

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕМНЫХ ПУЧКОВ В КУБИЧЕСКОМ ОПТИЧЕСКИ АКТИВНОМ ФОТОРЕФРАКТИВНОМ ПЬЕЗОКРИСТАЛЛЕ

Результаты исследования квазисолитонного распространения одномерных пространственных темных пучков позволяют находить способы создания волноводных структур, которые могут канализовать более мощные светлые пучки либо изменять их конфигурацию путем разделения на несколько пучков [1].

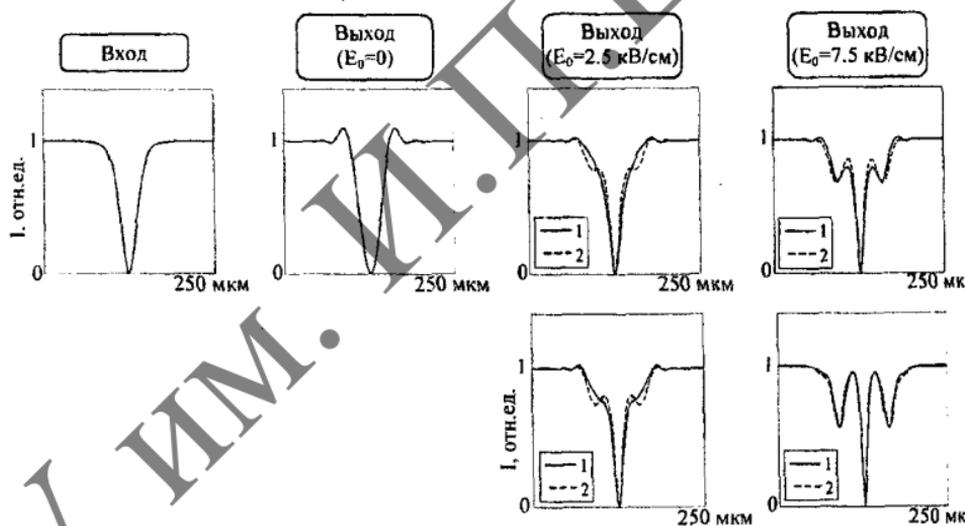
Пусть темный пучок падает на кубический оптически активный фоторефрактивный пьезокристалл  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  (BSO) среза  $(\bar{1}\bar{1}0)$  толщиной 10 мм, к которому приложено постоянное внешнее электрическое поле  $\vec{E}_0$ . Рассмотрим случай, когда вектор  $\vec{E}_0$  параллелен кристаллографическому направлению  $[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$  ( $\theta \approx 35.3^\circ$ , где  $\theta$  — ориентационный угол, отсчитываемый по часовой стрелке от направления  $[\bar{1}\bar{1}0]$  к вектору внешнего электрического поля).

С помощью уравнений Максвелла, уравнений связи для оптически активной среды и выражений компонент диэлектрического тензора [2, 3] в параксиальном приближении можно получить следующие уравнения для составляющих векторной огибающей светового пучка  $\vec{A}(x, z)$  [2]

$$\begin{cases} i \frac{\partial A_x}{\partial z} + \frac{1}{2k_0 n_0} \frac{\partial^2 A_x}{\partial x^2} - \frac{k_0 n_0^3}{2} r_{41}^T E_0 (\mu_1 A_x + \mu_2 A_y) + \\ \quad + \frac{k_0 n_0^3}{2} r_{41}^S E_0 \frac{(I_\infty + I_d)}{I_d + I(x, z)} (\eta_1 A_x + \eta_2 A_y) - i p A_y = 0, \\ i \frac{\partial A_y}{\partial z} + \frac{1}{2k_0 n_0} \frac{\partial^2 A_y}{\partial x^2} - \frac{k_0 n_0^3}{2} r_{41}^T E_0 (\mu_2 A_x + \mu_3 A_y) + \\ \quad + \frac{k_0 n_0^3}{2} r_{41}^S E_0 \frac{(I_\infty + I_d)}{I_d + I(x, z)} (\eta_2 A_x + \eta_3 A_y) - i p A_x = 0, \end{cases}$$

описывающие распространение одномерного темного нечетного пучка в кристалле, где  $k_0$  – длина волнового вектора световой волны в вакууме,  $n_0$  – невозмущенный показатель преломления кристалла,  $I_d$  – темновая интенсивность,  $I(x,z)$  – интенсивность светового пучка,  $I_\infty$  – значение интенсивности светового пучка при  $x \rightarrow \pm \infty$ ,  $\rho$  – удельное вращение плоскости поляризации в кристалле,  $\vec{e}_z$  – единичный вектор, направленный вдоль оси  $z$ ,  $r_{41}^S$  и  $r_{41}^T$  – электрооптические коэффициенты механически зажатого и свободного кристалла соответственно. Входящие в систему уравнений (1) коэффициенты  $\mu_i$  и  $\eta_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) для рассматриваемой ориентации кристалла определяются выражениями эквивалентными формулам, полученным в [3].

Для численного моделирования используем коэффициенты упругости и фотоупругие постоянные кристалла BSO на длине волны  $\lambda = 0.6328$  мкм из работы [4]. В качестве формы входного темного нечетного пучка использовался  $\tanh$ -подобный профиль  $A(x) = \tanh(x/x_0)$  [5] (рисунок, столбец 1), где  $x_0 = 20$  мкм – ширина на половине максимальной относительной интенсивности [1].



Кривая 1 –  $\rho = 22$  град/мм, кривая 2 –  $\rho = 0$

**Рисунок – Поперечные профили относительной интенсивности темного пучка на входе (столбец 1) и выходе из кристалла BSO (столбцы 2–4), полученные без учета (верхний ряд) и с учетом (нижний ряд) пьезоэлектрического эффекта**

Как видно из результатов численного моделирования в отсутствие внешнего электрического поля ширина темного пучка увеличивается (рисунок, столбец 2). Так как на входе в кристалл и на выходе и

кристалла, в отсутствие внешнего электрического поля кривые относительной интенсивности темного пучка, полученные без учета и с учетом пьезоэлектрического эффекта, совпадают, два нижних графика в столбцах 1 и 2 не показаны.

При значении внешнего электрического поля, приложенного к кристаллу,  $E_0 = 2.5$  кВ/см полная ширина на половине максимальной относительной интенсивности темного пучка без учета пьезоэлектрического эффекта (рисунок, верхний ряд, столбец 3) и с учетом пьезоэлектрического эффекта (рисунок, нижний ряд, столбец 3) качественно похожи. При  $E_0 = 7.5$  кВ/см (рисунок, столбец 4) с помощью численного моделирования можно наблюдать формирование множественных темных солитонов третьего порядка.

Из сравнения кривых, полученных в ходе численного моделирования без учета (рисунок, верхний ряд) и с учетом пьезоэлектрического эффекта (рисунок, нижний ряд), видно, что влияние пьезоэлектрического эффекта, за счет которого дополнительно изменяется диэлектрическая проницаемость кристалла, при теоретическом анализе приводит к большему углублению темных полос, расположенных симметрично около центральной темной полосы. В результате проведения численных расчетов установлено, что без учета пьезоэлектрического эффекта можно также получить результаты распределения относительной интенсивности, близкие к результатам на рисунке, верхний ряд, 4-ый столбец. Однако при этом необходимо увеличение внешнего электрического поля, приложенного к кристаллу, до значения  $E_0 = 10$  кВ/см.

Таким образом, с помощью численного моделирования показано влияние внешнего электрического поля на распространение одномерного темного нечетного пучка в кубическом оптически активном фоторефрактивном пьезокристалле BSO толщиной 10 мм.

#### Литература

1. (1+1)-Dimension dark spatial solitons in photorefractive  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  crystal / Iturbe Castillo M.D. [et al.] // Opt. Commun. – 1995. – V. 118. N. 5-6. – P. 515–519.
2. Самовоздействие световых пучков в кристаллах силленитов среза (112) / О.А.Кашин [и др.] // Известия РАН. Серия физическая. – 2006. – Т. 70, № 12. – С. 1748–1751.
3. Influence of the optical activity on self-bending of a light beam in cubic photorefractive crystals in an external alternating-sign electric field / O.A. Kashin [et al.] // Russian Physics Journal. – 2004. – V. 47, № 7. – P. 713–720.
4. Stepanov, S.I. Photoelastic contribution to the photorefractive effect in cubic crystals / S.I. Stepanov, S.M. Shandarov, N.D. Khatkov // Sov. Phys. Solid State. – 1987. – V. 29, № 10. – P. 1754–1756.
5. Кившарь, Ю.С. Оптические солитоны. От волоконных световодов до фотонных кристаллов / Ю.С. Кившарь, Г.П. Агравал; пер. с англ.; под ред. Н.Н. Розанова. – М.: Физматлит, 2005. – 648 с.