

Заключение. В результате проведенных исследований в лаборатории электронной керамики НПЦ по материаловедению был синтезирован керамический материал на основе цирконата-титаната свинца химического состава $Pb_{1-x}(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3-Cd_x(Bi_{2/3}Mn_{1/3})O_3$, обладающий необходимыми пьезо- и электрофизическими свойствами для ультразвуковых излучателей. Разработанный керамический материал имеет высокие значения диэлектрической проницаемости и пьезомодулей, малые диэлектрические потери при высокой температурной стабильности: $\epsilon_{33}^t/\epsilon_0=950\sim 1000$; $k_p=0,5\sim 0,53$; $d_{31}=(90\sim 98)\cdot 10^{-12}$ Кл/Н; $tg\delta=0,006$. Температура фазового перехода для образцов изменяется в пределах $350\sim 370$ °С, что обеспечивает стабильность пьезоэлектрических свойств керамики в широком интервале температур, вплоть до $200\sim 220$ °С.

Список использованных источников

1. Фесенко, Е.Г. Новые пьезокерамические материалы / Е.Г. Фесенко, А.Я. Данцигер, О.Н. Разумовская. – Ростов : Изд-во РГУ, 1983. – 160 с.
2. Резниченко, Л.А. Особенности структуры и макроотклики композиционных материалов на основе твердых растворов системы цирконата-титаната свинца / Л.А. Резниченко [и др.] // Конструкции из композиционных материалов. – 2015. – № 2. – С. 59–66.
3. Акимов, А.И. Керамические материалы (диэлектрические, пьезоэлектрические, сверхпроводящие): условия получения, структура, свойства / А.И. Акимов, Г.К. Савчук. – Минск : БГУ, 2012. – 256 с.
4. Yurkevich, N.P. Determination of micro deformations and coherent scattering regions in ceramic materials / N.P. Yurkevich, G.K. Sauchuk // Sciences of Europe. – 2022. – Vol. 1. – № 86. – P. 59–66. DOI: 10.24412/3162-2364-2022-86-1-59-66.

УДК 535.4; 53.05

А.В. Макаревич, Е.Ю. Цырулик

Мозырский государственный педагогический университет имени И.П. Шамякина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ ПРЕДМЕТНОЙ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ ОТ ТОЛЩИНЫ КРИСТАЛЛА $Bi_{12}GeO_{20}$

Представлены результаты экспериментальных исследований зависимости коэффициента усиления предметной световой волны при двухволновом взаимодействии в фоторефрактивном кристалле $Bi_{12}GeO_{20}$ среза $(\bar{1}\bar{1}0)$ от его толщины и времени формирования голографической решетки. Установлен характер изменения указанной зависимости, а также динамика выхода голограммы на стационар.

Ключевые слова: фоторефрактивный кристалл, двухволновое взаимодействие, коэффициент усиления, линейная поляризация, азимут поляризации.

В настоящее время фоторефрактивные кристаллы типа силленита силикосилленит висмута $Bi_{12}SiO_{20}$ (BSO), германосилленит висмута $Bi_{12}GeO_{20}$ (BGO) и титаносилленит висмута $Bi_{12}TiO_{20}$ (BTO), принадлежащие классу симметрии 23 и обладающие рядом полезных для голографии оптических свойств и качеств, нашли применение в различных голографических приложениях (см., например, [1–4]). При этом известно, что формируемые в силленитах голографические решетки обладают динамическим характером и, следовательно, их выходные энергетические характеристики существенно зависят от времени выхода голограммы на стационар. Отметим, что к важнейшим выходным характеристикам голограмм относятся их дифракционная эффективность и коэффициент усиления предметной световой волны при двухволновом взаимодействии [5].

На основании сказанного представляет интерес экспериментальное изучение зависимости коэффициента усиления предметной световой волны в фоторефрактивном кристалле типа силленита от времени взаимодействия в нем световых пучков. Результаты такого исследования для различных значений толщины кристалла BGO представлены в рамках данной работы.

Для проведения эксперимента использовалась экспериментальная установка, оптическая схема которой представлена на рисунке 1. Линейно поляризованный световой пучок гелий-неонового лазера, излучающего на длине волны $\lambda = 632,8$ нм с относительно малой мощностью 3 мВт, проходил через коллимирующую систему из цилиндрических линз 1 и 2 с фокусными расстояниями 20 мм и 170 мм соответственно. После этого он разделялся светоделительным кубом 3 с длиной ребра 25 мм на опорный R и предметный S пучки. Эти пучки, отражаясь от зеркал 4 и 5, проходили через полуволновые фазовые пластинки 6 и 7, после чего падали на кристалл BGO, перед которым была расположена прямоугольная диафрагма с величиной отверстия 5 мм вдоль плоскости распространения световых пучков. Предметный пучок S до вхождения в кристалл дополнительно проходил через световой ослабитель 8, в результате чего

интенсивность этого пучка при вхождении в кристалл становилась в четыре раза меньше, чем у опорного пучка. За кристаллом на пути пучка S располагались световой ослабитель 9 и светочувствительная матрица CCD камеры, которая «вынесена из камеры» на рисунке 1 с указанием на нее стрелки «выноска 1».

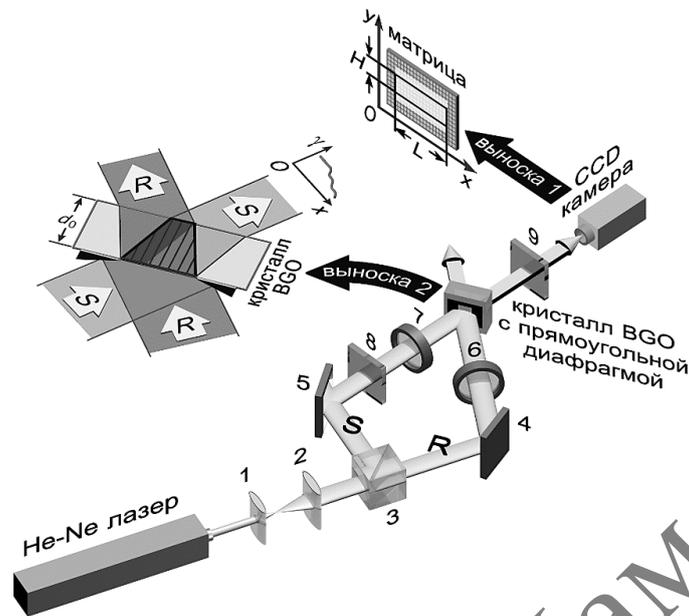


Рисунок 1 – Оптическая схема экспериментальной установки:
 1, 2 – цилиндрические линзы; 3 – светоделительный куб; 4, 5 – зеркала;
 6, 7 – полуволновые фазовые пластинки; 8, 9 – световые ослабители

Принцип использования прямоугольной диафрагмы для проведения подобных исследований также поясняется на этом рисунке с использованием выноски, на которую указывает стрелка «выноска 2». Здесь кристаллическая пластинка с фиксированной толщиной d_0 показана в разрезе, совпадающем с плоскостью распространения пучков R и S . Из этой выноски видно, что при записи голограммы пучки, проходя через прямоугольную диафрагму (обозначена черными клиньями на пути пучков R и S), формируют в кристалле наклонную пропускающую голографическую решетку в форме равнобокой трапеции. При этом в светлой области голограммы пересечение пучков осуществляется при различных значениях эффективной толщины кристалла d ($0 < d \leq d_0$), а в затемненной – при одной фиксированной толщине d_0 . Под «эффективной толщиной» здесь и в дальнейшем будем понимать локальное значение толщины образца, на которой происходит взаимодействие (пересечение) опорного R и предметного S световых пучков. Методика обработки экспериментальных данных соответствовала работе [6].

Пространственная ориентация использованного в эксперименте образца кристалла BGO среза $(\bar{1}\bar{1}0)$ с толщиной $d_0 = 16$ мм относительно единичных векторов \vec{e}_1 , \vec{e}_2 и \vec{e}_3 рабочей системы координат, связанной с плоскостью распространения опорного R и предметного S световых пучков, представлена на рисунке 2. Отсчет ориентационного угла кристалла θ осуществлялся от кристаллографического направления $[001]$ к вектору голографической решетки \vec{K} .

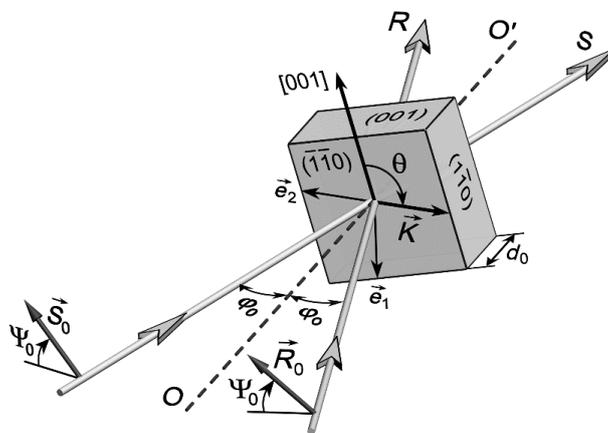


Рисунок 2 – Ориентация кристалла BGO относительно плоскости распространения световых пучков

При проведении экспериментов ориентационные углы кристалла θ выбирались равными 45° и 70° при азимутах Ψ_0 линейной поляризации световых пучков 0 и 90° соответственно. Время записи голограммы τ составляло 180 с. Угол Брэгга φ_0 вне кристалла был равен 15° . Полученные графические зависимости коэффициента усиления предметной световой волны γ от времени t взаимодействия в кристалле световых пучков и его толщины d представлены на рисунке 3.

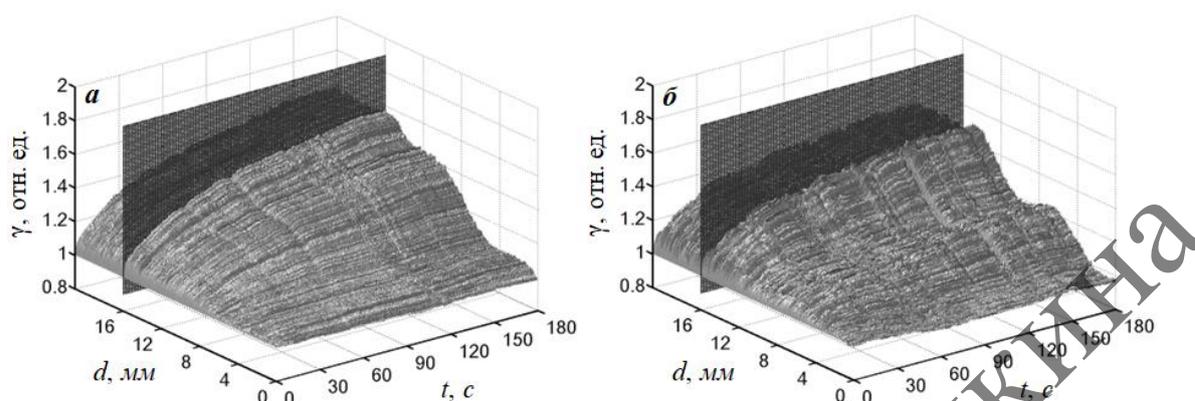


Рисунок 3 – Зависимости $\gamma(t, d)$, полученные при использовании кристалла ВГО среза $(\bar{1}\bar{1}0)$ фиксированной толщины 16 мм: a – при $\Psi_0 = 0$ и $\theta = 45^\circ$; b – при $\Psi_0 = 90^\circ$ и $\theta = 70^\circ$

Из рисунка 3 можно видеть, что увеличение времени взаимодействия пучков в кристалле ведет к монотонному возрастанию коэффициента усиления предметной световой волны при различных толщинах образца. При этом голографическая решетка выходит на стационар при данных условиях проведения эксперимента в течение промежутка времени, примерно равного 150 с. Наблюдаемый гофрированный характер представленных поверхностей обусловлен оптической активностью кристалла и, как было дополнительно установлено, существенно зависит от значения Ψ_0 .

В данном случае при проведении экспериментов выбирались такие ориентации кристалла, чтобы наблюдалась перекачка энергии из опорного пучка в предметный. При изменении ориентационного угла кристалла на 180° наблюдается обратный процесс – откачка энергии из предметного в опорный пучок. Следовательно, изменяя ориентационный угол кристалла, его эффективную толщину, азимут линейной поляризации световых пучков и варьируя временем записи голограммы, можно достигать различных значений коэффициента усиления предметной световой волны в исследованном представителе силленитов.

На рисунке 3 плоскостью $d = 16$ мм отмечена «граница» между областью изменения коэффициента усиления предметной световой волны от толщины кристалла и вспомогательной областью, в которой коэффициент усиления должен оставаться постоянным.

Таким образом, показана возможность экспериментального исследования зависимости коэффициента усиления γ предметной световой волны от эффективной толщины d кристалла и времени t взаимодействия в нем световых пучков при использовании только одного кристаллического образца. Исследования реализованы на кристалле ВГО среза $(\bar{1}\bar{1}0)$ толщины 16 мм для азимутов линейной поляризации световых пучков $\Psi_0 = 0$ и 90° и углов пространственной ориентации образца $\theta = 45^\circ$ и 70° . Установлено, что увеличение времени взаимодействия в кристалле световых пучков ведет к монотонному возрастанию коэффициента усиления предметной световой волны при различных значениях эффективной толщины кристалла, а сама голографическая решетка при выбранных условиях проведения эксперимента выходит на стационар в течение промежутка времени примерно равного 150 с. При этом наблюдаемый гофрированный характер поверхностей $\gamma(t, d)$ обусловлен оптической активностью кристалла и существенно зависит от значения Ψ_0 .

Список использованных источников

1. Holographic interferometric vibration measurement based on photorefractive crystal in diffusion mode / J. Gao [et al.] // Optics Express. – 2024. – Vol. 32, № 17. – P. 30100–30113.
2. Tao, L. Study of material properties important for an optical property modulation-based radiation detection method for positron emission tomography / L. Tao, H.M. Daghighian, C.S. Levin // Journal of Medical Imaging. – 2017. – Vol. 4, № 1. – P. 011010-1–011010-7.
3. Photorefractive digital holographic microscopy applied in microstructures analysis / I.V. Brito [et al.] // Optics Communications. – 2013. – Vol. 286, № 1. – P. 103–110.
4. Gloria, I.B. Generation and practical controlling of adaptative structured photorefractive moiré patterns for optical metrology applications / I.B. Glória, G.N. de Oliveira, P.A. M. dos Santos // Applied Optics. – 2024. – Vol. 63, № 33. – P. 8717–8722.