

05; 06.3; 07

© 1991

ВЛИЯНИЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА И ОПТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГОЛОГРАММ В КУБИЧЕСКИХ ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ КРИСТАЛЛАХ

А.Е. М а н д е л ь, С.М. Ш а н д а р о в,
В.В. Ш е п е л е в и ч

Хотя законы симметрии не запрещают существования в фоторефрактивных кристаллах пьезоэлектрического и фотоупругого эффектов и значения ненулевых компонент соответствующих тензоров измерены рядом автором [1], пьезоэлектрический и фотоупругий механизмы формирования голографической решетки, как правило, не включаются в теоретические модели дифракции. В работе [2] показано, что учет этих механизмов при исследовании дифракционных процессов в одноосном кристалле $LiNbO_3$ вносит качественные изменения в характер зависимости дифракционной эффективности от ориентации вектора голографической решетки.

В последние годы возрастает интерес к изучению дифракции света в кубических фоторефрактивных кристаллах. Эти кристаллы благодаря высокой фоточувствительности и ряду других уникальных свойств нашли практическое применение в голографии, оптической обработке информации, интерферометрии [3]. Однако построение теоретической модели дифракции в кубических фоторефрактивных кристаллах затрудняется присутствием значительной оптической активности, которая, наряду с пьезоэлектрическим и фотоупругим эффектами, приводит к усложнению выражений для энергетических и поляризационных характеристик голограмм. Влияние оптической активности на характер дифракции было детально изучено в работе [4], а в [5] впервые проведен одновременный учет оптической активности и пьезоэлектрических свойств кубического фоторефрактивного кристалла на примере $Bi_{12}SiO_{20}$. На основе предложенной феноменологической модели предсказан эффект более чем двукратного возрастания дифракционной эффективности для особых ориентаций голографической решетки по сравнению с традиционными геометриями $\vec{K} \parallel [001]$ и $\vec{K} \parallel [1\bar{1}0]$ в кристалле среза (110). Результаты теории подтверждены экспериментально.

Целью настоящего сообщения является дальнейшее экспериментальное изучение влияния пьезоэлектрического эффекта и оптической активности на характеристики дифрагированного света и сравнение полученных результатов с выводами теоретического подхода [5].

Численные расчеты проводились по формулам, полученным в работе [4] с учетом значений величин α_1 , α_2 и α_3 , найденных

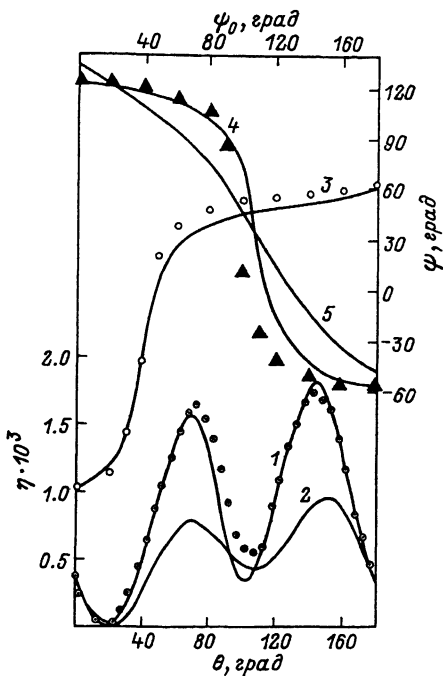


Рис. 1. Зависимость дифракционной эффективности голограммы от ориентации голографической решетки и азимута дифрагированной световой волны от азимута считывающего линейно поляризованного света. $\eta(\theta)$ при условии $\psi_0 = 0$: 1 - при учете пьезоэффекта, 2 - без учета пьезоэффекта, \odot - экспериментальные точки. $\psi(\psi_0)$: 3 - $\theta = 0$, \circ - экспериментальные точки, 4 - $\theta = 70^\circ$, при учете пьезоэффекта, Δ - экспериментальные точки, 5 - $\theta = 70^\circ$, без учета пьезоэффекта.

в соответствии с [5]. В вычислениях использованы значения фотоупругих постоянных $\rho_{11} = -0.16$, $\rho_{12} = -0.13$, $\rho_{13} = -0.12$, $\rho_{44} = -0.015$ [6]; электрооптического коэффициента $r_{41} = -5.0 \cdot 10^{-12}$ м/В [3], модулей упругости $c_{11} = 12.96 \cdot 10^{10}$ Н/м², $c_{12} = 2.99 \cdot 10^{10}$ Н/м², $c_{44} = 2.45 \cdot 10^{10}$ Н/м² и пьезоэлектрического коэффициента $e_{14} = 1.12$ Кл/м² [7]. Принято также, что амплитуда внутреннего электрического поля $E_0 = 0.5$ кВ/см, относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 2.54$ [3]. Удельное вращение плоскости поляризации $\alpha = 0.405$ рад/мм и толщина кристалла $d = 3.45$ мм измерены на образце, с которым проводились эксперименты.

Как и в [5], голографические решетки записывались светом He - Cd лазера, а считывались He - Ne лазером.

На рис. 1 изображены графики зависимости дифракционной эффективности голограммы η от угла θ , образованного вектором голографической решетки с осью $[001]$, с учетом пьезоэлектрического эффекта (кривая 1) и без его учета (кривая 2), а также нанесены результаты экспериментальных измерений функции $\eta(\theta)$. Здесь же показаны поляризационные зависимости азимута ψ дифрагированной световой волны от азимута ψ_0 считывающего света при фиксированных значениях угла θ (кривая 3 при $\theta = 0$ и кривая 4 при $\theta = 70^\circ$) вместе с соответствующими экспериментальными точками. Предполагается, что считывающий свет поляризован линейно.

Анализ аналитических выражений дифракционной эффективности и азимута дифрагированного света [4] с учетом результатов [5] приводит к выводу, что влияние пьезоэлектрического эффекта не проявляется в случае $\vec{K} \parallel [001]$ ($\theta = 0$), то есть кривые 1 и 2 совпадают в точке $\theta = 0$, а кривая 3 при учете этого эффекта сливается с аналогичной кривой, полученной в пренебрежении им. При $\vec{K} \parallel [110]$ ($\theta = 90^\circ$) дифракционная эффективность голограммы за счет пьезоэлектрического эффекта слегка возрастает. Поляризационная зависимость $\psi(\psi_0)$ в этом случае, как показывают расчеты, так же, как и при $\theta = 0$, „нечувствительна“ к пьезоэффекту и имеет вид прямой линии, проходящей через точки $(0, 90^\circ)$ и $(90^\circ, 0)$ [3] (на рис. 1 эта линия не показана).

Распределение экспериментально измеренных значений дифракционной эффективности голограммы, считываемой линейно поляризованным светом, при $\psi_0 = 0$ и азимута дифрагированного света при $\theta = 70^\circ$ свидетельствует в пользу теоретической модели [5]. Действительно, экспериментальные точки располагаются значительно ближе к кривым 1 и 5, полученным с учетом пьезоэлектрического эффекта, чем к кривым 2 и 6, построенным без его учета. Некоторые расхождения теории с экспериментом могут быть объяснены неточными значениями параметров кристалла, пренебрежением отражениями от его границ, ошибками в установке образца, в определении его кристаллографических направлений. Кроме того, в расчетах не учитывалась зависимость характеристик голограммы от величины брэгговского угла.

Приведем также результаты теоретических и экспериментальных исследований дифракции циркулярно поляризованного света на голографических решетках, записанных в кубическом оптически активном фоторефрактивном кристалле. Поляризация считывающего света, близкая к круговой, создавалась пластикой из кристаллического кварца с разностью хода обыкновенного и необыкновенного лучей $(2m+1)\lambda/4$ при $m=2$. При этом эллиптичность достигала значения $\tau_0 \approx -0.98$. Эллиптичность дифрагированного света τ измерялась по стандартной методике (напр., [8]) с помощью компенсатора на основе кварцевой пластинки (компенсатор Сенармона) и поляроида.

На рис. 2 представлены зависимости $\eta(\theta)$ и $\tau(\theta)$ при учете пьезоэффекта и оптической активности (1 и 5), при учете

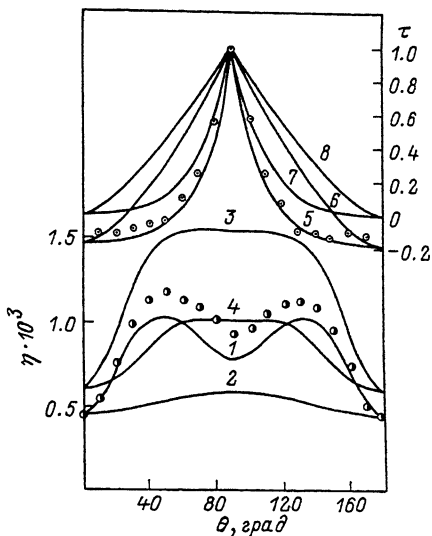


Рис. 2. Зависимость дифракционной эффективности голограммы и эллиптичности дифрагированной световой волны от ориентации голографической решетки при круговой поляризации считывающего света. 1-4 - $\eta(\theta)$, 5-8 - $\tau(\theta)$. 1 - с учетом пьезоэффекта, $\alpha \neq 0$, 2 - без учета пьезоэффекта, $\alpha \neq 0$; 3 - с учетом пьезоэффекта, $\alpha = 0$; 4 - без учета пьезоэффекта, $\alpha = 0$. \bullet - экспериментальная зависимость $\eta(\theta)$; \circ - экспериментальная зависимость $\tau(\theta)$.

только оптической активности (2 и 6), при учете только пьезоэффекта (3 и 7) и без учета пьезоэффекта и оптической активности (4 и 8). Все кривые симметричны относительно точки $\theta = 90^\circ$. Видно, что влияние пьезоэлектрического эффекта приводит к увеличению дифракционной эффективности голограммы при всех значениях θ , за исключением $\theta = 0$ и $\theta = 180^\circ$. Эллиптичность дифрагированного света при учете пьезоэффекта уменьшается во всем диапазоне значений θ , исключая $0, 90^\circ$ и 180° . Круговая поляризация дифрагированного света достигается лишь при $\theta = 90^\circ$, причем направление вращения вектора напряженности электрического поля противоположно направлению вращения этого вектора в считывающей волне. При $\theta = 0$ в случае кристалла, не обладающего оптической активностью (кривые 7, 8), дифрагированный свет линейно поляризован, а в оптически активном кристалле при этом же значении θ он поляризован эллиптически. Линейная поляризация дифрагированного света при наличии оптической активности также возможна, но достигается только при определенных значениях θ , отличных от 0 ($\theta \approx 26^\circ$ и $\theta \approx 154^\circ$ в отсутствие пьезоэлектрического эффекта и $\theta \approx 56^\circ$ и $\theta \approx 124^\circ$ при учете пьезоэлектрического эффекта).

Измеренный экспериментально набор значений эллиптичности в зависимости от угла θ лучше всего соответствует кривой 5, а опытные значения дифракционной эффективности качественно повторяют характер изменения кривой 1. Здесь мы также получаем подтверждение справедливости теоретического подхода [5].

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Акустические кристаллы. Справочник / Под ред. М.П. Шаскольской. М.: Наука, 1982. 632 с.
- [2] Иванов А.А., Мандель А.Е., Хатьков Н.Д., Шандаров С.М. // Автометрия. 1986. № 2. С. 79-84.
- [3] Петров М.П., Степанов С.И., Хоменко А.В. Фоточувствительные электрооптические среды в голографии в оптической обработке информации. Л.: Наука, 1983. 270 с.
- [4] Шепелевич В.В., Храмович Е.М. // Оптика и спектроскопия. 1988. Т. 65. В. 2. С. 403-408.
- [5] Мандель А.Е., Шандаров С.М., Шепелевич В.В. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 23. С. 2147-2151.
- [6] Бабонас Г.А., Реза А.А., Леонов Е.И., Шандерис В.И. // ЖТФ. 1983. Т. 55. В. 6. С. 1203-1205.
- [7] Александров К.С., Бондаренко В.С., Зайцева М.П. и др. // ФТТ. 1984. Т. 26. В. 12. С. 3693-3610.
- [8] Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. С. 636-640.

Поступило в Редакцию
9 августа 1991 г.
В окончательной редакции
23 сентября 1991 г.