

## **СВОЙСТВА УРОВНЕЙ СКАНДИЯ В КРЕМНИИ**

**Султанов Н.А., Мирзажонов З., Юсупов Ф.Т., Ахмаджонов М. Ф.**

Ферганский политехнический институт, Узбекистан

[yusupov.fizika@gmail.com](mailto:yusupov.fizika@gmail.com)

### **АННОТАЦИЯ**

*Скандий – элемент III группы периодической системы. Свойства кремния, легированного скандием практически не исследованы. Легирование кремния скандием производилось диффузионным методом из напыленного слоя скандия или из нанесенного на поверхность пластин раствора  $ScCl_3$ .*

*Ключевые слова: диффузия, фотоемкость, фотоионизации, глубоких центров, оптическими переходами*

## **PROPERTIES OF SCANDIUM LEVELS IN SILICON**

**Sultanov N.A., Mirzazhonov Z, Yusupov F.T., Akhmadjonov M. F**

Fergana Polytechnic Institute, Uzbekistan

[yusupov.fizika@gmail.com](mailto:yusupov.fizika@gmail.com)

### **ABSTRACT**

*Scandium is an element of the III group of the periodic system. The properties of silicon doped with scandium have practically not been studied. Silicon was doped with scandium by the diffusion method from a sprayed layer of scandium or from a  $ScCl_3$  solution applied to the surface of the plates.*

*Keywords: diffusion, photocapacity, photoionization, deep centers, optical transitions*

## **KREMNIYDA SKANDIY HOSIL QILGAN SATHLARNING XUSUSIYATLARI**

**Sultonov N.A., Mirzajonov Z, Yusupov F.T., Axmadjonov M. F**

Farg'ona politexnika instituti, O'zbekiston

[yusupov.fizika@gmail.com](mailto:yusupov.fizika@gmail.com)

### **ANNOTATSIYA**

*Skandiy davriy tizimning III guruhi elementi. Skandiy bilan qo'shilgan kremniyning xossalari amalda o'rganilmagan. Skandiyning püskürtülmüş qatlamidan yoki plitalar yuzasiga qo'llaniladigan  $ScCl_3$  eritmasidan diffuziya usuli bilan kremniy skandiy bilan qo'shilgan.*

*Kalit so'zlar: diffuziya, fotosig'imiya, fotoionlanish, chuqur markazlar, optik o'tishlar*

## **ВСТУПЛЕНИЕ**

Диффузия производилась при температуре  $1200 \div 1250^{\circ}\text{C}$  в течение 9 – 12 час. При более высоких температурах диффузии происходит повышение удельного сопротивления кремния с  $20 \geq 30$  Ом.см. не зависимо от типа проводимости. Результаты легирования показывает, что скандий в Si является амфотерной примесью и что донорный уровень расположен в верхней половине запрещенной зоны кремния. Измерение фотоемкости (ФЕ) производились обычным способом. Спектры ФЕ типичного диода после окончания темновой релаксации емкости показан, что скандий образует в верхней половине запрещенной зоны несколько уровней с энергиями ионизации 0,27; 0,35; 0,5 и 0,55 эВ. Уменьшение емкости при  $h\nu \geq 0,6$  эВ связано с тем, что в этой области спектра становятся возможными двойные оптические переходы через уровни  $E_c - 0,5$  и  $E_c - 0,55$  эВ и для этих уровней выполняется соотношение  $\chi_p > \chi_n$  (сечения их фотоионизации). Дополнительные измерения ФЕ подтвердили, что в этой области спектра происходит частное заполнение уровней  $E_c - 0,5$  и  $E_c - 0,55$  эВ.

## **МЕТОДОЛОГИЯ**

Измерение параметров глубоких центров (ГЦ) с помощью фотоемкости основано на перезарядке глубоких уровней в свой объемного заряда (СОЗ) светом с энергией фотона, меньшей, чем ширина запрещенной зоны полупроводника (в дальнейшем такой свет будем называть «примесным»). Этот метод позволяет определять концентрацию, энергию ионизации, сечение фотоионизации и другие параметры уровней. Коэффициент поглощения примесного света определяется поглощением свободными носителями тока, колебаниями решетки, внутризонными переходами и другими механизмами.

В большинстве случаев измерение ФЕ проводят при низких температурах, когда скорость термической генерации невелика ( $\tau > 10^4$  с), т. е. в квази-стационарных условиях.

Концентрация свободных носителей тока в СОЗ определяется распределением Больцмана и существенна только вблизи границ СОЗ. Тогда оптическая перезарядка ГУ происходит по экспоненциальному закону с одной постоянной времени, если интенсивность света во всех частях СОЗ одинакова.

Если ГУ расположен выше середины запрещенной зоны в базе р-типа или ниже середины запрещенной зоны в базе n-типа, то при измерении ФЕ перезарядка его возможна только в области двойных оптических переходов ( $h\nu \geq (E_g - \Delta E)$ ).

Изменение емкости диода при перезарядке ГУ собственным светом происходит по экспоненциальному закону. При измерении спектров ФЕ диодов, которые содержат несколько ГУ в СОЗ, производится предельная перезарядка каждого ГУ.

### ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Для исследования фотопроводимости (ФП) были использованы кристаллы n-Si с  $\rho \geq 50$  Ом.см. Удельное сопротивление таких кристаллов после диффузии скандия возрастает до  $120 \div 250$  Ом.см. при 300К и до  $10^5 \div 10^8$  Ом.см. при 77К. Измерения ФП проводились при стационарном освещении образцов. Типичный спектр ФП приведен на рис.1 (кривая 1). Вид спектра ФП показывает, что фотоответ определяется глубокими уровнями вблизи

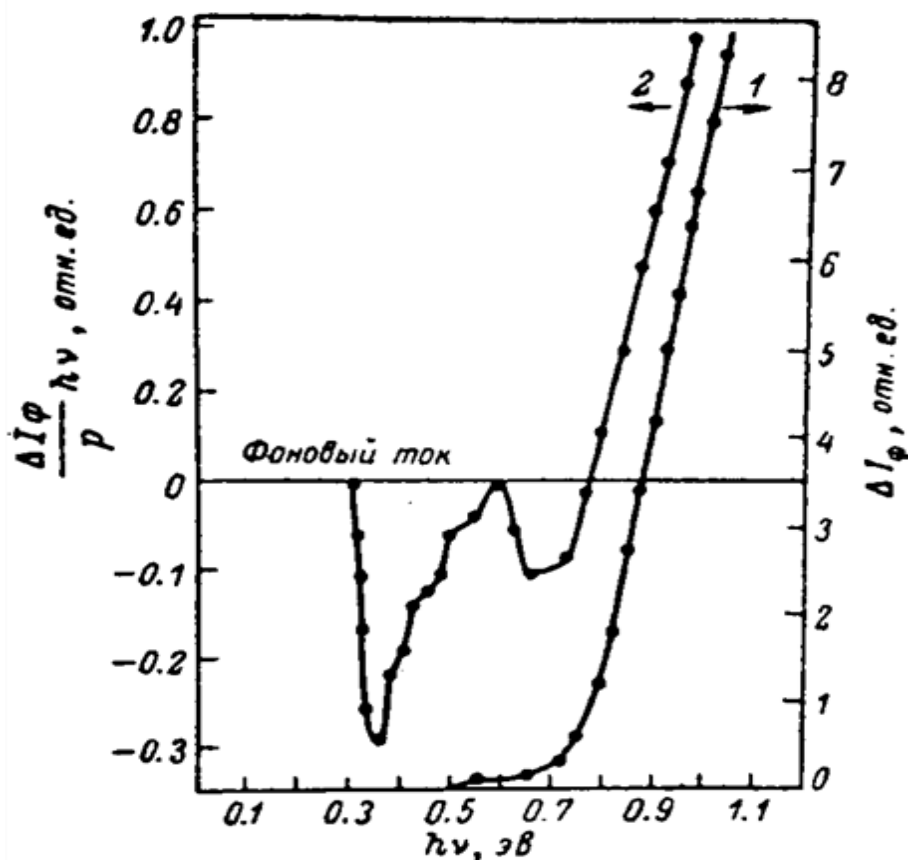


Рис.1. Спектры ФП (1) и ИК гашение ФП (2) n-Si(Sc).

середины запрещенной зоны. Резкий рост фотоответа в области  $h\nu \geq 0,7$  эВ связан с двойными оптическими переходами через эти и более мелкие уровни.

При освещении диодов собственным светом ( $h\nu = 1,35$  эВ) со стороны базы диода в слое объемного заряда происходит перезарядка глубоких уровней свободными дырками и емкость диодов возрастает. Измерение индуцированной ФЕ показали, что в нижней половине запрещенной зоны Si(Sc) есть уровни  $E_v + 0,35$  и  $E_v + 0,45$  эВ.

При измерении ФЕ происходит только частичная перезарядка уровней вблизи середины запрещенной зоны. Параллельное смещение кривых

$\Delta C = f(h\nu)$  в области  $h\nu \geq 0,65$  эВ показывает, что в Si(Sc) существует глубокий уровень (или несколько уровней), который имеет малое сечение фотоионизации ( $\chi < 10^{-19}$  см<sup>2</sup>), и его можно перезарядить только с помощью неосновных носителей тока.

Общая концентрация глубоких центров в n-Si, в легированном скандием при 1200-1250<sup>0</sup>С составляет  $(0,8-2,5) \cdot 10^{14}$  см<sup>-3</sup>. Следует отметить, что в диодах из n-Si(Sc) не наблюдаются уровни, характерные для термообработки.

Образцы Si(Sc) имеют высокую фоточувствительность в собственной области спектра. После выключения собственного света наблюдается вспышка ФП при  $h\nu = 1,3$  эВ, т.е уровни  $E_c - 0,27$  эВ являются уровнями прилипания для электронов. При стационарной собственной подсветке происходит захват электронов на уровне  $E_c - 0,27$  эВ, а фототок определяется свободными дырками.

Возбуждение захваченных электронов в зону проводимости приводит к их рекомбинации со свободными дырками и уменьшение фонового тока. Уменьшение глубины гашения в области  $h\nu \geq 0,4$  эВ связана скорее всего, с возбуждением электронов на уровне прилипания для дырок, которые находятся в нижней половине запрещенной зоны. Вторая половина гашения ФП связана с тем, что в области  $h\nu \geq 0,6$  эВ происходит генерация электронов с уровнем  $E_c - 0,5$  эВ и  $E_c - 0,55$  эВ.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, измерения спектров ФП показывает, что фотоответ определяется глубокими уровнями вблизи середины зоны. Резкий рост фотоответа в области  $h\nu \geq 0,7$  эВ связан с двойными оптическими переходами через эти и более мелкие уровни. Исследование спектров ФП и ИК гашения

показывает, что они согласуются со спектрами ФЕ и что уровни  $E_c - 0,27$  эВ являются уровнями прилипания для электронов.

## REFERENCES

1. Лебедев А.А., Султанов Н.А., Юсупов П. Фотоемкость (ФЕ) и фотопроводимость (ФП) кремня, легированного скандием || ФТП, 1980.Т.14. Вып.3.с.576-578.
2. Lebedev, A. A., N. A. Sultanov, and V. Ekhke. "Study of  $\gamma$  radiation on the spectrum of deep levels in zinc-doped silicon." *Fizika i Tekhnika Poluprovodnikov* 21.1 (1987): 18-22.
3. Sultanov, N. A., et al. "Photoluminescence spectra of silicon doped with cadmium." *Scientific-technical journal* 4.3 (2021): 22-26.
4. Султанов, Номанжан Акрамович, Эрмат Тожиматович Рахимов, and Зокиржон Мирзажонов. "ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ И ЕМКОСТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ЭЛЕМЕНТАМИ S, Se, Te." *Известия Ошского технологического университета* 3 (2019): 40-45.
5. Султанов, Номанжан Акрамович, Эрмат Тожиматович Рахимов, and Зокиржон Мирзажонов. "ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ И ЕМКОСТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ЭЛЕМЕНТАМИ S, Se, Te." *Известия Ошского технологического университета* 3 (2019): 40-45.
6. Yusupov, Fahriddin Tajimamat O'G'Li, et al. "USE OF VERNIER DIGITAL LABORATORY IN LESSONS AND LESSON ACTIVITIES." *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences* 1.10 (2021): 86-94.
7. Lebedev, A. A., A. T. Mamadalimov, and N. A. Sultanov. "Investigation of sulfur-doped silicon diodes exhibiting S-type negative resistance (Fabrication and I-V characteristics of S-type negative resistance alloyed diodes prepared from sulfur-doped n-type Si, outlining temperature dependence of turnoff time)." *SOVIET PHYSICS-SEMICONDUCTORS* 5 (1971): 17-24.
8. Fakhridin, Yusupov. "PHYSICS STUDENT PARTICIPATION TEST IN THE ONLINE GROUP HOMEWORK FORUM." *International Engineering Journal For Research & Development* 5.8 (2020): 4-4.
9. [9] Daliev, K. S., Lebedev, A. A., Sultanov, N. A., & Ekhke, V. (1985). Parameters of deep levels in Si. *Fizika i Tekhnika Poluprovodnikov*, 19(2), 338-340.
10. Tokhir, Rakhmonov, Yusupov Fakhridin, and Tolaboyev Dilmuhammad. "A STUDY IN SHOWING LOGICAL STRATEGY AND DEMEANOR IN THE MIDDLE SCHOOL." *International Engineering Journal For Research & Development* 5.7 (2020): 7-7.

11. Lebedev, A. A., N. A. Sultanov, and W. Ecke. "Investigation of the influence of  $\gamma$  irradiation on the spectrum of deep levels in zinc-doped silicon." *Soviet Physics-Semiconductors (English Translation)* 21.1 (1987): 10-13.
12. Касымов, Ш. С., et al. "Фотопреобразователь для исследования характеристик лазерного ИК излучения." *Журнал фізики та інженерії поверхні* 2.4 (2017): 218-222.
13. Султанов, Номанжан Акромович, Эрмат Тожиматович Рахимов, and Зокиржон Мирзажонов. "СПЕКТРЫ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ (ФЛ) ЗАКАЛЕННОГО И ЛЕГИРОВАННОГО КРЕМНИЯ." *Точная наука* 44 (2019): 22-25.
14. Мамаюсупова, Анорахон, Боходир Хошимович Каримов, and Зокиржон Мирзажонов. "БИОГАЗ И БИОМАССА." *Точная наука* 40 (2019): 13-17.
15. Султанов, Н. А., et al. "ВЛИЯНИЕ ОРИЕНТАЦИОННОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ГЛУБОКИЕ УРОВНИ ПРИМЕСЕЙ И РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В КРЕМНИИ." *ЕВРАЗИЙСКИЙ СОЮЗ УЧЕНЫХ (ЕСУ)* (2019): 46.
16. Юлдашев Носиржон Хайдарович, Ахмаджонов Мехриддин Фахриддинович, Мирзаев Валижон Тулкинович, Нурматов Озодбек Равшанжон Угли Фотоэлектретные пленки CdTe:Ag и Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> при собственном и примесном поглощении света shape \* Mergeformat // *Евразийский Союз Ученых*. 2019. №3-4 (60).
17. Axmadjonov M. F. et al. THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF CdTe: Ag PHOTOELECTRICAL FILMS IN THE AREAS OWN AND IMPURITE ABSORPTION // *Scientific-technical journal*. – 2019. – Т. 2. – №. 2. – С. 9-17.
18. Rakhmonov, T I. and Yuldashev, N Kh (2021) "PHOTO-TENSOELECTRIC PROPERTIES OF THIN POLYCRYSTALLINE CdTe, CdSe, CdS FILMS OBTAINED BY PORTIONAL THERMAL EVAPORATION IN A VACUUM," *Scientific-technical journal: Vol. 4 : Iss. 4 , Article 4*.
19. Yuldashev N. K. et al. THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF CDTe: Ag PHOTOELECTRICAL FILMS IN THE AREAS OWN AND IMPURITE ABSORPTION // *Scientific-technical journal*. – 2019. – Т. 23. – №. 2. – С. 9-17.
20. Ahmadaliev, B J.; Akhmadjonov, M F.; Nurmatov, O R.; Yuldashev, N Kh; Mamatov, O M.; Muxammadyakubov, H E.; and Urmonov, S R. (2019) "THE DISPERSION AND PHOTOLUMINESCENCE SPECTRUM OF MIXED EXCITONS AT CRITICAL DAMPING VALUES," *Scientific-technical journal: Vol. 2 : Iss. 1 , Article 2*. Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi/vol2/iss1/2>

21. Ahmadaliev B. J. et al. THE DISPERSION AND PHOTOLUMINESCENCE SPECTRUM OF MIXED EXCITONS AT CRITICAL DAMPING VALUES //Scientific-technical journal. – 2019. – Т. 2. – №. 1. – С. 9-14.
22. Nurmatov, O.; Rahmonov, T.; Sulaymonov, Kh.; and Yuldashev, N. (2020) "PHOTOTENZOELCTRIC PROPERTIES OF POLYCRYSTALLINE FILMS OF CHALCOGENIDES OF CADMIUM AND ZINC, PRODUCED BY PORTIONAL EVAPORATION IN VACUUM," *Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering*: Vol. 2 : Iss. 5 , Article 10.
23. Сулаймонов Х. М. и др. ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР CdTe: Sn ПРИ СТАТИЧЕСКИХ МЕХАНИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЯХ //Известия Ошского технологического университета. – 2019. – №. 3. – С. 180-186.
24. Yuldashev N. K. et al. THE EFFECT OF MECHANICAL DEFORMATION ON THE PHOTOVOLTAIC PROPERTIES OF SEMICONDUCTOR POLYCRYSTALLINE FILM STRUCTURES CdTe: Sn //Scientific-technical journal. – 2019. – Т. 23. – №. 3. – С. 9-14.
25. Мирзаев В. Т. и др. МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ (P3)-ИОНОВ В ПАРАМАГНИТНЫХ ГРАНАТАХ //Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. – 2019. – С. 34-36.
26. Юлдашев Носиржон Хайдарович, Ахмаджонов Меҳриддин Фахриддинович, Мирзаев Валижон Тулкинович, Нурматов Озодбек Равшанжон Угли Фотоэлектретные пленки CdTe:Ag и Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> при собственном и примесном поглощении света shape \* MERGEFORMAT // Евразийский Союз Ученых. 2019. №3-4 (60). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fotoelektretnye-plenki-cdte-ag-i-sb2se3>