

## ИНДУЦИРОВАННЫЙ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ ЦИРКУЛЯРНЫЙ ФОТО-ГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

А.В.Андреанов, И.Д.Ярошецкий

Сообщается о первом экспериментальном наблюдении индуцированного магнитным полем циркулярного фотогальванического эффекта в негиротропных кристаллах. Эксперименты выполнены в магнитных полях  $1 \div 8$  кЭ в  $p$ -GaAs(Zn) при возбуждении светом  $\text{CO}_2$ -лазера.

Циркулярный фотогальванический эффект (ЦФГЭ) представляет собой явление возникновения в гиротропных кристаллах стационарного фототока, пропорционального степени циркулярной поляризации возбуждающего света и обусловленного оптической ориентацией носителей заряда <sup>1</sup>.

В настоящей работе сообщается об экспериментальном обнаружении нового явления — индуцированного магнитным полем циркулярного фотогальванического эффекта в негиротропных пьезоэлектриках. На возможность существования этого эффекта указывалось в <sup>2</sup>. Индуцированный магнитным полем ЦФГЭ описывается следующим феноменологическим соотношением:

$$j_{\alpha} = I \Gamma_{\alpha\beta\gamma} H_{\beta} k_{\gamma}, \quad (1)$$

$I$  — интенсивность света,  $H$  — магнитное поле,  $\vec{k} = i[\mathbf{e} \times \mathbf{e}^*]$ ,  $\mathbf{e}$  — вектор поляризации,  $\Gamma_{\alpha\beta\gamma}$  — тензор третьего ранга, по своим трансформационным свойствам полностью аналогичный пьезоэлектрическому тензору.

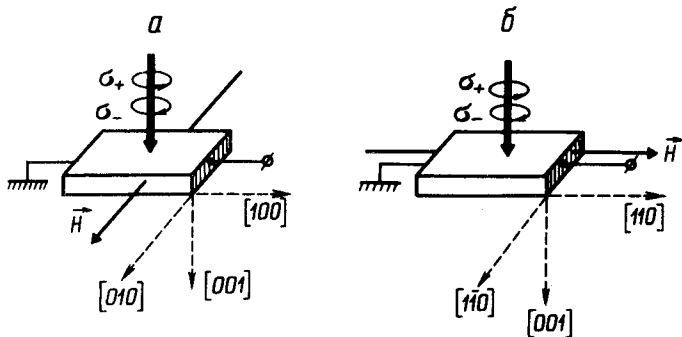


Рис. 1. Геометрия эксперимента: *a* —  $\mathbf{H} \perp \mathbf{j} \perp \mathbf{q}$ , *б* —  $\mathbf{H} \parallel \mathbf{j} \perp \mathbf{q}$

Эксперименты проводились на кристаллах  $p$ -GaAs(Zn), имеющих при  $T = 300\text{K}$  концентрацию дырок  $2,3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  и подвижность  $250 \text{ см}^2/\text{Вс}$ . В качестве источника возбуждения использовался  $\text{CO}_2$ -лазер с модуляцией добротности с мощностью в импульсе  $\approx 5 \text{ кВт}$  и длительностью импульса  $\approx 150 \text{ нс}$ . Опыты проводились в магнитных полях  $1 \div 8 \text{ кЭ}$  в интервале температур  $78 \div 300\text{K}$ . Образцы имели форму прямоугольных параллелепипедов размером  $7 \times 4 \times 1,5 \text{ мм}^3$ , ориентированных как показано на рис. 1. Как можно показать из (1), в случае геометрии эксперимента соответствующей рис. 1, *a* и *б*, измеряемый циркулярный фотогальванический ток должен иметь следующий вид:

$$j = I H \Gamma \eta, \quad (2)$$

где  $\Gamma$  — единственная линейно независимая компонента тензора  $\Gamma_{\alpha\beta\gamma}$  в кристалле GaAs. Линейно-поляризованное излучение  $\text{CO}_2$ -лазера пропускалось через четвертьволновую пластинку, преобразующую исходное излучение в циркулярно-поляризованное со степенью циркулярной поляризации  $\eta = \sin 2\varphi$ , где  $\varphi$  — угол между оптической осью четвертьволновой пластинки и вектором поляризации излучения  $\text{CO}_2$ -лазера и далее фокусировалось на исследуемый образец. В отсутствии магнитного поля сигналов практически не наблюдалось. При включении магнитного поля на контактах генерировалась быстрая фотоэдс, полярностью повторяющая по форме лазерный импульс. Обнаруженная фотоэдс зависела от положения оптической оси четвертьволновой пластинки как  $\sin 2\varphi$  и изменяла знак при изменении знака циркулярной поляризации возбуждающего света, кроме того фотоэдс меняла знак при изменении направления магнитного поля (рис. 2). Свойства фотоэдс, наблюдаемых в геометриях эксперимента соответствующих рис. 1, *a* и *б*, практически не отличались. Эти факты позволяют заключить, что обнаруженная быстрая фотоэдс обусловлена ЦФГЭ, индуцированным магнитным полем.

Упомянутого эффекта не наблюдается в кристаллах  $n$ -GaAs, что, по-видимому, указывает на связь индуцированного магнитным полем ЦФГЭ и орбитальным вращением носителей заряда, возникающим в результате оптических переходов между подзонами валентной зоны при поглощении циркулярно-поляризованного света.

По величине индуцированный магнитным полем ЦФГЭ довольно велик и при  $H = 7 \text{ кЭ}$  всего в 3,7 раза меньше чем ЛФГЭ (линейный фотогальванический эффект) <sup>3</sup>. Определены константы  $\Gamma$  и  $D = \Gamma/\sigma$ , где  $\sigma$  — электропроводность кристалла, характеризующие явление по току и напряжению, которые составляют при  $T = 300\text{K}$  и  $\lambda = 10,6 \text{ мкм}$  величины  $8,4 \cdot 10^{-12} \text{ А/Вт} \cdot \text{Э}$  и  $9 \cdot 10^{-12} \frac{\text{В}}{\text{Вт} \cdot \text{Э}} \text{ см}$ , соответственно.

Температурная зависимость индуцированного магнитным полем циркулярного фототока представлена на рис. 3. Наблюдаемый характер этой зависимости связан, по-видимому, с перераспределением дырок между валентной зоной и примесным уровнем Zn и различным характером оптической ориентации при примесных и внутризонных переходах, а также с температурной зависимостью соответствующих характеристических времен (спиновой релаксации, асимметричного рассеяния, и т. д.).

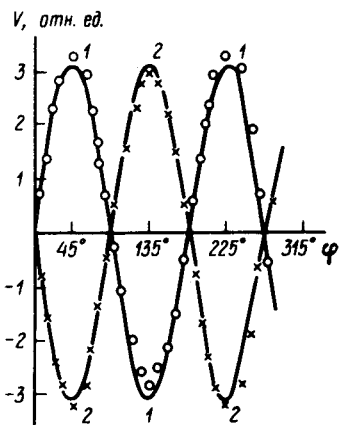


Рис. 2

Рис. 2. Зависимость величины быстрой фотоэда от положения оптической оси четвертьволновой пластинки:  $T = 300\text{K}$ ;  $\lambda = 10,6\text{ мкм}$  геометрия эксперимента соответствует рис.1, а; 1 -  $H = 6,9\text{ кЭ}$ , 2 -  $H = -6,9\text{ кЭ}$ ;  $\circ, \times$  - эксперимент, — — — — —  $\sin 2\varphi$ , - - - - -  $(-1)\sin 2\varphi$

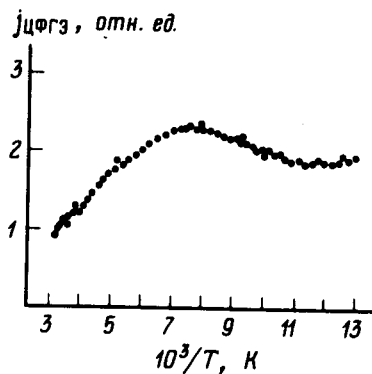


Рис. 3

Рис. 3. Зависимость индуцированного магнитным полем циркулярного фототока от температуры:  $\lambda = 10,6\text{ мкм}$ ;  $H = 4,8\text{ кЭ}$

Из соображений симметрии выражения (1) по отношению к инверсии времени следует, что обнаруженный в настоящей работе индуцированный магнитным полем ЦФГЭ, также как и линейный фотогальванический эффект (ЛФГЭ)<sup>3</sup>, принципиально связан с процессами диссипации и к нему приводят оптические переходы с рассеянием носителей заряда.

Данное явление обусловлено асимметричным рассеянием оптически ориентированных носителей заряда в магнитном поле. В качестве центров асимметричного рассеяния могут выступать любые нарушения периодичности нецентросимметричного кристалла; фононы, примеси, дефекты решетки. Следует отметить, что индуцированный магнитным полем ЦФГЭ также как и ЛФГЭ может иметь как баллистическую составляющую, обусловленную оптическими переходами с рассеянием носителей заряда, так и сдвиговую составляющую<sup>4</sup>, связанную со сдвигом носителей заряда в  $r$ -пространстве в результате квантовых переходов.

Авторы благодарят Е.Л.Ивченко за обсуждение работы и О.В.Сулима за помощь в приготовлении образцов.

#### Литература

1. Asnin V.M., Bakun A.A., Danishevski A.M., Ivchenko E.L., Pikus G.E., Rogachev A.A. Solid State Comm., 1979, 30, 565.
2. Ивченко Е.Л., Пикус Г.Е. Сб. Проблемы современной физики (К100-летию со дня рождения А.Ф.Иоффе) Л.: Наука, 1980, 275.
3. Андрианов А.В., Ивченко Е.Л., Пикус Г.Е., Расулов Р.Я., Ярошецкий И.Д. ЖЭТФ, 1981, 81, 2080.
4. Белиничер В.И., Ивченко Е.Л., Стурман Б.И. ЖЭТФ, 1982, 83, 649.