

Н. Д. ХАТЬКОВ, С. М. ШАНДАРОВ
(Томск)

КОМПОНЕНТЫ ФОТОГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ТЕНЗОРА
КРИСТАЛЛА $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}$

В [1] показано, что фотогальванический эффект обуславливает новый механизм нелинейного взаимодействия световых волн в электрооптических кристаллах. В [2—5] исследованы новые фотоиндуцированные процессы в фоторефрактивных кристаллах ниобата лития — фотоиндуцированное рассеяние света, параметрическое рассеяние голографического типа и др. Физические механизмы этих процессов также во многом определяются фотогальваническим эффектом, описываемым фотогальваническим тензором третьего ранга β_{mn} [6].

Для спектральной области $\lambda = 0,4\text{--}0,5$ мкм компоненты тензора β_{31} , β_{33} , β_{22} кристаллов $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}$, $\text{LiNbO}_3 : \text{Cu}$ измерены в [7]. Для кристалла $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}$ в [8] определены компоненты β_{22} , β_{31} , β_{33} и $|\beta_{15}|$ на длине волны света $\lambda = 0,5$ мкм. Однако для широко используемого лазерного излучения с длиной волны $\lambda = 0,63$ мкм данные по компонентам фотогальванического тензора β_{mn} в литературе отсутствуют.

Цель данной работы — определение компонент фотогальванического тензора β_{33} , β_{31} , β_{22} , $|\beta_{15}|$ для кристалла $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}$ (0,03%) голографическим методом на длине волны $\lambda = 0,63$ мкм.

Экспериментально величины компонент тензора β_{mn} можно определить по начальному участку кинетики роста дифракционной эффективности $\eta(t)$ голографической решетки (ГР). Эффективность дифракции света $\eta(t)$ на ГР с произвольной ориентацией ее вектора \mathbf{K}_p в кристалле для $\eta(t) \ll 1$ и времени записи, малого по сравнению с временем максвелловской релаксации ($t \ll \tau_m$), определяется выражением [9]

$$\eta(t) = \left[\frac{2\pi n^3 l \sqrt{I_1 I_2} r'(\theta, \varphi) \beta'(\theta, \varphi)}{\lambda \cos \gamma \varepsilon'(\theta, \varphi)} t \right]^2. \quad (4)$$

Здесь n — показатель преломления для считывающей волны с соответствующей поляризацией; I_1, I_2 — интенсивности записывающих световых лучей; $r'(\theta, \varphi)$, $\varepsilon'(\theta, \varphi)$ — эффективные электрооптические и диэлектрические постоянные, определяемые с учетом пьезоэффекта [10]; θ, φ — углы в сферических координатах, определяющие ориентацию вектора \mathbf{K}_p ; $\beta'(\theta, \varphi)$ — эффективная фотогальваническая постоянная; γ — угол схождения лучей в кристалле.

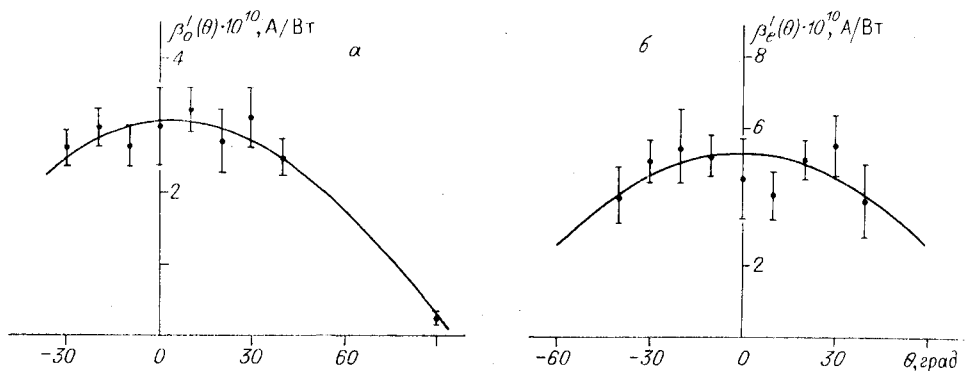
Для измерения компонент β_{33} , β_{31} , β_{22} достаточно ограничиться записью ГР с вектором \mathbf{K}_p , ориентированным в плоскости yz ниобата лития [11]. При малых углах между записывающими пучками ($|\mathbf{K}_p| \ll 4\pi/\lambda$) световые волны можно считать поляризованными вдоль y или z . В этом случае эффективные фотогальванические постоянные определяются выражениями

$$\beta'_e(\theta) = \beta_{33} \cos \theta, \quad (2)$$

$$\beta'_o(\theta) = \beta_{31} \cos \theta + \beta_{22} \sin \theta \quad (3)$$

для обыкновенно и необыкновенно поляризованных записывающих световых волн соответственно.

Компонента $|\beta_{15}|$ может быть найдена из кинетики записи ГР с вектором \mathbf{K}_p , параллельным оси x , волнами с ортогональными поляризациями [9]. Если необык-



Результаты экспериментальных измерений зависимостей $\beta'_o(\theta)$ (а) и $\beta'_e(\theta)$ (б) в плоскости yz фоторефрактивного кристалла $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}$

Компоненты фотогальванического тензора $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}$

$\beta_{mn} \cdot 10^{10}, \text{A/Вт}$	$k_{mn} \cdot 10^{11}, \text{A} \cdot \text{м/Вт}$	$k_{mn} \cdot 10^{11}, \text{A} \cdot \text{м/Вт} [8]$
$\beta_{33} = 5,23$	$k_{33} = 1,79$	$k_{33} = 1,5$
$\beta_{31} = 3,1$	$k_{31} = 1,06$	$k_{31} = 1,4$
$\beta_{22} = 0,298$	$k_{22} = 0,102$	$k_{22} = 0,05$
$ \beta_{15} = 0,055$	$ k_{15} = 0,019$	$ k_{15} = 0,01$

новенно поляризованная волна распространяется точно вдоль оси y , а обыкновенно поляризованная под углом $\gamma = \arccos(n_e/n_o) = 15,7^\circ$ к ней в плоскости xu кристалла, то эффективная фотогальваническая константа

$$\beta_x = \frac{n_e}{n_o} |\beta_{15}|. \quad (4)$$

Экспериментальные исследования кинетики записи ГР с вектором \mathbf{K}_p , параллельным плоскости yz , проводились в кристалле $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}$ (0,03%) толщиной $l = 10$ мм по симметричной двухлучевой схеме при угле схождения лучей $\gamma \approx 3^\circ$. Точность ориентации вектора \mathbf{K}_p относительно плоскости yz и по углу θ составляла $\pm 1^\circ$. Погрешность установки вектора поляризации считывающей световой волны не превышала $\pm 1^\circ$. Максимальная дифракционная эффективность голограмм была менее 5%. Для каждого выбранного направления \mathbf{K}_p записывалось от 6 до 8 голограмм. Интенсивность света измерялась калиброванным фотодиодом. Точность измерения абсолютных значений интенсивности света, по нашим оценкам, составляла 10%.

Эффективная постоянная $\beta'(\theta)$ определялась из соответствия экспериментальной зависимости $\eta(t)$ выражению (1) по методу наименьших квадратов. Результаты экспериментальных исследований для плоскости yz представлены на рисунке. По экспериментальным значениям $\beta'_0(\theta)$ и $\beta'_e(\theta)$, также с использованием метода наименьших квадратов и зависимости (2) и (3), определялись компоненты β_{33} , β_{31} , β_{22} , приведенные в таблице.

Условия измерения компоненты $|\beta_{15}|$ соответствовали описанным выше, ее значение также представлено в таблице. Доверительный интервал для величины $|\beta_{15}|$ равен $(0,027 \cdot 10^{-10}, 0,11 \cdot 10^{-10} \text{ A/Вт})$.

Для исключения возможных ошибок в определении $|\beta_{15}|$, связанных с записью голограмм волнами с одинаковыми поляризациями, принимались следующие меры. Перед началом эксперимента с помощью скрещенных поляризаторов, расположенных перед кристаллом и после него, устанавливалась соответствующая поляризация каждого из записывающих лучей. Кроме того, после записи ГР осуществлялся контроль плоскости поляризации дифрагированной волны. Дифракции света без поворота плоскости поляризации на ГР с вектором \mathbf{K}_p , параллельным оси x , не наблюдалось.

В процессе записи таких ГР имело место обычное фотоиндуцированное рассеяние света (ФИРС) [2, 11], а поляризационно-анизотропное рассеяние не наблюдалось. ФИРС приводило к перекачке мощности из записывающих пучков света в фотоиндуцированный шум. Поэтому определение эффективной фотогальванической постоянной β_x осуществлялось по начальному участку зависимости $\eta(t)$, для которого интенсивности прошедших через кристалл записывающих волн уменьшались не более чем на 5%.

По измеренным компонентам тензора β_{mn} и экспериментально определенному коэффициенту поглощения $\alpha = 29,2 \text{ м}^{-1}$ исследованного кристалла $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}$ на длине волны $\lambda = 0,63 \text{ мкм}$ найдены постоянные Гласса k_{mn} , приведенные в таблице. Здесь же представлены данные по константам k_{33} , k_{31} , k_{22} и $|k_{15}|$ из [8], измеренные на длине волны $\lambda = 0,5 \text{ мкм}$.

Сравнение показывает, что абсолютные значения констант Гласса на длине волны $\lambda = 0,63 \text{ мкм}$ близки к соответствующим константам, измеренным в [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Стурман Б. И. Фотогальванический эффект — новый механизм нелинейного взаимодействия волн в электрооптических кристаллах // Квантовая электроника. — 1980. — Т. 7, № 3.

2. Авакян Э. М., Белабаев К. Г., Одулов С. Г. Поляризационно-анизотропное фотоиндуцированное рассеяние в кристаллах $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ // ФТТ.—1983.— Т. 25, вып. 11.
3. Киселева И. Н., Обуховский В. В., Одулов С. Г. Параметрическое рассеяние голографического типа в кристаллах класса $3m$ // ФТТ.—1986.— Т. 28, вып. 10.
4. Лемешко В. В., Обуховский В. В. Автоволны фотоиндуцированного рассеяния света // Письма в ЖТФ.—1985.— Т. 11, вып. 22.
5. Лемешко В. В., Обуховский В. В. Четырехволновое кроссрассеяние света в кристаллах $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ // Письма в ЖТФ.—1986.— Т. 12, вып. 16.
6. Белиничер В. И., Стурман Б. И. Фотогальванический эффект в средах без центра симметрии // УФН.—1980.— Т. 130, вып. 3.
7. Festel H. G., Hertel P., Krätzig E., von Baltz R. Investigations of the photovoltaic tensor in doped LiNbO_3 // Phys. Stat. Sol. (b).—1982.— V. 113, N 1.— P. 157—164.
8. Фридкин В. М., Магомадов Р. М. Аномальный фотовольтаический эффект в $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ в поляризованном свете // Письма в ЖЭТФ.—1979.— Т. 30, вып. 11.
9. Одулов С. Г. Обнаружение пространственно-осциллирующего фотогальванического тока в кристаллах ниобата лития, легированных железом // Письма в ЖЭТФ.—1982.— Т. 35, вып. 1.
10. Изванов А. А., Мандель А. Е., Хатьков Н. Д., Шандаров С. М. Влияние пьезоэффекта на процессы записи и восстановления голограмм в фоторефрактивных кристаллах // Автометрия.—1986.— № 2.
11. Хатьков Н. Д., Шандаров С. М. Анизотропия записи шумовых голограмм в фоторефрактивном кристалле $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ // Автометрия.—1983.— № 2.

Поступило в редакцию 15 декабря 1986 г.