

07

Оптимизация выходных характеристик голограмм в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ выбором ориентации кристалла и поляризации считывающего света

© В.В. Шепелевич, П.П. Хомутовский

Мозырский государственный педагогический институт

Поступило в Редакцию 4 февраля 1998 г.

Исследуется зависимость ориентационного угла θ^m , при котором достигается максимальная дифракционная эффективность голограммы, записанной в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$, от толщины кристалла d . Показано, что оптическая активность и пьезоэлектрический эффект качественно изменяют форму зависимостей $\theta^m(d)$.

Вопросы, связанные с оптимизацией выходных характеристик голограмм, записанных в кубических фоторефрактивных кристаллах, рассматривались в ряде работ (например, [1–8]). В [1] было установлено значение азимута поляризации линейно поляризованного считывающего света, при котором достигалась наибольшая дифракционная эффективность голограммы в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (BSO) толщиной $d \approx 2 \text{ mm}$ для двух ориентаций вектора голографической решетки $\mathbf{K} \parallel [001]$ и $\mathbf{K} \perp [001]$. Аналитические выражения для значений азимута считывающего света, при которых коэффициент усиления голограммы достигает наибольших значений для тех же ориентаций вектора голографической решетки, были найдены в [2,3]. В работе [4] аналитически исследованы возможности оптимизации дифракционной эффективности голограммы за счет правильного выбора ориентационного угла.

Первое экспериментальное и теоретическое изучение фотоупругого вклада в фоторефрактивный эффект в кубических кристаллах было проведено в [5]. Экспериментальное исследование зависимости коэффициента усиления при двухволновом взаимодействии от ориентации вектора голографической решетки в кубическом кристалле $\text{GdTe}:\text{Ge}$ с целью оптимизации энергообмена световых волн было выполнено в [6].

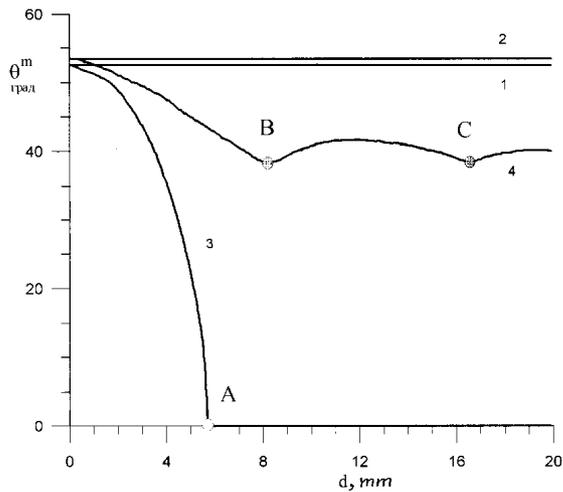


Рис. 1. Зависимость ориентационного угла θ^m от толщины кристалла d : 1 — без учета пьезоэлектрического эффекта и оптической активности, 2 — с учетом пьезоэлектрического эффекта, 3 — с учетом оптической активности, 4 — с учетом пьезоэлектрического эффекта и оптической активности.

Изучение возможностей оптимизации дифракционной эффективности голограмм, записанных в кубических оптически активных пьезокристаллах, было проведено в [7,8]. Здесь получены экспериментальные и теоретические зависимости максимальной дифракционной эффективности от ориентационного угла.

Целью настоящей работы является исследование зависимости максимальной дифракционной эффективности η^m голограммы от толщины кристалла BSO, определение влияния на форму этой зависимости оптической активности и пьезоэлектрических свойств кристаллического образца, а также нахождение ориентаций кристалла, соответствующих максимальной дифракционной эффективности.

Пусть ненаклонная пропускающая голографическая решетка записана в кристалле среза $(\bar{1}\bar{1}0)$ по стандартной схеме двухволнового взаимодействия (например, [9]) и считается опорной волной R . В этом случае на основании подхода [7,8] можно определить ориентационный угол $\theta = \theta^m$, образованный вектором голографической решетки \mathbf{K} с кри-

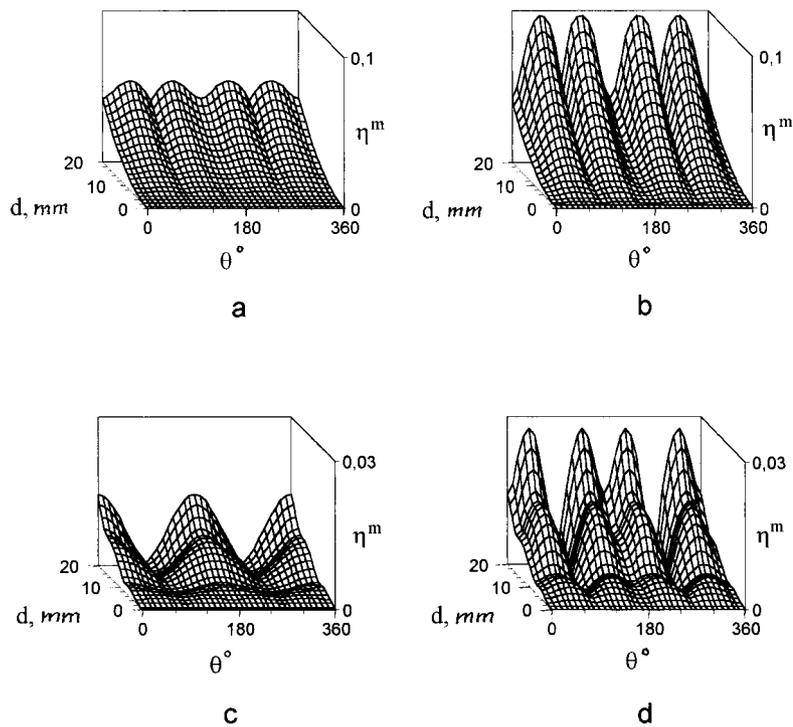


Рис. 2. Зависимость η^m от ориентационного угла θ и толщины кристалла d : *a* — без учета пьезоэлектрического эффекта и оптической активности, *b* — с учетом пьезоэлектрического эффекта, *c* — с учетом оптической активности, *d* — с учетом пьезоэлектрического эффекта и оптической активности.

сталлографическим направлением [001], при котором для определенного фиксированного азимута $\psi_0 = \psi_0^m$ линейно поляризованной опорной волны достигается максимальная дифракционная эффективность $\eta = \eta^m$.

На рис. 1 представлены графики зависимостей $\theta^m(d)$ для четырех случаев. Прямая линия 1 ($\theta \approx 53^\circ$) получена для фоторефрактивного кристалла, не проявляющего пьезоэлектрический эффект и оптическую активность. Прямая 2 ($\theta \approx 54^\circ$) соответствует учету пьезоэлектрического эффекта (совместно с фотоупругостью), но оптическая активность

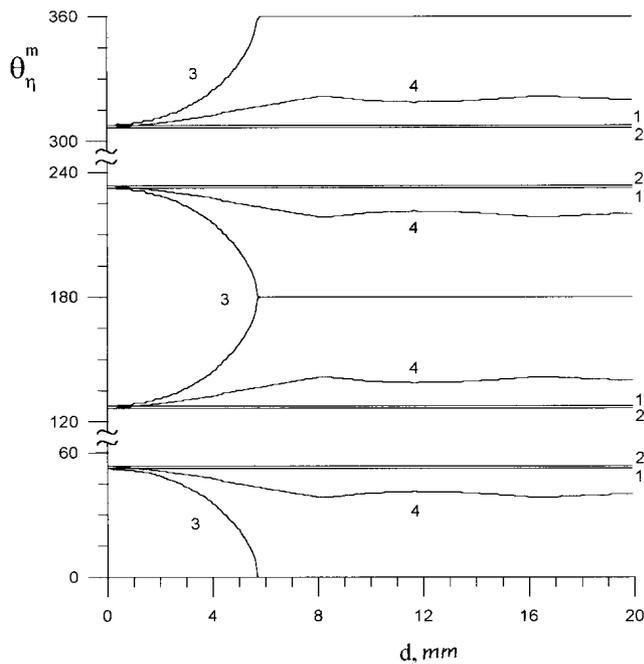


Рис. 3. Зависимость ориентационного угла θ^m от толщины кристалла d : 1 — без учета пьезоэлектрического эффекта и оптической активности, 2 — с учетом пьезоэлектрического эффекта, 3 — с учетом оптической активности, 4 — с учетом пьезоэлектрического эффекта и оптической активности.

при ее построении не принималась во внимание. Кривая 3 построена с учетом оптической активности кристалла, однако без учета пьезоэлектрического эффекта. Случай реального кристалла BSO, в котором все перечисленные выше эффекты проявляются одновременно, описывается кривой 4.

Все расчеты проводились при следующих значениях параметров кристалла BSO [9]: фотоупругие постоянные $p_1 = -0.16$, $p_2 = -0.13$, $p_3 = -0.12$, $p_4 = -0.015$, электрооптический коэффициент $r_{41} = -5.0 \cdot 10^{-12}$ mV, коэффициенты упругости $c_1 = 12.96 \cdot 10^{-10}$ Н/м², $c_2 = 2.99 \cdot 10^{-10}$ Н/м², $c_3 = 2.45 \cdot 10^{-10}$ Н/м², показатель преломления

кристалла $n = 2.54$, пьезоэлектрический коэффициент $e_{14} = 1.12 \text{ C/m}^2$, удельное вращение $\alpha = 0.372 \text{ rad/mm}$. Предполагается также, что длина световой волны $\lambda = 0.6328 \text{ }\mu\text{m}$, угол Брэгга внутри кристалла $\varphi = 11^\circ$, амплитуда электрического поля решетки $E = 0.5 \text{ kV/cm}$.

Мы видим, что учет пьезоэлектрического эффекта "сдвигает" значение величины θ^m в сторону больших углов. Учет оптической активности приводит к резкому уменьшению угла θ^m при увеличении толщины кристалла, а при некотором критическом значении толщины ($d \approx 5.7 \text{ mm}$) θ^m становится равным нулю (точка A) и это значение не изменяется при дальнейшем увеличении d . Одновременный учет оптической активности и пьезоэлектрического эффекта приводит к уменьшению θ^m при увеличении толщины d , однако при достижении точки B ($d \approx 8 \text{ mm}$), соответствующей повороту плоскости поляризации на 180° , θ^m снова начинает возрастать, затем убывает до точки C ($d \approx 16 \text{ mm}$), которая соответствует повороту плоскости поляризации на 360° , и т. д.

Поскольку трехмерные графики зависимости максимальной дифракционной эффективности от угла θ и толщины кристалла d содержат 4 "горба" одинаковой высоты, два из которых при $d \approx 5.7 \text{ mm}$ сливаются в один (рис. 2), представляет интерес привести графики зависимости $\theta^m(d)$ (рис. 3) для всех четырех "горбов".

Отметим, что аналогичные зависимости можно построить для значений θ^m , которые соответствуют максимальным значениям относительно интенсивности одной из волн при двухволновом взаимодействии. В этом случае будут наблюдаться нижняя и верхняя серии кривых, изображенных на рис. 3. Две внутренние серии кривых, расположенные вблизи угла $\theta = 180^\circ$, будут соответствовать минимальному энергообмену из R в S волну.

Нетрудно показать, что при малых углах Брэгга без учета пьезоэлектрического эффекта полученные результаты переходят в результаты работы [10], причем прямая 1 соответствует направлению $[1\bar{1}1]$ ($\theta \approx 55^\circ$).

Таким образом, установлено существенное качественное изменение формы зависимости $\theta^m(d)$ под влиянием пьезоэлектрического эффекта и оптической активности.

Авторы признательны Н.Н. Егорову за полезное обсуждение полученных результатов.

Благодарим Министерство образования Республики Беларусь за поддержку этой работы.

Список литературы

- [1] *Petrov M.P., Pencheva T.G., Stepanov S.I.* // J. Optics (Paris). 1981. V. 12. N 5. P. 287–292.
- [2] *Mallick S., Rouede D.* // Appl. Phys. 1987. B 43. P. 239–245.
- [3] *Mallick S., Rouede D., Apostolidis A.G.* // J. Opt. Soc. Am. 1987. B 4. P. 1247–1259.
- [4] *Шепелевич В.В., Храмович Е.М.* // Опт. и спектр. 1988. Т. 65. № 2. С. 403–408.
- [5] *Степанов С.И., Шандаров С.М., Хатьков Н.Д.* // ФТТ. 1987. Т. 29. № 10. С. 3054–3058.
- [6] *Odoulov S.G., Slusarenko S.S., Scherbin K.V.* // Pis'ma Zh. Teekh. Fiz. 1991. V. 15. P. 81–84.
- [7] *Мандель А.Е., Шандаров С.М., Шепелевич В.В.* // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. № 23. С. 2147–2151.
- [8] *Shepelevich V.V., Shandarov S.M., Mandel A.E.* // Ferroelectrics. 1990. V. 110. P. 235–249.
- [9] *Shepelevich V.V., Egorov N.N., Shepelevich Victor* // J. Opt. Soc. Am. 1994. V. 11. N 8. P. 1394–1402.
- [10] *Храмович Е.М.* Дифракция света на фотоиндуцированных решетках в кубических гиротропных фоторефрактивных кристаллах. Дис. канд. физ.-мат. наук. Минск, 1990. 170 с.