

УДК 13.3

ЦИКЛОТРОННЫЙ РЕЗОНАНС ВБЛИЗИ ТУННЕЛЬНО ТОНКОГО ПОТЕНЦИАЛЬНОГО БАРЬЕРА В ПОЛУПРОВОДНИКЕ В ПРОДОЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

З. А. КАСАМАНЯН, В. М. ГАСПАРЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 18 июля 1985 г.)

Исследовано поглощение света полупроводником с туннельно тонким полупрозрачным барьером в продольном магнитном поле. Показано, что вместо максимума на циклотронной частоте, который имеется в отсутствие барьера, наблюдается тонкая структура, состоящая из нескольких максимумов.

В работе [1] исследован энергетический спектр электронов в полупроводниковой системе с туннельно тонким диэлектрическим слоем в плоскости (y, z) при наличии продольного магнитного поля H_z .

В общем случае для произвольных значений коэффициента прохождения барьера в спектре возникают запрещенные и расположенные над уровнями Ландау разрешенные зоны. Это является следствием снятия вырождения (при выборе векторного потенциала в виде $A = \{0, xH, 0\}$) по компоненте импульса p_y . В частности, для коэффициента прохождения, близкого к единице, энергетический спектр без учета спинowego расщепления, согласно теории возмущений, имеет вид

$$E_n = \hbar\omega_c \left(n + \frac{1}{2} \right) + \frac{p_z^2}{2m} + Vd |\psi_n(\xi)|^2, \quad (1)$$

где $\xi = \lambda p_y \hbar^{-1}$, $\lambda = (c\hbar e^{-1} H^{-1})^{1/2}$ — магнитная длина, V — высота потенциального барьера с толщиной d , малой по сравнению с λ , $n = 0, 1, 2, \dots$, $\psi_n(\xi)$ — известные волновые функции осциллятора.

Энергетический спектр в зависимости от p_y имеет интересное поведение, обусловленное немонотонной зависимостью $|\psi_n(\xi)|^2$ от ξ (для $n \neq 0$), что может сказаться при поглощении света полупроводником вблизи барьера. Пренебрежение импульсом фотона для внутризонных переходов приводит к обычным правилам отбора: $p_y = p'_y$, $p_z = p'_z$, $n = n' \pm 1$. Для коэффициента поглощения, например при переходе электрона от заполненной зоны $n=0$ в пустую зону $n'=1$, имеем выражение ($V_0 = Vd\lambda^{-1}\pi^{-1/2}$)

$$\alpha(\omega) = A \int_0^\infty d\xi \exp[\hbar\omega - \hbar\omega_c - V_0(2\xi^2 - 1)e^{-\xi^2}], \quad (2)$$

где A — коэффициент, не зависящий от частоты.

Коэффициент поглощения (2) имеет три критические точки: $\xi^2 \rightarrow 0, 3/2, \infty$, в которых при отсутствии затухания возникают особенности. Асимптотический вид α вблизи критических точек следующий ($W = \hbar\omega - \hbar\omega_c$, $E_1 = V_0 e^{-3/2}$):

$$\begin{aligned} \alpha &= A [6 V_0 (W + V_0)]^{-1/2} & \text{при } W \rightarrow -V_0 + 0; \\ \alpha &= A [6 E_1 (E_1 - W)]^{-1/2} & \text{при } W \rightarrow E_1 - 0; \\ \alpha &= A (2W)^{-1} \ln^{-1} (2V_0 W^{-1})^{1/2} & \text{при } W \rightarrow 0. \end{aligned}$$

В точках $\xi_{1,2}^2 = 2^{-1} [3 \mp \sqrt{6}]$ ($W_1 \approx -0,34 V_0$, $W_2 \approx 0,3 V_0$) α имеет два минимума, которые расположены между тремя критическими точками.

В итоге получается, что при поглощении света полупроводником с туннельно тонким полупрозрачным барьером в продольном магнитном поле вместо максимума на циклотронной частоте, который имеется в отсутствие барьера, должна наблюдаться тонкая структура в виде трех максимумов на частотах

$$\hbar\omega = \hbar\omega_c - V_0, \quad \hbar\omega = \hbar\omega_c, \quad \hbar\omega = \hbar\omega_c + 2V_0 e^{-3/2}.$$

Аналогичной тонкой структурой обладает α при переходе электрона из $n = 1$ заполненной зоны в пустую зону $n' = 2$. Здесь имеется уже четыре максимума коэффициента поглощения. Их положения легко определить из формулы, аналогичной (2), в которую вместо разности энергий $E_1 - E_0$ входит $E_2 - E_1$. При этом важным является не столько малое изменение положений побочных максимумов (положение главного максимума на циклотронной частоте по-прежнему не меняется), сколько возникновение дополнительного по сравнению с предыдущим случаем максимума.

Экспериментальное исследование соответствующего поглощения позволило бы определить число заполненных магнитных зон в зоне проводимости или положение уровня в полупроводнике. Требуемые для этого условия вполне достижимы в настоящее время (низкие температуры ($T < 5$ K), сильные магнитные поля (10 Тл)).

ЛИТЕРАТУРА

1. Kasamanyan Z. H., Gasparyan V. M., Yuzbashian E. S. Phys. Stat. Sol. (b), 130, K149 (1985).

ՅԻՎԼԱՏՐՈՆԱՅԻՆ ՌԵԶՈՆԱՆՍԸ ԵՐԿԱՅՆԱԿԱՆ ՄԱԳՆԵԹԱԿԱՆ ԴԱՇՏՈՒՄ
ՏԵՂԱԴՐՎԱԾ ԲԱՐԱԿ ԹՈՒՆԵԼԱՅԻՆ ՊՈՏԵՆՑԻԱԼԱՅԻՆ ԱՐԳԵԼՔ ՈՒՆԵՑՈՂ
ԿԻՍԱՀԱՂՈՐԴԻԶՆԵՐՈՒՄ

Զ. Հ. ԿԱՍԱՄԱՆՅԱՆ, Վ. Մ. ԴԱՍԳԱՐՅԱՆ

Ուսումնասիրված է լույսի կլանումը թունելային բարակ կիսաթափանցիկ արգելք ունեցող կիսահաղորդչի կողմից երկայնական մագնիսական դաշտում: Ցույց է արված, որ արգելքի բացակայության դեպքում դոպոլյուն ունեցող մեկ ցիկլատրոնային մաքսիմումի փոխարեն նկատվում է նուրբ սարուկտուրա, բաղկացած մի քանի մաքսիմումներից:

CYCLOTRON RESONANCE NEAR TUNNEL—THIN POTENTIAL BARRIER IN SEMICONDUCTOR IN A LONGITUDINAL MAGNETIC FIELD

Z. A. KASAMANYAN, V. M. GASPARYAN

The absorption of light by a semiconductor with tunnel—thin semitransparent barrier in a longitudinal magnetic field has been studied. It is shown that instead of the maximum obtained at the cyclotron frequency in the absence of the barrier, here a thin structure consisting of several maxima is observed.