

Шарибаев Носир Юсупжанович

Дадамирзаев Музаффар Гуломкодирович

Ибрагимова Нилуфархон Ганижон кизи

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СПЛАВОВ

Аннотация: исследованы изменения ширины запрещенной зоны от степени легирования. Введение примесей в кристаллическую решетку при низкой концентрации не меняет ширину запрещенной зоны полупроводника и не влияет на энергетический спектр электронов. Только появляются дискретные уровни в запрещенной зоне.

Ключевые слова: полупроводниковые сплавы, Si_xGe_{1-x} , ширина запрещенной зоны, температурная зависимость.

Sharibaev Nosir Yusupzhanovich

Dadamirzaev Muzaffar Gulomkodirovich

Ibragimova Nilufarhon Ganizhon kizi

ENERGY SPECTRA FROM SEMICONDUCTOR ALLOYS

Abstract: Changes in the band gap with the degree of doping have been studied. The introduction of impurities into the crystal lattice at a low concentration does not change the band gap of the semiconductor and does not affect the energy spectrum of electrons. Only discrete levels appear in the bandgap.

Key words: semiconductor alloys, Si_xGe_{1-x} , band gap, temperature dependence.

Когда концентрация примесей становится достаточно большой, меняется энергетический спектр и ширина запрещенной зоны кристалла. В сильнолегированных полупроводниках особую роль играет взаимодействие носителей заряда с примесными атомами. Поглощение света с частотой меньшей пороговой $\omega = E_g / h$ естественно связано с

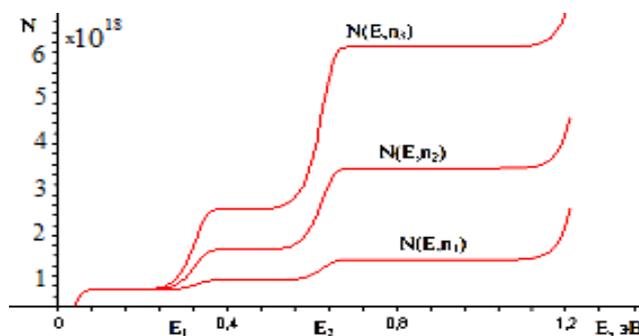
наличием хвоста плотности состояний в запрещенной зоне. Полная концентрация уровней на хвостах меняется от вещества к веществу и от образца к образцу и часто оказывается довольно большой до 10^{19} - 10^{20} см^{-3} .

Одним из главных факторов, определяющих ширину энергетических щелей, является критическое значение концентрации энергетических состояний. Когда критическая концентрация N_k равна плотности энергетических состояний $N_s=N_k$, область энергией с меньшей концентрацией, чем N_k , $N_s(E) < N_k$ определяет область запрещенных состояний. И наоборот, когда область энергией с большей концентрацией, чем N_k , $N_s(E) > N_k$ энергия разрешенных состояний. Условия $N_s(E) = N_k$ определяет край запрещенной зоны, дно зоны проводимости E_c , и потолок валентной зоны E_v . При таком подходе температурная зависимость запрещенной зоны определяется температурной зависимостью плотности состояний. С помощью математической модели спектра плотности состояний была анализирована температурная зависимость дискретных энергетических уровней в запрещенной зоне кремния.

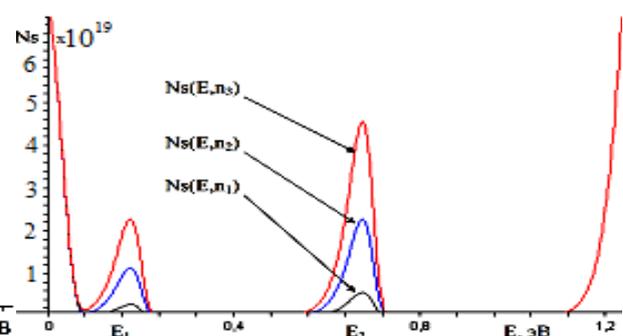
Рассмотрим эту модель для данной задачи. Если предположить, что коэффициенты поглощения пропорциональны плотности состояний (комбинированная плотность состояний) то плотность состояний в бывшей запрещенной зоне на 10^4 порядков ниже плотности состояний зоны проводимости и валентной зоны (10^{22} - 10^{20}). В новой зоне в области значений $E_g < 0.9$ $N_s = 10^{18}$ - 10^{19} ($0.4 < E_g < 0.9$ эВ). Это значения плотности состояний дает коэффициенты поглощения $\alpha \sim 1$ - 10 см^{-2} . Таким образом, с помощью легирования можно управлять шириной запрещенной зоны и коэффициентом поглощения. Используя вышеуказанную модель построим спектр плотности состояний для легированного кремния, учитывая экспериментальные условия, $T = 300$ К, $E_g = 1.21$ эВ. Из рисунка видно, что большая концентрация примесей дает достаточно большое количество уровней определяемых кластерами, образованных примесными уровнями.

Уровни в запрещенной зоне создаются случайным распределением примесей. Коэффициент поглощения α пропорционален полному числу состояний. Возможно образование кластеров более подходит для объяснения коэффициента поглощения сильнолегированных полупроводников с глубокими уровнями. На рис.1. показан интегральная плотность состояний (полное число состояний) вычисленное по модели. Стоит отметить, что полученный график полного числа состояний с помощью модели рис.1. и экспериментальный график полного числа состояний сопоставимы. При достаточно большом количестве концентрации примесей дискретные уровни образуют примесную зону. Учитывая это обстоятельство можно сделать вывод что, поглощения в интервале 0.5-0.9 эВ для кремния обусловлены примесными состояниями в запрещенной зоне(рис.2). Примесные состояния могут сильно уменьшать ширину запрещенной зоны полупроводника. Для исследования полупроводниковых сплавов построена модель температурной зависимости спектров плотности энергетических состояний учитывающий концентрационную долю содержащего сплава. Эту модель получили об используемой модели с прибавлением дополнительных условий. Формула (16) с учетом изменений получили следующий вид:

$$N_s(E) = N_s^{Si}(E) + N_s^{Ge}(E) + N_s^{Si}(E) + N_s^{Ge}(E) + N_s^V(E) + N_s^V(E) \quad (1)$$

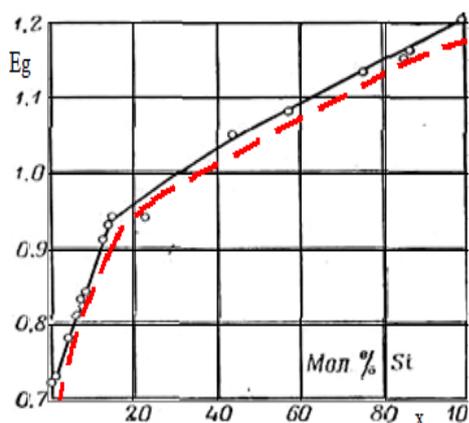


Степень легирования $n_1 < n_2 < n_3$
Рисунок 1. Плотность состояний
полученный по модели.



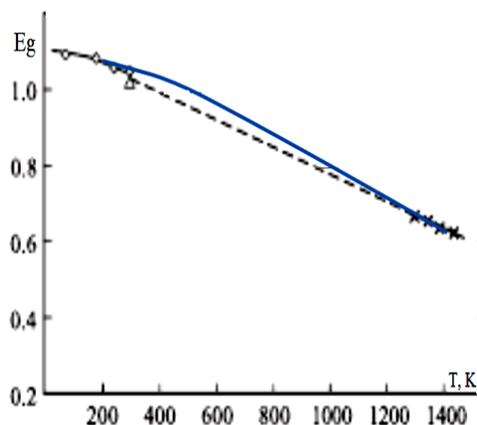
Степень легирования $n_1 < n_2 < n_3$
Рисунок 2. Полное число состояний,
вычисленное по модели.

где: учитывая, что для E_v^{Si} -энергия потолка валентной зоны для Si и E_v^{Ge} - энергия потолка валентной зоны для Ge , в относительном энергетическом оси присваивается 0, E_g^{Si} —ширина запрещенной зоны Si , E_g^{Ge} —ширина запрещенной зоны Ge . E_i -может пробегать по всей валентной, запрещенной зоны и зоны проводимости. N_{s_i} -концентрация энергетических состояний соответствующая для энергии E_i , E - энергия состояний, T -температура. k - постоянная Больцмана. С помощью модели исследуется спектр плотности состояний и концентрационная зависимость ширины запрещенной зоны для Si_xGe_{1-x} (Рис.3) и температурная зависимость ширины запрещенной зоны для



— эксперимент, - - модель

Рисунок 3 Ширина запрещенной зоны от концентрации сплава для Si_xGe_{1-x}



o Δ x —эксперимент, — модель

Рисунок 4 Температурная зависимость ширины запрещенной зоны для $Si_{0.15}Ge_{0.85}$

$Si_{0.15}Ge_{0.85}$ (Рис.4) со сравнением теоретических результатов с экспериментальными результатами. Сравнения теоретических и экспериментальных результатов приведены в рис. 3 и 4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе температурной зависимости термодинамической плотности энергетических состояний полупроводниковых материалов:

1. Получена математическая модель, описывающая спектр температурной и концентрационной зависимости ширины запрещенной зоны энергетических состояний для полупроводникового сплава Si_xGe_{1-x} ,

позволяет определить спектр в широком температурном и энергетическом диапазоне;

2. Получены по предложенной методике с помощью построенной математической модели спектры температурной зависимости ширины, запрещённой зоны полупроводникового сплава Si_xGe_{1-x} по всем $0 \leq x \leq 1$.

Литература

1. Гулямов Г., Шарипбаев Н. Ю. Определение дискретного спектра ППС МОП Al-SiO₂-Si, облученное нейтронами // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования 2012 г, № 9 с. 13–17.

2. Gulyamov G., Sharibaev N.Yu. The Temperature Dependence of the Density of States in Semiconductors //World Journal of Condensed Matter Physics 2013, №3, p.216-220

3. Gulyamov G., Sharibaev N.Yu. Researches long-wave fundamental absorption edge and the thermodynamic density of states // International Journal of Engineering Science and Innovative Technology 2014, V 3, Issue 6, November p. 461-464.