

М. В. ДУБИНА¹, А. В. МАКАРЕВИЧ¹, В. В. ШЕПЕЛЕВИЧ¹, С. М. ШАНДАРОВ²

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

²ТУСУР (г. Томск, Россия)

ОЦЕНКА ВКЛАДА АМПЛИТУДНОЙ РЕШЕТКИ В ГОЛОГРАММУ, ЗАПИСАННУЮ В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ КРИСТАЛЛЕ $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ СРЕЗА (110)

В ряде работ, например [1], указывается на возможность одновременного существования амплитудной и фазовой решеток в различных средах, используемых для записи голограмм. В зависимости от того, каким образом протекает процесс записи каждой из решеток в конкретной среде, они вносят различные вклады в результирующую голограмму, в частности, в зависимости от величины фазового сдвига между амплитудной и фазовой составляющими смешанной голограммы может происходить увеличение или уменьшение дифракционной эффективности. В [1] показано влияние фазового сдвига между фазовой и амплитудной решетками на зависимость результирующей дифракционной эффективности от толщины среды.

В [2] рассмотрено влияние на процесс записи голограмм в GaAs нелинейного поглощения, благодаря которому в этом фоторефрактивном кристалле наряду с фазовой решеткой возникает амплитудная решетка, причем вклад последней настолько значительный, что возникает необходимость его обязательного учета. Важность этого учета подчеркивается представленными в работе графическими зависимостями дифракционной эффективности от ориентационного угла θ .

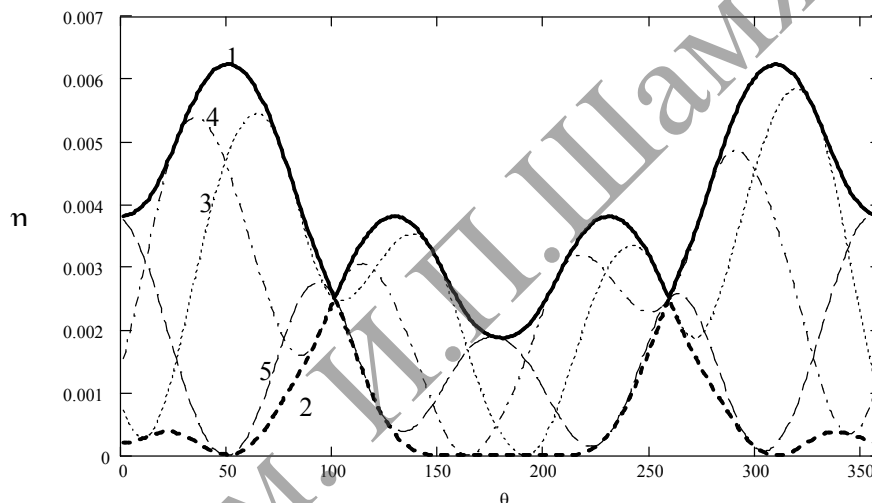
В последнее время в целях динамической голографии (например, в голографической интерферометрии) в качестве рабочей среды зачастую используют фоторефрактивные кристаллы типа силленитов. Известно, что для эффективного использования кристаллов данного типа необходимо оптимизировать условия их эксплуатации, в частности определить пространственные ориентации кристаллов, при которых дифракционная эффективность записанных в них голограмм достигает максимальных значений. Поскольку в некоторых фоторефрактивных кристаллах существует механизм регистрации амплитудной решетки, а ее вклад, как отмечалось выше, значителен, то нами была произведена оценка вклада амплитудной решетки в голограмму, записанную в фоторефрактивном кристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ (ВТО) среза (110). Для этого механизм, описывающий формирование голограмм в фоторефрактивных кристаллах, был расширен путем учета вклада амплитудной решетки и поглощения энергии светового пучка по мере его прохождения через кристалл, при этом система линейных дифференциальных уравнений, описывающая процессы, происходящие в ФРК при двуволновом взаимодействии, в случае симметричного падения пучков приняла вид:

$$\begin{cases} \frac{dR_{\perp}}{dz} = -pR_{\perp} + \rho R_{\parallel} + i \cdot \left(i \frac{\varepsilon_i}{\cos \varphi} + e^{-i\delta} \chi_1 \right) S_{\perp} + i \cdot e^{-i\delta} \chi_2 S_{\parallel}, \\ \frac{dR_{\parallel}}{dz} = -\rho R_{\perp} - pR_{\parallel} + e^{-i\delta} \chi_3 S_{\perp} + i \cdot \left(i \frac{\varepsilon_i \cos 2\varphi}{\cos \varphi} + e^{-i\delta} \chi_4 \right) S_{\parallel}, \\ \frac{dS_{\perp}}{dz} = i \cdot \left(i \frac{\varepsilon_i}{\cos \varphi} + e^{i\delta} \chi_1 \right) R_{\perp} + i \cdot e^{i\delta} \chi_3 R_{\parallel} - pS_{\perp} + \rho S_{\parallel}, \\ \frac{dS_{\parallel}}{dz} = i \cdot e^{i\delta} \chi_2 R_{\perp} + i \cdot \left(i \frac{\varepsilon_i \cos 2\varphi}{\cos \varphi} + e^{i\delta} \chi_4 \right) R_{\parallel} - \rho S_{\perp} - pS_{\parallel}. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь введены обозначения $\rho = \frac{\alpha}{\cos \varphi}$, где α – удельное вращение плоскости поляризации кристалла на длине волны считывающего света; φ – брэгговский угол опорной и предметной волн; p – коэффициент поглощения среды; ε_i – амплитуда пространственной модуляции мнимой (imagine) части диэлектрической проницаемости, значение которой отвечает за амплитудную решетку; δ – фазовый сдвиг фазовой составляющей голографической решетки относительно амплитудной решетки; R_{\parallel} , S_{\parallel} (R_{\perp} , S_{\perp}) – составляющие векторов напряженности электрического поля предметной и опорной волн соответственно, лежащие в плоскости падения (перпендикулярные плоскости падения) этих волн на поверхность кристалла, χ_j ($j = 1, 2, 3, 4$) – постоянные связи.

Путем решения системы дифференциальных уравнений (1) численными методами получены зависимости максимальной дифракционной эффективности от ориентационного угла θ при различных азимутах поляризации ψ (рисунок). Параметры кристалла, использованные при построении

зависимостей, представленных на рисунке 1: пьезоэлектрический коэффициент $e_{14} = 1,1 \text{ Кл/м}^2$ электрооптический коэффициент $r_{41}^S = 4,75 \text{ пм/В}$; фотоупругие постоянные $p_{11} = -0,055$; $p_{44}^E = 0,0035$; $p_{12} + p_{13} = 0,295$; коэффициенты упругости $c_{11} = 12,5 \times 10^{10} \text{ Н/м}^2$; $c_{12} = 2,75 \times 10^{10} \text{ Н/м}^2$; $c_{44}^E = 2,42 \times 10^{10} \text{ Н/м}^2$; $\rho = 6,3 \text{ град/мм}$; показатель преломления $n = 2.58$ [3]; $\varepsilon_i = 1,6 \text{ м}^{-1}$; коэффициент поглощения $p = 40 \text{ м}^{-1}$; толщина кристалла $h = 7,7 \text{ мм}$; угол Брэгга вне кристалла $\varphi = 30^\circ$; электрическое поле решетки $E_g = 4,75 \cdot 10^4 \text{ В/м}$; фазовый сдвиг фазовой решетки относительно амплитудной $\delta = 90^\circ$



1 – зависимость максимальных значений дифракционной эффективности от ориентационного угла; 2 – зависимость минимальных значений дифракционной эффективности от ориентационного угла; 3 – зависимость $\eta(\theta)$ при азимуте линейной поляризации $\psi = 0$; 4 – зависимость $\eta(\theta)$ при $\psi = 60^\circ$; 5 – зависимость $\eta(\theta)$ при $\psi = 120^\circ$

Рисунок – Зависимость дифракционной эффективности η смешанных голограмм в кристалле ВТО от ориентационного угла θ

Полученные зависимости дифракционной эффективности от ориентационного угла θ позволяют определить ориентации кристалла, при которых дифракционная эффективность записанных в них голограмм достигает максимальных значений, причем качественно эти зависимости отличаются от аналогичных зависимостей, не учитывающих абсорбционную составляющую голограммы, что подтверждает значимость такого учета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Montemezzani, G. Light diffraction at mixed phase and absorption gratings in anisotropic media for arbitrary geometries / G. Montemezzani, M. Zgonik // Physical review E. – 1997. – Vol. 55, № 1. – P. 1035–1047.
2. Contribution of nonlinear absorption and elasto-optic effect in photorefractive grating recording in GaAs / K. Shcherbin [et al.] // Opt. Soc. Am. B. – 1996. – Vol. 13, № 10. – P. 2268–2277.
3. 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.