

КОНЦЕНТРАЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТИ ПРОЗРАЧНОСТИ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО БАРЬЕРА

С.Зайнолобидинова

Л.Рахимова

Ферганские государственные университет

s.zaynolobidinova@pf.fdu.uz

АННОТАЦИЯ

В работе приведены концентрационная зависимости прозрачность барьера, образованного поверхности состояние на граница кристаллитов полупроводниковых поликристаллов, при произвольной статистике электронов в зависимости от температуры, концентрация, параметров барьера и материала зерен.

Ключевые слова: *полупроводник, поликристалл, концентрация, электрон, поверхность состояния, температура, термоактивация, прозрачность, кристаллит, толщины барьера, высота барьера.*

ABSTRACT

The paper presents the concentration dependences of the transparency of the barrier formed by the surface state at the crystallite boundary of semiconductor polycrystals, with arbitrary electron statistics depending on temperature, concentration, barrier parameters and grain material.

Keywords: *semiconductor, polycrystal, concentration, electron, surface of state, temperature, thermal activation, transparency, crystallite, barrier thicknesses, barrier height.*

ВВЕДЕНИЕ

При решении такой задачи нас будет интересовать случай невырожденной статистики носителей заряда (статистика Больцмана). В соотношения

$$E = \left(\frac{2C}{C^2 + 1} \right)^2 \varphi(0), \quad C = \exp \frac{1}{4} \sqrt{\frac{e^2 \hbar^2 N_d}{\epsilon \epsilon_0 m_{dn} k^2 T^2}} \quad (1) \quad \text{и}$$

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

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. Рассуждения будем вести на примере поликристалла классического полупроводника – германия.

Пусть зерна поликристалла легированы только одной, донорной примесью, например, фосфором до концентрации от 10^{16} до $5 \cdot 10^{18}$ см^{-3} . Будем рассматривать интервал температур от азотной (77К) до комнатной (300К). В этой области температур примесь в германии можно считать полностью ионизированной [1], т.е. в этом случае каждый атом примеси поставляет в зону проводимости один электрон $n=N_d$. В указанном интервале n «работает» бoльцмановская статистика (невырожденный случай). Будем считать, что на граница кристаллитов ГК имеются поверхность состояние 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^{-2} . При расчетах приняты значения $\epsilon=16$, $m_{dn} \approx 0,25m_0$ (m_0 -масса свободного электрона), заимствованные из [1-4]. 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^{-2} . Такая концентрация ПС на ГК в поликристаллах Ge вполне реальна. Согласно [2-7], постоянная решетки в Ge $a \approx 0,56575$ нм, поэтому чтобы N_s была такой, как принято выше, достаточно углов разориентации зерен $\geq 13^0$.

ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

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 предыдущем разделе, «работают» по энергии с точностью до kT , не теряя смысла для получаемых впрямь 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 ГК в поликристалле Ge в рамках введенных выше условий. Кривые прозрачности, рассчитанные согласно

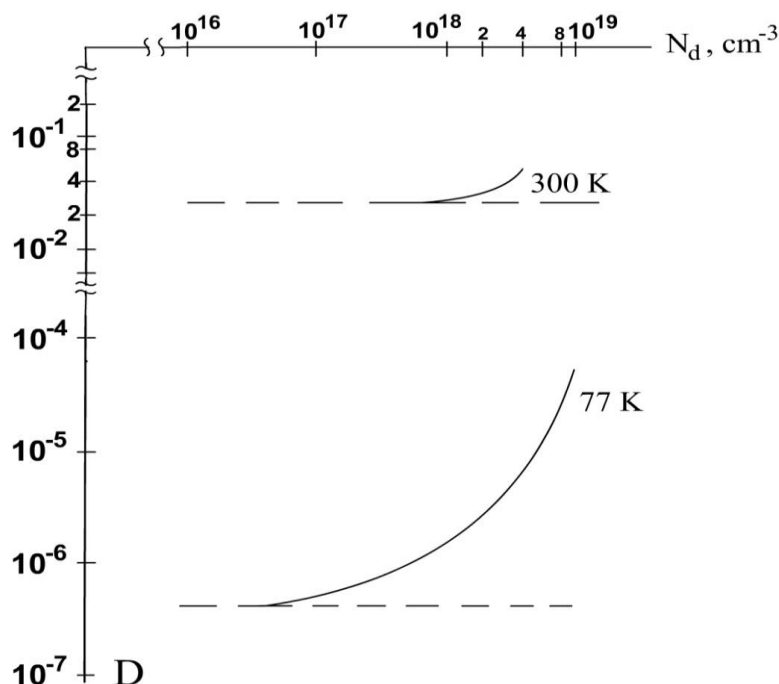


Рис. 1. Концентрационные зависимости прозрачности потенциального барьера на ГК при различных температурах.

(2.22), сравниваются с прозрачностями 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

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

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} 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 и увеличению согласно

$$P_T(E) = B \exp \left\{ - \frac{2}{\hbar} \int_{x_1(E)}^{x_2(E)} \sqrt{2m_{dn}(\varphi(x) - E)} dx \right\} \quad (7)$$

туннельной составляющей прозрачности. При этом термоактивационный член

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

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.) [8-10].

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.

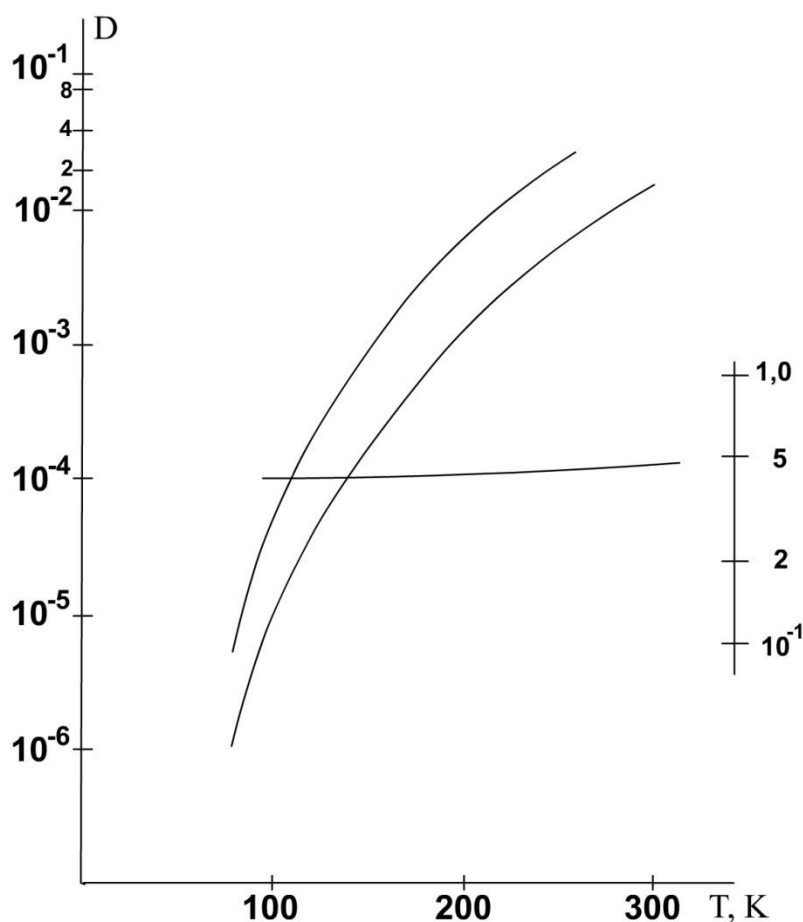


Рис. 2. Температурная зависимость прозрачности потенциального барьера на ГК в Ge без учета туннелирования (1) и при его учете (2,3). Концентрация примеси N_d , см^{-3} : 10^{16} (1,2) и $5 \cdot 10^{18}$ (3). Правая ось ординат относится к кривой 3.

REFERENCES

1. Атакулов.Ш.Б., Зайнолобидинова С.М. К теории аномальных фотоэлектрического м фотомагнитного эффектов в полупроводниковых пленках. // Узб. физ. журнал, 2011, №4-(13).-с.255-260.
2. Карпович И.А., Шилова М.В., Акатова К.Н. Явление высоковольтной фотоэдс в аморфных слоях Sb_2S_3 // ФТТ, 1967.- №10(9).- с.3014-3016.
3. Зайнолобидинова, С. М. (2017). ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВКЛАДА ГРАНИЦ ЗЕРЕН В ТОКОПЕРЕНОС В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ. *Интеграция наук*, (2), 16-17.
4. Атакулов, С. Б., Зайнолобидинова, С. М., Отаджонов, С. М., & Тухтаматов, О. А. (2011). Проницаемость потенциального барьера на границах зерен в

полупроводниковых поликристаллах. *Узбекский физический журнал*, 13(5), 334-340.

5. Атакулов, С. Б., Зайнолобидинова, С. М., Набиев, Г. А., & Отаджонов, С. М. (2011). К теории аномальных фотоэлектрических и фотомагнитных эффектов в полупроводниковых пленках. *Узбекский физический журнал*, 13(4), 255-260.

6. Алимов, Н. Э., Зайнолобиддинова, С. М., Отажонов, С. М., Халилов, М. М., Юсупова, Д. А., & Якубова, Ш. (2016). Змінювання потенційних бар'єрів низькорозмірних тонких плівок р-CdTe в умовах зовнішніх впливів. *Журнал фізики та інженерії поверхні*, 1(1), 52-56.

7. Шамирзаев, С. Х., Онаркулов, К. Э., Юсупова, Д. А., & Мухамедиев, Э. Д. (2006). Простые модели усталостной повреждаемости гетерогенных материалов с очень сложной динамикой. *Фізична інженерія поверхні*, (4, № 1-2), 91-96.

8. Mamadalimov, A. T., Onarkulov, K. E., & Parpiev, T. K. (1996). Gamma-radiation effect on kinetic coefficients of Pb 1-x Sn x Te films. *Fizika i Tekhnika Poluprovodnikov*, 30(4), 652-655.

9. Onarkulov, K., Gaynazarova, K., & Tashlanova, D. (2022). TERMoeLEKTRIK SAMARADORLIKNI QOTISHMALARDAGI ELEKTRONLAR VA TESHIKLARNING HARAKATCHANLIGIGA BOG'LANISHI. *Science and innovation*, 1(A4), 56-59.