

## ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫЙ ЭФФЕКТ В СИСТЕМЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ БАРЬЕРОВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНКАХ

Г. Гулямов, А.Г. Гулямов, Г.Н. Мажидова

*Наманганский инженерно-педагогический институт*

*Узбекистан*

Поступила 28.01.2013

В работе предложена модель тензочувствительной полупроводниковой пленки, согласно которой, пленка рассматривается как система потенциальных барьеров. Рассмотрена тензочувствительность системы потенциальных барьеров. Показано, что модель согласно которой при деформации меняется только ширина потенциального барьера может объяснить аномально большие значения коэффициента тензочувствительности тонких пленок  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  и  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ , полученных вакуумным напылением.

**Ключевые слова:** тензочувствительность, прозрачность потенциального барьера, полупроводниковые тензочувствительные пленки.

## ТЕНЗОРЕЗИСТИВНИЙ ЕФЕКТ У СИСТЕМІ ПОТЕНЦІЙНИХ БАР'ЄРІВ У НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЛІВКАХ

Г. Гулямов, А.Г. Гулямов, Г.Н. Мажидова

У роботі запропонована модель тензочутливої напівпровідникової плівки, відповідно до якої, плівка розглядається як система потенційних бар'єрів. Розглянута тензочутливість системи потенційних бар'єрів. Показано, що модель відповідно до якої при деформації міняється тільки ширина потенційного бар'єру може пояснити аномально більші значення коефіцієнта тензочутливості тонких плівок  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  і  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ , отриманих вакуумним напилюванням.

**Ключові слова:** тензочувствительность, прозорість потенційного бар'єра, напівпровідникові тензочувствительные плівки.

## TENSORESISTIVE EFFECT IN THE SYSTEM POTENTIAL BARRIERS IN SEMICONDUCTOR FILMS

G. Gulyamov, A.G. Gulyamov, G.N. Mazhydova

In the work proposed model of the tensosensitive semiconductor film according to which, the film is considered as system of potential barriers. It is considered tensosensitive systems of potential barriers. It is shown that the model according to which at deformation varies only width of a potential barrier can explain is abnormal great values of factor tensosensitive thin film  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  and  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ , receptions by a vacuum dusting.

**Keywords:** tensosensitive, transparency of potential barrier, semiconductor tensosensitive thin films.

### ВВЕДЕНИЕ

В некоторых полупроводниковых плёнках  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  и  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ , полученных вакуумным напылением, наблюдается аномально большая тензочувствительность [1]. Условия напыления сильно влияют на электрические свойства полученных плёнок. В работе [1] свойства плёнок, полученных вакуумным напылением, объясняются привлечением модели наночастиц. В этой работе предполагается, что размеры поликристаллических зерен составляет порядка нескольких десятков нанометров. В этих условиях между наночастицами могут возникать потенциальные барьеры. Целью настоящей работы является исследование тензочувствительности систе-

мы потенциальных барьеров. Разумно предположить, что расположение кристаллитов, таково, что между зёрнами образуются потенциальные барьеры толщиной несколько нанометров. Через такие барьеры проникают туннельные и термоэмиссионные токи. За счёт случайного расположения кристаллитов, потенциальные барьеры между ними имеют случайные толщины. Ток, проходящий через такие структуры, вычисляется по теории протекания [2]. При этом уровень протекания определяет сопротивление потенциальных барьеров. Эти барьеры расположены как случайная сетка сопротивлений. Расчёт такой задачи в общем случае достаточно сложен, а иногда невозможен из-за отсутствия доста-

точной информации о параметрах барьеров. Поэтому для анализа задачи рассмотрим простой пример.

### ПОТЕНЦИАЛ ДЕФОРМАЦИИ В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ЯМЕ

Сначала рассмотрим одномерную потенциальную яму с потенциалом  $U$  и шириной  $l_0$ . Предположим, для простоты, что деформация меняет только ширину потенциальной ямы.

В потенциальной яме с бесконечно высокими стенками, энергия электронов принимает следующие дискретные значения [3]

$$E_n(l) = \frac{(2\pi\hbar)^2 n^2}{2m_0 l^2}. \quad (1)$$

Здесь  $n = 1, 2, 3, \dots$  – натуральные числа,  $m_0$  – масса электрона.

При воздействии деформации, ширина барьера  $l_0$  увеличится на  $dx$ . При этом изменение энергии, обусловлено деформацией, равной:

$$dE_n = E_n(l_{n_0}) \left( \frac{l_0^2}{l^2} - 1 \right) = E_n(l_{n_0}) \left( \frac{1}{(1+d\varepsilon)^2} - 1 \right) \approx \approx E_n(l_{n_0}) (-2d\varepsilon), \quad (2)$$

здесь  $d\varepsilon = dx/l$  – относительная деформация.

Согласно определению, константа деформационного потенциала равна:

$$\Delta_d = \frac{dE_n}{d\varepsilon}, \quad \Delta_d = \frac{(2\pi\hbar)^2}{ml^2} n^2.$$

Отсюда следует, что константа деформационного потенциала потенциальной ямы равна значению удвоенной энергии электронов в яме. Таким образом, деформация наночастицы изменяет ее энергетические уровни. Это меняет степень заполнения энергетических уровней в этих дискретных состояниях. Коэффициент  $\Delta_d$  зависит от квантового числа  $n$ , размера ямы  $l$  и эффективной массы электрона в яме  $m$ .

### ТЕНЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СИСТЕМЫ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ БАРЬЕРОВ

Рассмотрим тензочувствительность одного потенциального барьера.

Пусть волна Блоха падает на потенциальный барьер с высотой  $U$  и шириной  $l$ . Будем считать, что деформация меняет ширину барьера.

Туннельный ток  $j$  через потенциальный барьер пропорционален прозрачности барьера  $j = en \vartheta D$ . Здесь  $n$  – концентрация,  $\vartheta$  – скорость электронов,  $D$  – прозрачность потенциального барьера. Будем предполагать, что деформация меняет только прозрачность барьера  $D$ . В ВКБ (Вентцеля-Крамерса-Бриллюэна) приближении тензочувствительность барьера при постоянном напряжении определяется по формуле [3]:

$$\ln \frac{D}{D_0} = \frac{2}{\hbar} \int_0^l \sqrt{2m(U-E)} dx.$$

Тензочувствительность потенциальной ямы равняется [4]:

$$K_0 = \frac{dj/j}{d\varepsilon} = \frac{d \ln D}{d\varepsilon} = - \frac{\sqrt{2m(U-E)}}{\hbar} \frac{dl_0}{d\varepsilon} = = \frac{2}{\hbar} \sqrt{2m(U-E)} \cdot l_0.$$

Рассмотрим тензочувствительность системы последовательных потенциальных барьеров. В этом случае предположим, что расстояние между барьерами остаётся постоянным, деформация меняет только ширину барьера  $l_0$ . Тогда для коэффициента тензочувствительности  $K$  получим следующее выражение:

$$K = \frac{2}{\hbar} \sqrt{2m(U-E)} \cdot l_0 \frac{a+l_0}{l_0} = K_0 \frac{a+l_0}{l_0}.$$

Здесь  $l_0$  – ширина потенциального барьера,  $a+l_0$  – период решетки. Если толщина барьера мала  $l_0 \ll a$ , то при значениях,  $\frac{a+l_0}{l_0} = 10^3$

и  $K_0 = 10^2$  тензочувствительность системы потенциальных барьеров достигает  $10^5$ .

Такая аномально большая тензочувствительность наблюдается в тонких полупроводниковых пленках с наночастицами.

### ВЫВОДЫ

Таким образом, модель последовательной системы потенциальных барьеров может объяснить аномально большие значения коэффициента тензочувствительности в тонких

пленках  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  и  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ , полученных вакуумным напылением.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шамирзаев Х., Юсупова Д.А., Мухамедиев Э.Д., Онарзулов К.Э. // Физическая инженерия поверхности. – 2006. – Т. 4, № 1-2. – С. 86-90.
2. Шкловский Б., Эфрос А.Л. Электронные свойства легированных полупроводников. – М.: Наука, 1979.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. – М.: Наука, 1974.
4. Киреев П.С. Физика полупроводников. – М.: Высшая школа, 1975.
5. Баранский П.И., Клочков В.П., Потыкевич И.В. Полупроводниковая электроника. Справочник. – К.: Наукова думка, 1975.

#### LITERATURA

1. Shamirzaev H., Yusupova D.A., Muhamediev 'E.D., Onarkulov K. 'E. // Fizicheskaya inzheneriya poverhnosti. – 2006. – T. 4, № 1-2. – С. 86-90.
2. Shklovskij B., 'Efros A.L. 'Elektronnye svojstva legirannyh poluprovodnikov. - M.: Nauka, 1979.
3. Landau L.D., Lifschic E.M. Kvantovaya mehanika. – M.: Nauka, 1974.
4. Kireev P.S. Fizika poluprovodnikov. – M.: Vysshaya shkola, 1975.
5. Baranskij P.I., Klochkov V.P., Potykevich I.V. Poluprovodnikovaya 'elektronika. Spravochnik. – K.: Naukova dumka, 1975.