



Оптика и акустооптика кристаллов

УДК 535.4:548

М.А. Аманова¹, В.Н. Навныко², А.В. Макаревич², В.В. Шепелевич²

¹Институт телекоммуникаций и информатики Туркменистана

²Мозырский государственный педагогический университет имени И.П. Шамякина

ВЛИЯНИЕ ПЬЕЗОЭФФЕКТА И ОПТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ДИФРАКЦИОННУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГОЛОГРАММ В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ КРИСТАЛЛЕ $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$

С учетом линейного электрооптического, обратного пьезоэлектрического и фотоупругого эффектов произведено исследование зависимости дифракционной эффективности голограмм, сформированных в образце фоторефрактивного кристалла $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$, от ориентационного угла, величины удельного вращения и толщины кристалла.

Ключевые слова: фоторефрактивный кристалл, обратный пьезоэлектрический эффект, фотоупругость, оптическая активность, дифракционная эффективность, $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$.

Кубические фоторефрактивные кристаллы класса симметрии 23 являются перспективными средами для записи и считывания объемных голограмм, так как отличаются от сегнетоэлектрических фоторефрактивных кристаллов меньшим временем фоторефрактивного отклика, а от полупроводниковых фоторефрактивных кристаллов – большими значениями электрооптических коэффициентов [1].

Кроме того, кристаллы-силлениты обладают естественной оптической активностью и становятся оптически анизотропными под действием электрического поля [2]. Важной особенностью кубических фоторефрактивных кристаллов является возможность в них обратного пьезоэлектрического эффекта, который обуславливает комплекс энергетических и поляризационных эффектов, обнаруживаемых при записи и считывании объемных фазовых голограмм. Содержательный аналитический обзор современного состояния исследований и научных публикаций по голографии фоторефрактивных пьезокристаллов представлен в [3].

Этим кристаллам характерно удачное сочетание разнообразных физических свойств. В них возможны линейный электрооптический, обратный пьезоэлектрический, объемный фотогальванический эффекты, эффект Фарадея; они обладают ярко

выраженной фотопроводимостью, высокой светочувствительностью и разрешающей способностью, высоким быстродействием и реверсивностью с большим числом циклов записи-считывания голограмм, а также другими полезными оптическими свойствами и технологичностью [1–3].

Фоторефрактивные кристаллы находят практическое применение в системах записи и обработки оптической информации [1].

Рассмотрено влияние электрооптического эффекта, обратного пьезоэлектрического эффекта, фотоупругости и оптической активности на дифракционную эффективность голограммы, записанной в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ толщиной 8 мм.

Дифракционная эффективность голограммы рассчитывалась с использованием выражения (1), которое имеет вид

$$\eta(d) = \frac{S_{\perp}^2(d) + S_{\parallel}^2(d)}{R_{\perp}^2(0) + R_{\parallel}^2(0)} \times 100\% , \quad (1)$$

где $R_{\perp}(0)$ и $R_{\parallel}(0)$ – проекции векторной амплитуды восстанавливающей голограмму волны R на направления перпендикулярное к плоскости падения и лежащее в плоскости падения на входе в кристалл, $S_{\perp}(d)$ и $S_{\parallel}(d)$ – соответствующие проекции векторной амплитуды восстановленной волны S на выходе из кристалла.

При численных расчетах использованы заимствованные в [1] параметры кристалла $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$, которые сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Физические параметры кристалла $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$

Физическая величина	Обозначение	Значение	Единица измерения
Показатель преломления	n	2,54	–
Электрооптический коэффициент	r	-5×10^{-12}	м/В
Коэффициенты Упругости	c_1	$12,96 \times 10^{10}$	Н/м ²
	c_2	$2,99 \times 10^{10}$	Н/м ²
	c_3	$2,45 \times 10^{10}$	Н/м ²
Пьезоэлектрический коэффициент	e_0	1,12	Кл/м ²
Фотоупругие постоянные	p_1	–0,16	–
	p_2	–0,13	
	p_3	–0,12	
	p_4	–0,015	
Амплитуда напряженности электрического поля пространственного заряда	E_{sc}	5×10^4	В/м

На рисунке 1 представлены графики зависимости дифракционной эффективности η голограмм, записанных в кристаллических пластинках $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ толщиной $d = 8$ мм от ориентационного угла θ и значения удельного вращения ρ кристалла. На рисунке 1 также показаны результаты влияния на дифракционную эффективность голограммы вкладов обратного пьезоэффекта и оптической активности кристалла.

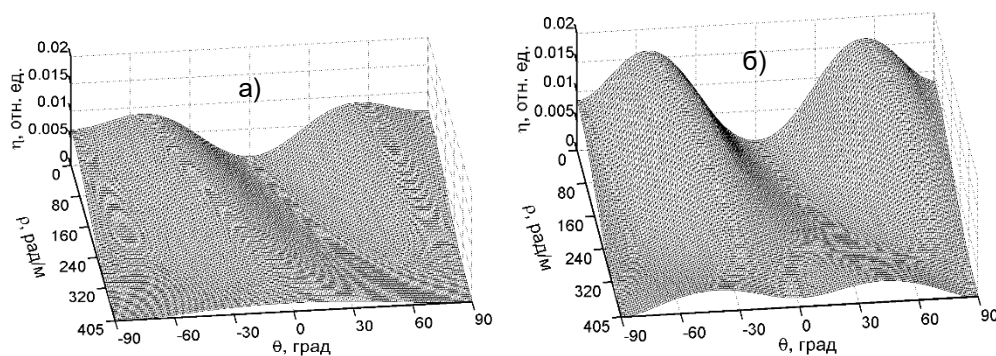


Рисунок 1 – Зависимости дифракционной эффективности η голограмм, сформированных в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ толщины 8 мм, от ориентационного угла θ и значения оптической активности ρ кристалла: а) – без учета пьезоэффекта; б) – с учетом пьезоэффекта

Иллюстрированные на фрагментах а и б зависимости рассчитаны соответственно без учета и с учетом пьезоэффекта. Сравнения их, можно сделать заключение о значимости и соотношении вкладов пьезоэффекта и оптической активности кристалла в дифракционную эффективность голограммы.

Как видно из рисунка 1, вклад обратного пьезоэффекта и оптической активности существенно влияют на величину η . Из рисунка следует, что учет обратного пьезоэлектрического эффекта и оптической активности приводит к появлению двух горбов на срезе поверхности $\rho = 405$ рад/м.

Видно, что обратный пьезоэлектрический эффект и оптическая активность существенно изменяют характер исследуемой зависимости. Игнорирование пьезоэлектрического эффекта может уменьшить рассчитанную дифракционную эффективность голограммы приблизительно в два раза.

Таким образом, в рамках данной работы на примере кристалла $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ продемонстрирована возможность экспериментального исследования зависимости дифракционной эффективности голограмм от ориентационного угла и толщины фоторефрактивного кристалла. Показано, что только учет обратного пьезоэлектрического и фотоупругого эффектов в теоретических расчетах приводит к удовлетворительному согласованию теории и эксперимента. Поэтому исследование одновременного влияния обратного пьезоэлектрического эффекта, фотоупругости и удельного вращения кристалла может оказаться полезным, и полученные результаты найдут применение в целях предварительного выбора параметров при практическом решении задачи оптимизации выходных энергетических характеристик голограмм.

Список использованных источников

1. Петров, М. П. Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике / М. П. Петров, С. И. Степанов, А. В. Хоменко. – СПб. : Наука, 1992. – 320 с.
2. Оптические свойства кристаллов / А. Ф. Константинова [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1995. – 302 с.
3. Шепелевич, В. В. Запись и считывание голограмм в кубических гиротропных фоторефрактивных пьезокристаллах (Обзор) / В. В. Шепелевич // ЖПС. – 2011. – Т. 78, № 4. – С. 493–515.