

ЛИНЕЙНО-ЦИРКУЛЯРНЫЙ ДИХРОИЗМ НЕЛИНЕЙНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА В *n*-GaP

© Р.Я.Расулов, Г.Х.Хашимов, Х.Холиддинов

Ферганский государственный университет,

712000 Фергана, Республика Узбекистан

(Получена 4 января 1995 г. Принята к печати 16 апреля 1995 г.)

Впервые теоретически исследован линейно-циркулярный дихроизм в *n*-GaP при внутризонном нелинейном поглощении света, сопровождаемом однофотонными переходами электронов между подзонами X_1 и X_3 зоны проводимости.

Пояснена причина возникновения этого явления. Показано, что коэффициент линейно-циркулярного дихроизма $\eta > 1$.

Однофотонное нелинейное поглощение излучения инфракрасного (ИК) и субмиллиметрового диапазона в полупроводниках со сложной валентной зоной исследовано многими авторами (см., например, [1] и цитируемую там литературу). Показано, что с ростом интенсивности света коэффициент поглощения уменьшается. Единая точка зрения по вопросу о механизме нелинейности однофотонного поглощения линейно поляризованного света была предложена в [1], а для циркулярно поляризованного света в [2].

Здесь мы рассмотрим эффект насыщения при однофотонном поглощении поляризованного излучения в *n*-GaP, обусловленный прямыми оптическими переходами между подзонами X_1 и X_3 .

При произвольной интенсивности света I скорость однофотонных межподзонных переходов в единице объема в *n*-GaP можно представить в виде

$$W^{(1)} = \frac{4\pi^2\alpha I}{(\hbar\omega)^2 n_\omega P^2} f_1(E_1^{(1)}) (1 - e^{-\beta\hbar\omega}) \times \\ \times \sum_k \left(1 + \frac{I}{I_s} |e_z|^2\right)^{-1/2} |e_z|^2 \delta(E_{3k} - E_{1k} - \hbar\omega), \quad (1)$$

где

$$I_s = \omega^2 T_1 T_3 I_0, \quad I_0 = \frac{\hbar^3 \omega^4 n_\omega}{8\pi\alpha P^2}, \quad (2)$$

$f(E_1^{(1)})$ — равновесная функция распределения электронов с энергией $E_1^{(1)} = \hbar\omega m_2 / (m_1 - m_2)$, α — параметр тонкой структуры ($e^2 / \hbar c$), n_ω — показатель преломления света на частоте ω , T_l — время выхода электронов в ветви l из резонансной области [1], P — зонный параметр, стоящий перед линейным по волновому вектору слагаемым гамильтониана (см., например, [3]), $\beta = 1/k_B T$, T — температура, k_B — постоянная Больцмана. При получении формулы (1) использовано выражение для межзонного матричного элемента оператора импульса:

$$\epsilon p_{31} = -i \frac{m_0}{\hbar} P e_z. \quad (3)$$

Тогда, подставляя в (1) выражение для энергетического спектра в сферическом приближении

$$E_{1k} = A_1 k^2 + (-1)^{(1+l)/2} \Delta / 2 \quad (4)$$

и выполняя суммирование по k , получим соответственно при линейной и циркулярной поляризациях

$$W_{\text{lin}}^{(1)} / W_0^{(1)} = 3\xi_{\text{lin}}(I/I_s), \quad (5)$$

$$W_{\text{circ}}^{(1)} / W_0^{(1)} = 3\xi_{\text{circ}}(I/2I_s). \quad (6)$$

Здесь $A_{3,1}$ — зонные параметры,

$$W_0^{(1)} = \frac{2k_\omega}{A_3 - A_1} \frac{\alpha I}{n_\omega (\hbar\omega)^2} f_1(E_1^{(1)}) (1 - e^{-\beta \hbar\omega}),$$

$\Delta = E_{3k} - E_{1k}$ — энергетический зазор между подзонами X_3 и X_1 в точке X зоны Бриллюэна,

$$\xi_{\text{lin}}(x) = \frac{1}{4x} \left[2\sqrt{1+x} - \frac{1}{\sqrt{x}} \ln \left| \frac{\sqrt{1+x} + \sqrt{x}}{\sqrt{1+x} - \sqrt{x}} \right| \right], \quad (7)$$

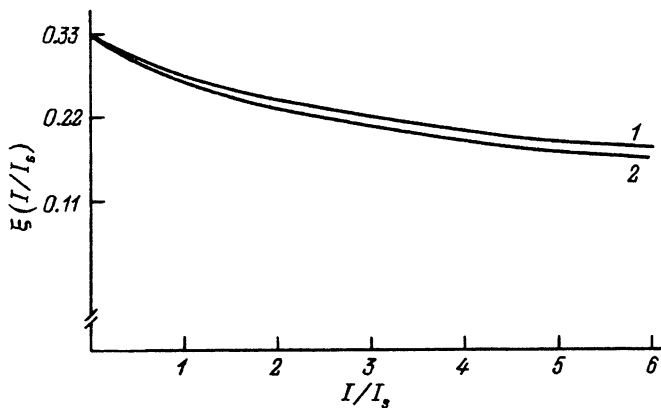
$$\xi_{\text{circ}}(y) = \frac{1}{4y} \left[1 + \frac{y-1}{\sqrt{y}} \arcsin \sqrt{\frac{y}{1+y}} \right]. \quad (7a)$$

Приведем асимптотику функций (7), (8) при малых и больших значениях аргумента:

$$\xi_{\text{lin}}(x) = \begin{cases} 1/3 & \text{при } x \ll 1, \\ 1/2\sqrt{x} & \text{при } x \gg 1; \end{cases} \quad (8)$$

$$\xi_{\text{circ}}(y) = \begin{cases} 1/3 & \text{при } y \ll 1, \\ \pi/8\sqrt{y} & \text{при } y \gg 1. \end{cases} \quad (8a)$$

Поясним причину возникновения линейно-циркулярного дихроизма при внутризонном нелинейном поглощении света в n -GaP, сопровождаемом однофотонными переходами электронов между подзонами X_1 и



Функция $\xi(I/I_s)$ при циркулярной (1) и линейной (2) поляризациях.

X_3 зоны проводимости. Согласно (3) скорость переходов $X_1 \rightarrow X_3$ при линейно поляризованном возбуждении

$$g_{31}^{(\text{lin})} \sim \cos^2(\hat{\mathbf{e}}, \mathbf{k}) \left[1 + x \cos^2(\hat{\mathbf{e}}, \mathbf{k}) \right]^{-1/2}, \quad (9)$$

а при возбуждении циркулярно поляризованным светом

$$g_{31}^{(\text{circ})} \sim \sin^2(\hat{\boldsymbol{\kappa}}, \mathbf{k}) \left[1 + y \sin^2(\hat{\boldsymbol{\kappa}}, \mathbf{k}) \right]^{-1/2} \quad (10)$$

($\boldsymbol{\kappa}$ — волновой вектор фотона), и можно говорить о выстраивании импульсов электронов, зависящем от состояния поляризации света. При $\mathbf{k} \parallel \boldsymbol{\kappa}$ в соответствии с законом сохранения проекции углового момента происходит выстраивание импульсов только для линейной поляризации, а не для циркулярной. Согласно (9) и (10) диаграммы направленности в двух плоскостях \mathbf{k} -пространства, содержащих векторы \mathbf{e} и $\boldsymbol{\kappa}$ соответственно, не одинаковы при больших интенсивностях света. При малой интенсивности света, когда фотоиндуцированным изменением функции распределения электронов можно пренебречь, диаграммы направленности становятся неразличимыми и вероятности оптических переходов не зависят от состояния поляризации.

Согласно (5) и (6) коэффициент линейно-циркулярного дихроизма $\eta = W_{\text{circ}}^{(1)}/W_{\text{lin}}^{(1)}$ в пределе больших интенсивностей, т.е. $I \gg I_s$, перестает зависеть от I и равен $\pi\sqrt{2}/4 \approx 1.1$ (см., рисунок).

В заключение заметим, что в приближении $|Pk_z|, |Dk_x k_y| \ll \Delta/2$ (см., например, [3,4]) и при частоте $\omega \approx \Delta/2\hbar$ двухфотонный линейно-циркулярный дихроизм в n -GaP возникает только при учете резонансного насыщения соответствующих оптических переходов, а его характер изменения в зависимости от интенсивности света остается как при однофотонном нелинейном поглощении.

Список литературы

- [1] Д.А. Паршин, А.Р. Шаббаев. ЖЭТФ, **92**, 1471 (1987).
- [2] С.Д. Ганичев, Е.Л. Ивченко, Р.Я. Расулов, И.Д. Ярошецкий, Б.Я. Авербух. ФТТ, **35**, 198 (1993).
- [3] Р.Я. Расулов, У.Г. Ганиев, Х. Сидикова. ФТП, **27**, 374 (1993).
- [4] Р.Я. Расулов. ФТТ, **35**, 1674 (1993).

Редактор Л.В. Шаронова

Linear-Circular Dichroism of Non-Linear Light Absorption in *n*-GaP

R. Ya. Rasulov, G.H. Hashimov, H. Holiddinov

Fergana State University, 712000 Fergana, Uzbekistan
