

07:08:12

Влияние пространственной модуляции интерференционной картины в оптически активных пьезокристаллах на выходные характеристики голограмм

© А.А. Фирсов, В.В. Шепелевич

Мозырский государственный педагогический институт

Поступило в Редакцию 18 марта 1997 г.

Исследуется влияние оптической активности, пьезоэлектрического эффекта и перераспределения энергии между световыми пучками на видность интерференционной картины при двухволновом взаимодействии в кубических оптически активных пьезокристаллах. Показано, что модуляция видности голографической решетки существенно изменяет ее выходные характеристики.

Кубические фоторефрактивные кристаллы типа $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (BSO) отличаются высокой светочувствительностью, хорошим оптическим качеством и реверсивностью процесса записи информации [1]. Одним из важнейших применений таких кристаллов является усиление сигнального светового пучка за счет пучка накачки при взаимной трансформации этих пучков на формирующейся динамической голографической решетке.

Цель данной работы — исследовать влияние оптической активности, пьезоэлектрического эффекта и перераспределения энергии между пучками при прохождении световых волн по кристаллу на коэффициент модуляции записываемой голографической решетки и на выходные характеристики сформированных голограмм.

Мы используем ниже модель линейной генерации и рекомбинации носителей заряда в стационарном состоянии [1]. Предполагаем, что запись происходит в диффузионном режиме и пренебрегаем тепловым возбуждением. Тогда коэффициент модуляции будет равен видности интерференционной картины [1]. Изменение коэффициента модуляции решетки учитывается при численном решении системы уравнений связанных волн [2].

Пусть падающие на кристалл световые пучки R и S линейно поляризованы в направлении, перпендикулярном плоскости падения, а пропускающая голографическая решетка является ненаклонной. Вектор голографической решетки предполагается лежащим в плоскости кристаллического среза (110) и образующим угол θ с кристаллическим направлением [001]. Постоянные для кристалла BSO, используемые в данной работе, можно найти в [2].

На рис. 1 представлены графики зависимости видности интерференционной картины V от толщины кристалла d при $\theta = 55^\circ$ и угле Брэгга $\varphi = 4^\circ$. Кривые 1 и 2 на рисунках 1, a и b не учитывают влияния перераспределения энергии в световых пучках. График 1 получен на основе предположения заданной решетки, а график 2 учитывает влияние оптической активности при формировании решетки, что сказывается на появлении периодической модуляции видности решетки с пространственным периодом, равным повороту плоскости поляризации на 180° . Кривые 3–6 построены с учетом влияния перераспределения энергии в световых пучках.

Так как на рис. 1, a начальные интенсивности световых волн равны, то при учете энергообмена величина видности в среднем уменьшается с увеличением толщины кристалла. Причем без учета оптической активности влияние пьезоэлектрического эффекта в данном случае приводит к уменьшению энергообмена (кривая 5 по сравнению с кривой 6). Учет пьезоэлектрического эффекта совместно с оптической активностью, дающей возможность получить результат, усредненный по различным поляризациям за счет вращения плоскости поляризации кристаллом, приводит при поляризации падающих на кристалл световых волн $\psi = 90^\circ$ и угле $\theta = 55^\circ$ к очень большой величине энергообмена, а значит к очень малым значениям видности решетки V (кривая 4).

Еще более сильно описанные эффекты проявляются при различных начальных интенсивностях взаимодействующих волн (рис. 1, b). Поскольку в этом случае в среднем (при усреднении по поляризации) перекачка энергии направлена от R волны к S волне, то учет оптической активности приводит к физической реализации механизма такого усреднения (за счет вращения плоскости поляризации). Поэтому кривые 4 и 3 на рис. 1, b характеризуются ростом значений видности. При толщине $d \approx 35$ мм интенсивности R и S волн выравниваются ($V = 1$), а затем видность начинает снова уменьшаться $I_S > I_R$. Без учета оптической активности перекачка энергии направлена из волны

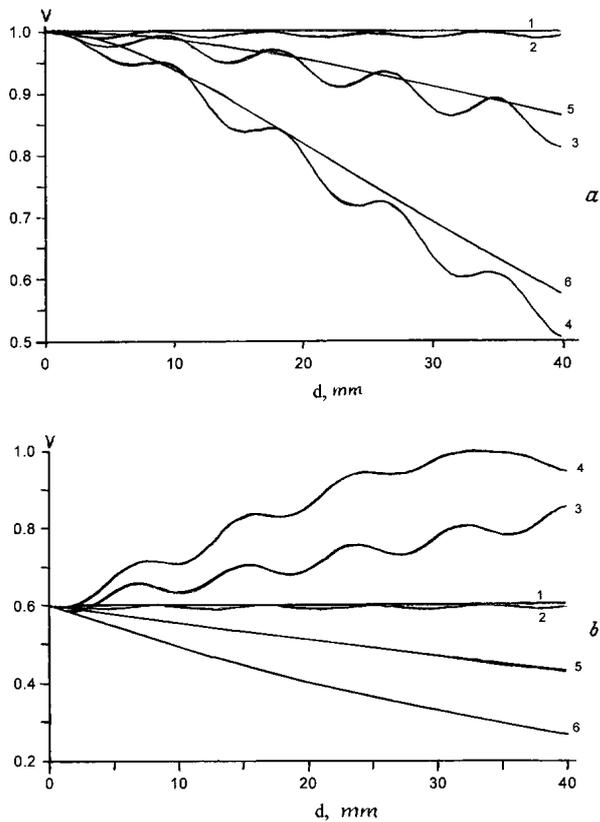


Рис. 1. Зависимости видности интерференционной картины от толщины кристалла при различном отношении начальных интенсивностей (I_{R_0}/I_{S_0}) падающих световых пучков. *a)* $I_{R_0}/I_{S_0} = 1$; *b)* $I_{R_0}/I_{S_0} = 9$, 1, 5, 6 — без учета оптической активности ($\alpha = 0.372$ рад/мм); 2, 3, 4 — с учетом оптической активности; 1, 2, 3, 6 — без учета пьезоэлектрического эффекта; 4, 5 — с учетом пьезоэлектрического эффекта.

S в волну R . Поэтому наблюдается уменьшение значения видности с увеличением толщины кристалла. Причем в данном случае, также как и на рис. 1, *a*, влияние пьезоэлектрического эффекта без учета оптической активности приводит к уменьшению энергообмена.

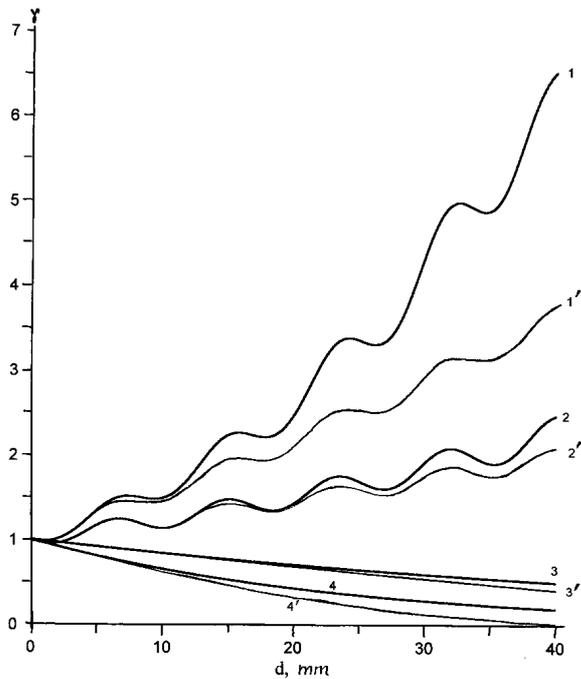


Рис. 2. Зависимость относительной интенсивности γ сигнального светового пучка от толщины кристалла d . $I_{R_0}/I_{S_0} = 9$. 1, 1' — с учетом оптической активности и пьезоэлектрического эффекта; 2, 2' — с учетом оптической активности, но без учета пьезоэлектрического эффекта; 3, 3' — без учета оптической активности, но с учетом пьезоэлектрического эффекта; 4, 4' — без учета оптической активности и пьезоэлектрического эффекта.

На рис. 2 представлены зависимости относительной интенсивности $\gamma = I_S/I_S^0$ сигнального светового пучка S от толщины кристалла при $\theta = 55^\circ$ и угле Брэгга $\varphi = 4^\circ$. Здесь I_S^0 — интенсивность светового пучка S , выходящего из кристалла, когда решетка еще не записывается, I_S — интенсивность светового пучка S , выходящего из кристалла после перехода процесса записи в стационарный режим. При построении графиков учитывалось отражение световых пучков на границах кристалла. Графики, выделенные жирной линией, представляют собой относитель-

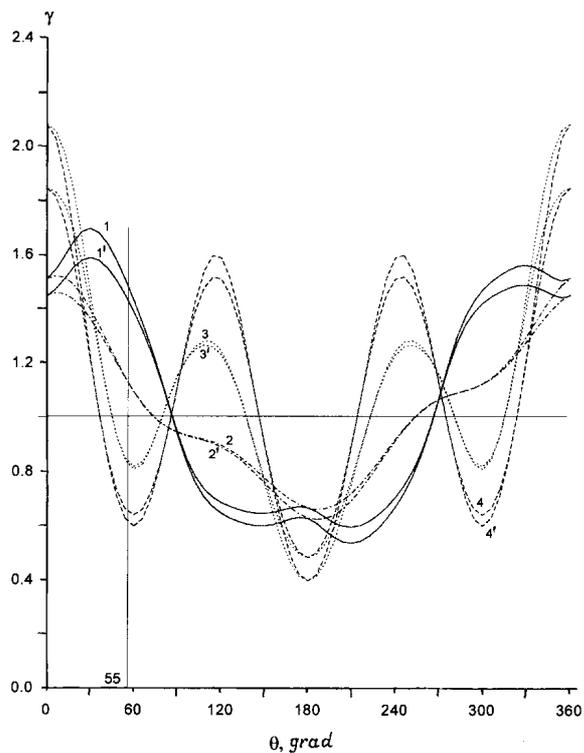


Рис. 3. Зависимость относительной интенсивности γ сигнального светового пучка от угла θ , 1, 1' — с учетом оптической активности и пьезоэлектрического эффекта; 2, 2' — с учетом оптической активности, но без учета пьезоэлектрического эффекта; 3, 3' — без учета оптической активности, но с учетом пьезоэлектрического эффекта; 4, 4' — без учета оптической активности и пьезоэлектрического эффекта.

ные интенсивности, учитывающие влияние перераспределения энергии между световыми пучками на видность интерференционной картины. Тонкая линия — относительные интенсивности, полученные при использовании приближения заданной решетки. Из этого рисунка видно, что в отсутствие оптической активности (графики 3, 3' и 4, 4') имеет место небольшое уменьшение относительной интенсивности S волны (откачка

энергии в R волну). "Включение" оптической активности изменяет направление перекачки энергии и интенсивность S волны возрастает в несколько раз. Здесь, как и для рис. 1, b , основную роль играет эффект усреднения различных поляризационных состояний взаимодействующих волн. Резкое усиление перекачки энергии происходит за счет наличия энергетически выгодных поляризационных состояний R и S волн с направлением энергетического переноса от волны R к волне S . В процессе усреднения по толщине кристалла эти состояния и вносят основной вклад в результирующие кривые $\gamma(d)$. Следует заметить, что пьезоэлектрический эффект играет в этом случае существенную роль, увеличивая значения $\gamma(d)$ более чем в 2 раза.

Здесь мы имеем дело с интересным эффектом, когда оптическая активность из традиционно мешающего фактора превращается в фактор, способствующий резкому увеличению важных энергетических характеристик голографического устройства.

Учитывая, что мы рассмотрели только одну ориентацию голографической решетки ($\theta = 55^\circ$), представляет интерес проанализировать зависимость $\gamma(\theta)$ при фиксированной толщине кристалла (рис. 3). Здесь показаны зависимости относительных интенсивностей γ сигнального светового пучка от угла θ при угле Брэгга $\varphi = 4^\circ$, толщине кристалла $d = 10$ мм и $I_{R_0}/I_{S_0} = 9$. Графики, обозначенные цифрой со штрихом, построены с учетом приближения заданной решетки; без штриха — с учетом влияния перераспределения энергии световых волн на видность интерференционной картины. Значения перекачки энергии, соответствующие $\theta = 55^\circ$, выделены вертикальной прямой линией. Из этого рисунка видно, что оптическая активность кристалла значительно увеличивает усиление сигнальной световой волны не только при $\theta = 55^\circ$, но и при многих других углах θ .

Таким образом, учет оптической активности кристалла может значительно увеличить в определенном диапазоне ориентации вектора решетки при некоторых фиксированных поляризациях взаимодействующих волн усиление световой сигнальной волны за счет энергии опорной волны, а учет перераспределения энергии световых волн в процессе записи при большой толщине кристалла может изменить усиление световых волн почти вдвое.

Выражаем благодарность Министерству образования Республики Беларусь за финансовую поддержку работы.

Список литературы

- [1] *Hall T.J., R. Jaura R., Connors L.M. and Foote P.D.* // Prog. Quant. Electr. 1985. V. 10. P. 77–146.
- [2] *Shepelevich V.V., Egorov N.N., Victor Shepelevich.* // J. Opt. Soc. Am. 1994. V. 11. P. 1394–1402.