

In our case, this condition is met. The linear parameters of unit cells in the two phases increasing with  $x$  is a characteristic of the two phases coexistence region ( $x=0.6-0.8$ ). In the orthorhombic phase, the parameters  $b_0$  and  $a_0$  that decrease as  $x \rightarrow 1.0$  and increase as  $x$  increases. In this phase, the changes in  $D$  and  $\Delta d/d$  have a general trend.

## References

1. S.L. Samal, T. Magdaleno, K.V. Ramanujachary, S.E. Lofland, A.K. Ganguli, J. Solid State Chem. 183, 643 (2010)
2. G. Qiang, Y. Fang, X. Lu, S. Cao, J. Zhang, Appl. Phys. Lett. 108, 022906 (2016)
3. Y. Yun, A. S. Thind, Y. Yin, H. Liu, Q. Li, W. Wang, A. T. N'Diaye, C. Mellinger, X. Jiang, R. Mishra, and X. Xu, SSRN Electron. J. (2021).
4. L.J. Downie, R.J. Goff, W. Kockelmann, S.D. Forder, J.E. Parker, F.D. Morrison, P. Lightfoot, J. Solid State Chem. 190, 52 (2012)
5. Kamaludin Abdulvakhidov · Zhengyou Li · Bashir Abdulvakhidov · Alexander Soldatov Structure phase state and physical properties of YbMn1-xFexO3 compositions ; Applied Physics A (2023) 129:185 <https://doi.org/10.1007/s00339-023-06469-5>

#### ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ХОЛЛОВСКОЙ ПОДВИЖНОСТИ И КОНЦЕНТРАЦИИ НОСИТЕЛЕЙ В ПЛЕНКАХ $CdSe_{0.8}S_{0.2}$

Айибжонов М., Мирзаев В.Т., Туйчибаев Б.К., Юлдашев Н.Х.  
Ферганский политехнический институт,

**Аннотация.** Представлены результаты холловских измерений в темноте подвижности и концентрации электронов в зависимости от температуры. пленок  $CdSe_{0.8}S_{0.2}$ , полученных с помощью метода термического испарения в вакууме. Экспериментальные результаты интерпретированы на основе модели полупроводниковой пленки с межгранульными потенциальными барьерами.

**Ключевые слова:** твердые растворы  $CdSe_{1-x}$  поликристаллическая пленка, температурное и инфракрасное гашение темновой проводимости.

Ранее авторами работы [1] впервые обнаружена инфракрасное (ИК) и температурное гашение (ТГ) темновой проводимости (ТП) в диапазоне 77-523 К для пленочных образцов  $CdSe$ , обусловленные перезарядкой объемных глубоких центров рекомбинации в области пространственного заряда и модуляцией, как этой области, так и дрейфовых барьеров на границах кристаллитов при нагревании или под действием инфракрасного излучения.

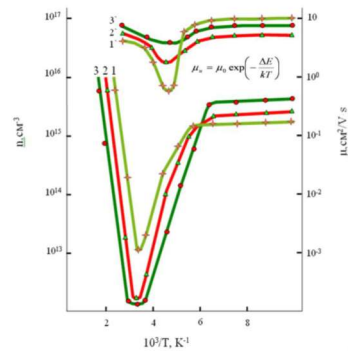
Для выяснения природы наблюдаемых явлений ТГТП и ИКГТП в исследованных нами пленках  $CdSe_{0.8}S_{0.2}$  проводились холловские измерения в темноте средних значений подвижности  $\mu_H$  и концентрации электронов  $n$  в зависимости от температуры  $T$ .

На рисунке 1 показаны температурные зависимости  $\mu_H(T)$  и  $n(T)$ . Экспериментальные кривые 1-3 коррелируют кривым работы [1], а кривые 1'-3' рассчитывались с помощью соотношения  $n = R_H \sigma_d / R_H$  (коэффициент Холла).

Видно, что все зависимости  $\mu_H(T)$ ,  $n(T)$ ,  $\sigma_d(T)$  имеют минимумы при одной и той же температуре вблизи  $T = 300$  К. В области  $T = (100 \div 150)$  К величины  $n$ ,  $\mu_H$  и, следовательно,  $\sigma_d$  почти не зависят от температуры, что по-видимому, соответствует истощению доноров и туннельному механизму электропроводности поликристаллических полупроводников.

Если холловскую подвижность равновесных электронов  $\mu_H$  связать со средней высотой дрейфовых барьеров  $\Delta E_\mu$  как

$$\mu_H = \mu_0 \exp\left(-\frac{\Delta E_\mu}{kT}\right),$$



(1) Рис.1. Температурная зависимость холловских  $\mu_0$ - холловская подвижность в концентраций  $n$  (1-3) и подвижности  $\mu_H$  (1'-3') однородном образце, равная  $200 \text{ cm}^2/(\text{В} \cdot \text{равновесных электронов})$ .

с), то из кривых 1'-3' получаем, что в области  $150 \div 300$  К температурного гашения  $d\Delta E_\mu/dT < 0$  (т.е. имеем аномальную зависимость), а при  $T > 300$  К  $d\Delta E_\mu/dT > 0$ . Интересно заметить, что для образца  $CdSe(CuCl)$  в области гашения подвижность изменяется с температурой как  $\mu \sim T^{-3/2}$ , а после гашения увеличивается по экспоненциальному закону с энергией активации  $\Delta E_\mu = 0.11$  эВ. Кроме того, в области малого гашения  $\mu_H \sim T^{-5/2}$  и  $\mu_H \sim T^{-7}$  у всех образцов, а в интервале температур большого гашения  $\mu_H \sim T^{-5/2}$  и  $\mu_H \sim T^{-7}$  соответственно для образцов  $CdSe(CuCl)$  и  $CdSe$ . Для последних при температуре  $T > 300$  К холловская подвижность растет сначала как  $\mu_H \sim T^3$  и  $\mu_H \sim T^5$ , а затем по экспоненциальным законам с энергией активации 0.13 и 10 эВ. Сложная температурная зависимость  $\mu_H(T)$  в окрестности температурного гашения естественно отражает совсем непростой механизм рассеяния электронов на дрейфовых барьерах. Существенное уменьшение концентрации электронов при повышении температуры приводит к расширению, большому перекрытию и росту высоты соседних потенциальных барьеров, а также к образованию новых дрейфовых барьеров. Резкое отличие температурного хода  $\mu_H(T)$  у разных образцов обусловлено разными кристаллическими структурами пленок, присутствующими в них примесями и собственными дефектами. Пользуясь моделью фотопроводимости однородного полупроводника, содержащего два или более типа центров рекомбинации [2], не удастся объяснить исследованные эффекты ТГТП и ИКГТП. Полученные экспериментальные результаты также не укладываются в рамки модели работы [3], где рассчитана отрицательная температурная зависимость равновесной концентрации носителей

тока при наличии гетероперехода между низкоомной приповерхностной областью и высокоомным объемом полупроводника. Хотя из приведенных выше экспериментальных результатов видна бесспорная роль процессов перезарядки объемных рекомбинационных  $r$ - ,  $r$  -,  $s$ -центров и поверхностных состояний, а также коррелированной с ними термической модуляции дрейфовых барьеров, однако механизм проявления этих процессов в явлениях ТГТП и ИКГТП, на первый взгляд, совсем не очевиден в рамках известных моделей гашения фотопроводимости. Тем не менее, по-видимому, качественно можно описать наблюдаемые аномальные эффекты следующим образом.

Рассмотрим физическую модель бикристалла, соответствующую приграничной области двух соседних зерен поликристаллического компенсированного полупроводника  $n$ -типа проводимости с объемными центрами быстрой ( $s$ ) и медленной ( $r$ ) рекомбинации (рис.2).

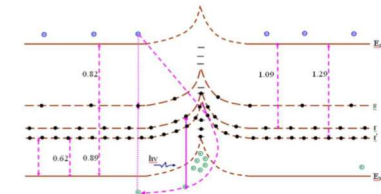


Рис.2. Модель бикристалла с объемными  $r$ - и  $s$ -центрами рекомбинации и схема электронных переходов, приводящих к температурному или ИК-гашению темновой проводимости.

В равновесном состоянии из-за искривления энергетических уровней вверх в окрестности границы раздела соседних кристаллитов при эффективном действии поверхностных акцепторных уровней рекомбинационные  $r$ - центры в области пространственного заряда в отличие от квазинейтрального объема оказываются частично заполненными, а  $s$ -центры, связанные двукратнозаряженной вакансией кадмия  $V_{Cd}$ , опустошаются и превращаются в однозарядное состояние  $V_{Cd}^-$  ( $r$ -центр), что приводит к увеличению концентрации  $r$ -центров в области границы раздела. Поглощение фононов при ТГТП или квантов ИК излучения при ИКГТП в области пространственного заряда может вызывать переходы электронов из валентной зоны на пустые уровни  $r$ - центров. Образованная при этом свободная дырка будет участвовать в процессах рекомбинации со свободными электронами зоны проводимости через  $r$ - и  $s$ -центры, либо через поверхностные уровни, в результате чего средняя концентрация равновесных электронов проводимости, а значит, и темновая проводимость уменьшаются.

В заключение отметим, что исследованные поликристаллические образцы  $CdSe: Cd : Cu : Cl$  могут быть применены в качестве термических переключателей в интервале  $T=150-300K$  и приемников слабого ИК излучения в диапазоне  $\lambda = 1 \div 3 \mu m$  при  $T < 300 K$ .

#### Литература

1. Айибжанов М., Каримов М.А., Саидов М.С., Юлдашев Н.Х. Аномальная температурная зависимость и инфракрасное гашение равновесной проводимости в поликристаллических пленках  $CdSe$  // ФТП. 1996.-№9 (30).- С. 1578 – 1584.

2. Юлдашев Н.Х., Каримов М. Люкс–амперная характеристика пленочных поликристаллических фоторезисторов из  $CdSe$  с продольной фотопроводимостью // Узбекский физический журнал - Ташкент. 2005. -№ 4 (7). - С. 254-259
3. Лашкарев В.С., Любченко Л.К., Шейнман М.К. Неравновесные процессы в полупроводниках. – Киев.: Наукова думка, 1981.- 270 с.
4. Yuldashev, N.Kh., Mamadiyeva, D.T., Mirzaev, V.T. and Xidirov, D.Sh. (2022) Effect of Heat Treatment Conditions on Photo sensitivity of  $CdSe_xSi_{1-x}$  Polycrystalline Films. Journal of Applied Mathematics and Physics, 10, 3208-3217.

#### ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КРЕМНИЯ ЛЕГИРОВАННОГО ПРИМЕСНЫМИ АТОМАМИ ГЕРМАНИЯ

<sup>1</sup>Н.Ф. Зикриллаев, <sup>2</sup>К.С.Аюпов, <sup>3</sup>Н.Наркулов, <sup>1</sup>Ф.Э.Уракова,

<sup>1</sup>Г.А. Кушиев, <sup>3</sup>О.С. Незматов, <sup>1</sup>Т.Э.Рашидов

<sup>1</sup>Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан

<sup>2</sup>Национальные университет Узбекистана

<sup>3</sup>Самаркандский государственный университет, Узбекистан

**Аннотация:** Результаты исследования электрофизических и магнитных свойств образцов кремния диффузионно легированного примесными атомами германия показали, что примесные атомы германия в кремнии образуют бинарные соединения типа  $Ge_xSi_{1-x}$ , концентрация которых меняется по глубине исходного кремния. Определены оптимальные электрофизические параметры и магнитные свойства полученных образцов кремния, которые позволили показать возможности создания на их основе новые виды датчиков и приборов в полупроводниковой электронике. Эти исследования позволяют развивать направление в области материаловедения с магнитными свойствами и создавать эффективные фотоэлементы в фотозенергетике.

**Ключевые слова:** кремний, германий, примесь, спин, магнитосопротивление, бинарное соединение, диффузия

Сегодня особое внимание уделяется получению новых видов материалов путем формирования кластеров примесных атомов на поверхности и в объеме кремния, которые приводят к изменению фундаментальных параметров исходного материала. Такие исследования относятся к одним из современных и актуальных направлений в области физики полупроводников. Для получения наноразмерных структур примесных атомов в кремнии современными методами молекулярно-лучевой эпитаксии или ионной имплантации требуется использование дорогостоящих технологических установок и достаточно больших энергетических затрат [1]. В этом направлении одной из важных задач является разработка диффузионной технологии формирования наноразмерных бинарных соединений примесных атомов, позволяющая получить не только достаточно большую концентрацию в объеме кремния, но и материала с заданным составом, структурой и электрофизическими параметрами. В связи с этим требуется разработать новые диффузионные методы легирования из газовой фазы для образования бинарных соединений примесных атомов в объеме кремния, в которых были обнаружены многие новые интересные физические явления.

Примесные атомы германия в кремнии могут образовывать бинарные соединения  $Ge_xSi_{1-x}$  ( $A^{IV}B^{IV}$ ), которые приводят к изменению электрофизических и фотоэлектрических