

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЦИРКУЛЯРНЫЙ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЙ ТОК В МОНОКРИСТАЛЛАХ ГЕРМАНОСИЛЛЕНИТА

В.М.Фридкин, В.Г.Лазарев, А.Л.Шленский

Впервые наблюдалось влияние магнитного поля на циркулярный объемный фотовольтаический эффект (ОФЭ). Полученные результаты подтверждают сделанное ранее предположение о том, что при термализации носителей может иметь место переход от зонной проводимости к прыжковой.

Равномерное освещение однородных кристаллов без центра симметрии в магнитном поле генерирует стационарный магнитофотовольтаический ток. $J_i^{B_j}$

$$J_i^{B_j} = S_{ijkl} B_j E_k E_l^* + Q_{ijk} B_j i(\mathbf{E} \times \mathbf{E}^*)_k. \quad (1)$$

Здесь E_k , E_l^* — компоненты вектора поляризации света, B_j — магнитное поле, $i(\mathbf{E} \times \mathbf{E}^*)_k$ определяет степень циркулярной поляризации света σ согласно соотношению

$$i(\mathbf{E} \times \mathbf{E}^*)_k = \sigma \frac{q}{|q|} I, \quad (2)$$

q — волновой вектор фотона. Первый член в правой части (1) описывает магнитофотовольтаический эффект (МФВЭ) для линейно поляризованного света (линейный МФВЭ), второй член — МФВЭ для циркулярно поляризованного света (циркулярный МФВЭ). МФВЭ может быть получен из объемного фотовольтаического эффекта (ОФЭ)^{2,3} путем разложения

объемного фотовольтаического тока J_z по магнитному полю. Микроскопический механизм МФВЭ связан как с холловской компонентой баллистического фотовольтаического тока, так и с магнитоиндуцированной асимметрией фотовозбуждения носителей^{4, 5}.

Линейный МФВЭ был экспериментально обнаружен для $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}$ и ZnS в⁶⁻⁸. В настоящей работе мы сообщаем о циркулярном МФВЭ в монокристаллах пьезоэлектрика $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$. Циркулярный ОФЭ в $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ ранее наблюдался в⁹. Для наблюдения циркулярного МФВЭ нами использовалась модуляционная методика измерения фотовольтаического тока^{9, 10} и его холловской компоненты в магнитном поле $B_y \lesssim 1 \text{ Т}$.

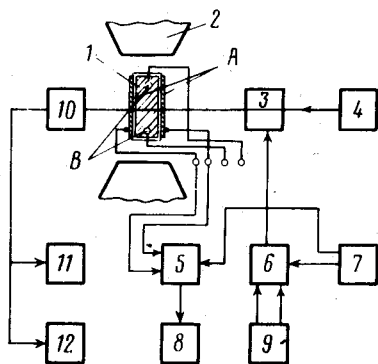


Рис. 1

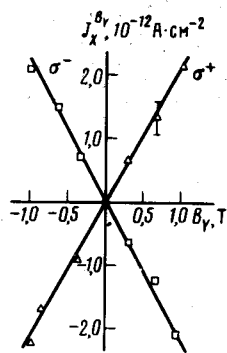


Рис. 2

Рис. 1. Схема измерений: 1 – кристалл с полупрозрачными (А) и холловскими (В) контактами, 2 – электромагнит, 3 – электрооптический модулятор, 4 – лазер $\text{He} - \text{Cd}$, 5 – синхронный нановольтметр, 6 – коммутатор, 7 – генератор опорного сигнала, 8 – самопишущий потенциометр, 9 – источник постоянного напряжения, 10 – фотоприемник, 11 – селективный усилитель, 12 – усилитель постоянного тока

Рис. 2. Зависимость J_x^{By} от напряженности магнитного поля B_y для разного знака циркулярной поляризации света

Исследовались монокристаллические пластинки с размерами $6,3 \times 5,7 \times 1,7 \text{ мм}^3$ вдоль x, y и z , совпадающих с направлениями $\langle 100 \rangle$. Для измерения циркулярного фотовольтаического тока J_z на грани (001) напылялись полупрозрачные никелевые электроды А, а для измерения его холловской компоненты J_x^{By} использовались электроды В (рис. 1). Кристалл освещался $\text{He} - \text{Cd}$ лазером 4 ($\lambda = 440 \text{ нм}$, $I = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}$) через электрооптический модулятор 3, разность хода которого изменялась под действием напряжения, имеющего форму меандра с частотой 19,3 Гц и амплитудой, равной полуволновому напряжению. Одновременно через коммутатор 6 на модулятор 3 подавалось постоянное напряжение от источника 9, смещающее рабочую точку модулятора таким образом, что положительные и отрицательные полупериоды меандра соответствовали положительной σ^+ и отрицательной σ^- циркулярной поляризации света или линейной поляризации света с взаимно перпендикулярным направлением вектора поляризации E . Изменением напряжения смещения достигалось изменение знака циркулярной поляризации относительно опорного напряжения генератора 7. Используемая нами импульсная модуляция облегчает разделение циркулярного и линейного эффектов и уменьшает влияние паразитной амплитудной модуляции света. Поляризация света исследовалась фотоприемником с анализатором 10. Глубина паразитной модуляции интенсивности не превышала 0,1%. Токи J_z и J_x^{By} измерялись синхронным нановольтметром типа "Unipan 232 В" с входным импедансом 50 МОм.

В соответствии с точечной группой симметрии кристалла 23 выражения для циркулярного фото-вольтаического тока J_z и его холловской компоненты J_x^{By} имеют вид

$$J_z = I \gamma_{zz} \sigma, \quad (3)$$

$$J_x^{By} = I B_y Q_{xyz} \sigma, \quad (4)$$

где γ_{zz} и Q_{xyz} — единственные отличные от нуля компоненты тензора циркулярного ОФЭ и циркулярного МФВЭ, I — интенсивность света. Полученное нами значение $\gamma_{zz} \approx 3 \cdot 10^{-10} \text{ А} \cdot \text{см} \cdot (\text{Вт})^{-1}$ (для коэффициента поглощения $\alpha^* \approx 14 \text{ см}^{-1}$) удовлетворительно согласуется с ⁹. Результаты измерения J_x^{By} представлены на рис. 2 и сводятся к следующему. В соответствии с (4) знак холловского тока J_x^{By} изменяется с изменением знака циркулярной поляризации света σ и магнитного поля B_y . Холловский ток линейно зависит от B_y в интервале $B_y \leq 1 \text{ Т}$. Нетермализованными носителями являются электроны. Согласно ⁶⁻⁸ из (3) и (4) была определена подвижность нетермализованных электронов

$$\mu_H = \frac{1}{B} \frac{J_x^{By}}{J_z} = \frac{Q_{xyz}}{\gamma_{zz}}. \quad (5)$$

Подставляя в (5) $J_z \approx 1,5 \cdot 10^{-11} \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$ и значения J_x^{By} из рис. 2, имеем $\mu_H \approx 1400 \pm 200 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$. Согласно ^{11, 12} в $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ термализованная подвижность электронов, определенная по методу пролетного времени, сильно зависит от заполнения ловушек и изменяется в пределах $\mu_T \approx 10^{-6} \div 10^{-2} \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$. Столь низкие значения μ_T связаны с надежно установленным в этих кристаллах прыжковым механизмом проводимости. Таким образом, при термализации электронов в $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ их подвижность уменьшается более чем на пять порядков, что подтверждает сделанное в ¹³ предположение о том, что при термализации носителей имеет место переход зонного механизма проводимости в прыжковый.

Литература

1. Ивченко Е.Л., Пикус Г.Е. Сб.: Проблемы совр. физики, М.: Наука, 1980, с. 275.
2. Фридкин В.М., Попов Б.Н. УФН, 1978, 126, 657.
3. Белиничер В.И., Стурман Б.И. УФН, 1980, 23, 199.
4. Ивченко Е.Л., Лянда-Геллер Ю.Б., Пикус Г.Е., Расулов Р.Я. ФТП, 1984, 18, 93.
5. Ивченко Е.Л., Пикус Г.Е., Расулов Р.Я. ФТТ, 1984, 26, 3362.
6. Фридкин В.М., Попов Б.Н. Докл. АН СССР, 1980, 256, 63.
7. Леванюк А.П., Погосян А.Р., Уюкин Е.М. Докл. АН СССР, 1980, 256, 60.
8. Фридкин В.М., Лазарев В.Г., Левин Ю.Э., Родин А.И. Письма в ЖЭТФ, 1983, 38, 159.
9. Петров М.П., Грачев А.И. ФТТ, 1980, 22, 1671.
10. Esayan S.K., Lemanov V.V., Maksimov A.Y. Ferroelectric Lett., 1984, 2, 93.
11. Lenzo R.V. J. Appl. Phys., 1972, 43, 1107.
12. Костюк В.Х., Кудзин А.Ю., Соколянский Г.Х. ФТТ, 1980, 22, 2454.
13. Малиновский В.К., Стурман Б.И. ФТТ, 1980, 22, 3678.