

**Низкотемпературные особенности проводимости
в изовалентных твердых растворах**

Захаров А.Ю.

Новгородский государственный университет,

Щербак Я.Я.

Донецкий национальный технический университет

Якщо рівень Фермі знаходиться в ущелині між межами рухомості легких та тяжких дірок більшої ізолюваних розчинів, що легіровані дрібними акцепторними домішками, на температурній залежності статичної провідності мають місце екстремуми, які обумовлені відносним зміщенням меж рухомості.

С прикладной точки зрения твердые растворы относятся к числу важнейших неупорядоченных систем. Многие свойства, в частности, изовалентных растворов, плавно изменяются с составом, что важно для их практического использования.

Из-за нарушения трансляционной симметрии в них происходит перестройка энергетического спектра электронов – появляются локализованные состояния, энергетическая граница которых со стороны запрещенной зоны определяет, так называемую «истинную» границу спектра, положение которой не зависит от концентрации примесных центров [1].

Согласно Моту [2], должна существовать граница, отделяющая локализованные состояния от состояний квазинепрерывного спектра – граница подвижности или граница локализации.

В работе [3] показано, что в изовалентных растворах полупроводников положение границы подвижности для легких и тяжелых дырок валентной зоны различно – происходит их относительное смещение, величина которого зависит от концентрации примеси. Эти особенности плотности состояний у потолка валентной зоны с наибольшей вероятностью проявляется при изучении явлений, обусловленных носителями этой зоны – дырками.

В качестве одной из особенностей является поведение у границы зоны статической проводимости изовалентных растворов, легированных мелкими акцепторными примесями.

Для данного случая, если уровень Ферми попадает в щель между границами подвижности для легких и тяжелых дырок, то на температурной

зависимости статической проводимости могут иметь место экстремумы, обусловленные относительным смещением границ подвижности.

Действительно, с помощью формулы Кубо [4] при $kT \gg \Delta E_a$, где ΔE_a - энергия локализации акцепторных центров, с учетом смещения границ подвижности для легких и тяжелых дырок, может быть получено следующее выражение для статической подвижности изовалентного раствора

$$\sigma = \sigma_o \sqrt{x} (1 + be^{-x}), \quad (1)$$

где $x = \frac{\Delta E_c}{kT}$, где ΔE_c - энергетический зазор между границами локализации легких и тяжелых дырок, $\Delta E_c = E_o c(1-c)$, c - концентрация примеси,

$$b = \frac{m_1^*}{m_2^*} \quad (m_1^*, m_2^* \text{ - эффективные массы тяжелых и легких дырок}$$

соответственно)

Найдем критические точки функции $\sigma = \sigma(x)$

$$\sigma' = \frac{\sigma_o}{2\sqrt{x}} (1 + be^{-x}) - \sigma_o \sqrt{xb} e^{-x}.$$

Из условия $\sigma' = 0$ находим

$$2x - 1 = \frac{e^x}{b}. \quad (2)$$

Это уравнение эквивалентно системе

$$\begin{cases} y = 2x - 1, \\ y = \frac{e^x}{b}. \end{cases} \quad (3)$$

В зависимости от параметра b система может иметь одно, два решения или не иметь решений.

Геометрически, единственное решение соответствует случаю, когда прямая

$y = 2x - 1$ касается экспоненциальной кривой $y = \frac{e^x}{b}$. Обозначив

соответствующее решение $b_{кр.}$, найдем связь между $b_{кр.}$ и x

$$x = \ln(2b_{кр.}) \quad (4)$$

Подставив (4) в (3), получим

$$b_{кр.} = \frac{e^{3/2}}{2} \approx 2,24.$$

В этом случае функция $\sigma = \sigma(x)$ имеет один экстремум.

Для большинства из 27 рассмотренных в работе [3] систем $b > b_{кр.}$, система (3) имеет два решения, которым соответствует максимум и минимум на графике функции $\sigma = \sigma(x)$.

Графическое решение системы уравнений (3) для $b = 4$ (около половины рассматриваемых в [3] твердых растворов) приводит к следующим значениям температур, соответствующих максимуму T_2 и минимуму T_1 функции $\sigma(x)$

$$T_2 = 1,6 \cdot 10^3 \Delta E_c \text{ } ^\circ K, \quad T_1 = 4 \cdot 10^2 \Delta E_c \text{ } ^\circ K.$$

Здесь ΔE_c измеряется в электрон-вольтах. В температурном интервале $T_2 - T_1 = 1,2 \cdot 10^3 \Delta E_c \text{ } ^\circ K$ относительное изменение величины $\sigma(x)$ мало.

Этот факт следует учитывать при выборе режима стабильной работы соответствующего полупроводникового прибора.

Литература

1. Лифшиц И.М., «О структуре энергетического спектра и квантовых состояниях неупорядоченных конденсированных систем».-УФН, 1964,т.83, вып.4, с.617-663.
2. Мотт Н., Дэвис Э. «Электронные примеси в некристаллических веществах».- М.; Мир, 1974, 472с.
3. «Энергетический спектр и электропроводность неоднородных растворов полупроводников» А.Ю.Захаров, Я.Я. Щербак, Донецк.политехнический ин-т, Донецк, 1985, 17стр., ил. Библиогр. 17 назв. (Рукопись деп. В УкрНИИНТИ 32.04.85г.)