

УДК 535.42

## Распространение одномерных и двумерных световых пучков различных профилей в фоторефрактивном оптически активном кристалле

В. В. ДАВЫДОВСКАЯ, Ж. В. КОЛЯДКО, В. В. ШЕПЕЛЕВИЧ

Проведено сравнение закономерностей распространения одномерных и двумерных световых пучков в оптически активном фоторефрактивном кристалле  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  (BSO), помещенном во внешнее электрическое поле. Показано, что для получения квазисолитонного режима распространения одномерных и двумерных световых пучков с гауссовым и супергауссовым профилями необходимо использовать различное внешнее электрическое поле. Установлено, что оптическая активность оказывает существенное влияние на фокусировку пучка, что также проявляется в изменении значения напряженности внешнего электрического поля, необходимого для достижения квазисолитонного режима световыми пучками различного вида.

**Ключевые слова:** одномерные и двумерные световые пучки, фоторефрактивный кристалл, оптическая активность, квазисолитонный режим.

The paper compares the propagation laws of one- and two-dimensional light beams in optically active photorefractive  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  (BSO) crystal in an external electric field. It is shown that for the achievement of quasi-soliton conditions of spreading of one- and two-dimensional optical beams with the Gaussian and super-Gaussian profiles a different external electric field has to be used. It is established that the optical activity influences the focusing of the beam, which is also observed in the change of value of the external electric field strength required for the achievement of the quasi-soliton conditions by different light beams.

**Keywords:** one- and two-dimensional light beams, photorefractive crystal, optical activity, quasi-soliton conditions.

### Введение

Нахождение оптимальных условий для достижения квазисолитонного режима распространения световых пучков является актуальной проблемой физики солитонов. Квазисолитонный режим может быть достигнут изменением характеристик фоторефрактивного кристалла, значения напряженности внешнего, приложенного к кристаллу, электрического поля, параметров входных световых пучков.

Например, в статье [1] для достижения квазисолитонного режима изменялись параметры входных пучков при неизменном внешнем электрическом поле. В данной работе параметры входных пучков остаются постоянными, а квазисолитонный режим достигается изменением значения внешнего электрического поля. При этом исследуется влияние оптической активности кристалла на распространение одномерных ((1+1)-D) и двумерных ((2+1)-D) световых пучков с гауссовым и супергауссовым [2; 3] распределениями интенсивностей.

Найдем значения напряженности внешнего электрического поля  $E_0$ , при которых будет наблюдаться квазисолитонный режим распространения одномерных и двумерных световых пучков с гауссовым и супергауссовым профилями в кристалле BSO толщиной 10 мм без учета оптической активности и с ее учетом.

Для исследования распространения одномерных и двумерных световых пучков с длиной волны  $\lambda = 0.6328$  мкм и радиусом перетяжки  $r_0 = 15$  мкм будем использовать следующие параметры кристалла BSO: показатель преломления  $n_0 = 2.54$ , электрооптический коэффициент  $r_{41} = 5 \cdot 10^{-12}$  м/В, удельное вращение кристалла  $\rho = 22$  град/мм. Рассмотрим случай, когда внешнее электрическое поле  $\vec{E}_0$  параллельно кристаллографическому направлению  $[1\bar{1}\bar{1}]$  (рис. 1) и падающий на кристалл пучок поляризован вдоль оси  $x$ .

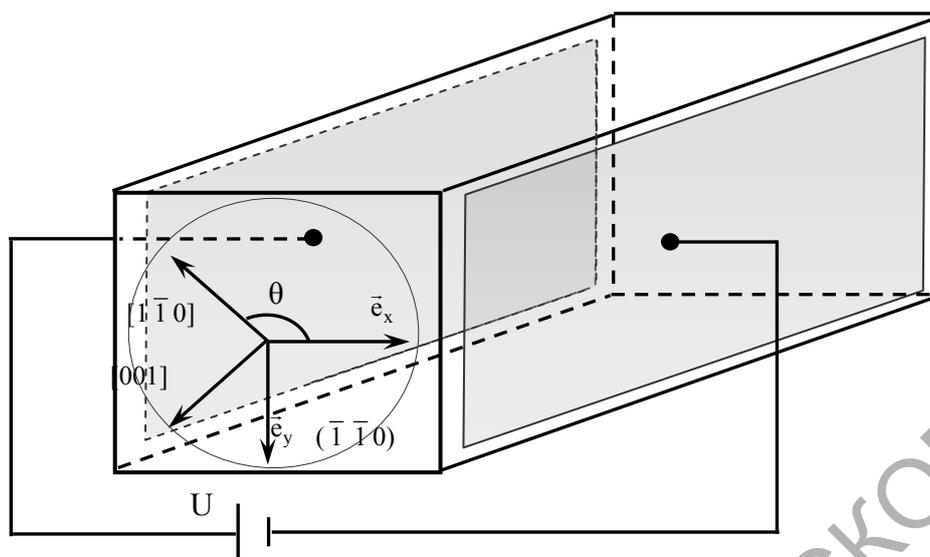


Рисунок 1 – Расположение рабочей системы координат по отношению к кристаллографическим направлениям

### 1 Одномерный световой пучок

Пусть на кристалл падает одномерный гауссов световой пучок.

Если не учитывать оптическую активность, то квазисолитонный режим распространения гауссова пучка достигается при значении внешнего электрического поля  $E_0 = 10.8$  кВ/см (рис. 2, а<sub>1</sub>). Учет оптической активности при тех же значениях параметров кристалла и поля приводит к уменьшению максимальной относительной интенсивности на выходе из кристалла (рис. 2, а<sub>2</sub>), т.е. выходу из квазисолитонного режима. При этом для достижения квазисолитонного режима необходимо выбрать большее значение напряженности внешнего электрического поля  $E_0 = 16.9$  кВ/см (рис. 2, а<sub>3</sub>). При таком поле выключение оптической активности приводит к нарушению квазисолитонного режима распространения гауссова пучка, так как максимальная относительная интенсивность пучка на выходе увеличивается в 1.4 раза по сравнению со значением максимальной относительной интенсивности входного пучка (рис. 2, а<sub>4</sub>).

При падении на кристалл одномерных супергауссовых световых пучков наблюдается аналогичная картина (рис. 2, б<sub>1</sub>–б<sub>4</sub>), однако для достижения квазисолитонного режима распространения требуется меньшее электрическое поле. Квазисолитонный режим распространения супергауссова пучка без учета оптической активности достигается при значении внешнего электрического поля  $E_0 = 8.2$  кВ/см (рис. 2, б<sub>1</sub>). Из рис. 2, б<sub>2</sub> следует, что оптическая активность приводит к уменьшению значения максимальной относительной интенсивности светового пучка, поэтому для реализации квазисолитонного режима с учетом оптической активности необходимо увеличение внешнего электрического поля до значения  $E_0 = 15.3$  кВ/см (рис. 2, б<sub>3</sub>). Максимальная относительная интенсивность супергауссова пучка на выходе из кристалла увеличивается в 1.6 раз (рис. 2, б<sub>4</sub>), если при таком же значении напряженности внешнего электрического поля не учитывать оптическую активность.

Таким образом, оптическая активность при толщине кристалла 10 мм увеличивает расходимость как гауссова, так и супергауссова светового пучка. Однако супергауссов пучок рассеивается сильнее по сравнению с гауссовым, поэтому для достижения квазисолитонного режима распространения супергауссова пучка с учетом оптической активности требуется большее, чем в случае гауссова пучка, увеличение значения внешнего электрического поля для достижения квазисолитонного режима (с  $E_0 = 8.2$  кВ/см (рис. 2, б<sub>1</sub>) до  $E_0 = 15.3$  кВ/см (рис. 2, б<sub>3</sub>)).

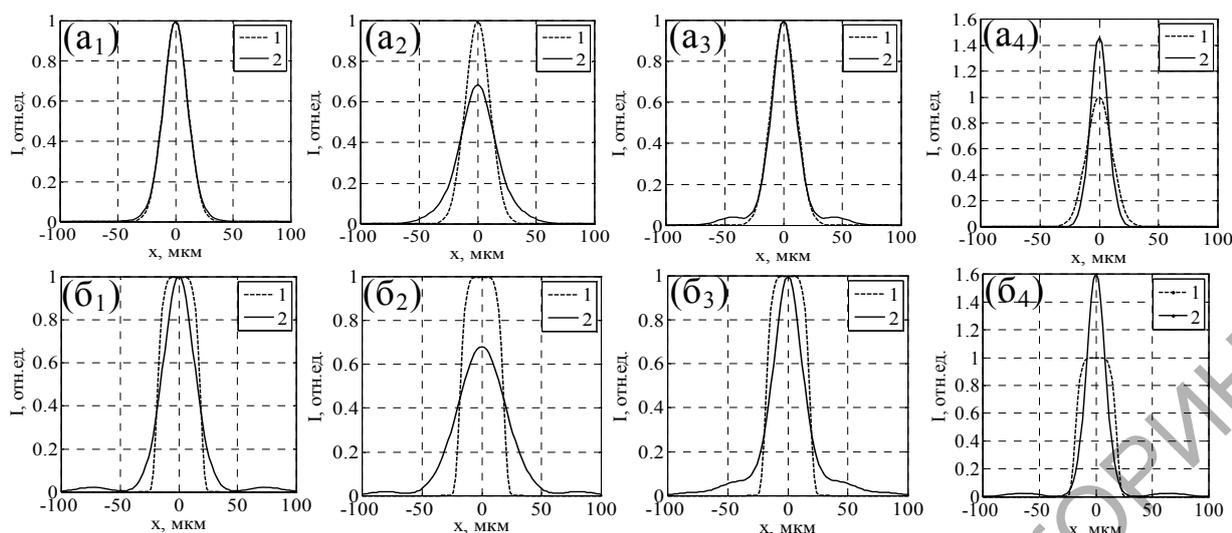


Рисунок 2 – Выбор внешнего электрического поля для достижения квазисолитонного режима распространения одномерных гауссовых (а<sub>1</sub> – а<sub>4</sub>) и супергауссовых (б<sub>1</sub> – б<sub>4</sub>) световых пучков в кристалле BSO толщиной 10 мм без учета и с учетом оптической активности (кривая 1 – относительная интенсивность пучка на входе в кристалл, кривая 2 – на выходе).

(а<sub>1</sub>):  $\rho = 0$ ,  $E_0 = 10.8$  кВ/см; (а<sub>2</sub>):  $\rho = 22$  град/мм,  $E_0 = 10.8$  кВ/см; (а<sub>3</sub>):  $\rho = 22$  град/мм,  $E_0 = 16.9$  кВ/см; (а<sub>4</sub>):  $\rho = 0$ ,  $E_0 = 16.9$  кВ/см; (б<sub>1</sub>):  $\rho = 0$ ,  $E_0 = 8.2$  кВ/см; (б<sub>2</sub>):  $\rho = 22$  град/мм,  $E_0 = 8.2$  кВ/см; (б<sub>3</sub>):  $\rho = 22$  град/мм,  $E_0 = 15.3$  кВ/см; (б<sub>4</sub>):  $\rho = 0$ ,  $E_0 = 15.3$  кВ/см

## 2 Двумерный световой пучок

Проведем аналогичное исследование для двумерных гауссовых (рис. 3, а<sub>1</sub>) и супергауссовых (рис. 3, а<sub>2</sub>) световых пучков при сохранении параметров кристалла и светового пучка.

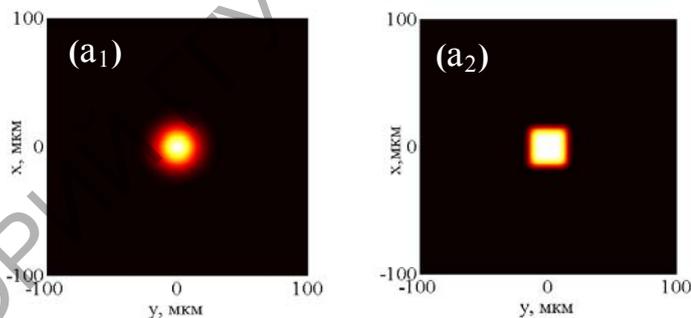


Рисунок 3 – Двумерные световые пучки на входе в кристалл  
(а<sub>1</sub>): гауссов пучок; (а<sub>2</sub>): супергауссов пучок

Если не учитывать оптическую активность, то квазисолитонный режим распространения двумерного гауссова и супергауссова пучков достигается при значениях внешнего электрического поля  $E_0 = 20$  кВ/см (рис. 4, а<sub>1</sub>, а<sub>2</sub>) и  $E_0 = 25.1$  кВ/см (рис. 4, в<sub>1</sub>, в<sub>2</sub>) соответственно. При учете оптической активности при тех же значениях параметров кристалла и поля наблюдается уменьшение максимальной относительной интенсивности световых пучков на выходе из кристалла (для гауссова пучка – рис. 4, а<sub>3</sub>, а<sub>4</sub>, для супергауссова пучка – рис. 4, в<sub>3</sub>, в<sub>4</sub>). Для реализации квазисолитонного режима с учетом оптической активности необходимо увеличение значения внешнего электрического поля до  $E_0 = 24$  кВ/см (рис. 4, б<sub>1</sub>, б<sub>2</sub>) для двумерного гауссова пучка и  $E_0 = 29.7$  кВ/см (рис. 4, г<sub>1</sub>, г<sub>2</sub>) для двумерного супергауссова пучка. Выключение оптической активности при таких значениях внешнего электрического поля разрушает квазисолитонный режим распространения гауссова (рис. 4, б<sub>3</sub>, б<sub>4</sub>) и супергауссова (рис. 4, г<sub>3</sub>, г<sub>4</sub>) пучков. На выходе из кристалла двумерный гауссов пучок принимает эллиптическую форму, он вытянут вдоль оси y (рис. 4, а<sub>1</sub>, а<sub>3</sub>, б<sub>1</sub>, б<sub>3</sub>).

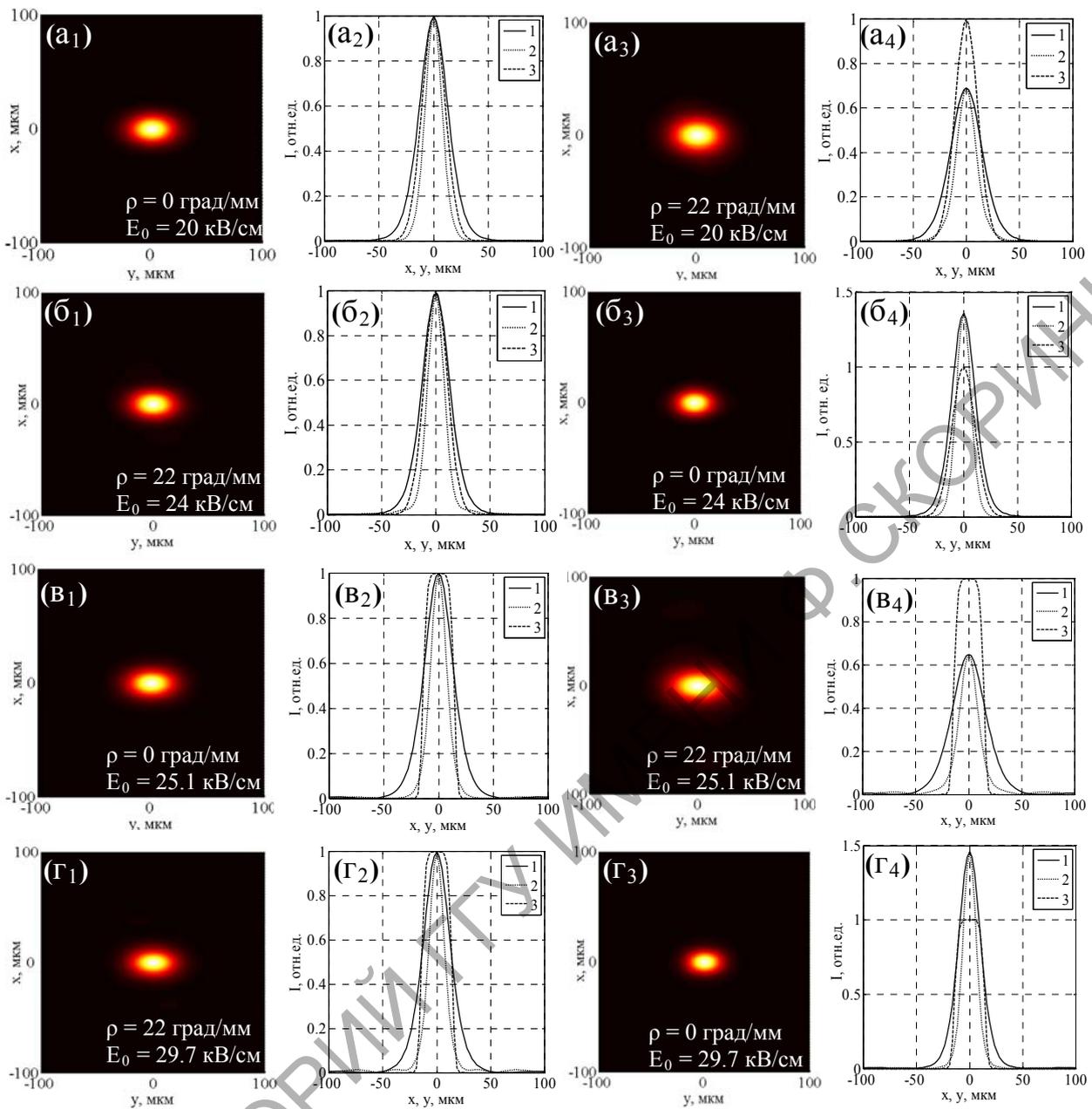


Рисунок 4 – Выбор внешнего электрического поля для достижения квазисолитонного режима распространения двумерных гауссовых (а<sub>1</sub> – б<sub>4</sub>) и супергауссовых (в<sub>1</sub> – г<sub>4</sub>) световых пучков в кристалле BSO толщиной 10 мм без учета и с учетом оптической активности. Для гауссова пучка: (а<sub>1</sub> – а<sub>2</sub>):  $\rho = 0$ ,  $E_0 = 20$  кВ/см; (а<sub>3</sub> – а<sub>4</sub>):  $\rho = 22$  град/мм,  $E_0 = 20$  кВ/см; (б<sub>1</sub> – б<sub>2</sub>):  $\rho = 22$  град/мм,  $E_0 = 24$  кВ/см; (б<sub>3</sub> – б<sub>4</sub>):  $\rho = 0$ ,  $E_0 = 24$  кВ/см. Для супергауссова пучка: (в<sub>1</sub> – в<sub>2</sub>):  $\rho = 0$ ,  $E_0 = 25.1$  кВ/см; (в<sub>3</sub> – в<sub>4</sub>):  $\rho = 22$  град/мм,  $E_0 = 25.1$  кВ/см; (г<sub>1</sub> – г<sub>2</sub>):  $\rho = 22$  град/мм,  $E_0 = 29.7$  кВ/см; (г<sub>3</sub> – г<sub>4</sub>):  $\rho = 0$ ,  $E_0 = 29.7$  кВ/см; (а<sub>1</sub>, а<sub>3</sub>, б<sub>1</sub>, б<sub>3</sub>) и (в<sub>1</sub>, в<sub>3</sub>, г<sub>1</sub>, г<sub>3</sub>) – гауссов и супергауссов световые пучки на выходе из кристалла, вид сверху; (а<sub>2</sub>, а<sub>4</sub>, б<sub>2</sub>, б<sub>4</sub>) и (в<sub>2</sub>, в<sub>4</sub>, г<sub>2</sub>, г<sub>4</sub>) – сечения гауссова и супергауссова пучков. Кривые 1, 2 – сечения пучков на выходе из кристалла плоскостями, параллельными плоскостям XOZ и YOZ, проходящими через точку, в которой достигается максимум интенсивности, кривая 3 – сечение входного пучка плоскостью, параллельной плоскости XOZ, проходящей через точку, в которой достигается максимум интенсивности (так как пучок на входе имеет симметричную форму, то это сечение совпадает с аналогичным сечением пучка плоскостью, параллельной плоскости YOZ)

Можно отметить, что для достижения квазисолитонного режима распространения двумерного супергауссова пучка без учета оптической активности требуется большее внешнее электрическое поле  $E_0 = 25.1$  кВ/см (рис. 4, в<sub>1</sub>, в<sub>2</sub>), чем для двумерного гауссова пучка

$E_0 = 20$  кВ/см (рис. 4,  $a_1, a_2$ ). На выходе из кристалла супергауссов пучок, так же, как и гауссов, принимает эллиптическую форму, он вытянут вдоль оси  $y$  (рис. 4,  $b_1, b_2, \Gamma_1, \Gamma_2$ ).

Следует отметить, что по сравнению с одномерным случаем, для достижения квазисолитонного режима распространения двумерного светового пучка с учетом оптической активности необходимо меньшее увеличение значения напряженности внешнего электрического поля, необходимого для достижения квазисолитонного режима без учета оптической активности (для двумерного гауссова пучка – с  $E_0 = 20$  кВ/см (рис. 4,  $a_1, a_2$ ) до  $E_0 = 24$  кВ/см (рис. 4,  $b_1, b_2$ ), для двумерного супергауссова пучка – с  $E_0 = 25.1$  кВ/см (рис. 4,  $v_1, v_2$ ) до  $E_0 = 29.7$  кВ/см (рис. 4,  $\Gamma_1, \Gamma_2$ )).

Из рисунков 2 и 4 можно сделать вывод, что при выбранных параметрах кристалла и световых пучков выгодней использовать одномерный либо двумерный гауссов пучок, так как при использовании таких входных пучков необходимо меньшее значение напряженности внешнего электрического поля для достижения квазисолитонного режима. Однако нельзя утверждать, что это условие выполняется при всех других параметрах кристалла, входных пучков и внешнего электрического поля.

### Заключение

Таким образом, в работе исследованы особенности распространения одномерных и двумерных световых пучков с гауссовым и супергауссовым распределениями интенсивностей в оптически активном фоторефрактивном кристалле BSO, помещенном во внешнее электрическое поле. Найдены значения внешнего поля для получения квазисолитонного режима распространения одномерных и двумерных световых пучков без учета и с учетом оптической активности. Показано, что при распространении двумерных световых пучков с гауссовым и супергауссовым профилями в фоторефрактивном кристалле необходимо приложить большее внешнее электрическое поле для достижения квазисолитонного режима, чем при распространении одномерных световых пучков с такими же параметрами.

Настоящая работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований Ф10-202.

### Литература

- 1 Shepelevich, V.V. Effect of optical activity on propagation of two-dimensional spatial solitons in cubic photorefractive crystals / V.V. Shepelevich [et. al.] // Quantum Electronics. – 2007. – № 37 (4). – P. 353–357.
- 2 Henderson, B.G. Laser Beam Shaping with Membrane Deformable Mirrors / B.G. Henderson, J.D. Mansell // Proc. SPIE. – 2008. – V. 10. – P. 7093–7103.
- 3 Cheng, Y.K. Design and Evaluation of Light Spread Function for Area-Adaptive LCD System / Y.K. Cheng, Y.H. Lu, C.H. Tien, H.P. Shieh // J. Display Technol. – 2009. – V. 5. – P. 66–72.