

## ЛИНЕЙНО-ЦИРКУЛЯРНЫЙ ДВУХФОТОННЫЙ ДИХРОИЗМ В ВЫРОЖДЕННОМ АНТИМОНИДЕ ИНДИЯ

А. М. Данишевский, Е. Л. Ивченко, С. Ф. Кочегаров,  
М. И. Степанова

В нашем предыдущем сообщении [ 1 ] рассматривался вопрос о наличии поляризационных зависимостей коэффициента двухфотонного поглощения (ДФП) в кубических полупроводниках <sup>1)</sup>. Было показано, в частности, что в антимониде индия – кристалле с практически изотропным энергетическим спектром возможен (в пренебрежении гофрировкой валентной зоны) лишь один тип поляризационной зависимости, а именно – линейно циркулярный двухфотонный дихроизм (ЛЦДД) [ 2 ]. Указанное явление обусловлено неадекватным вкладом в вероятность поглощения ( $W^{(2)}$ ) оптических переходов из различных начальных состояний в валентной зоне для случаев линейно и циркулярно поляризованного света. При этом в случае переходов из подзоны тяжелых дырок  $V_1$  величина  $W^{(2)}$  оказывается большей для циркулярно-поляризованного света, в то время как для переходов из подзоны легких дырок  $V_2$  вероятность ДФП является существенно большей для света с линейной поляризацией. В обычных условиях, когда, например, переходы осуществляются из обеих подзон валентной зоны, зависимость вероятности ДФП от состояния поляризации света накачки оказывается не очень сильной [ 1 ].

Так на краю ДФП отношение  $W_D^{(2)}/W_C^{(2)} = 0,98$ , а при уменьшении параметра  $x = \epsilon_g/2\hbar\omega$  ( $\epsilon_g$  – ширина запрещенной зоны;  $\omega$  – частота излучения, вызывающего двухфотонные переходы) благодаря непараболичности энергетического спектра зоны легких дырок, указанное отношение растет, достигая 1,33 при  $x = 1/2$ .

<sup>1)</sup> Подробная квантовомеханическая теория ДФП в кубических полупроводниках опубликована в [ 2 ] одним из авторов.

Интересным являлось бы исследовать ЛЦДД для переходов из каждой подзоны в отдельности. Такие условия можно реализовать в антимониде индия, используя вырожденные кристаллы  $n$ - и  $p$ -типов при низкой температуре и выбрав соответствующую энергию квантов света накачки, как это показано на рисунке. При этом в кристалле  $n$ -типа переходы оказываются возможными только из подзоны  $V_1$ , а в кристалле  $p$ -типа — только из подзоны  $V_2$ . Как следует из выражений, приведенных в [1, 2],

$$\left. \frac{W_L^{(2)}}{W_C^{(2)}} \right|_{V_1} = \frac{2}{3}, \text{ а } \left. \frac{W_L^{(2)}}{W_C^{(2)}} \right|_{V_2} \text{ изменяется от 2,2 до 4}$$

в зависимости от величины  $x$ , где  $x \in [1; 0,5]$ .

Эксперименты по обнаружению ЛЦДД в вырожденных образцах антимонида индия выполнялись с помощью импульсного  $\text{CO}_2$ -лазера ( $t_{\text{имп}} = 0,2 \text{ мксек}$ ) при температуре кристаллов  $77^\circ\text{K}$ .

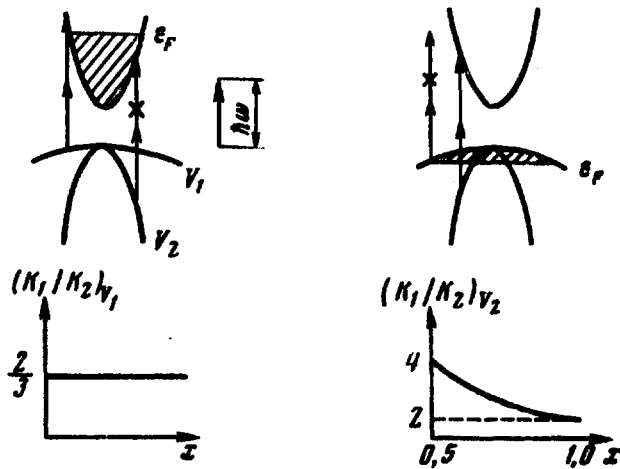


Схема возможных двухфотонных переходов в образцах антимонида индия:  $a-n = 6,2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ,  $\lambda = 9,5 \text{ мкм}$ ;  $b-p_0 = 1,1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ,  $\lambda = 10,6 \text{ мкм}$ ,  $T = 77^\circ\text{K}$

Образцы  $\text{InSb}$  с концентрациями  $n = 6,2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  и  $p = 1,1 \cdot 10^{18}$  выполнялись в виде фотосопротивлений таким образом, чтобы расположение контактов оказывалось поперечным по отношению к направлению светового пучка. Наблюдаемые в экспериментах сигналы после усиления поступали на импульсный синхронный детектор с большой постоянной времени и записывались на самописце.

На образцах  $n$ -типа измерялась фотопроводимость при двухквантовом возбуждении [3, 4]. Лазер работал в таком режиме, когда генерация на длине волны  $10,6 \text{ мкм}$  была подавлена и основной линией излучения оказалась линия с длиной волны  $9,5 \text{ мкм}$  ( $\hbar\omega = 0,131 \text{ эв}$ ). Интенсивность излучения  $i$  уменьшалась до уровня, при котором фотопроводимость  $\Delta\sigma$  квадратично зависела от  $i$ . При этом время жизни избыточных носителей  $\tau$  определяется в основном безызлучательными процессами и концентрация их  $\Delta n$  при постоянной интенсивности света определяется только величиной коэффициента поглощения  $K^{(2)}$ . Таким об-

разом, изменяя в эксперименте поляризацию света накачки можно было определить  $\Delta\sigma_{\text{л}}/\Delta\sigma_{\text{ц}} = K_{\text{л}}^{(2)}/K_{\text{ц}}^{(2)}$ . Указанная величина оказалась равной 0,85, что качественно совпадает с выводами теории. Некоторое количественное несоответствие обусловлено наличием "хвоста" функции распределения за счет недостаточно низкой температуры.

В экспериментах, выполненных на образцах  $p$ -типа, использовался режим работы лазера, при котором превалировала спектральная линия с длиной волны  $\lambda = 10,6 \text{ мкм}$  ( $\hbar\omega = 0,117 \text{ эв}$ ). Интенсивность излучения с длиной волны  $9,5 \text{ мкм}$  составляла не более 0,3% общей интенсивности.

Наблюдалась поперечная фотоэдс, амплитуда которой квадратично зависела от интенсивности света, что указывает на двухквантовый характер возбуждения избыточных носителей<sup>1)</sup>. Величина ее сильно зависела от поляризации лазерного луча и при переходе от линейной поляризации к циркулярной<sup>2)</sup> уменьшалась в два раза. Поскольку условия эксперимента близко соответствовали краю ДФП, полученное соотношение следует считать очень близким к теоретическому ( $\sim 2,2$ ).

Таким образом, следует считать, что в описанных экспериментах наблюдалось явление ЛЦДД для оптических переходов из подзон  $V_1$  и  $V_2$  валентной зоны в отдельности. Полученные результаты подтверждают корректность использованного в теоретическом расчете [2] двухзонного приближения.

Авторы пользуются случаем поблагодарить В.К.Субашиева за полезное обсуждение.

Физико-технический институт  
им. А.Ф.Иоффе  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
29 декабря 1972 г.

### Литература

- [1] А.М.Данишевский, Е.Л.Ивченко, С.Ф.Кочегаров, М.И.Степанова. Письм : ЖЭТФ, 16, 625, 1972.
- [2] Е.Л.Ивченко. ФТТ, 14, №12, 1972.
- [3] A. F. Gibson, M. J. Kent, M. F. Kimmit. Brit. J. Appl. Phys., 1, 149, 1968.
- [4] А.М.Данишевский, А.А.Патрин, С.М.Рывкин, И.Д.Ярошецкий. ЖЭТФ, 56, 1457, 1969.

<sup>1)</sup> Механизм образования наблюдаемой фотоэдс не выяснялся, однако, можно предполагать, что он связан с наличием неоднородности в образце.

<sup>2)</sup> При изменении поляризации лазерного излучения амплитуда его не изменялась и луч не перемещался по образцу.