

ФОТОГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 

В.Е.Багликов, В.Н.Корнетов, А.Н.Огнев, Б.Н.Попов

Обнаружен фотогальванический эффект в тонких текстурированных пленках  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ . Компонента тензора фотогальванического тока  $K_{14}$  имеет тот же порядок величины, что и в монокристаллах.

Известно, что в кристаллах без центра симметрии существует фотогальванический (первоначально названный фотовольтаическим) эффект, описываемый тензором третьего ранга<sup>1</sup>. В высокоомных диэлектриках этот эффект приводит к эффекту фоторефракции. К настоящему времени фотогальванический эффект обнаружен и исследован в монокристаллах. Особое место здесь занимают кристаллы со структурой силленита (пространственная группа симметрии 23), нашедшие применение в устройствах оптоэлектроники – пространственно-временных модуляторах света PROM. В монокристаллах этой группы фотогальванический эффект впервые был обнаружен в  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ <sup>3</sup>, а затем в  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  и  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ <sup>4,5</sup>. В данной работе приводятся результаты наблюдения фотогальванического эффекта в тонких пленках  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ .

Эксперименты проводились на пленках  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ , полученных реактивным распылением составной висмут-германиевой мишени в установке с магнетроном планарного типа. Рентгеновский анализ изготовленных слоев германата висмута, проведенный с помощью установки УРС-50И, показал, что в зависимости от температуры подложки  $T_{\text{п}}$  могут быть получены аморфные пленки ( $T_{\text{п}} = 50 \div 150^\circ \text{C}$ ), поликристаллические с гранцентрированной ( $T_{\text{п}} = 200 \div 400^\circ \text{C}$ ) и объемноцентрированной решеткой ( $T_{\text{п}} \geq 450^\circ \text{C}$ ), а также текстурированные пленки ( $T_{\text{п}} \geq 500^\circ \text{C}$ ). Измерения проводились на текстурированных пленках германата висмута, полученных при  $T_{\text{п}} = 600^\circ \text{C}$ . Использование сапфира в качестве подложки позволило получить пленки  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ , ориентированные плоскостью (310). Толщина пленок составляла  $1,5 \div 2$  мкм.

Геометрия эксперимента приведена на рис. 1. Она отличается от геометрии, используемой в<sup>3-5</sup>, где ток измерялся в направлении распространения света. На поверхность пленки (310) напылялись алюминиевые электроды. Межелектродный зазор составлял 0,1 мм. Фотогальванический ток измерялся электрометром В7-30 в направлении  $[1\bar{3}0]$ . Пленка освещалась линейно поляризованным светом He – Cd-лазера ( $\lambda = 441,6$  нм). Поворот плоскости вектора электрической поляризации света осуществлялся кварцевой полуволновой пластинкой, при этом изменение интенсивности света не превышало 2%. Все измерения проводились при комнатной температуре.

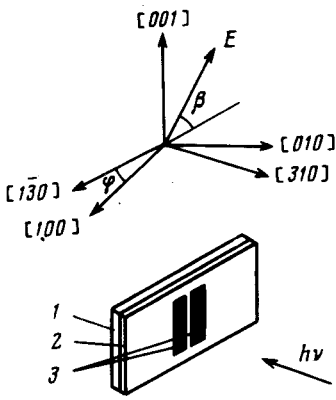


Рис.1

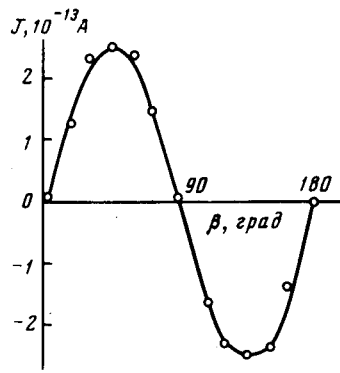


Рис.2

Рис.1 Геометрия эксперимента: 1 – сапфировая подложка, 2 – пленка германата висмута, 3 – алюминиевые электроды

Рис.2. Ориентационная зависимость фотогальванического тока в пленке  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$

Для используемой геометрии эксперимента с учетом группы симметрии  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  для плотности тока можно записать

$$j [1\bar{3}0] = j [100] \cos \phi - j [010] \sin \phi, \quad (1)$$

$$j [100] = \frac{1}{2} \alpha K_{14} I \sin \phi \sin 2\beta, \quad (2)$$

$$j [010] = -\frac{1}{2} \alpha K_{14} I \cos \phi \sin 2\beta. \quad (3)$$

Таким образом, измеряемый фотогальванический ток имеет вид

$$j [1\bar{3}0] = \frac{1}{2} K_{14} \alpha I \sin 2\beta \sin 2\phi, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – коэффициент поглощения света,  $\beta$  – угол между плоскостью поляризации света и направлением  $[1\bar{3}0]$ ,  $\text{tg } \phi = 1/3$ ,  $K_{14}$  – компонента фотогальванического тензора,  $I$  – интенсивность света.

На рис. 2 представлена экспериментальная зависимость фотогальванического тока  $j$  от угла  $\beta$ , согласующаяся с (4). Используя экспериментально полученные значения  $\alpha = 30 \text{ см}^{-1}$ ,  $I = 5 \text{ Вт/см}^2$ , толщину пленки  $d = 1,5 \text{ мкм}$ , получим  $K_{14} \approx 1 \cdot 10^{-9} \text{ А} \cdot \text{см} (\text{Вт})^{-1}$ , что близко значениям  $K_{14}$  для монокристаллов силленит-типа:

для $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$	$K_{14} \cong 0,5 \cdot 10^{-9} \text{ А} \cdot \text{см} (\text{Вт})^{-1}$ <sup>3</sup> ,
$\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$	$K_{14} \cong (3 \div 4) \cdot 10^{-9} \text{ А} \cdot \text{см} (\text{Вт})^{-1}$ <sup>4</sup> ,
$\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$	$K_{14} \cong 4 \cdot 10^{-9} \text{ А} \cdot \text{см} (\text{Вт})^{-1}$ <sup>4</sup> и
	$K_{14} \cong 2 \cdot 10^{-10} \text{ А} \cdot \text{см} (\text{Вт})^{-1}$ <sup>5</sup> .

Несколько меньшее значение  $K_{14}$  для пленки, чем для монокристалла  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ , может быть связано с несовершенством текстуры, т.е. с разориентацией отдельных кристаллитов. Другой возможной причиной является наличие поглощающей примеси, не участвующей в генерации фотогальванического тока. По-видимому, именно с этим связано расхождение результатов, полученных в <sup>4</sup> и <sup>5</sup> для кристаллов  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ , выращенных различными методами.

Следует отметить, что, в отличие от монокристаллов, где для наблюдения эффекта, валируемого контактными фотоэдами, ЭДС Дембера и фотопроводимостью, необходимо либо использовать модуляционную методику (при комнатной температуре), либо понижать температуру, в тонких пленках фотогальванический ток легко регистрируется, поскольку он превышает ток от контактных фотоэдов. Это объясняется тем, что фотогальванический ток не зависит от времени жизни <sup>1</sup>, а так как время жизни неравновесных носителей в текстурированных

пленках значительно меньше, чем в монокристаллах, то следовательно, относительный вклад тока от контактных фотоэдс в пленках меньше, чем в монокристаллах. Для оценки времени жизни нами использовалась импульсная методика (импульсный лазер ЛЛИ-21 с  $t_{\text{имп}} = 10^{-8}$  с и запоминающий осциллограф С8-12). Время жизни в пленках не превышало  $10^{-6}$  с, в то время как в монокристаллах оно достигало  $10^{-4} \div 10^{-5}$  с.

Полученные экспериментальные результаты позволяют заключить следующее. Поляризационная зависимость эффекта свидетельствует о его фотогальванической природе (в текстурованных пленках возможно существование аномального фотовольтаического эффекта за счет сложения отдельных фотоэдс *p-n*-переходов <sup>6</sup>). Наблюдение эффекта подтверждает данные рентгеновских исследований, показавших, что кристаллическая структура осажденных слоев относится к нецентросимметричному типу, для которого характерно наличие пьезоэффекта. Наконец, поляризационная зависимость фототока может быть использована для определения азимутального направления кристаллографических осей текстуры.

#### Литература

1. Фридкин В.М., Попов Б.Н. УФН, 1978, 126, 657.
2. Белиничер В.И., Стурман Б.И. УФН, 1980, 130, 415.
3. Петров М.П., Грачев А.И., Письма в ЖЭТФ, 1979, 30, 18.
4. Петров М.П., Грачев А.И. ФТТ, 1980, 22, 1671.
5. Барсукова М.Л., Каримов Б.Х., Кузнецов В.А., Магомедов Р.М., Фридкин В.М., ФТТ, 1980, 22, 2870.
6. Панков Ж. Оптические процессы в полупроводниках, М.: Мир, 1973.