

**В.В. Давыдовская, В.Н. Навныко, А.В. Федорова, Д.С. Блоцкая, С.Н. Завалей**  
*Мозырский государственный педагогический университет имени И.П. Шамякина*

## **ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВИХРЕВОГО СВЕТОВОГО ПУЧКА В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ КРИСТАЛЛЕ**

В работе представлены результаты теоретического изучения динамики распространения вихревого светового пучка в фоторефрактивном кристалле SBN, особенностей образования филаментов и их взаимодействия, а также обоснована возможность использования данного светового пучка как волновода, выполненного на основе кристалла SBN, к которому приложено внешнее электрическое поле.

**Ключевые слова:** моделирование, распространение, фоторефрактивный кристалл, вихревой световой пучок, филамент, оптический волновод.

**Введение.** Актуальность использования квазисолитонных структур в фоторефрактивных кристаллах обусловлена развитием современных методов и устройств оптоэлектроники, требующих создания новых способов осуществления управляемой адресной локализации световых пучков.

В настоящее время большое внимание уделяется исследованию пространственных солитонов, так как в они способны передавать большие объёмы информации и распространяться практически без дифракционной расходимости и изменения формы светового пучка.

Разработка новых способов управления квазисолитонными сингулярными пучками с использованием фоторефрактивных кристаллов, установление механизмов, особенностей и закономерностей динамики преобразования вихревых пучков при их распространении и взаимодействии в средах с фоторефрактивной нелинейностью является актуальной задачей когерентной оптики [1].

Вихревые пучки могут быть полезными для многих приложений, таких как информационные технологии, микроскопия, оптические пинцеты и телекоммуникации, а также могут использоваться для создания запутанных состояний света и управления ими, что может быть использовано для разработки новых методов квантового вычисления и квантовой связи [2; 3].

Для моделирования распространения сингулярного пучка в кристалле SBN были использованы следующие параметры:  $n_e = 2,33$ ,  $r_{33} = 235$  пм/В,  $\lambda = 0,6314$  мкм,  $T = 295$  К [4; 5], использовалась модель сингулярного пучка, представленная в [6], характерный размер входного пучка  $r_0 = 20$  мкм, топологический заряд пучка  $m = 1$ .

Модуль напряжённости внешнего электрического поля, в которое помещён кристалл, равен  $E_0 = 0,5$  кВ/см. Максимальное значение относительной интенсивности сингулярного светового пучка на входе в кристалл  $I_{\max} = 1$  (рисунок 1).

При исследовании особенностей изменения светового поля по мере распространения сингулярного светового в фоторефрактивном кристалле SBN можно отметить образование двух независимых филаментов с их дальнейшим поворотом относительно оси пучка. При анализе угла поворота верхнего филамента, образовавшегося на оси  $ox$ , угол отсчитывался от данной оси против часовой стрелки.

При выбранных параметрах моделирования и толщине кристалла до 15 мм в значительной мере проявляется взаимодействие между образовавшимися филаментами (рисунок 2, а, б), это отражается на величине изменения, угла отклонения филамента. Так для верхнего филамента при изменении толщины кристалла от 10 мм до 15 мм оно составило порядка  $10^\circ$ .

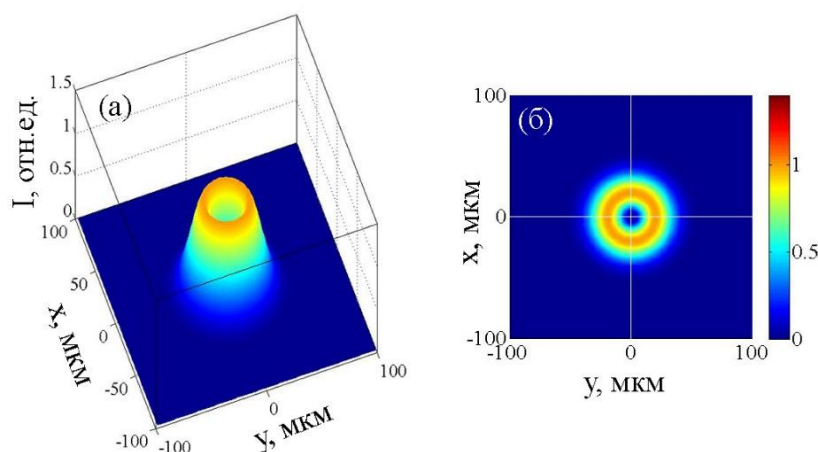


Рисунок 1 – Вид вихревого пучка на входе в кристалл; а – трехмерное модельное изображение зависимости  $I(x,y)$ ; б – распределение относительной интенсивности  $I(x,y)$  в пучке при наблюдении навстречу оси  $z$

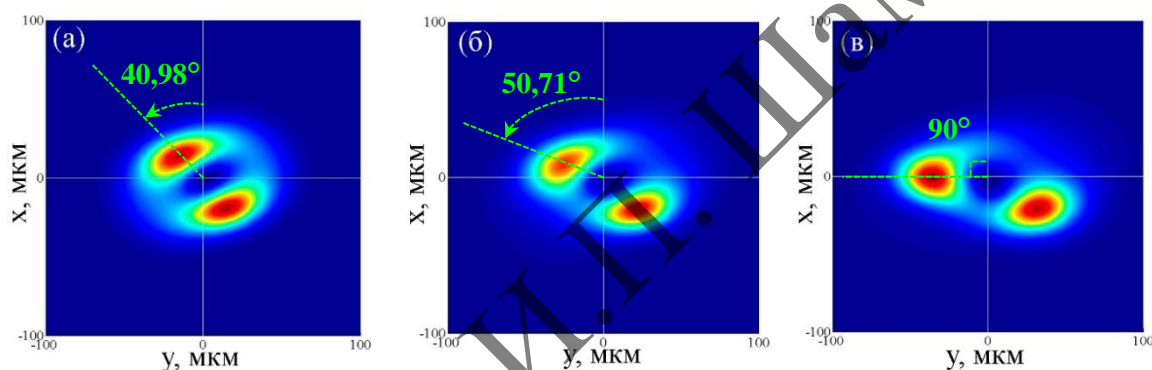


Рисунок 2 – Динамика распространения двумерного сингулярного пучка в фоторефрактивном кристалле SBN; а – толщина кристалла SBN  $z=10$  мм; б –  $z=15$  мм; в –  $z=20$  мм

При дальнейшем увеличении толщины кристалла расстояние между филаментами увеличивается, и степень их влияния друг на друга снижается, за счет этого степень поворота филамента увеличивается – при изменении толщины кристалла от 15 мм до 20 мм изменение угла поворота составило около  $40^\circ$  (рисунок 2, в).

Следует отметить, что при рассмотрении трехмерной модели распределения светового поля по толщине кристалла (рисунок 3, а–в) четкое формирование двух самостоятельных филаментов можно наблюдать при толщине кристалла превышающей 5 мм.

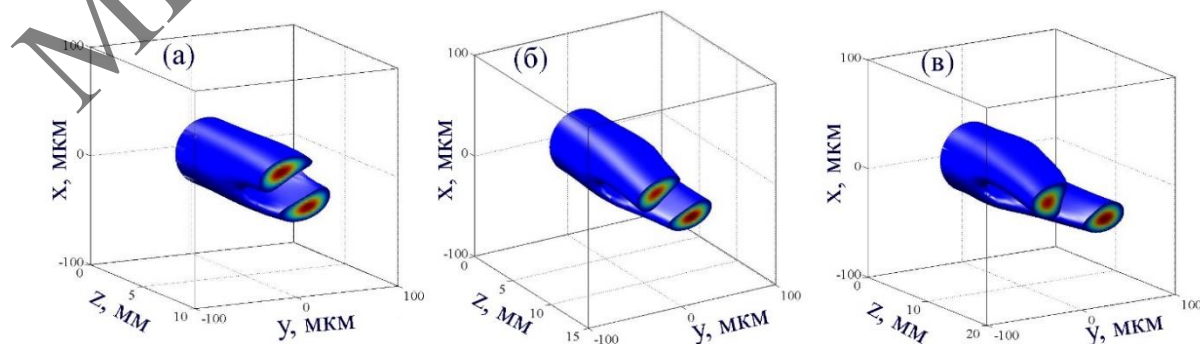
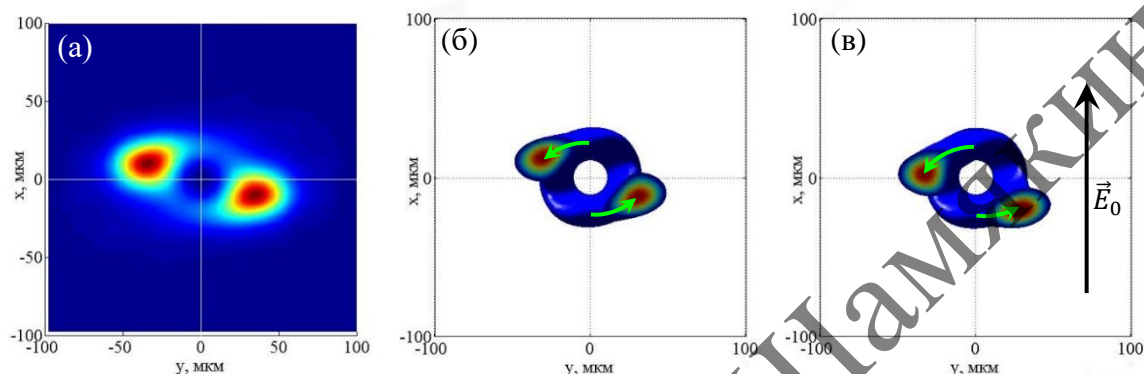


Рисунок 3 – Трехмерная модель; а – толщина кристалла SBN  $z=10$  мм; б –  $z=15$  мм; в –  $z=20$  мм

Следует отметить, что различие значений относительной интенсивности образовавшихся филаментов, которое отчетливо заметно на рисунке 2, а, б, которое также наблюдалось при экспериментальных исследованиях (см. напр., [7]) по аналогии с взаимодействием пучков можно также объяснить с помощью диффузионного механизма перемещения зарядов, который приводит к смещению филаментов против направления вектора напряженности внешнего электрического поля, приложенного к кристаллу SBN вдоль направления внешнего электрического поля.

Однако для верхнего филамента это смещение увеличивает поворот, который возникает за счет орбитального углового момента, для нижнего филамента наоборот компенсирует поворот филамента по часовой стрелке (рисунок 4, в).



**Рисунок 4 – Динамика распространения двумерного сингулярного пучка в фоторефрактивном кристалле SBN; а – б: толщина кристалла SBN  $z=20$  мм без учета диффузии; в:  $z=20$  мм с учетом диффузии**

Следствием этого является то, что образовавшиеся филаменты проходят в кристалле разный оптический путь, который приводит к появлению разности фаз между ними и, как следствие, к появлению энергетического обмена, что проявляется перекачке энергии от верхнего филамента к нижнему (рисунок 2, б, в). Без учета диффузионного слагаемого поля пространственного заряда возникновение разности фаз и энергетический обмен объяснить нельзя, так на рисунке 4, а, б мы видим симметричную картину.

В работе представлены результаты теоретического изучения динамики распространения и распада двумерного оптического вихря в фоторефрактивном кристалле SBN, а также возможность использования его как волновода, выполненного на основе кристалла SBN, к которому приложено внешнее электрическое поле. Такой оптический вихрь способен управлять светлым пучком.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь (договор № 1410/2021 от 22.03.2021) в рамках государственной программы научных исследований № 6 «Фотоника и электроника для инноваций» на 2021–2025 гг. (задание 6.1.14).*

#### **Список использованных источников**

1. Mamaev, A.V. Propagation of a mutually incoherent optical vortex pair in anisotropic nonlinear media / A.V. Mamaev, M. Saffman, A.A. Zozulya // J. Opt.B: Quantum Semiclass. Opt. – 2004. – V. 6. – P. S318–S322.
2. Wang, J. Advances in communications using optical vortices / J. Wang // Photonics Research. – 2016. – V.4. – P. 14–28.
3. Andrews, D. Symmetry and Quantum Features in Optical Vortices / D. Andrews // Symmetry – 2021. – V. 13. – P. 1368.

4. Ducharme, S. Electro-optic and Piezoelectric Measurements in Photorefractive Barium Titanate and Strontium Barium Niobate / S. Ducharme, J. Feinberg, R.R. Neurgaonkar // J. Quantum Electron. – 1987. – Vol. 23, № 12. – P. 2116–2121.

5. Weber, M.J. Handbook of optical materials / M.J. Weber. – Boca Raton : CRC Press, 2003. – 536 p.

6. Шленов, С.А. Спектральное уширение фемтосекундных оптических вихрей при филаментации в плавленом кварце в условиях аномальной дисперсии групповой скорости / С.А. Шленов, Е.В. Васильев, С.В. Чекалин, В.О. Компанец, Р.В. Скиданов // ЖЭТФ. – 2021. – 159(3). – С. 400–408.

7. Partially Incoherent Optical Vortices in Self-Focusing Nonlinear Media / C-C. Jeng, M-F. Shih, K. Motzek, Y.S. Kivshar // Phys. Rev. Lett. – 2004. – Vol. 92, № 4. – P. 043904-1 – 043904-4.

УДК 535.56, 548.736

**А.Ф. Константинова<sup>1</sup>, Т.Г. Головина<sup>1</sup>, А.П. Дудка<sup>1</sup>, А.В. Буташин<sup>1</sup>,  
Н.С. Козлова<sup>2</sup>, Е.В. Забелина<sup>2</sup>, В.М. Касимова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт кристаллографии имени А.В. Шубникова Курчатовского комплекса  
кристаллографии и фотоники НИЦ «Курчатовский институт»*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»*

## **ОПТИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ СЕМЕЙСТВА ЛАНГАСИТА И ИХ СВЯЗЬ С АТОМНОЙ СТРУКТУРОЙ**

Проведено исследование оптических (показателей преломления и оптической активности) и механических (анизотропии разрушения, модуля Юнга) свойств кристаллов семейства лангасита, в том числе поглощающих, во взаимосвязи с их структурой и составом. Изучен ряд разнообразных по составу представителей этого семейства с применением взаимодополняющих экспериментальных и расчетных методик.

**Ключевые слова:** лангаситы, структура кристаллов, показатели преломления, поглощение, оптическая активность, механические свойства кристаллов.

**Введение.** В свое время Ф.И. Федоров предложил ковариантный метод для изучения оптических свойств кристаллов, в том числе оптической активности [1]. После этого вопросами теории оптической активности кристаллов занимались многие исследователи, среди которых был и В.В. Шепелевич [2, 3]. На основе разработанной теории появились различные экспериментальные работы [4].

В настоящей работе представлен обзор публикаций авторов, связанных с экспериментальным и теоретическим исследованием оптических и некоторых других свойств кристаллов семейства лангасита разного состава.

Кристаллы семейства лангасита  $A_3BC_3D_2O_{14}$  (пр. гр.  $P321$ , рисунок 1, а) изучаются с начала 1980-х гг. [5]. По сравнению с другими пьезоэлектрическими материалами, применяемыми в датчиках физических величин, кристаллы семейства лангасита имеют ряд преимуществ, поэтому их продолжают выращивать и исследовать [6]. В настоящее