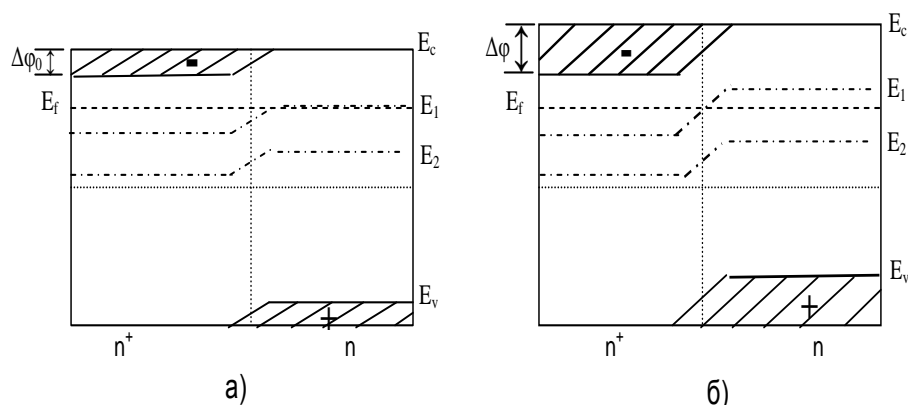


Рис.3. Модели неоднородных  $n^+$  - и  $n^-$ -областей, образующихся в  $pSi-nSi_{1-x}Sn_x$  ( $0 \leq x \leq 0.04$ )-структуре после гамма-облучения дозой  $10^4$  Рад (а) и дозой  $10^5$  Рад (б)

При облучении твёрдого раствора  $nSi_{1-x}Sn_x$  ( $0 \leq x \leq 0.04$ ) гамма-квантами за счет увеличения барьера  $\Delta\phi$ , создаваемого  $n^-$  и  $n^+$ -областями, время жизни электронов растет по экспоненциальному закону [9]:

$$, (5)$$

где  $\tau_0$  – время жизни электронов до облучения,  $\Delta\phi$  - высота потенциального барьера после облучения. Зависимость (5) хорошо описывает рост постоянной времени релаксации  $pSi-nSi_{1-x}Sn_x$  ( $0 \leq x \leq 0.04$ )-структур после гамма-облучения.

Как известно, изменение рекомбинационных параметров облученных структур должно проявляться в спектральных зависимостях фототока в этих структурах. В связи с этим нами проведены исследования по влиянию гамма-облучения на спектральные зависимости фототока  $pSi-nSi_{1-x}Sn_x$  ( $0 \leq x \leq 0.04$ )-структур.

На рис. 4 представлены спектральные зависимости фототока исследованных структур соответственно до облучения (кривая 1) и после гамма-облучения дозой  $10^4$  Рад (кривая 2) и  $10^5$  Рад (кривая 3). Из рис. 4 видно, что при облучении структуры гамма-квантами дозой  $10^4$  Рад спектральная зависимость фототока структур, как и релаксация фотопроводимости, практически не меняется, а после облучения дозой  $10^5$  Рад наблюдается подъем зависимости фототока от  $E_{ph}$  структуры в коротковолновой области спектра. При этом максимум этой зависимости до и после облучения максимума фототока наблюдается при одинаковых энергиях ( $E_{ph} \approx 1.43$ ) эВ

фотонов. Глубина залегания разделяющего барьера  $p-n$  перехода, определяемая толщиной эпитаксиального слоя, составляла  $\sim 20$  мкм [2]. Это возможно связано с тем, что часть фотогенерированных электронно-дырочных пар в приповерхностной области структуры не доходит до разделяющего барьера, что приводит к снижению фотоотклика в коротковолновой области спектра. Следовательно, можно предположить, что в эпитаксиальных слоях длина диффузионного пробега неосновных носителей меньше 20 мкм.

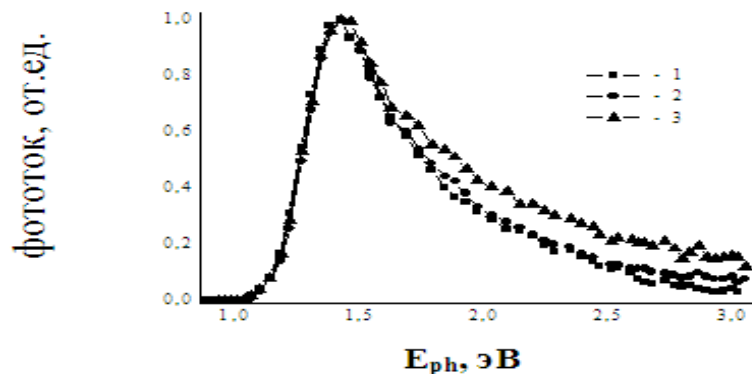


Рис. 4. Спектральные зависимости фототока  $p\text{-Si-nSi}_{1-x}\text{Sn}_x$  ( $0 \leq x \leq 0.04$ )- структур: 1 - до гамма-облучения; 2 - после гамма-облучения дозой  $10^4$  Рад; 3 - после гамма-облучения дозой  $10^5$  Рад.

Это можно объяснить ростом постоянной времени релаксации  $p\text{-Si-nSi}_{1-x}\text{Sn}_x$  ( $0 \leq x \leq 0.04$ )- структур с увеличением дозы облучения. Рост постоянной времени релаксации ( $\tau$ ) обуславливает увеличение диффузионной длины неравновесных носителей тока, определяемое по соотношению:

$$(6)$$

Оценка для комнатной температуры даёт значение увеличения диффузионной длины неравновесных носителей тока примерно 1.23 раза.

В результате этого электронно-дырочные пары, генерированные в приповерхностной области структуры коротковолновыми фотонами, доходя до разделяющего барьера  $p-n$  перехода, будут участвовать в создании дополнительного фототока. Впоследствии это приводит к наблюдаемому росту фототока структуры, особенно в коротковолновой области спектра излучения.

**Заключение.** Таким образом, в результате проведенных исследований было установлено, что гамма-облучение дозой  $10^5$  Рад приводит к повышению постоянной времени релаксации неравновесных носителей зарядов  $p\text{-Si-nSi}_{1-x}\text{Sn}_x$  ( $0 \leq x \leq 0.04$ )- структур от 55 до 83 мкс и увеличению фототока, проходящего через структуры в коротковолновой области спектра, которое обусловлено наличием флуктуаций проводимости в объеме материала.

## REFERENCES

1. Zaynabidinov S.Z., Saidov A.S., Usmonov Sh.N., Madaminov X.M. Poluchenie i issledovanie elektricheskix, fotoelektricheskix svoystv epitaksialnix plenok  $\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$  // Uzbekskiy fizicheskij jurnal. - Tashkent, 2010. - №3. - S. 147-153.
2. Saidov A.S., Usmonov Sh.N., Kalanov M. and Madaminov X.M. Structure and photoelectric properties of  $\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$  epiplayers // Technical Physics Letters. - New York, 2010. - Vol. 36. - №. 9. - P. 827-829.
3. Mak V.T., Manjara V.S., Beyzim V.I., Xivrich V.I. Vliyanie gamma-oblucheniya na shirinu zapreshennoy zoni ZnSe // Pisma v JTF. - Sankt-Peterburg, 2002. - T.28. - № 18. - C. 13-17.
4. Leyderman A.Yu., Stelmakh V.G. Influence of irradiation on injection processes in semiconductor // Modern Problems of Nuclear Physics: The Seventh International Conference. 22-25 September 2009. - Tashkent, 2009. - P. 184-186.

5. Madaminov X.M. Fotorelaksatsiya nositeley zaryada gamma-obluchennix pSi-nSi $_{1-x}$ Sn $_x$  (0 $\leq$ x $\leq$ 0.04)-struktur //Materiali 4-y Mejdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Strukturnaya relaksatsiya v tverdux telax". - Vinnitsa, 2012. - S. 229-231.
6. Karimov M., Karaxodjaev A.K. O prirode effekta vozrastaniya vremeni jizni nosi-teley toka pri obluchenii n-Si<P,Rh> //Izvestiya VUZov. Fizika. - 2000. - № 7. - S. 3-6.
7. Zaynabidinov S.Z., Usmonov Sh.N., Madaminov X.M. Issledovaniya temperaturnoy zavisimosti VAX tverdogo rastvora Si $_{1-x}$ Sn $_x$  //Materiali Respublikanskoy nauchno-texnicheskoy konferentsii "Fotoelektricheskie i teplofizicheskie osnovi preobra-zovaniya solnechnoy energii". - Fergana, 2011. - S. 22-23.
8. Vikulin I.M., Stafeev V.I. Fizika poluprovodnikovix priborov. - M.: Radio i svyaz, 1991. - 264 s.
9. Fistul V.I. Vvedenie v fiziku poluprovodnikov. - M.: Visshaya shkola, 1984. - 352 s