

ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ИНДУЦИРОВАНИЕ ВОЛНОВОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ

А.С. Перин<sup>1</sup>, А.Н. Парханюк<sup>1</sup>, В.М. Шандаров<sup>1</sup>, Ф. Чен<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники*

<sup>2</sup>*School of Physics, Shandong University, Jinan, China*

PerinAS@bk.ru

Интенсивное развитие современной интегральной оптики открывает широкие возможности для применения фоторефрактивных кристаллов и оптически индуцированных волноводных элементов в них, в качестве основы датчиков физических воздействий и устройств управления световыми потоками в системах оптической связи. Волноводные элементы в сегнетоэлектрических кристаллах могут быть сформированы разными методами, такими как диффузия примесей, метод ионного обмена, ионная имплантация. Одним из перспективных направлений в этой области является пироэлектрическое индуцирование [1] системы связанных оптических волноводов или, другими словами, фотонных решеток (ФР) в сегнетоэлектрическом кристалле ниобата лития ( $\text{LiNbO}_3$ ). При распространении света в  $\text{LiNbO}_3$  возможна его локализация в виде пространственных пироэлектрических солитонов [2]. Экспериментальное подтверждение этих эффектов [1, 2] стимулировало активные исследования явлений пространственного самовоздействия световых пучков в одномерных и двумерных нелинейных волноводно-оптических системах.

Целью данной работы являются оценка времени хранения волноводных элементов, сформированных в кристалле  $\text{LiNbO}_3$  с учетом вклада пироэлектрического эффекта, а так же исследование пироэлектрического индуцирования ФР в кристалле ниобата лития.

В экспериментальных исследованиях используется номинально чистый кристалл  $\text{LiNbO}_3$  с размером 10,5 мм в направлении распространения света (ось  $x$ ). Вдоль направления полярной оси (направление протекания пироэлектрического тока, ось  $z$ ) образец имеет размер 3,5 мм.

Для оптически индуцированных элементов, как дифракционных, так и волноводных, одной из важнейших характеристик является время их хранения, величина которого определяется удельной проводимостью среды либо другими физическими механизмами. Время хранения определяет возможности материалов для их использования в качестве голографической среды. Исследуемый волноводный канал сформирован в результате компенсации дифракционной расходимости светового пучка за счет вклада пироэлектрического эффекта в номинально чистом кристалле  $\text{LiNbO}_3$ , диаметр канала составляет 30 мкм. В него вводится излучение мощностью 0,1 мВт, диаметр светового пучка на входной грани кристалла составляет порядка 30 мкм, а длина волны света  $\lambda = 532$  нм. Время засветки, при счи-

тивании составляет несколько минут. Пучок, распространяющийся в волноводе, практически не изменяет свой профиль после прохождения кристалла, что подтверждают картины светового поля на выходной грани кристалла (Рис. 1).

В промежутке времени между засветкой, кристалл находился под воздействием естественного дневного света. Сравнивая картины светового поля на выходной плоскости образца (Рис. 1б, в) и картину светового поля на входной плоскости (Рис. 1а), видно, что световой пучок, прошедший через волноводный канал практически не меняет свою форму. И лишь по истечению 128 часов (Рис. 1г) испытывает небольшие искажения.

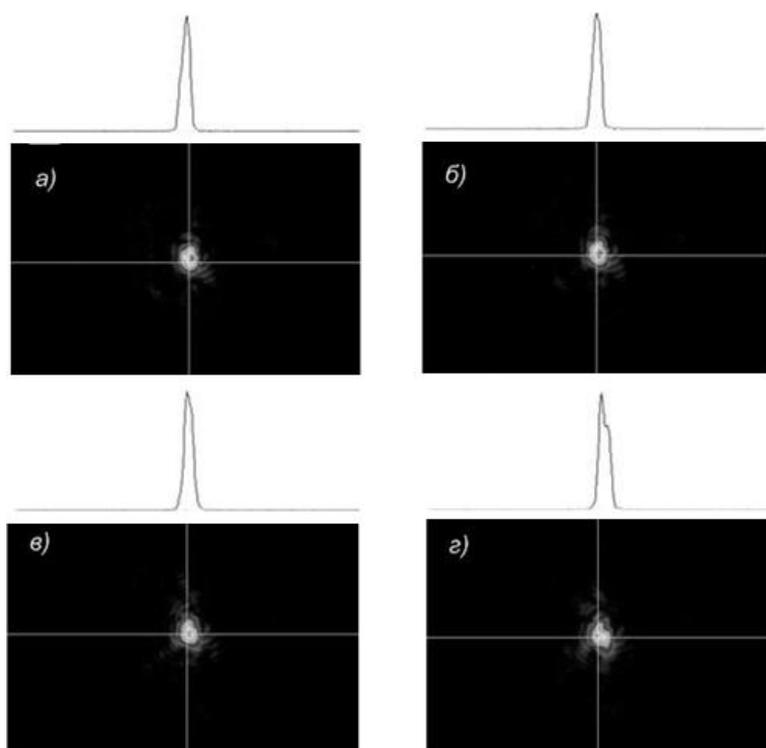
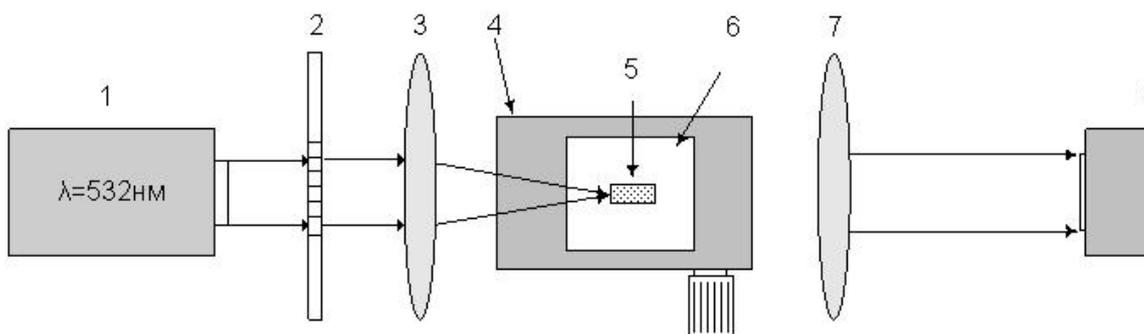


Рис. 1. Картины световых полей на выходной грани образца и профиль светового пучка: а)  $t=1$  час; б)  $t=48$  часов; в)  $t=64$  часа; г)  $t=128$  часов

Для формирования ФР в кристалле используется экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 2. В эксперименте ФР формируется в течение 15 минут, мощность индуцирующего излучения составляет 50 мВт. Полученная структура исследуется с помощью считывающего светового пучка мощностью 0.1 мВт и диаметром 1 мм.



1 – твердотельный YAG:Nd<sup>3+</sup> лазер; 2 – фотошаблон с решетками различных периодов; 3 – фокусирующая линза; 4 – микрометрический столик; 5 – образец LiNbO<sub>3</sub>; 6 – нагревательный элемент; 7 – фокусирующая линза; 8 – ПЗС камера

Рис. 2. Схема экспериментальной установки для оптического индуцирования ФР в образцах LiNbO<sub>3</sub>

На рис. 3 представлены картины светового поля на выходной плоскости одномерной фоторефрактивной ФР с большим числом элементов при ее освещении широким световым пучком. Рис. 3а показывает ФР записанную без вклада пьезоэлектрического эффекта, а рисунок 3б иллюстрирует ФР, записанную в процессе однородного нагревания кристалла LiNbO<sub>3</sub> на величину  $\Delta T=30$  °С.

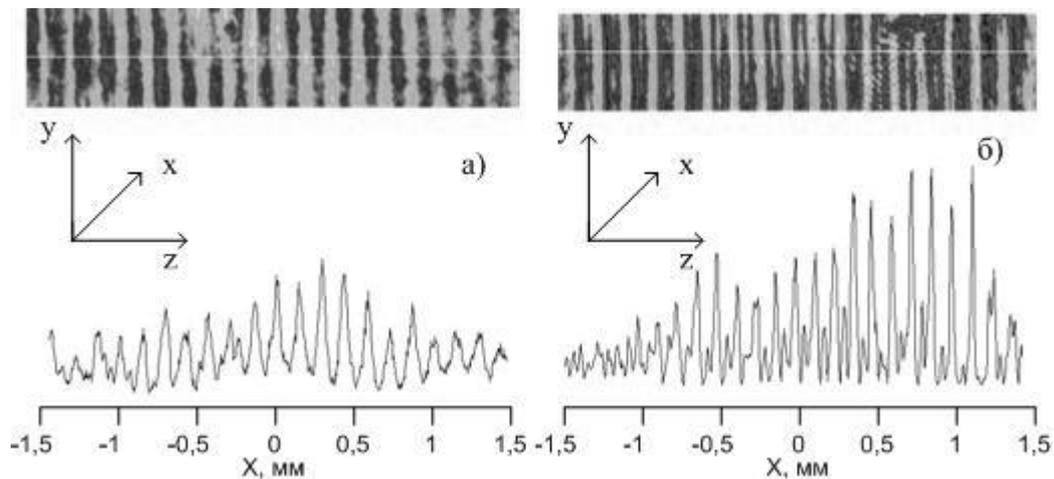


Рис. 3. Картины распределения светового поля (верхний ряд) и профили интенсивности светового излучения (нижний ряд) в сформированной одномерной ФР: а) решетка записана без нагревания; б) решетка записана с нагреванием.

Можно видеть, что при формировании ФР с учетом вклада пьезоэлектрического эффекта происходит более выраженная локализация света в волноводных областях (Рис. 3б), это свидетельствует о большем изменении  $\Delta n$ . Дифракционная эффективность решетки без влияния пьезоэлектрического эффекта составляет 3% ( $\Delta n \approx 3,1 \cdot 10^{-6}$ ), а с влиянием примерно 15% ( $\Delta n \approx 6,8 \cdot 10^{-6}$ ).

Возможность использования многоэлементных волноводных систем для реализации операций управления светом с помощью света определяется их нелинейно-оптическими свойствами и характеристиками дискретной дифракции света в подобных системах. На рис. 4 представлены некоторые результаты исследования эффекта дискретной дифракции света при одноэлементном методе возбуждения света в полученной волноводно-оптической системе.

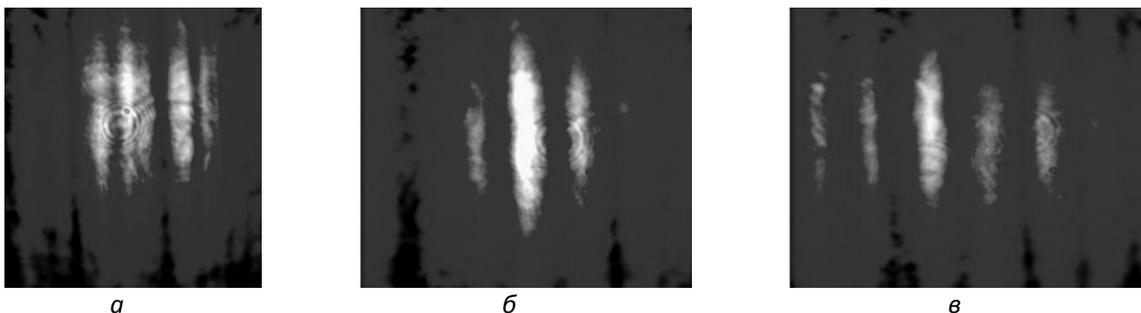


Рис. 4. Картины распределения светового поля на выходной грани кристалла а)  $t=0$ ; б)  $t=7$  мин.; в)  $t=25$  мин.

В случае возбуждения светом отдельного волновода, на выходной грани кристалла в начальный момент времени наблюдается картина, типичная для линейной дискретной дифракции света в ФР (Рис. 4а). Через некоторое время наблюдается локализация света в возбуждаемом волноводном элементе (Рис. 4б), затем это локализованное состояние разрушается (Рис. 4в), что связано с недостаточной величиной контраста ФР [3].

Таким образом, экспериментально продемонстрировано индуцирование ФР в кристалле ниобата лития, показано, что вклад пьезоэлектрического эффекта в формирование ФР позволяет получить большие изменения  $\Delta n$  в волноводных областях. Экспериментально показано, что время хранения индуцированных элементов составляет более 100 часов.

Работа выполнена в рамках Госзадания Минобрнауки РФ на 2012 г. (проект № 7.2647.2011) и при поддержке гранта У.М.Н.И.К на 2011-2013 гг. (проект № 14208).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Chauvet M., Safioui J, Devaux F. Beam self-trapping by pyroelectric // Journal of optoelectronics and advanced materials. 2010. V. 12. No. 1. P. 52.
2. Safioui J., Fazio E., Devaux F., Chauvet M. // Optics letters. 2010. V. 35. No. 8. P. 1254.
3. Matuszewski M., *et. al.* // Optics express. 2006. V. 14. No. 1 P. 254.