

# ФОРМИРОВАНИЕ ОДНОМЕРНЫХ И ДВУМЕРНЫХ ФОТОННЫХ СТРУКТУР В КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ БЕССЕЛЕПОДОБНЫМИ СВЕТОВЫМИ ПУЧКАМИ

Сафронова П. К., Саркыт А.А.

Лазерные пучки активно применяют в медицине, биомедицинской оптике, прецизионной химии, фармакологии [1]. Однако дифракция приводит к ограничению области светового поля с почти неизменной интенсивностью. Поэтому “бездифракционные”, практически не расходящиеся световые пучки, открывают новые пути развития технологий, требующих высокой интенсивности света на достаточно больших длинах пути [1]. К подобным “бездифракционным” полям относятся пучки Эйри, Бесселя и некоторые другие [2].

**Цель исследования:** Демонстрация формирования бесселеподобных световых пучков путем преобразования пространственной структуры лазерных гауссовых пучков с помощью амплитудных транспарантов. Демонстрируется также использование полученных световых полей для формирования фазовых волноводных и дифракционных структур в фоторефрактивных кристаллических образцах ниобата лития ( $\text{LiNbO}_3$ ).

## Экспериментальные условия и анализ полученных результатов

В качестве источников излучения в экспериментах использовался твердотельный лазер  $\text{YAG:Nd}^{3+}$  с длиной волны излучения  $\lambda=532$  нм. Для формирования квазиодномерного бесселеподобного пучка лазерное излучение освещает амплитудный транспарант, расположенный в фокальной плоскости линзы (цилиндрической или сферической). Амплитудный транспарант представляет собой две параллельные прямоугольные щели в металлической пластине [4, 5]. Ширина каждой щели – 200 мкм, высота – 5 мм, расстояние между ними варьировалось в пределах от 0,3 до 1,1 мм.

В пространстве вблизи задней фокальной плоскости линзы, в результате наложения полей двух световых пучков, образуется интерференционная картина. Поперечное распределение интенсивности в области интерференции зависит от соотношения ширины щелей в экране и расстояния между их центрами. При некоторых условиях оно может быть близким к распределению, характерному для бесселеподобного пучка.

Для формирования двумерных бесселеподобных световых пучков используются два наложенных металлических экрана с разной ориентацией прямоугольных щелей в одном из них относительно таковых для второго экрана. Интерференционная картина в этом случае формируется с помощью сферической линзы.

Картины световых полей, показанные на рисунке 1, иллюстрируют поперечные распределения интенсивности двумерных световых пучков вблизи фокальной плоскости линзы с фокусным расстоянием 19 см, при различных размерах щелей в экранах и различной их ориентации относительно друг друга ( $\lambda=532$  нм).

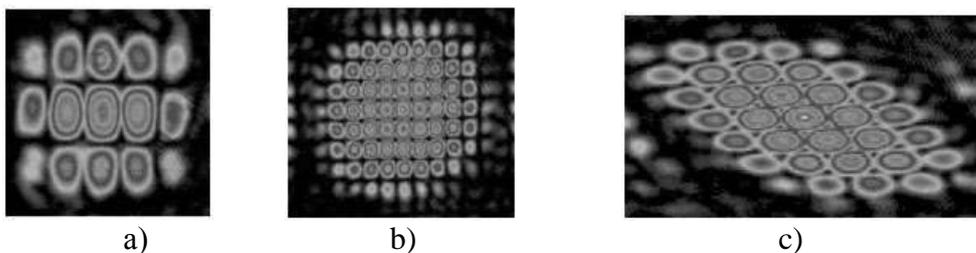
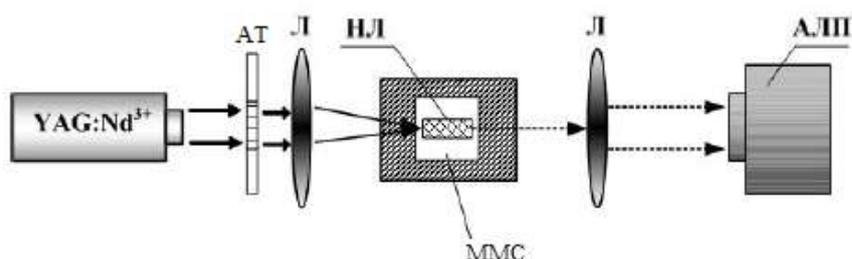


Рисунок 1. - Световые картины в поперечных сечениях двумерных пучков с шириной центральных максимумов: а) 230 мкм, расстояние между центрами щелей 0,3 и 0,5 мм; б) 60

мкм (щели под углом  $90^\circ$  друг к другу, расстояние между их центрами 0,7 и 0,9 мм); с) 90 мкм (щели под углом  $45^\circ$ , расстояние между их центрами 0,5 и 0,7 мм).

Полученные в результате интерференции световые поля обладают высокой продольной однородностью и ограниченным числом максимумов распределения интенсивности света в поперечных сечениях.

Сформированные бесселеподобные одномерные и двумерные пучки использованы для оптического индуцирования фазовых дифракционных структур в образце  $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ . Размеры пластины  $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$  составляют  $10 \times 2 \times 15 \text{ мм}^3$  по осям X, Y и Z. В процессе выращивания кристалл легирован медью. В режиме формирования фотонных структур кристаллический образец экспонировался бесселеподобными световыми полями, длина волны света при этом составляла 532 нм. Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 2. При исследовании созданных фотонных структур изучались картины дифракции на них гауссовых световых пучков в ближней (на выходной поверхности кристалла) и дальней (в фокальной плоскости фокусирующей линзы) зонах дифракции.



$\text{YAG:Nd}^{3+}$  – твердотельный лазер с  $\lambda=532$  нм; АТ – амплитудный транспарант; Л – фокусирующая линза; ММС – микрометрический столик; НЛ – образец  $\text{LiNbO}_3$ ; АЛП – анализатор лазерных пучков

Рисунок 2. – Создание фотонных структур в кристаллическом образце. Схема экспериментальной установки.

Картина на рисунке 3 (а) иллюстрирует ближнюю зону дифракции лазерного излучения ( $\lambda=532\text{нм}$ ) на одномерной фазовой решетке с пространственным периодом 180 мкм в пластине  $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ . Оптическая мощность и время записи решетки: 1мВт и 3 мин. На рисунке 3 (b) представлен профиль интенсивности этой картины вдоль оси Z кристалла.

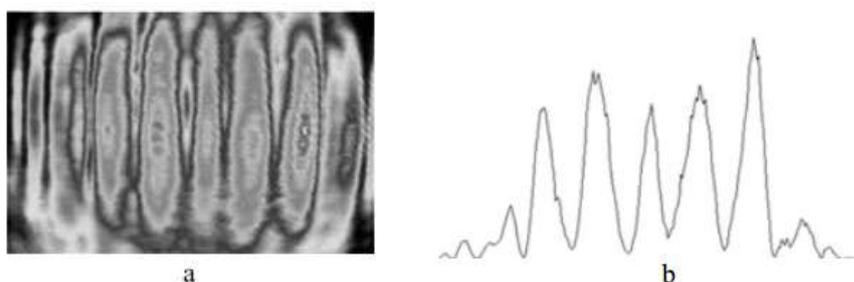


Рисунок 3. - Картина светового поля (а) и профиль его интенсивности (b) на выходной грани пластины  $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$  по оси Z (одномерная фазовая решетка).

Рисунок 4 иллюстрирует ближнюю зону (на выходной поверхности пластины) дифракции считывающего пучка ( $\lambda=532$  нм) на двумерной фазовой решетке, полученной после экспонирования указанным двумерным бесселеподобным пучком пластины  $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ . Оптическая мощность и время формирования решетки: 15 мВт и 3 мин.



Рисунок 4. - Световое поле двумерного бесселеподобного пучка на выходной плоскости пластины  $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ , полученное при  $\lambda=532$  нм (щели перпендикулярно наложенных транспарантов расположены под углом  $45^\circ$  к оптической оси, ширина щелей в экранах 300 мкм и 500 мкм).

### **Заключение**

Таким образом, экспериментально продемонстрировано создание фотонных дифракционных и волноводных структур в объеме фоторефрактивного кристалла с помощью световых полей с бесселеподобными профилями, полученных путем преобразования лазерных гауссовых пучков амплитудными транспарантами. Оптически индуцированные фазовые структуры могут сохраняться в ниобате лития в течение месяцев, но при необходимости другой их топологии могут "перезаписываться" путем повторного экспонирования световым полем.

Актуальность исследования непосредственно связана с разработкой оптических систем записи, хранения и обработки информации на основе фоточувствительных материалов (и в частности ниобата лития), что связано с перспективами создания полностью оптических комплексов обработки данных и других вопросов в области телекоммуникационных технологий.

Авторы выражают благодарность Трушникову И. А, Инюшову А. В. и Шандарову В. М. за помощь в проведении экспериментов и обсуждение результатов.

### **Список использованных источников**

1. Marti Duocastella and Craig B. Arnold, "Bessel and annular beams for materials processing", *Laser Photonics Rev.* **6**, 607–621 (2012).
2. Georgios A. Siviloglou and Demetrios N. Christodoulides, "Accelerating finite energy Airy beams", *Opt. Lett.* **32**, 979-981 (2007).
3. D. Christodoulides, F. Lederer, Y. Silberberg, "Discretizing light behaviour in linear and non-linear waveguide lattices", *Nature* **424**, 817-823 (2003).
4. A. Inyushov, P. Safronova, I. Trushnikov, V. Shandarov. Formation of Photonic Structures in a Bulk of Lithium Niobate by Bessel-like Optical Beams // *Proceedings of International Conference ICONO/LAT 2016, ICONO/LAT 2016 Technical Digest (Electronic version), IThM42*, 2 p. (Minsk, Belarussia, September 26 – 30, 2016).
5. И.А. Асафов, П.К. Сафронова, К.А. Грицук, В.М. Шандаров (научн. Рук.). Амплитудные транспаранты – один из путей формирования одномерных бесселеподобных световых пучков // *Материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2016»*, Томск, 25 – 27 мая 2016, ч. 2, с. 269-271.