

ХОЛЛ-ЭФФЕКТ ДЛЯ ОБЪЕМНОГО ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКОГО ТОКА В ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКЕ ZnS

В.М.Фридкин, В.Г.Лазарев, Ю.Э.Левин, А.И.Родин

Впервые измерена температурная зависимость подвижности неравновесных носителей, ответственных за объемный фотовольтаический эффект (ОФЭ). В отличие от обычной фотоколловской подвижности, подвижность дырок, ответственных за ОФЭ, не зависит от температуры.

Объемный фотовольтаический (фотогальванический) эффект (ОФЭ) заключается в том, что при равномерном освещении однородного кристалла без центра симметрии линейно или широкулярно поляризованным светом возникает стационарный ток, величина и направление которого зависят от направления освещения и ориентации плоскости поляризации света¹.

Для линейно поляризованного света ОФЭ описывается тензором третьего ранга α_{ijk}

$$J_{\text{фв}}^i = \alpha_{ijk} E_j E_k^*, \quad (1)$$

где $J_{\Phi B}^i$ – стационарный фотовольтаический ток, E_j, E_k – проекции вектора поляризации света. Компоненты фотовольтаического тензора α_{ijk} отличны от нуля для 20 точечных групп без центра симметрии.

Микротеория указывает на два возможных механизма ОФЭ. Первый ("баллистический") связан с асимметрией функции распределения неравновесных носителей по импульсу². Эта асимметрия возникает, в свою очередь, за счет асимметрии возбуждения, рекомбинации и рассеяния неравновесных носителей в кристалле без центра симметрии. Второй механизм ("сдвиговый") связан с учетом недиагональных по номерам зон элементов матрицы плотности в пьезо- и пироэлектриках³⁻⁶.

Как показано в⁷, в магнитном поле для обоих этих механизмов имеет место холловский фотовольтаический ток $J_{\Phi Bx}$, линейно зависящий от магнитного поля B . Из холловского эксперимента может быть определена подвижность нетермализованных носителей $\mu_{\Phi B}$ и ее температурная зависимость.

Температурная зависимость $\mu_{\Phi B}$ впервые была получена в настоящей работе из измерений примесного ОФЭ в кубических пьезоэлектрических кристаллах ZnS (симметрия $\bar{4}3m$). Методика холловских измерений для объемного фотовольтаического тока была описана в^{8, 9}. Согласно (1) и группе симметрии $\bar{4}3m$ при освещении кристалла ZnS в направлении оси четвертого порядка z линейно поляризованным светом в отсутствие магнитного поля в этом направлении течет фотовольтаический ток $J_{\Phi B}^z$:

$$J_{\Phi B}^z = \frac{1}{2} \alpha_{14} I \sin 2\beta, \quad (2)$$

где β – угол между плоскостью поляризации света и осью X , I – интенсивность света (рис. 1). Экспериментальная зависимость, соответствующая (2), представлена на рис. 2, а.

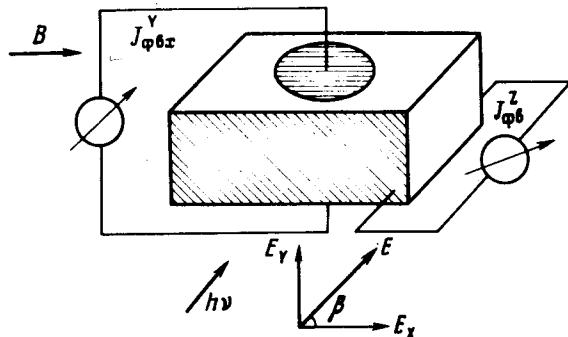


Рис. 1. Схема измерений фотовольтаического тока $J_{\Phi B}^z$ и холловской компоненты фотовольтаического тока $J_{\Phi Bx}^y$. B – магнитное поле

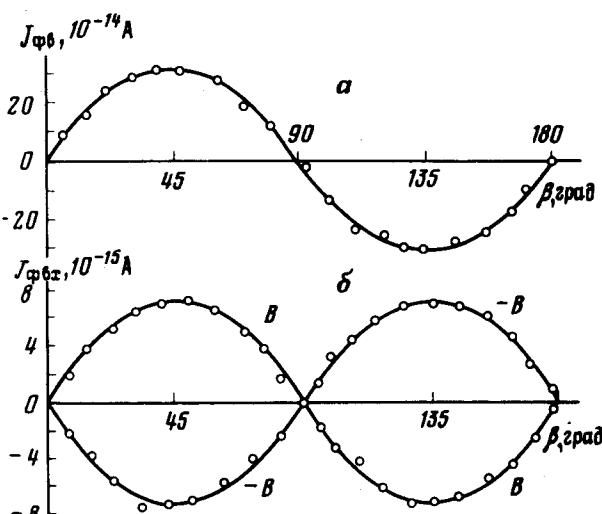


Рис. 2. а – Ориентационная зависимость фотовольтаического тока $J_{\Phi B}^z$ ($B = 0$) при $T = 300$ К и $\lambda = 600$ нм. б – Ориентационная зависимость холловской компоненты фотовольтаического тока $J_{\Phi Bx}^y$ для $B = 1,25$ Т, $T = 300$ К и $\lambda = 600$ нм. Интенсивность света $I = 1,2 \cdot 10^{-3}$ Вт·см⁻²

В примесной области $500 < \lambda < 800$ нм $\alpha_{14} \approx (3 \div 4) \cdot 10^{-8}$ А·Вт $^{-1}$, соответственно $K_{14} = \alpha_{14}/\alpha^* \approx (3 \div 4) \cdot 10^{-8}$ А·Гр $^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ ($\alpha^* \approx 1$ см $^{-1}$ – коэффициент поглощения). При включении магнитного поля (рис. 1) в направлении оси y течет холловский ток $J_{\Phi B}^y$

$$J_{\Phi B}^y = \mu_{\Phi B} J_{\Phi B}^z B. \quad (3)$$

На рис. 2, б представлена угловая зависимость холловского тока для двух противоположных направлений магнитного поля B . Холловский ток (3) линеен по B вплоть до значений $B = 1,4$ Т.

Были выполнены параллельные измерения подвижности $\mu_{\Phi B}$ в режиме ОФЭ и обычной холловской подвижности μ в интервале температур от комнатной до $T \approx 150$ К. Подвижность носителей $\mu_{\Phi B}$, ответственных за ОФЭ, определялась из (3). Обычная холловская подвижность μ измерялась по обычной методике путем приложения внешнего электрического поля E в направлении оси z и измерения фототока J^z и фотохолловского тока J^y

$$\mu = \frac{1}{B} \frac{J^y}{J^z}. \quad (4)$$

Фототоки J^z и J^y линейно зависели от поля E , изменяли знак при изменении направления поля E и не зависели от поляризации света.

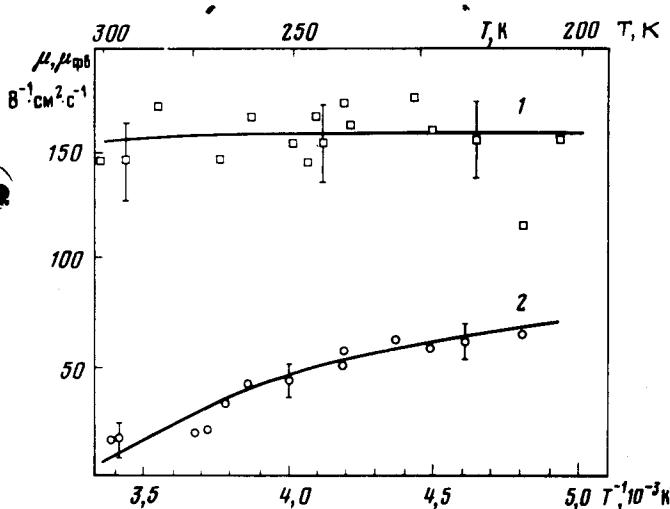


Рис. 3. Температурная зависимость подвижностей дырок $\mu_{\Phi B}$ (1) и μ (2) для $\lambda = 600$ нм

Эти измерения показали, что в кристаллах ZnS в спектральной области $500 \lesssim \lambda \lesssim 800$ нм носителями, ответственными за примесный ОФЭ, являются дырки. В то же время примесная фотопроводимость в области $600 \lesssim \lambda \lesssim 800$ нм обусловлена дырками, а в области спектра $500 \lesssim \lambda \lesssim 600$ нм – электронами. На рис. 3 представлена температурная зависимость $\mu_{\Phi B}$ (кривая 1) и μ (кривая 2) для дырок в спектральной области $\lambda \approx 600$ нм. В то время как в области низких температур $\mu \sim T^{-2}$, подвижность $\mu_{\Phi B}$ дырок, ответственных за ОФЭ, не зависит от температуры во всем исследованном интервале. Это приводит к тому, что при $T = 300$ К $\mu_{\Phi B} \gg \mu$, при $T \approx 150$ К $\mu_{\Phi B} \approx \mu \approx 100$ см $^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$.

Таким образом, результаты измерений ОФЭ в ZnS указали на наличие линейного по магнитному полю холл-эффекта для ОФЭ, а также на различие в температурной зависимости термализованных и нетермализованных носителей.

Авторы благодарны Я.Г.Гиршбергу, Е.Л.Ивченко, Г.Е.Пикусу за обсуждение работы.

Литература

1. Фридкин В.М., Попов Б.Н. УФН, 1978, 126, 657.
2. Белиничер В.И., Стурман Б.И. УФН, 1980, 23, 199.
3. Белиничер В.И., Ивченко Е.Л., Стурман Б.И. ЖЭТФ, 1982, 83, 649.
4. Кристоффель Н.Н., Гулбис А. Изв. АН ЭССР, 1979, 28, 268.
5. Бурсиан Э.В., Гиршберг Я.Г., Трунов Н.Н. Изв. Высш. Уч. зав., сер. физ., 1981, 24, 94.
6. Krant W., von Baltz R. Phys. Lett., 1980, A 79, 364.
7. Ивченко Е.Л., Пикус Г.Е. Тезисы XI Всесоюзного совещания по теории полупроводников, Ужгород, 1983.
8. Попов Б.Н., Фридкин В.М. Доклады АН СССР, 1980, 256, 63.
9. Леванюк А.П., Погосян А.Р., Юкин Е.М. Доклады АН СССР, 1980, 256, 60.

Институт кристаллографии

Академии наук СССР

Ростовский-на-Дону

государственный университет

Ростовский-на-Дону

педагогический институт

Поступила в редакцию

4 апреля 1983 г.

После переработки

13 июня 1983 г.