

А. В. Макаревич, В. Н. Навныко

УО «Мозырский государственный педагогический университет
имени И. П. Шамякина», Мозырь, Беларусь

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ ПРЕДМЕТНОЙ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ В КРИСТАЛЛЕ ГЕРМАНОСИЛЛЕНИТА ВИСМУТА

Введение

Из литературы известно (см., например, [1, 2]) насколько существенным оказывается вклад пьезоэффекта в энергетический обмен световых пучков в фоторефрактивном кристалле при его различных пространственных ориентациях. Однако, несомненно, наибольший интерес для практических применений представляет рассмотрение влияния пьезоэффекта на оптимизацию этого энергообмена, когда достигается наибольший перенос энергии из опорного пучка в предметный. Такая оптимизация, в частности, может быть выполнена за счет выбора оптимальных значений азимута линейной поляризации $\Psi_0^{\text{opt.}}$ световых пучков, при которых для фиксированных величин ориентационного угла θ и значений толщины кристалла d достигается поляризационно оптимизированный коэффициент усиления $\gamma_{\Psi_0^{\text{opt.}}}^{\text{opt.}}$ предметной световой волны. Детально подобная теоретическая оптимизация для кристалла BSO среза $(\bar{1}\bar{1}0)$ с учетом пьезоэффекта была выполнена в [3]. Оптимизация усиления предметной световой волны в кристаллах BSO и BTO среза $(1\bar{1}0)$ для различных значений их толщины с учетом пьезоэффекта представлена в [4]. Насколько известно, данные исследования для кристалла BGO ранее не проводились.

1. Теоретическое и экспериментальное изучение коэффициента усиления предметной световой волны в кристалле BGO

При проведении теоретического анализа по получению поверхностей $\gamma_{\Psi_0^{\text{opt.}}}^{\text{opt.}}(\theta, d)$ для кристалла BGO с вариациями значений толщины от

0 до 16 мм было выявлено, что такие зависимости без учета и с учетом пьезоэффекта реализуются при аналогичных значениях $\Psi_0^{\text{opt.}}$. Эти значения $\Psi_0^{\text{opt.}}$ для различных θ и d представлены на рисунке 1, *a*.

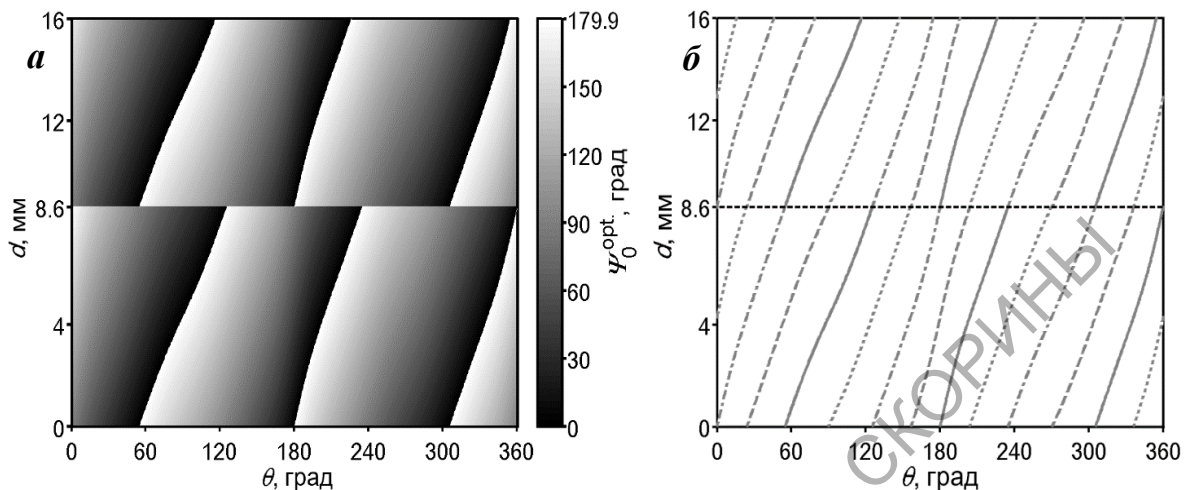


Рисунок 1 – *a* – зависимости поляризационно оптимизированных значений $\Psi_0^{\text{opt.}}$ от ориентационного угла θ и толщины d кристалла BGO, рассчитанные без учета и с учетом пьезоэффекта;

b – контурное отображение значений $\Psi_0^{\text{opt.}} = 0$ (сплошная линия), 45° (штриховая линия), 90° (штрихпунктирная линия) и 135° (пунктирная линия)

Из анализа этого рисунка следует, что при достижении толщины кристалла BGO равной 8,6 мм происходит скачек значений $\Psi_0^{\text{opt.}}$ на 180° . Подтверждением сказанному служит график, представленный на рисунке 2, *b*, на котором сплошной, штриховой, штрихпунктирной и пунктирной линиями отмечены линии поляризации $\Psi_0^{\text{opt.}} = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ и 135° .

Значения толщины кристалла, при которых происходят данные скачки, определяются согласно выражению

$$d = (\pi m \cos \varphi) / \rho, \quad (1)$$

где φ – угол Брэгга внутри кристалла, $m = 1, 2, 3, \dots$, а ρ – удельное вращение плоскости поляризации световой волны.

Отметим, что на рисунке 1 при построении графиков для достижения их наиболее плавного изменения расчет производился с шагами ориентационного угла $\Delta\theta$ и толщины кристалла Δd соответственно

равными $0,1^\circ$ и $0,01$ мм. При этом для фиксированных θ и d перебор Ψ_0 осуществлялся от 0 до $179,9^\circ$ с шагом $\Delta\Psi_0 = 0,1^\circ$.

Непосредственно сами поляризационно оптимизированные поверхности, рассчитанные для кристалла ВГО среза $(\bar{1}\bar{1}0)$ без учета и с учетом пьезоэффекта, представлены на рисунке 2, из которого видно их существенное качественное и количественное различие.

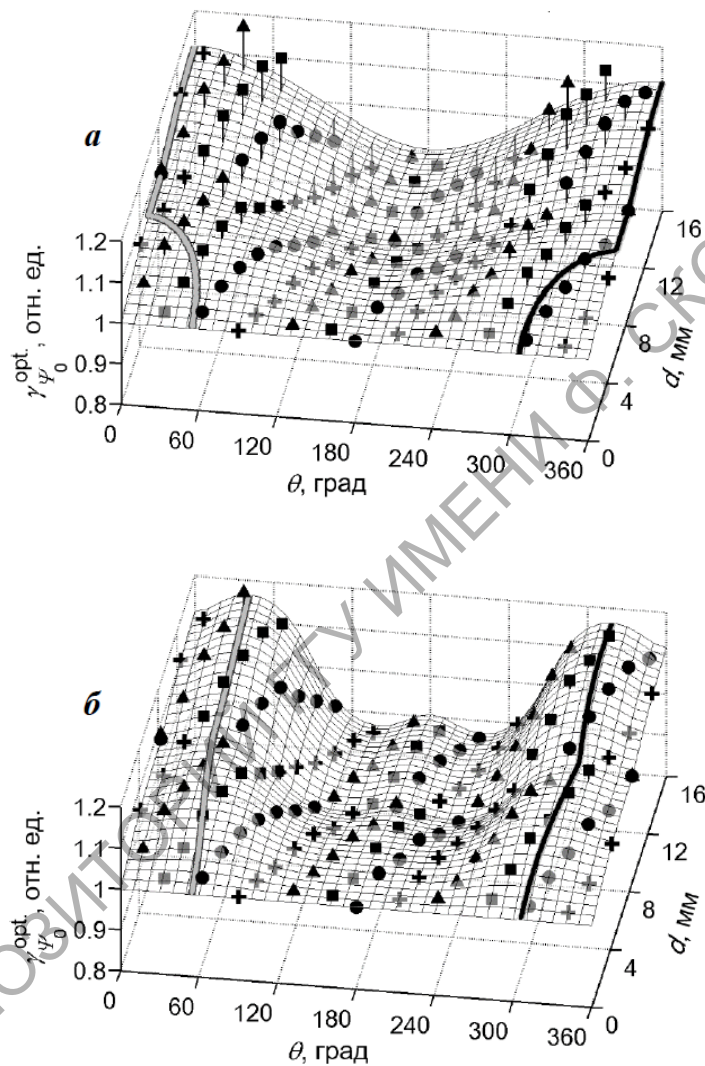


Рисунок 2 – Зависимости $\gamma_{\Psi_0}^{\text{opt.}}(\theta, d)$, рассчитанные без учета пьезоэффекта (а) и с его учетом (б); «●», «■», «▲» и «+» – экспериментальные значения $\gamma_{\Psi_0}^{\text{opt.}}$, полученные при $\Psi_0^{\text{opt.}} = 0, 45^\circ, 90^\circ$ и 135° соответственно; серая и черная линии указывают наибольшие значения $\gamma_{\Psi_0}^{\text{opt.}}$ при различных толщинах кристалла

На этом рисунке также произведено сравнение теоретически рассчитанных зависимостей $\gamma_{\Psi_0}^{\text{opt.}}(\theta, d)$ с экспериментальными данными, полученными с использованием методики, описанной в [5].

Как видно из рисунка 2 поверхность, построенная с учетом лишь электрооптического эффекта (рисунок 2, а), не согласуется с экспериментальными данными, чего нельзя сказать об аналогичной поверхности, при построении которой дополнительно учитывался пьезоэффект (рисунок 2, б).

Также на этих графиках линиями серого и черного цветов выделены абсолютные максимумы перекачки энергии из опорного пучка в предметный, которые достигаются за счет специального выбора не только Ψ_0 , но и θ .

Без учета пьезоэффекта (рисунок 2, а) при толщине образца менее примерно 5,8 мм такие абсолютные максимумы коэффициента усиления могут быть достигнуты при двух ориентационных углах кристалла. В случае достижения и превышения этого значения толщины кристаллического образца максимум перекачки энергии из опорного пучка в предметный имеет место уже только при одном ориентационном угле $\theta = 0$ (360°).

При учете пьезоэффекта максимально возможные значения коэффициента усиления на всем исследованном интервале толщины кристалла достигаются уже при двух его ориентационных углах, что должно быть принято во внимание при практических применениях этого представителя силленитов.

Заключение

Таким образом, установлена зависимость оптимальных значений азимута линейной поляризации $\Psi_0^{\text{opt.}}$ взаимодействующих в кристалле BGO световых пучков от его ориентационного угла θ и толщины d , при использовании которой могут быть получены поляризационно оптимизированные зависимости коэффициента усиления предметной световой волны без учета и с учетом пьезоэффекта. Выполнена экспериментальная апробация зависимостей $\gamma_{\Psi_0}^{\text{opt.}}(\theta, d)$, в результате которой показана необходимость обязательного учета пьезоэффекта для предсказания максимумов перекачки энергии из опорного пучка в предметный.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования Республики Беларусь (задание 6.1.14 Государственной программы научных исследований «Фотоника и ее применения»).

Литература

1. Solymar, L. The physics and applications of photorefractive materials / L. Solymar, D. J. Webb, A. Grunnet-Jepsen. – Oxford: Clarendon Press, 1996. – 494 pp.
2. Шепелевич, В. В. Запись и считывание голограмм в кубических гиротропных фоторефрактивных кристаллах (Обзор) / В. В. Шепелевич // ЖПС. – 2011. – Т. 78, № 4. – С. 493–515.
3. Optimization of two-wave interaction efficiency in cubic photorefractive sillenite-type crystals with optical rotary power and piezoeffect in diffusion regime / V. V. Shepelevich [et al.] // Ferroelectrics. – 1999. – Vol. 234, № 1. – P. 289–309.
4. Gain optimization with respect to the thickness of a sillenite crystal / V. V. Shepelevich [et al.] // Appl. Phys. B. – 1999. – Vol. 68. – P. 923–929.
5. Макаревич, А. В. Влияние пространственной ориентации и толщины кристалла $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ на коэффициент усиления предметной световой волны: теория и эксперимент / А. В. Макаревич, В. В. Шепелевич, С. М. Шандаров // Проблемы физики, математики и техники. – 2018. – № 4 (37). – С. 35–43.