

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ Si И Ge С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ

Н.Ю. Шарibaев

Наманганский инженерно-технологический институт
Узбекистан

Поступила в редакцию 25.04.2013

С помощью модели разложения плотности состояния в ряд по $GN(E_p, E_r, T)$ -функциям производной вероятности ионизации дискретных состояний по энергии исследована температурная зависимость ширины запрещенной зоны для Si и Ge. Результаты численных экспериментов указывают на то, что ширина запрещенной зоны для Si и Ge, если в запрещенной зоне отсутствуют энергетические уровни, при низких температурах шире чем значения, полученные в эксперименте: Si – 0.018 эВ, Ge – 0.008 эВ.

Ключевые слова: модель плотности состояний, ширина запрещенной зоны при низких температурах, температурная зависимость энергетического спектра.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ШИРИНИ ЗАБОРОНЕНОЇ ЗОНИ Si ТА Ge ЗА ДОПОМОГОЮ МОДЕЛІ

Н.Ю. Шарibaев

За допомогою моделі розкладання щільності стану в ряд по $GN(E_p, E_r, T)$ -функціях похідної ймовірності іонізації дискретних станів за енергією досліджена температурна залежність ширини забороненої зони для Si і Ge. Результати числових експериментів вказують на те, що ширина забороненої зони для Si і Ge, якщо у забороненій зоні відсутні енергетичні рівні, за низьких температур ширша ніж значення, отримані в експерименті: Si – 0.018 eV, Ge – 0.008 eV.

Ключові слова: модель густини станів, ширина забороненої зони за низьких температур, температурна залежність енергетичного спектра.

THE TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE BAND GAP OF Si AND Ge BY THE MODEL

N.Yu. Sharibaev

The model decomposition of the density of states in a series of $GN(E_i, E_t, T)$ -derivative functions of discrete states of the ionization energy The temperature dependence of the band gap of Si and Ge. Numerical results indicate that the band gap of Si and Ge in the ideal case, if the band gap energy levels available at low temperatures greater than the experimental results: Si – 0.018 eV, Ge – 0.008 eV.

Keywords: band gap at low temperatures, the density of states of the model, the temperature dependence of the energy spectrum.

ВВЕДЕНИЕ

В исследовании характеристик полупроводниковых материалов используются различные методы. Для исследования спектра плотности поверхностных состояний удачно использовалась модель разложения плотности состояния в ряд по $GN(E_p, E_r, T)$ -функциям производной вероятности ионизации дискретных состояний по энергии [1 – 3]. Хорошее согласие при сравнении численных результатов с экспериментальными значениями позволяют считать, что модель пригодна для исследований температурной зависимости ширины запрещенной зоны полупроводников [4]. Использование в модели параметров полупроводников дает возможность исследовать температурные зависимости ширины запрещенной зоны конкретных материалов [5]. Следовательно, модель можно применить для исследования температурной зависимости ширины запрещенной зоны конкретно для Si и Ge.

довать температурные зависимости ширины запрещенной зоны конкретных материалов [5]. Следовательно, модель можно применить для исследования температурной зависимости ширины запрещенной зоны конкретно для Si и Ge.

МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПЛОТНОСТИ СОСТОЯНИЙ

Учитывая квадратичный закон дисперсии плотности состояний верны следующие соотношения [6]:

для зоны проводимости имеем

$$N(E) = N_{n_0} \sqrt{E - E_c}, \quad N_{n_0} = 4\pi (2m_n^*/h^2)^{3/2}, \quad (1)$$

аналогично для валентной зоны

$$N(E) = N_{p0} \sqrt{E_p - E}, \quad N_{p0} = 4\pi (2m_p^* / h^2)^{3/2}. \quad (2)$$

Аналогично теории некристаллических полупроводников [8, 9] для определения разрешенных и запрещенных энергетических зон, будем пользоваться понятием плотности состояний.

Учитывая приведенное выше, разложим $N_s(E, T)$ в ряд по функциям $GN(E_i, E, T)$. Получим следующую модель температурной зависимости плотности состояний в виде ниже следующих соотношений [5]:

для зоны проводимости при $E > E_c$:

$$N_{sn}(E, T) = \sum_{i=1}^n N_{n0} \sqrt{E_i - E_c} GN(E_i, E, T) \Delta E, \quad (3)$$

для валентной зоны при $E > E_v$:

$$N_{sp}(E, T) = \sum_{i=1}^n N_{p0} \sqrt{E_p - E_i} GN(E_i, E, T) \Delta E. \quad (4)$$

Для определенного материала N_{n0} и N_{p0} являются конкретными, следовательно для исследования Si и Ge применяются соответствующие им значения N_{n0} и N_{p0} .

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ

Воспользуемся понятием ширины запрещенной зоны [7, 8]. Значения плотности состояний, соответствующих энергии краев запрещенной зоны E_c и E_v обозначим через N_k . Тогда энергетическое положение краев запрещенной зоны определяется решением следующих трансцендентных уравнений [6].

$$\sum_{i=1}^n N_{sn}(E_i) GN(E_i, E, T) \Delta E = N_k, \\ \sum_{i=1}^n N_{sp}(E_i) GN(E_i, E, T) \Delta E = N_k, \quad (5)$$

где $\Delta E = 1/n$.

Решение уравнения (5) при заданной N_k определяет значения границы запрещенной зоны $E_c(T)$ и $E_v(T)$, как функции температуры T . N_k является параметром задачи и определяется из эксперимента. Тогда ширины запрещенной зоны $E_g(T)$ при заданной температуре определяется как разница значений $E_c(T)$ и $E_v(T)$

$$E_g(T) = E_c(T) - E_v(T). \quad (6)$$

Здесь $E_c(T)$ – энергия дна зоны проводимости, $E_v(T)$ – энергия потолка валентной зоны.

ИССЛЕДОВАНИЕ Si И Ge

С помощью построенной модели, используя значения параметров Si и Ge [6], в работе проведены расчеты рис.1.

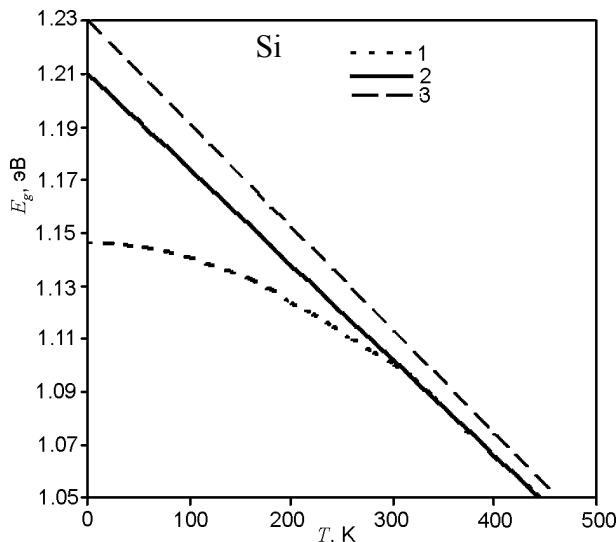


Рис. 1. Температурная зависимость ширины запрещенной зоны Si.

Получены графики температурной зависимости ширины запрещенной зоны для Si (рис. 1) и для Ge (рис. 2) (на указанных рис. 1 и рис. 2 температурная зависимость представлена линией 3). В большинстве экспериментов получены кривые, аналогичные кривой 1. При температуре, превышающей 200 К наблюдается прямая линия, а при низких температурах появляется нелинейность. По ре-

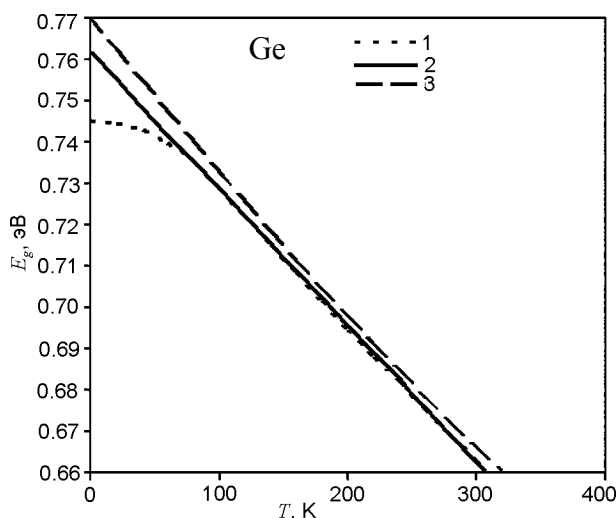


Рис. 2. Температурная зависимость ширины запрещенной зоны Ge.

зультатам численных исследований, указанный эффект может быть объяснен наличием дополнительных уровней в запрещенной зоне [4, 5]. При обработке экспериментальных данных обычно получают линию 2 для определения ширины запрещенной зоны в абсолютном нуле продолжением линии, полученной при высоких температурах. Опираясь на численный анализ полученных спектров можно сделать вывод, что ширина запрещенной зоны Si и Ge в идеальном случае, при абсолютном нуле, шире чем в результатах, полученных при обработке экспериментальных данных. Определенные значения ширины запрещенной зоны для Si составляют 0.018 эВ, а для Ge – 0.008 эВ.

ВЫВОДЫ

В результате исследований температурной зависимости ширины запрещенной зоны для Si и Ge установлено что, при низких температурах полученные экспериментальные данные и численные значение модели хорошо согласуются при наличии дискретных уровней в запрещенной зоне. Если считать что, материал идеально чистый, без энергетических уровней в запрещенной зоне, то картина меняется. Так как ширина запрещенной зоны для Si и Ge при низких температурах отклоняется от линейности и в этом есть доля наличием дискретных уровней, то можно сделать вывод, что идеальная ширина запрещенной зоны полупроводниковых материалов при низких температурах шире чем значения, полученные в эксперименте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гулямов Г., Шарипбаев Н.Ю.//ФИП. – 2010. – Т. 8, № 1. – С. 53-58.
2. Гулямов Г., Шарипбаев Н.Ю.//ФТП. – 2011. – Т. 45, Вып. 2. – С. 178-182.
3. Гулямов Г., Шарипбаев Н.Ю.//Поверхность. – 2012. – № 9. – С. 13-17.
4. Гулямов Г., Шарипбаев Н.Ю.//ФИП. – 2012. – Т. 10, № 2. – С. 221-225.
5. Гулямов Г., Шарипбаев Н.Ю., Эркабоев У.И./ФИП. – 2012. – Т. 10, № 4. – С. 308-312.
6. Шалимова К.В. Физика полупроводников. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 392 с.
7. Мотт Н., Девис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. Т. 1. – М.: Мир, 1982. – 664 с.
8. Бонч-Бруевич В.Б., и др. Электронная теория некристаллических полупроводников. – М.: Наука, 1981. – 384 с.

LITERATURA

1. Gulyamov G., Sharibaev N.Yu.//FIP. – 2010. – Т. 8, № 1. – S. 53-58.
2. Gulyamov G., Sharibaev N.Yu.//FTP. – 2011. – Т. 45, Vyp. 2. – S. 178-182.
3. Gulyamov G., Sharibaev N.Yu.//Poverhnost'. – 2012. – № 9. – S. 13-17.
4. Gulyamov G., Sharibaev N.Yu.//FIP. – 2012. – Т. 10, № 2. – S. 221-225.
5. Gulyamov G., Sharibaev N.Yu., 'Erkaboev U.I.// FIP. – 2012. – Т. 10, № 4. – S. 308-312.
6. Shalimova K.V. Fizika poluprovodnikov. – М.: 'Energoatomizdat, 1985. – 392 s.
7. Mott N., Devis 'E. 'Elektronnyye processy v nekrystallicheskih veschestvah. Т. 1. – М.: Mir, 1982. – 664 s.
8. Bonch-Bruevich V.B., i dr. 'Elektronnaya teoriya nekrystallicheskih poluprovodnikov. – М.: Nauka, 1981. – 384 s.