

2. Mamatkarimov, O. O. Quchqarov, B. X. Abdulkhayev, A. A. (2019). Релаксационная зависимость емкости трехслойной структуры в процессе формирования заряда инверсионного слоя. "Namangan davlat universiteti ilmiy axborotnomasi", 2019-yil 6-soni 26-33.

3. Mamatkarimov, O. O. Quchqarov, B. X. Sharibaev, N.Yu. Abdulkhayev, A. A. (2021). Influence of the ultrasonic irradiation on characteristic of the structures metal-glass-semiconductor. "European Journal of Molecular & Clinical Medicine", ISSN 2515-8260 Volume 08, Issue 01, 2021, 610 -618.

4. O.O.Mamatkarimov, B.X.Quchqarov, Abdulkhayev, A. A. B.Q.Nematullayev "Formation of layers in the migration of electrons when heterostructures occur in MDYa structures". WEB of scientist: International scientific research journal ISSN: 2776-0979, Volume 3, Issue 4, April., 2022 418-426p

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОЗРАЧНОСТИ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО БАРЬЕРА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Онаркулов К.Э., Зайнолобидинова С.М.,  
Ферганского государственного университета

**Аннотация:** В работе приведены результаты исследования влияния структурных особенностей на транспорт носителей заряда в поликристаллических полупроводниковых пленках. Рассчитаны прозрачность межкристаллитных потенциальных барьеров в зависимости от температуры.

**Ключевые слова:** поликристалл, граница зерен, поверхностные состояние, прозрачность потенциальный барьер, эффективная масса, концентрация.

До сих пор физические механизмы, ответственные за механические, электрические, оптические и другие свойства твердых тел, имеющих поликристаллическую структуру, не установлены вполне определенно. Как отмечалось, проблема состоит в сложности идентификации природы граница зерен (ГЗ) и их реальной структуры [1-2], хотя, например, уже давно известно, что многие физические явления обусловлены именно наличием ГЗ и их свойствами. Ещё можно указать, что оптическая анизотропия металлических пленок и поликристаллических пленок полупроводников [3], на наш взгляд, также связаны со структурными особенностями ГЗ. При решении такой задачи нас будет интересовать случай невырожденной статистики носителей заряда (статистика Больцмана). В соотношения

$$E = \left( \frac{2C}{C^2 + 1} \right)^2 \varphi(0), \quad C = \exp \frac{1}{4} \sqrt{\frac{e^2 \hbar^2 N_d}{\varepsilon \varepsilon_0 m_{dn} k^2 T^2}} \quad (1) \quad \text{и}$$

$$D(E) = A \cdot B \exp \left( -\frac{C^2 - 1}{C^2 + 1} \frac{\varphi(0)}{kT \ln C} \right) \quad (2)$$

входят параметры  $N_d$  и  $T$ , первый из них характеризует концентрацию электронов в материале основы поликристалла, а второй – состояние внешней среды. Посмотрим как эти параметры могут влиять на прозрачность потенциального барьера.

Пусть зерна поликристалла легированы только одной, донорной примесью до концентрации от  $10^{16}$  до  $5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Будем рассматривать интервал температур от азотной (77К) до комнатной (300К). В этой области температур примесь (например в германии) можно считать полностью ионизированной [4-5], т.е. в этом случае каждый атом примеси поставляет в зону проводимости один электрон  $n=N_d$ . В указанном интервале  $n$  «работает»

большинская статистика. Будем считать, что на ГЗ имеются поверхностные состояния (ПС) с энергией  $E_s = E_c - 0,1 - 0,15$  эВ. Расчет показывает, чтобы удовлетворить условию

$$N_s < \sqrt{\frac{8\epsilon\epsilon_0 N_d (E_F - E_s)}{e^2 g^2}} = N_s^* \quad (3)$$

во всем интервале принятых выше концентраций носителей заряда, необходима концентрация ПС  $N_s > 3 \cdot 10^{12}$  см<sup>-2</sup>. При расчетах приняты значения  $\epsilon = 16$ ,  $m_{dn} \approx 0,25 m_0$  ( $m_0$ -масса свободного электрона), заимствованные из [6]. Расчетное значение  $N_s$  соответствует  $g=2$ ; если считать, что  $g=1$ , из-за кулоновского отталкивания второго электрона занятым уровнем ПС, то необходимо принять  $N_s > 4,5 \cdot 10^{12}$  см<sup>-2</sup>. Такая концентрация ПС на ГЗ в поликристаллах Ge вполне реальна. Постоянная решетки в Ge  $a \approx 0,357$  нм, поэтому чтобы  $N_s$  была такой, как принято выше, достаточно углов разориентации зерен  $\geq 13^\circ$ .

Если выполняется условие (3), то уровень Ферми «завязывается» с уровнем ПС и определяется соотношением

$$\varphi(0) \approx E_F - E_s + kT \ln \left( \frac{N_s}{N_s^*} - 1 \right) \quad (4)$$

Поскольку все соотношения, полученные в результате, «работают» по энергии с точностью до  $kT$ , не теряя смысла для получаемых впредь результатов, вместо (4) положим

$$\varphi(0) \approx |E_s - E_F| \approx 0,1 \text{ эВ} \quad (5)$$

На рис.1 отражены расчетные концентрационные зависимости прозрачности потенциального барьера на ГЗ в поликристалле Ge в рамках введенных выше условий. Кривые прозрачности, рассчитанные согласно

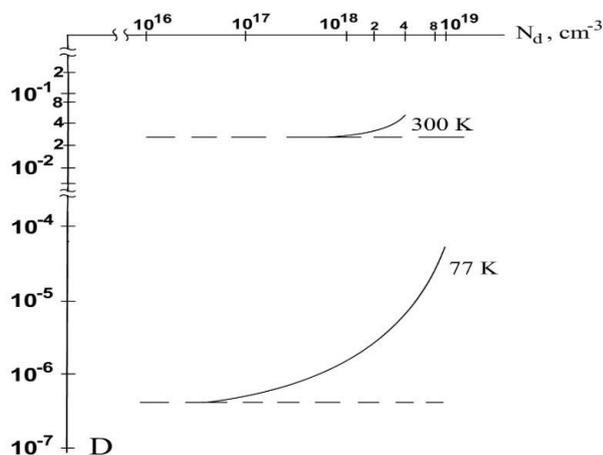


Рис. 1. Концентрационные зависимости прозрачности потенциального барьера на ГК при различных температурах.

(2), сравниваются с прозрачностью тех же барьеров без учета туннелирования. Им на рис. 1. соответствуют штриховые линии.

Чтобы дать более полную характеристику зависимостям  $D(N_d)$  на рис.1, оценим толщину потенциальных барьеров у их оснований для нескольких значений уровней легирования  $N_d$ . Оценку будем проводить по формуле

$$\varphi(x) = \frac{e^2 N_d}{2\epsilon\epsilon_0} \left( \frac{l}{2} - x \right)^2 \quad (6),$$

где  $l = gfN_s/N_d$  – толщина барьера (радиус экранирования избыточного заряда вблизи ГЗ). Для всех значений  $N_d$  величину  $|E_s - E_F|$  будем считать равной  $0,1 \text{ эВ}$ , как это и делалось при расчете  $D$ .

Используя приведенные параметры  $Ge$ , получим следующие расчетные значения  $l$ : 370 нм ( $10^{16} \text{ см}^{-3}$ ), 53 нм ( $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ) и 17 нм ( $5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ). Как видно из расчетов увеличение уровня легирования зерен ведет к значительному уменьшению ширины потенциального барьера.

При этом термоактивационный член

$$P_a(\varphi(0)) \approx \exp\left(-\frac{\varphi(0)}{kT}\right) \quad (7)$$

от толщины барьера вовсе не зависит (штриховые линии на рис.1). Таким образом, механизм прохождения носителя заряда через барьер существенно зависит от уровня легирования зерен.

Посмотрим, как зависит прозрачность барьера от температуры при различных уровнях легирования зерен. На рис.2. даны расчетные зависимости прозрачности барьера при изменении температуры от 77 до 300 К. Если брать во внимание только термоактивацию носителей заряда через потенциальный барьер, то расчетная зависимость прозрачности барьера независимо от уровня легирования зерен будет отображаться кривой 1.

Если использовать общий подход (2), то можно видеть увеличение прозрачности барьера (кривая 2). Сравнивая зависимости 2 и 3, можно констатировать - увеличение уровня легирования сильно изменяет, как мы и отмечали выше, вклад туннелирования через барьер в величину прозрачности. Более того, при достаточно высоких уровнях легирования носители заряда преодолевают потенциальный барьер в основном за счет туннельного эффекта (кривая 3 на рис.2.).

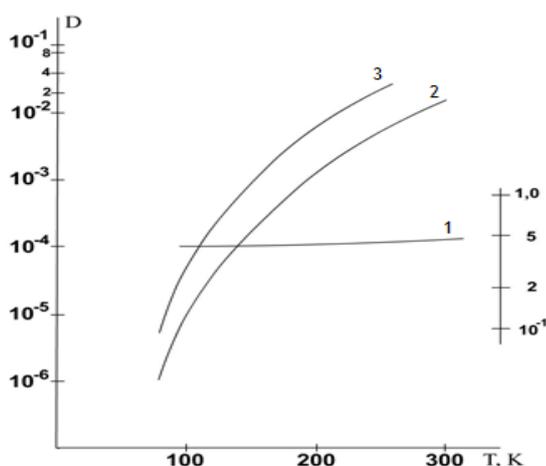


Рис. 2. Температурная зависимость прозрачности потенциального барьера на ГЗ в Ge без учета туннелирования (1) и при его учете (2,3). Концентрация примеси  $N_d$ ,  $\text{см}^{-3} \cdot 10^{16}$  (1,2) и  $5 \cdot 10^{18}$  (3). Правая ось ординат относится к кривой 3.

Таким образом, анализируя расчетные данные рис.1 и 2, можно утверждать, что во многих случаях, несовпадение или существенное различие экспериментальных результатов и теоретических расчетов для поликристаллических барьерных структур связано с

игнорированием туннельной составляющей прозрачности барьера. Иначе говоря, туннелирование может быть, по сути, обязательным атрибутом даже не квантовых эффектов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Атакулов, Ш. Б., Зайнолобидинова, С. М., Набиев, Г. А., Набиев, М. Б., & Юлдашев, А. А. (2013). Теория явлений переноса в поликристаллических пленках халькогенидов свинца. Подвижность. Невырожденная статистика. *Физика и техника полупроводников*, 47(7), 869-873.
2. Атакулов, Ш. Б., Зайнолобидинова, С. М., Набиев, Г. А., & Тухтаматов, О. А. (2012). Влияние структурных особенностей поликристаллических пленок полупроводников на формирование эффекта аномального фотонапряжения. I. Механизм явления. *Физика и техника полупроводников*, 46(6), 728-733.
3. Онарқулов, К. Э., & Зайнолобидинова, С. М. (2022). СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК ПОЛУПРОВОДНИКОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЭФФЕКТА АНОМАЛЬНОГО ФОТОНАПРЯЖЕНИЯ. *PEDAGOGICAL SCIENCES AND TEACHING METHODS*, 13(2), 228-232.
4. Зайнолобидинова, С. М. (2018). Формирование эффекта аномального фотонапряжения поликристаллических структурах. *Интеграция наук*, (4), 38-41.
5. Атакулов, С. Б., Зайнолобидинова, С. М., Набиев, Г. А., & Отаджонов, С. М. (2011). К теории аномальных фотоэлектрических и фотомангнитных эффектов в полупроводниковых пленках. *Узбекский физический журнал*, 13(4), 255-260.
6. Зайнолобидинова, С., & Рахимова, Л. (2022). КОНЦЕНТРАЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТИ ПРОЗРАЧНОСТИ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО БАРЬЕРА. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 2(10-2), 910-915.

### PROBLEMS OF FORMING INDEPENDENT ACTIVITY OF VOCATIONAL SCHOOLS IN THE PROCESS OF PHYSICAL EDUCATION

Y. Mamatokhunov, F. Kasimov  
Andijan State University

**Annotation:** Today, one of the important tasks of secondary specialized and vocational education is the education of talented individuals, deep thinkers who have achieved an independent worldview. Because the psychology of submission to the opinion of elders, following various conflicts and other people's ideologies will inevitably lead to a deterioration in the spirituality of society.

**Keywords:** The confinement of electrons within quantum wells, leading to quantized energy levels, A nanostructure with discrete energy levels for electrons, crucial in optoelectronic devices.

It is known that although independent thinking and independent activity are individual characteristics of a deaf person, this characteristic develops in society when the environment of relations between people is good. In particular, the desired goal can be achieved only if the independent activities of students in the educational process are organized and directed on a scientific basis. Here we will give a brief description of the concepts of "independent learning" and "independent work", which are often found in the scientific and methodological literature. By independent learning we mean that a certain part of the scientific program materials is studied and