ISSN 1512-1461

UDC 538.9 Condensed matter physics. Solid state physics

МЕЖЗОННОЕ ОПТИЧЕСКОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЯМЕ ПЕШЛЯ-ТЕЛЛЕРА

И.Р. Гадирова
Бакинский Государственный Университет
irada.gadirova@mail.ru

Аннотация:
Вычислен коэффициент межзонного поглощения света в гетероструктурах с модифицированной потенциальной ямой Пешля-Теллера. Рассмотрена зависимость коэффициента поглощения от частоты света и параметров квантовой ямы.
Ключевые слова: *поглощение света, потенциальная яма Пешля-Теллера.*

Рассмотрим полупроводниковую структуру с модифицированной потенциальной ямой Пешля- Теллера, в которой зависимость потенциальной энергии частицы от координаты z имеет вид [1]:

$$V(z)=\begin{cases} V_0\, th^2(\alpha z) & |z|\le \dfrac{a}{2} \\ V_0 & |z|\ge \dfrac{a}{2} \end{cases}, \tag{1}$$

где $V_0=\dfrac{\hbar^2\alpha^2}{2m}\lambda(\lambda+1)$, $\lambda>0$, a - ширина квантовой ямы

В приближении огибающей функции волновые функции электрона в квантовой яме можно написать в виде:

$$\psi^i_{nk_\perp}(\vec r)=S^{-1/2}u_i(\vec r)\exp(i\vec k_\perp \vec r_\perp)\varphi_{n_i}(z) \tag{2}$$

Здесь индекс i обозначает состояния, принадлежащие зоне проводимости $(i=c)$ и валентной зоне $(i=v)$, n_i-индекс подзоны, $\vec r_\perp$ -двумерный вектор в плоскости слоев, имеющих площадь S, $u_i(\vec r)$ -периодическая часть блоховской функции исходного материала, $k_\perp^2=k_x^2+k_y^2$ $\varphi_{n_i}(z)$- зависящая от z огибающая функция. Огибающие функции $\varphi_{n_i}(z)$ являются решениями уравнения Шредингера с потенциальной энергией (1) и могут быть написаны в виде:

$$\varphi^n_\lambda(\alpha z)=\left(\frac{\alpha(\lambda-n)\Gamma(2\lambda-n+1)}{\Gamma(n+1)}\right)^{\frac{1}{2}} P_\lambda^{n-\lambda}(th(\alpha z)), \tag{3}$$

где $P_\lambda^{n-\lambda}(th(\alpha z))$- присоединённые полиномы Лежандра, $n=0,1,2,3,...[\lambda]$, $[\lambda]$ -целая часть от λ. Собственные значения энергии для потенциала (1) равны :

$$\varepsilon_n=\frac{\hbar^2\alpha^2}{2m}(\lambda(\lambda+1)-(\lambda-n)^2) \tag{4}$$

ISSN 1512-1461

Полные энергии электрона в зоне проводимости и в валентной зоне соответственно равны:

$$E_n(k_\perp)=\mathcal{E}_n+\frac{\hbar^2k_\perp^2}{2m_c}=\frac{\hbar^2\alpha^2}{2m_c}(\lambda(\lambda+1)-(\lambda-n)^2)+\frac{\hbar^2k_\perp^2}{2m_c} \qquad (5)$$

$$E_l=-E_g-\mathcal{E}_l-\frac{\hbar^2k_\perp^{'2}}{2m_v}=-E_g-\frac{\hbar^2\alpha^2}{2m_v}[\lambda(\lambda+1)-(\lambda-l)^2]-\frac{\hbar^2k_\perp^{'2}}{2m_v} \qquad (6)$$

где E_g - ширина запрещённой зоны объёмного полупроводника,

Рассмотрим простую двухзонную модель и предположим, что валентная зона полностью заполнена, а зона проводимости полностью свободна В первом приближении теории возмущений для вероятности перехода из валентной зоны в зону проводимости имеем [2]:

$$W=\frac{2\pi}{\hbar}\sum_{cv}\left|H_{cv}(\vec{k})\right|^2\delta(E_c-E_v-\hbar\omega), \qquad (7)$$

где $H_{cv}(\vec{k})$ - матричный элемент энергии возмущения

$$\hat{H}^{'}=\frac{e}{mc}\vec{A}\hat{p}$$

на волновых функциях (2) валентной зоны и зоны проводимости,

$\vec{A}$ - вектор-потенциал электромагнитной волны, $|A|=\frac{\sqrt{2\pi N\hbar\omega}}{\omega/v}$, v - фазовая скорость $v=\frac{c}{n}$, $\hat{p}=-i\hbar\nabla$, N - число фотонов в единице объема. Для $H_{cv}(\vec{k})$ имеем:

$$H_{cv}(\vec{k})=\frac{eA_o}{mc}(\vec{\xi}\overrightarrow{P_{cv}})\delta_{k_\perp k_\perp^1}I_{nl}, \qquad (8)$$

Здесь $\vec{\xi}$ -единичный вектор поляризации электромагнитной волны, $\vec{p}_{cv}$ -матричный элемент оператора импульса на волновых функциях Блоха в зоне проводимости и в валентной зоне, $\delta_{k_\perp k_\perp^1}$ отражает закон сохранения квазиимпульса ,

$$I_{nl}=\int\varphi_n^*(z)\hat{p}_z\varphi_l(z)dz \qquad (9)$$

Подставив выражение (9) в (8) и учитывая, что $I_{nl}=-\delta_{nl}$, после интегрирования получим:

$$W=\frac{2\mu e^2A_o^2}{\hbar^3(a+b)m^2c^2}(\vec{\xi}\overrightarrow{P_{cv}})^2\sum_n\Theta(\hbar\omega-E_g-\frac{\hbar^2\alpha^2}{2\mu}[\lambda(\lambda+1)-(\lambda-n)^2]) \qquad (10)$$

где $\frac{1}{\mu}=\frac{1}{m_c}+\frac{1}{m_v}$, b – ширина барьера, $\Theta(x)$ - ступенчатая функция Хевисайда.

Коэффициент поглощения определяется из соотношения:

$$\alpha==\frac{W\sqrt{\varepsilon}}{Nc}, \qquad (11)$$

где ε - диэлектрическая проницаемость полупроводника.

Используя выражения (10) и (11), для коэффициента межзонного поглощения получим:

ISSN 1512-1461

$$\beta = \frac{4\pi\mu e^2(\vec{\xi}\overrightarrow{P_{cv}})^2}{\hbar(a+b)m^2c\sqrt{\varepsilon}\hbar\omega}\sum_n \Theta(\hbar\omega - E_g - \frac{\hbar^2\alpha^2}{2\mu}[\lambda(\lambda+1)-(\lambda-n)^2]) \qquad (12)$$

Из выражений (7), (8) и (9) видно, что разрешены оптические переходы только между подзонами валентной зоны и зоны проводимости с одинаковыми номерами $n = l$.
На рис.1 и 2 представлена частотная зависимость коэффициента поглощения для $GaAs/Al_xGa_{1-x}As$ при различных значениях параметра λ и параметра α. При этом использованы следующие значения параметров: $E_g = 1.43ev$, $a = 500\,\mathring{A}$, $m_c = 0.06m_o$, $m_v = 0.4m_o$, $\varepsilon = 8.2$, $\overrightarrow{P_{cv}} = 1.2\cdot 10^{-38}$ *эрг·г*, $b = 5a$. Из графиков $\beta(\omega)$ видно, что с увеличением параметра λ максимумы поглощения смещаются в высокочастотную область, расстояние между ними увеличивается, высота соответствующих максимумов и высота ступенек уменьшается. С уменьшением параметра α максимумы поглощения смещаются в низкочастотную область, расстояние между ними уменьшается, высота соответствующих максимумов и высота ступенек уменьшается Это объясняктся тем, что с ростом λ ширина соответствующих подзон увеличивается, а с увеличением номера подзоны при данном λ, а также с уменьшением параметра α ширина подзон уменьшается.

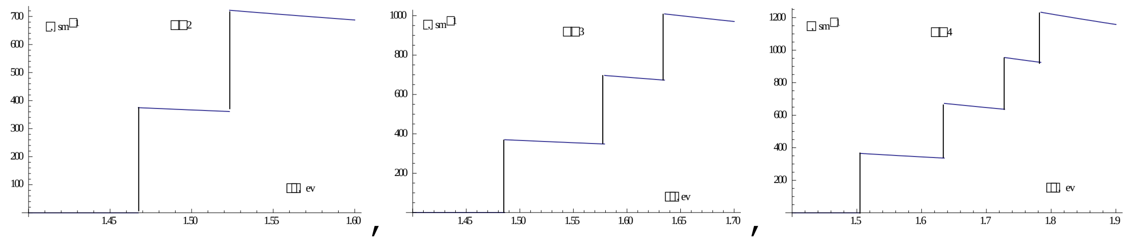

Рис.1

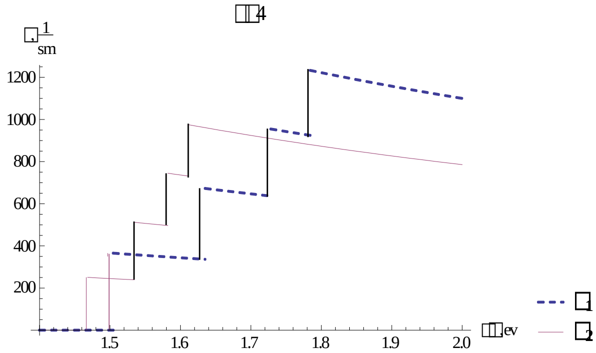

Рис.2

ЛИТЕРАТУРА

1. З. Флюгге. Задачи по квантовой механике. Т1 Москва. Мир. 1974 343с.
2. Ф. Бассани, Дж. Пастори Парравичини. Электронные состояния и оптические переходы в твёрдых телах. Москва: «Наука», 1982, 392 с.

Talks given in International Conference “Modern Trends in Physics” devoted to the 10 year celebration of Institute for Physical Problems of Baku State University, 25-26 December, 2015, Baku, Azerbaijan

Article received: 2016-12-11