

УДК 535.24;535.6

**ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В КУБИЧЕСКИХ
КРИСТАЛЛАХ**

***Б.Х. Каримов, доктор физико-математических наук, профессор
Ферганский Государственный университет, Узбекистан***

В статье приведены исследования фотовольтаического эффекта в кубических кристаллах, существующего в кристаллах без центра симметрии и описываемого тензора третьего ранга. Изложены результаты исследований объемного фотовольтаического эффекта в пьезоэлектрических кристаллах ZnS.

Ключевые слова: фотовольтаический эффект, кубические кристаллы, тензор.

1. Фотовольтаический эффект в кубических кристаллах ZnS.

Аномальный фотовольтаический эффект, наблюдавшийся ранее для ряда сегнетоэлектриков, является частным случаем более общего фотовольтаического эффекта, существующего в кристаллах без центра симметрии и описываемого тензора третьего ранга α_{ijk} .

$$J_i = \alpha_{ijk} E_j E_k^* \quad (1)$$

Компоненты тензора α_{ijk} отличны от нуля для 20 асимметричных групп симметрии. При наличии центра симметрии $\alpha_{ijk} = 0$.

Фотовольтаический эффект был впервые экспериментально обнаружен в сегнетоэлектриках [1,2], а также в пьезоэлектриках [3,4]. Последовательная теория этого эффекта была развита в [5], где было показано, что он связан с приобретением неравновесным электроном избыточного импульса в зоне проводимости, величина и направление которого определяются асимметрией возбуждения, рекомбинации и рассеяния носителя в нецентросимметричном кристалле.

Согласна (1) при равномерном освещении линейно поляризованным светом однородного кристалла без центра симметрии в нем возникает фотовольтаический ток J_i . Знак и величина фотовольтаического тока J_i зависит от ориентации вектора поляризации света с компонентами E_j и E_k^* . Если электроды кристалла разомкнуть, то фотовольтаический ток J_i генерирует фотонапряжения $V_i = \frac{J_i}{\sigma_T + \sigma_\phi} l$ где σ_T и σ_ϕ соответственно темновая и фотопроводимость, l расстояние между электродами. Генерируемое фотонапряжение порядка 10^3 - 10^5 В, превышающее, таким образом, величину ширины запрещенной зоны E_g на два – четыре порядка. В соответствии с (1) и симметрией точечной группы можно написать выражения для фотовольтаического тока J_i . Сравнение экспериментальной угловой зависимости с $J_i(\beta)$ позволяет определить фотовольтаический тензор α_{ijk} или фотовольтаический коэффициент $K_{ijk} = \frac{1}{\alpha^*} \alpha_{ijk}$ (α^* - коэффициент поглощения света).

Изложены результаты исследований объемного фотовольтаического эффекта в пьезоэлектрических кристаллах ZnS, принадлежащих к кубической точечной группе $\bar{4}3m$. В отличие от сегнетоэлектриков [4] фотовольтаический эффект в ZnS можно наблюдать только в поляризованном свете. В соответствии (1) и симметрией точечной группы при освещении кристалла в z направлении оси 4 порядка (оси z) выражение для фотовольтаического тока в направлении z имеет вид:

$$J_z = \frac{1}{2} \alpha^* K_{14} I \sin 2\beta \quad (2)$$

где β - угол между плоскостью поляризации света и осью x .

Измерение фотовольтаического тока J и генерируемого им поля $\tilde{E} = \frac{J}{\sigma_\phi}$ (σ_ϕ - фотопроводимость) производилось путем снятия стационарных вольт-амперных характеристик [4].

Ориентационная зависимость $J_z = J_z(\beta)$, снятая при $T = 143$ К при освещении светом с длиной волны $\lambda = 500$ нм ($\alpha^* = 5$ см⁻¹) и интенсивностью $I = 2,3 \cdot 10^{-3}$ Вт·см⁻². Сравнение экспериментальной угловой зависимости с (2) даёт $K_{14} = 5 \cdot 10^{-9}$ А·см(Вт)⁻¹.

Таким образом, значение модуля K_{14} в исследованных кристаллах ZnS существенно выше, чем у известных сегнето- и пьезоэлектриков [4].

В интервале $T = 140 - 300$ °К модуль K_{14} обнаруживает слабую температурную зависимость. Благодаря этому, а также из-за сильной температурной зависимости фотопроводимости σ_ϕ , генерируемое в направлении оси z поле $\vec{E} = \frac{J}{\sigma_\phi}$ изменялось в пределах от 1В·см⁻¹ ($T = 300$ °К) до 40В·см⁻¹ ($T = 143$ °К) и не зависело от интенсивности света I .

В кристаллах ZnS, выращенных гидротермальным методом фотовольтаический эффект имеет в основном примесный характер.

2. АФ эффект в кубическом пьезоэлектрике $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$.

В настоящей работе измерения проводились для выращенного гидротермальным методом титаната висмута. Кубический кристалл $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ принадлежит к точечной группе 23.

Как было показано, в отличие от сегнетоэлектриков фотовольтаический эффект в пьезоэлектрических кристаллах можно наблюдать только в поляризованном свете.

Образец имел форму пластинки, параллельной грани (100). Поверхность пластинки освещались линейно поляризованным светом на длине волны $\lambda = 500$ нм, которая соответствует краю полосы собственной фотопроводимости $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$.

Все измерения проводились для постоянной интенсивности света $I = 2,3 \cdot 10^{-3}$ Вт·см⁻² при температуре 133К. Фотовольтаический ток измерялся в направлении [100], для чего на поверхность пластинки наносились электроды из серебряной пасты, снабженные отверстием. Таким образом, свет распространился в направлении [100], а плоскость

поляризация света, перпендикулярная грани [100], вращалась вокруг оси [100]. Для точечной группы 23, к которой принадлежит $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ выражение фотовольтаического тока J_x имеет вид (2). Экспериментальная ориентационная зависимость фотовольтаического тока согласуется (2), для которого была измерена единственная отличная от нуля компонента фотовольтаического тензора $K_{14}=2 \cdot 10^{-10} \text{ A} \cdot \text{см}(\text{BT})^{-1}$ (при температуре 133К).

Максимум фотовольтаического тока J_x отвечало поле $\tilde{E}=10 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$.

Аналогичные результаты были получены для полупрозрачных никелевых электродов, напылявшихся на грани [100].

Литература

1. V.M, Pridkin et.1 al., Egoelectrics, v. 8, 433 (1974).
2. A.M. Glass, von.der Lipde, T.j. Negrap, Appl. Phys. Leet., v. 25, 233 (1974).
3. В.И. Белиничер, В.К. Малиновский, Б.И. Стурман, ЖЭТФ, т. 73, 692 (1977).
4. В.М. Фридкин, В.Н. Попов, УФН, т. 126, 657 (1978).
5. В.И. Белиничер, Б.И. Стурман, УФН, т. 130, 415 (1980).

Фотовольтаїчний ефект в кубічних кристалах. Б.Х. Каримов

У статті наведено іісследование фотовольтаїчні ефекту в кубічних кристалах, існуючого в кристалах без центру симетрії і описуваного тензора третього рангу. Викладено результати досліджень об'ємного фотовольтаїчні ефекту в п'єзоелектричних кристалах ZnS.

Fotovoltaičny efekt in kubichnih kristalah. B.H. Karimov

The article presents ііsledovaniya photovoltaic effect in cubic crystals, existing in crystals without a center of symmetry and described tensor of the third rank. The results of studies bulk photovoltaic effect in piezoelectric crystals ZnS.