

УДК 535.42

В.В. Шепелевич, В.Н. Навныко, С.М. Шандаров

Влияние пьезоэлектрического эффекта на выбор оптимального среза при считывании отражательной голограммы в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$

Проанализированы закономерности влияния обратного пьезоэлектрического эффекта на максимальные значения дифракционной эффективности отражательной голограммы, сформированной в кубическом фоторефрактивном кристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$.

Ключевые слова: отражательная голограмма, фоторефрактивный кристалл, дифракционная эффективность, обратный пьезоэлектрический эффект.

Постановка задачи. Влияние обратного пьезоэлектрического эффекта (далее – пьезоэффект) на энергетические и поляризационные характеристики объемной отражательной голограммы, сформированной в кубическом фоторефрактивном пьезокристалле, частично изучалось в работе [1]. В этой работе на примере фоторефрактивного кристалла класса симметрии $\bar{4}3m$ показано, что пренебрежение в расчетах пьезоэффектом может обусловить ошибки в нахождении среза кристалла фиксированной толщины, для которого определяется максимальная дифракционная эффективность голограммы. Особенности влияния пьезоэффекта на энергетические характеристики отражательной голограммы, сформированной в кубическом оптически активном фоторефрактивном кристалле $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ среза (111), рассмотрены в [2]. Однако в этой работе не обсуждался вопрос о влиянии пьезоэффекта на максимумы дифракционной эффективности отражательной голограммы для кристалла с фиксированной толщиной.

Целью настоящего сообщения является анализ закономерностей влияния пьезоэффекта на свойства отражательной голограммы в кубических оптически активных фоторефрактивных пьезокристаллах. На примере кристалла $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ (ВТО) проанализированы закономерности влияния пьезоэффекта на максимальные значения дифракционной эффективности отражательной голограммы, записанной в этом кристалле. Для решения поставленной задачи использовалась теоретическая модель и геометрия взаимодействия опорной световой волны с фоторефрактивным кристаллом, подробно описанные в работе [3]. При теоретических расчетах принимались во внимание линейный электрооптический, фотоупругий и обратный пьезоэлектрический эффекты, а также естественная оптическая активность фоторефрактивного кристалла. При выполнении численных расчетов для длины волны 632,8 нм использовались следующие расчетные параметры: $n_0 = 2,58$, $r_{41} = -4,75$ пм/В, $\rho = 112$ рад/м; $p_{11} = -0,173$, $p_{12} = 0,001$, $p_{13} = 0,002$, $p_{44} = 0,005$, $e_{14} = 1,1$ Кл/м²; $c_{11} = 13,7 \times 10^{11}$ Н/м², $c_{12} = 2,8 \times 10^{10}$ Н/м², $c_{44} = 2,6 \times 10^{10}$ Н/м², близкие к параметрам кристалла ВТО (см., например, [4]). Здесь использованы следующие обозначения: n_0 – показатель преломления кристалла, ρ – удельное вращение кристалла, r_{41} , e_{14} – электрооптический и пьезоэлектрический коэффициенты; p_{11} , p_{12} , p_{13} , p_{44} – фотоупругие постоянные; c_{11} , c_{12} , c_{44} – упругие постоянные (компоненты тензоров третьего и четвертого рангов представлены в матричной форме). Амплитуда напряженности электрического поля голографической решетки в фоторефрактивном кристалле выбиралась равной 0,6 кВ/см.

Результаты и их обсуждение. В результате численного моделирования установлено, что при заданных параметрах кристалла ВТО «включение» пьезоэффекта приводит к уменьшению максимальных значений дифракционной эффективности отражательной голограммы при толщине кристалла более 12 мм (рис. 1, а). При «включении» пьезоэффекта срез (001) является более выгодным по сравнению со срезом (111) при толщине кристалла до 16 мм. В случае если толщина кристалла является большей, чем 16 мм, дифракционная эффективность отражательной голограммы для кристалла ВТО среза (111) имеет более высокие значения, чем для кристалла среза (001). Здесь следует отметить, что с практической точки зрения в пьезокристалле ВТО при толщине более 16 мм срез (111) является предпочтительным, поскольку достигаемая для такого среза дифракционная эффективность отражательной голограммы приближается к максимально возможной величине (см. кривые 1 и 2 на рис. 1, а и б).

Фоторефрактивные кристаллы, принадлежащие к точечной группе симметрии 23, являются нецентросимметричными и имеют три поворотные оси второго порядка и четыре поворотные оси третьего порядка. Поэтому максимальная дифракционная эффективность, достигаемая в кристалле ВТО среза (001), повторяется также в кристаллах ВТО со срезами, принадлежащими комплексу симметрично эквивалентных плоскостей {100} (что следует из рассмотрения указательных поверхностей поляризационно оптимизированных значений дифракционной эффективности отражательной голограммы, представленных на рис. 2 и 3), а максимальная дифракционная эффективность для кристалла ВТО среза (111) повторяется в кристаллах ВТО со срезами {111}.

Как следует из рис. 2, в и г, «включение» пьезоэффекта не приводит к уменьшению максимальной величины дифракционной эффективности голограммы (поскольку выбрана толщина кристалла ВТО, равная 8 мм), а имеет место лишь количественная «деформация» указательной поверхности – для отдельных направлений уменьшается поляризационно оптимизированное значение дифракционной эффективности.

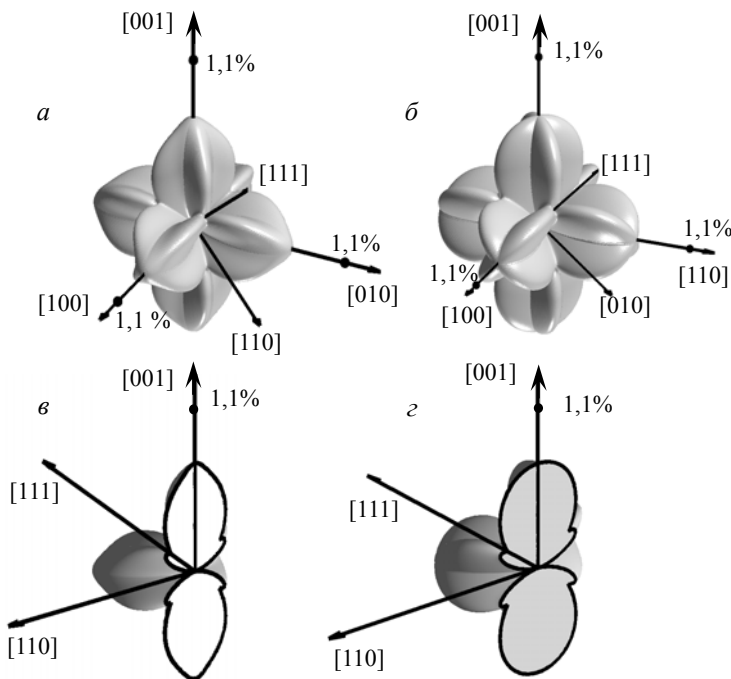


Рис. 2. Указательные поверхности максимальных значений дифракционной эффективности отражательной голограммы (а, б) и их сечения (в, г) плоскостью, параллельной плоскости $(\bar{1}10)$ и проходящей через начало кристаллографической системы координат, рассчитанные для кристалла ВТО толщиной 8 мм с учетом (а, в) и без учета (б, г) пьезоэффекта

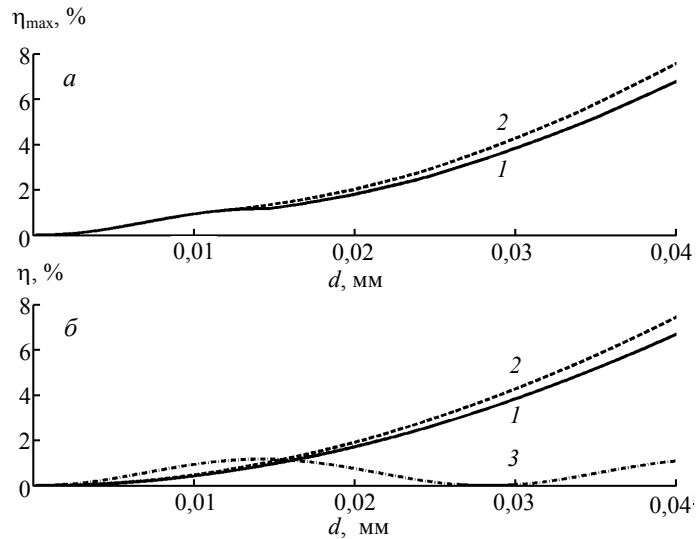


Рис. 1. Зависимости максимальных значений дифракционной эффективности η_{\max} (а) и дифракционной эффективности η для кристаллов среза (111) (б – кривые 1 и 2) и среза (001) (б, кривая 3) от толщины кристалла ВТО, рассчитанные с учетом пьезоэффекта (а и б – кривые 1) и без учета пьезоэффекта (а и б – кривые 2)

методика исследования дифракционной эффективности объемных голограмм посредством указательных поверхностей подробно описана в работе [3].

Влияние пьезоэффекта на дифракционную эффективность отражательной голограммы оказывается более сильно выраженным в толстых кристаллах ВТО (с толщиной более 16 мм). На рис. 3 представлены указательные поверхности поляризационно оптимизированной дифракционной эффективности отражательной голограммы (рис. 3, а и б) и срезы этих поверхностей плоскостью (рис. 3, в и г), параллельной плоскости $(\bar{1}10)$, рассчитанные для кристалла ВТО толщиной 16 мм. Из сравнения рис. 3, а и в с рис. 3, б и г следует, что без учета пьезоэффекта дифракционная эффективность отражательной голо-

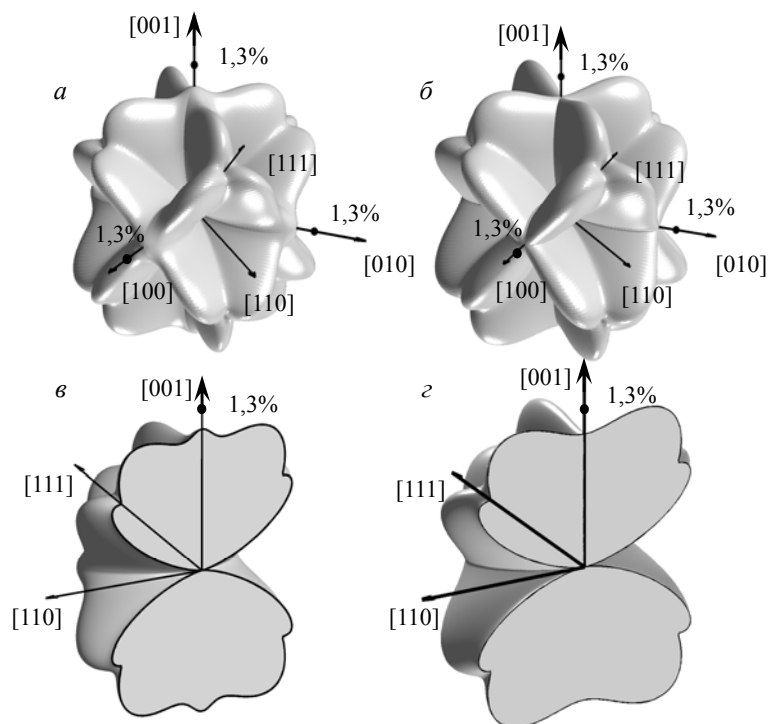


Рис. 3. Указательные поверхности максимальных значений дифракционной эффективности отражательной голограммы (а, б) и их сечения (в, г) плоскостью, параллельной плоскости $(\bar{1}10)$ и проходящей через начало кристаллографической системы координат, рассчитанные для кристалла ВТО толщиной 16 мм с учетом (а, в) и без учета (б, г) пьезоэффекта

дифракционной эффективности достигаются в кристаллах срезов $\{100\}$, причем «включение» пьезоэффекта не влияет на величину этих значений.

Работа выполнена при поддержке Государственной комплексной программы научных исследований «Электроника и фотоника» (задание «Фотоника 2.2.09»), а также при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-02-90038-Бел_а) и БРФИ (проект № Ф12Р-222).

Литература

1. Shepelevich V.V. Diffraction efficiency of reflection holograms in cubic photorefractive piezoelectric crystals of $\bar{4}3m$ symmetry class / V.V. Shepelevich, V.N. Naunya // Journal of Holography and Speckle. – 2009. – Vol. 5. – P. 286–289.
2. Дифракция световых волн на отражательных голограммах в кубических пьезокристаллах / В.В. Шепелевич, В.Н. Навныко, С.Ф. Ничипорко и др. // Письма в ЖТФ. – 2003. – Т. 29, вып. 18. – С. 22–28.
3. Shepelevich V.V. Effect of optical activity and crystal symmetry on maximal diffraction efficiency of reflection holograms in cubic photorefractive piezocrystals / V.V. Shepelevich, V.N. Naunya // Appl. Phys. B. – 2009. – Vol. 95, № 3. – P. 459–467.
4. Степанов С.И. Фотоупругий вклад в фоторефрактивный эффект в кубических кристаллах / С.И. Степанов, С.М. Шандаров, Н.Д. Хатьков // ФТТ. – 1987. – Т. 24, № 10. – С. 3054–3058.

Шепелевич Василий Васильевич

Д-р физ.-мат. наук, профессор, зав. каф. теоретической физики УО МГПУ им. И.П. Шамякина», г. Мозырь, Республика Беларусь
Тел.: (375) 236-32-40-91
Эл. почта: vasshep@inbox.ru

граммы для кристалла ВТО среза $\{111\}$ больше, чем дифракционная эффективность отражательной голограммы для кристалла ВТО среза $\{100\}$, приблизительно на 0,1%. При «включении» пьезоэффекта значения поляризационно оптимизированной дифракционной эффективности отражательной голограммы для этих срезов становятся приблизительно одинаковыми (как видно из рис. 3, а и в, вдоль комплекса кристаллографических направлений $\langle 100 \rangle$ возникают локальные максимумы указательной поверхности).

Заключение. Таким образом, «включение» пьезоэффекта приводит к уменьшению максимальной дифракционной эффективности отражательной голограммы при толщине кристалла ВТО более 16 мм. В этом случае дифракционная эффективность отражательной голограммы в кристалле ВТО среза (111) превышает ее значения для кристалла среза (001). Если толщина кристалла ВТО меньше 16 мм, максимальные значения

Навныко Валерий Николаевич

Канд. физ.-мат. наук, доцент каф. теоретической физики УО МГПУ им. И.П. Шамякина

Тел.: (375) 236-32-40-91

Эл. почта: valnav@inbox.ru

Шандаров Станислав Михайлович

Д-р физ.-мат. наук, профессор, зав. каф. электронных приборов ТУСУРа

Тел.: (382-2) 41-38-87

Эл. почта: shand@stack.ru

Shepelevich V.V., Naunyka V.N., Shandarov S.M.

Influence of the piezoelectric effect on the choice of optimal cut and polarization of reference wave for reading out the reflection hologram in $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ crystal

We analyzed the influence of inverse piezoelectric effect on the maximal value of diffraction efficiency of the reflection hologram recorded in cubic photorefractive $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ crystal. It is shown that the influence of the inverse piezoelectric effect can vary a value of an optimal azimuth of the reference wave for which maximal value of the diffraction efficiency of the reflection hologram can be achieved.

Keywords: reflection hologram, photorefractive crystal, diffraction efficiency, azimuth of polarization.