

А. В. МАКАРЕВИЧ, О. В. ЗУБОК, В. В. ШЕПЕЛЕВИЧ
МГПУ им. И.П. Шамякина (г. Мозырь, Беларусь)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОРИЕНТАЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ КРИСТАЛЛА ВТО

В недавно вышедших работах (см. например, [1, 2]) было сообщено о том, что в фоторефрактивном кристалле (ФРК) $\text{Vt}_{12}\text{TiO}_{20}$ (ВТО) наряду с фазовой голографической решеткой может существовать амплитудная решетка, формирование которой, как известно, обусловлено периодическими пространственными изменениями коэффициента поглощения кристалла под действием интерференционного поля [3]. В связи с этим при теоретическом исследовании дифракционной эффективности смешанных голограмм, представляющих собой совокупность фазовой и амплитудной голографических решеток [4], а также для удовлетворительной интерпретации получаемых при изучении кристалла ВТО экспериментальных данных необходимо знать точное численное значение коэффициента поглощения для конкретного образца. В то же время в известной литературе (например, [5]) значение коэффициента поглощения кристалла ВТО для длины волны 633 нм дано в пределах от 30 м^{-1} до 50 м^{-1} , что не дает однозначной информации для конкретного образца. Известно, что в линейной оптике коэффициент поглощения кристалла кубической симметрии не зависит от направления распространения световой волны. Однако при формировании фазовой голограммы в кристалле возникает внутреннее электрическое поле, которое может воздействовать не только на тензор диэлектрической проницаемости кристалла, но и на его коэффициент поглощения. Поэтому принципиально возможно нарушение изотропного характера коэффициента поглощения кристалла.

Целью настоящей работы было изучить возможную зависимость коэффициента поглощения образца кристалла ВТО от ориентационного угла кристалла в срезе (110), который использовался для записи смешанных пропускающих голограмм, а также определить величину коэффициента поглощения этого образца.

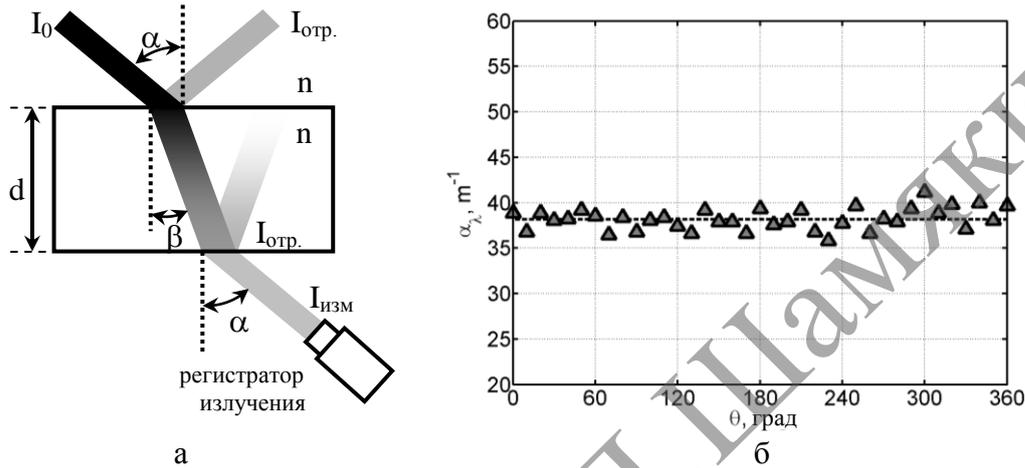
Известно (см., например, [6]), что ослабление интенсивности электромагнитного излучения по мере его распространения через поглощающую среду описывается законом Бугера. При этом для экспериментального измерения коэффициента поглощения α_λ , зависящего от длины волны, в случае плоскопараллельной оптически однородной среды (далее кристалла ВТО) закон Бугера может быть представлен в виде:

$$\alpha_\lambda = - \frac{\ln \left(\frac{I_{\text{изм.}}}{I_0 T_1 T_2} \right) \sqrt{1 - \left(\frac{n_1 \sin \alpha}{n_2} \right)^2}}{d}, \quad (1)$$

где I_0 – начальная интенсивность пучка до вхождения в кристалл,

$I_{\text{изм.}}$ – измеряемая величина интенсивности пучка после прохождения кристалла,
 α – угол падения пучка на лицевую (первую) грань кристалла,
 n_1 – абсолютный показатель преломления воздуха (полагался равным единице),
 n_2 – абсолютный показатель преломления кристалла,
 d – толщина кристалла,
 T_1 и T_2 – коэффициенты пропускания пучка (по интенсивности) первой и второй гранями кристалла соответственно.

Для наглядности на рисунке 1а представлена геометрия распространения светового пучка при проведении подобных экспериментальных исследований. Здесь $I_{\text{отр.1}}$ и $I_{\text{отр.2}}$ – интенсивности отраженных от лицевой (первой) и задней (второй) граней кристалла частей распространяющегося светового пучка, α – угол падения светового пучка на кристалл, β – угол преломления пучка в кристалле.



а) – геометрия распространения светового пучка при прохождении его через кристалл ВТО; б) – экспериментально полученная зависимость коэффициента поглощения кристалла ВТО от его пространственной ориентации, характеризуемой ориентационным углом θ , где \blacktriangle – экспериментальные точки, а пунктирная горизонтальная линия определяет усредненное значение коэффициента поглощения

Рисунок 1 – Экспериментальное исследование коэффициента поглощения кристалла ВТО

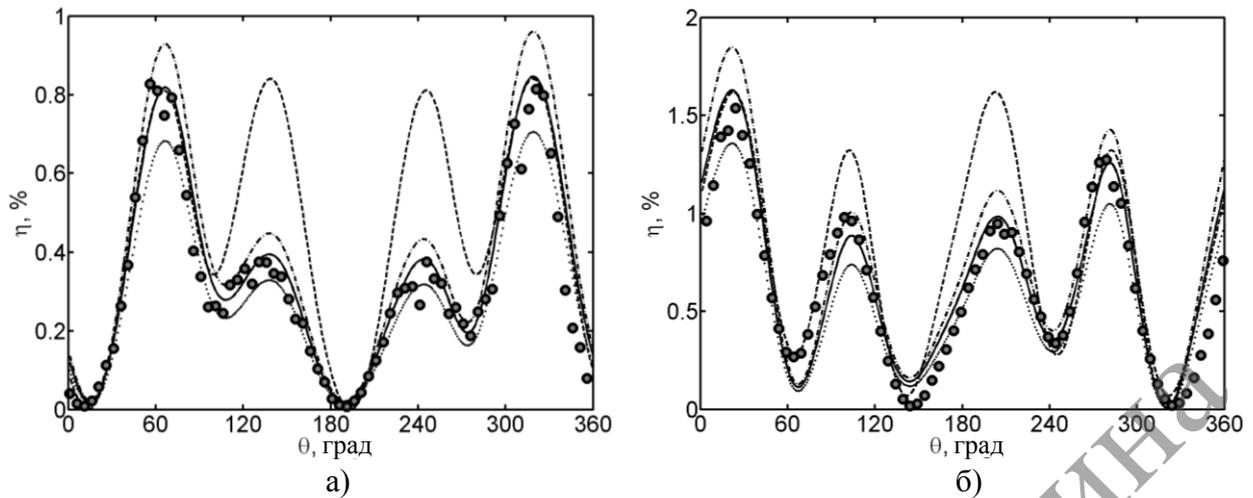
Отметим, что в случае исследования коэффициента поглощения ФРК необходимым является условие освещения кристалла световым пучком, направленным под углом к его лицевой грани, так как в случае его нормального падения на кристалл при многократных отражениях от двух граней будет происходить интерференция когерентных волн, приводящая к формированию в кристалле голографической решетки, которая в свою очередь будет обеспечивать перенос энергии электромагнитного излучения. При этом, как известно, величина переноса энергии излучения будет непосредственно зависеть от пространственной ориентации кристалла [7].

На рисунке 1б представлены экспериментальные данные зависимости коэффициента поглощения кристалла ВТО среза (110) от его пространственной ориентации для длины волны $\lambda = 632,8$ нм. Методика проведения эксперимента заключалась в следующем. По истечении промежутка времени $\tau \approx 30$ с (см. также [8]), в течение которого происходило непрерывное освещение кристалла ВТО лазерным пучком, открывалась светочувствительная часть фотодиода ФД-7К, выступающего в качестве регистратора излучения и соединенного непосредственно с цифровым вольтметром, показания которого фиксировались. После этого светочувствительная часть фотодиода снова перекрывалась и производился поворот кристалла на 10° . При проведении исследования лазерный пучок был поляризован в плоскости падения, а экспериментально измеренная величина удельного вращения плоскости поляризации ρ составляла 112 рад/м и принималась во внимание при расчете коэффициента пропускания T_2 .

В результате проведенного исследования было выявлено, что коэффициент поглощения почти не зависит от пространственной ориентации кристалла, а его усредненное значение для данного образца ВТО составляет $38,2 \text{ м}^{-1}$ и принадлежит интервалу возможных значений из [5].

С учетом полученного значения коэффициента поглощения на рисунке 2 представлены теоретические и экспериментальные данные зависимости дифракционной эффективности смешанных голограмм, сформированных в кристалле ВТО среза (110) толщиной $7,7$ мм, от пространственной ориентации кристалла. Все параметры кристалла ВТО взяты из [9].

Таким образом, выявлено, что коэффициент поглощения кристалла ВТО почти не зависит от пространственной ориентации кристалла, а найденное в этой работе его точное значение способствует лучшему схождению результатов теории и эксперимента при исследовании ориентационной зависимости дифракционной эффективности смешанных голографических решеток, сформированных в кристалле данного типа.



Штриховая линия – без учета вклада амплитудной решетки; сплошная линия – с учетом вклада амплитудной решетки при $\alpha_\lambda = 38,2 \text{ м}^{-1}$; штрих-пунктирная линия – с учетом вклада амплитудной решетки при $\alpha_\lambda = 30 \text{ м}^{-1}$; пунктирная линия – с учетом вклада амплитудной решетки при $\alpha_\lambda = 50 \text{ м}^{-1}$; • – экспериментальные данные
Рисунок 2 – Зависимости дифракционной эффективности η голограмм, записанных в кристалле ВТО, от ориентационного угла θ при начальных азимутах поляризации считывающего пучка $\psi_0 = 0$ (а) и $\psi_0 = 90^\circ$ (б)

ЛИТЕРАТУРА

1. Шандаров, С.М. Обнаружение вклада обратного флексоэлектрического эффекта в фоторефрактивный отклик в монокристалле титаната висмута / С.М. Шандаров, С.С. Шамаков, Н.И. Буримов [и др.] // Письма в ЖЭТФ. – 2012. – Т. 95, № 12. – С. 699–702.
2. Contribution of the inverse flexoelectric effect to counterpropagating two-wave mixing of light beams in photorefractive crystals / S.M. Shandarov, S.S. Shmakov [et al.] // J. Opt. Technol. – 2013. – Vol. 80, № 7. – P. 409–414.
3. Андреева, О.В. Прикладная голография: учебное пособие / О.В. Андреева. – СПб.: СПбГУИТМО, 2008. – 184 с.
4. Montemezzani, G. Light diffraction at mixed phase and absorption gratings in anisotropic media for arbitrary geometries / G. Montemezzani, M. Zgonik // Phys. Rev. E. – 1997. – Vol. 55, № 1. – P. 1035–1047.
5. Петров, М.П. Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике / М.П. Петров, С.И. Степанов, А.В. Хоменко. – СПб.: Наука. С.-Петербургское отд-ние, 1992. – 320 с.
6. Ландсберг, Г.С. Оптика / Г.С. Ландсберг. – М.: Наука, 1976. – 926 с.
7. Шепелевич, В.В. Голография в фоторефрактивных оптически активных кристаллах: монография / В.В. Шепелевич. – Минск: Изд. центр БГУ, 2012. – 254 с.
8. Шепелевич, В.В. Одновременная дифракция двух световых волн в кубических фоторефрактивных пьезокристаллах / В.В. Шепелевич, Н.Н. Егоров // Письма в ЖТФ. – 1991. – Т. 17, № 5. – С. 24–27.
9. Diffusion recording in photorefractive sillenite crystals: an analytical approach for engineering purposes / E. Shamonina [et al.] // Opt. Commun. – 2000. – Vol. 180, № 1-3. – P. 183–190.