

В.В. ШЕПЕЛЕВИЧ¹, А.В. МАКАРЕВИЧ¹, П.И. РОПОТ²

¹МГПУ им. И.П. Шамякина (г. Мозырь, Беларусь)

²Институт физики НАН Беларуси (г. Минск, Беларусь)

ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ ПРЕДМЕТНОЙ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ ОТ ТОЛЩИНЫ ФОТОРЕФРАКТИВНОГО ПЬЕЗОКРИСТАЛЛА $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$

В связи с возможностью практического применения динамических голограмм, записанных в фоторефрактивных кристаллах, для усиления оптических пучков [1] в фильтрах новизны [2], а также в других важных приложениях и устройствах представляет интерес экспериментальное изучение коэффициента усиления предметной световой волны от толщины используемого кристаллического образца.

Для проведения этого исследования была применена трапециевидная геометрия перекрытия в кристалле световых пучков с плоским волновым фронтом из работ [3–5], в которых впервые были представлены экспериментальные и теоретические результаты по изучению коэффициента усиления предметной световой волны при двухволновом смешивании от толщины фоторефрактивных кристаллов семейства силленита $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (BSO), $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ (BGO) и $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ (BTO). Однако в этих работах проведение экспериментальных исследований осуществлялось только для двух взаимно перпендикулярных пространственных ориентаций кристаллов, при которых обратный пьезоэлектрический и фотоупругий эффекты (далее сокращенно «пьезоэффект») не проявляются ($\vec{K} \parallel [001]$, где \vec{K} – вектор голографической решетки) или их влиянием можно пренебречь ($\vec{K} \perp [001]$) [6]. Поэтому здесь мы демонстрируем результаты подобных исследований для кристалла BTO в случае, когда оба вышеуказанных

условия не выполняются, и при теоретической интерпретации экспериментальных данных обязательно учитываем пьезоэффект [6–8].

В эксперименте использовался кристаллический образец ВТО среза $(\bar{1}\bar{1}0)$ с толщиной d , равной 7.7 мм. Ориентационный угол кристалла θ составлял 17° . Исследование коэффициента усиления предметной световой волны осуществлялось для четырех азимутов линейной поляризации взаимодействующих в кристалле опорного и предметного световых пучков $\Psi_0 = 0, 45^\circ, 90^\circ$ и 135° . Угол Брэгга φ_0 вне кристалла составлял 25° . Отношение интенсивностей предметного и опорного световых пучков I_S/I_R было равно 0.26. Коэффициент усиления предметной световой волны определялся как $\gamma(d) = I_S(d)/I_{S0}(d)$, где $I_S(d)$ и $I_{S0}(d)$ – интенсивности предметного пучка на выходе из кристалла толщиной d в присутствии и в отсутствие опорного пучка (пучка накачки) соответственно.

Теоретическая интерпретация экспериментальных данных проводилась на основании системы уравнений связанных волн из работы [9], в которой было показано, что в этом представителе силленитов формируются смешанные (амплитудно-фазовые) голографические решетки. При расчетах использованы параметры кристалла ВТО из [9; 10]. Направления отсчета ориентационного угла кристалла и азимутов линейной поляризации световых волн представлены в [8]. Амплитуда напряженности электрического поля пространственного заряда E_{sc} выбиралась равной 1.395 кВ/см и соответствовала наилучшей корреляции теории и экспериментальных данных.

Результаты выполненных экспериментальных и теоретических исследований, представлены на рисунке, из которого видно, что в случае пренебрежения пьезоэффектом экспериментальные данные и результаты теоретического анализа имеют хорошо наблюдаемое расхождение при $\Psi_0 = 0, 90^\circ$ (рисунок а)) и 135° (рисунок б)), которое может быть устранено путем «включения» в теоретической модели пьезоэффекта.

Что касается азимута линейной поляризации $\Psi_0 = 45^\circ$, то в этом случае при выбранных условиях проведения эксперимента расхождение теоретических кривых, полученных с учётом и без учёта пьезоэффекта, проявляется незначительно.

Следует отметить, что на рисунках а) и б) вертикальной штриховой линией отмечена граница между областью, в которой взаимодействие световых волн происходило при различных значениях эффективной толщины кристалла $0 \leq d \leq 7.7$ мм, и областью, в которой взаимодействие световых пучков происходило при фиксированной толщине кристалла $d_0 = 7.7$ мм (см. также [11; 12]).

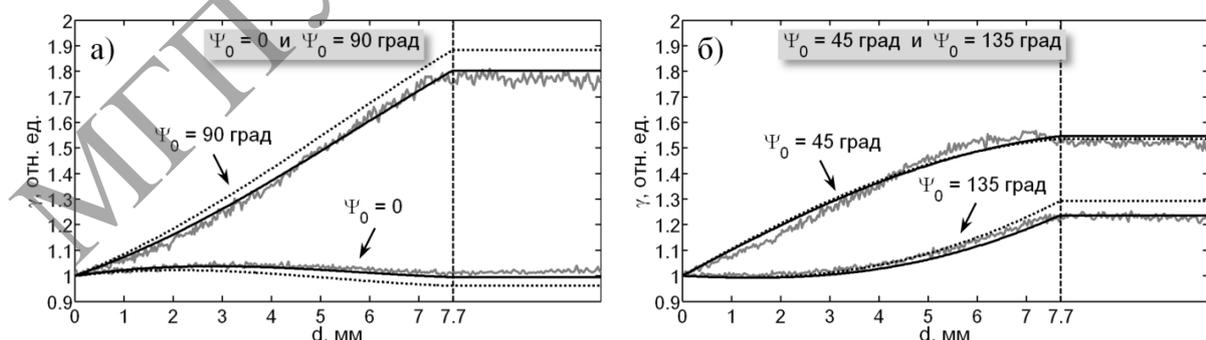


Рисунок – Зависимость коэффициента усиления предметной световой волны γ от толщины d кристалла ВТО среза $(\bar{1}\bar{1}0)$ с фиксированной толщиной $d_0 = 7.7$ мм при ориентационном угле $\theta = 17^\circ$: а) при $\Psi_0 = 0$ и 90° , б) при $\Psi_0 = 45^\circ$ и 135° ; черная сплошная линия – зависимость $\gamma(d)$ с учетом пьезоэффекта, черная пунктирная линия – зависимость $\gamma(d)$ без учета пьезоэффекта, серая (ломаная) линия – экспериментально полученная зависимость $\gamma(d)$

Таким образом, выполнено экспериментальное исследование зависимости коэффициента усиления предметной световой волны от толщины кристалла ВТО с использованием одного кристаллического образца среза $(\bar{1}\bar{1}0)$ с фиксированной толщиной 7.7 мм. Дана теоретическая интерпретация экспериментальных результатов на основании системы уравнений связанных волн, принимающей во внимание возможность формирования смешанных голограмм в этом кристалле, а также обратный пьезоэлектрический и фотоупругий эффекты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Analysis of output beam polarization in higher-order self diffraction via two-wave mixing in BSO crystal / Katyal N. [et al.] // *Optik*. – 2013. – Vol. 124, № 1. – P. 8–12.
2. Stepanov, S.I. Applications of photorefractive crystals / S.I. Stepanov // *Rep. Prog. Phys.* – 1994. – Vol. 57, № 1. – P. 39–116.
3. Dynamic holography with none plane waves in sillenites / E. Shamonina [et al.] // *Opt. Quant. Electron.* – 1996. – Vol. 28. – P. 25–42.
4. Investigation of two-wave mixing in arbitrary oriented sillenite crystals / E. Shamonina [et al.] // *Appl. Phys. B*. – 1997. – Vol. 64. – P. 49–56.
5. Optical activity in photorefractive $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ / E. Shamonina [et al.] // *Opt. Comm.* – 1998. – Vol. 146, № 1–6. – P. 62–68.
6. Gain optimization with respect to the thickness of a sillenite crystal / V.V. Shepelevich [et al.] // *Appl. Phys. B*. – Vol. 68, – P. 923–929.
7. Фоторефрактивные эффекты в электрооптических кристаллах: монография / С.М. Шандаров [и др.]. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. – 242 с.
8. Шепелевич, В.В. Голография в фоторефрактивных оптически активных кристаллах: монография / В.В. Шепелевич. – Минск: Изд. центр БГУ, 2012. – 254 с.
9. Шепелевич, В.В. Смешанные пропускающие голограммы в фоторефрактивном пьезокристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ / В.В. Шепелевич, А.В. Макаревич, С.М. Шандаров // *Письма в ЖТФ*. – 2014. – Т. 40, № 22. – С. 83–89.
10. Diffusion recording in photorefractive sillenite crystals: an analytical approach for engineering purposes / E. Shamonina [et al.] // *Opt. Comm.* – 2000. – Vol. 180, №1–3. – P. 183–190.
11. Экспериментальное исследование ориентационной зависимости дифракционной эффективности пропускающих голограмм от толщины кристалла $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ / А.В. Макаревич [и др.] // *Письма в ЖТФ*. – 2015. – Т. 41, № 19. – С. 46–54.
12. Экспериментальное исследование зависимости дифракционной эффективности фоторефрактивных голограмм от толщины образца и ориентационного угла в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ среза $(\bar{1}\bar{1}0)$ // В.В. Шепелевич [и др.] / *Известия вузов. Физика*. – 2015. – Т. 28, № 10. – С. 74–79.