

# Запись изображения в легированных кристаллах ниобата лития

© А.В. Сюй, В.И. Строганов, В.В. Лихтин\*

Дальневосточный государственный университет путей сообщения,  
Хабаровск, Россия

\* Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет,  
Комсомольск-на-Амуре, Россия

E-mail: alsyuy271@gmail.com

В кристаллах ниобата лития, легированных ионами железа, меди, родия и рутения, возможна оптическая запись изображения при наличии градиента освещенности, направленного параллельно полярной оси кристалла. В зависимости от рода примеси и степени легирования, внешних условий, например длительности записи, время хранения изображения достигает 60 суток. Изучено влияние поляризации записывающего излучения на контраст записанного изображения.

PACS: 77.84.Dy, 78.20.Fm, 78.20.Jq

## 1. Введение

В последние годы значительно возрос интерес к разработке оптических систем записи, хранению и обработки информации на основе фотосегнетоэлектриков, к которым относится кристалл ниобата лития [1,2]. С одной стороны, фоторефрактивный эффект (ФРЭ) в кристаллах ниобата лития позволяет записать оптическую информацию, например, в виде голограмм, а с другой стороны, из-за указанного эффекта на оптически наведенных неоднородностях световые пучки испытывают сильную деструкцию — фоторефрактивное рассеяние света (ФРРС), что ухудшает качество записи голограмм [1]. В связи с этим проблема, связанная с подавлением ФРРС в фотосегнетоэлектриках, остается актуальной. В кристаллах ниобата лития применяются различные способы подавления ФРРС, например внедрение нефоторефрактивных примесей [3], применение электрических и тепловых полей [4], изменение стехиометрии кристаллов ниобата лития [5]. Эти методы являются малоэффективными. К тому же возникает необходимость сохранения голограммы при ее считывании. До настоящего времени исследования в области оптической записи изображений (голограмм) в подавляющем большинстве работ проводились с использованием когерентного лазерного излучения. Возможность использования некогерентного широкополосного излучения для получения качественной оптической записи хотя и не отрицается [1,2], но практически совершенно не изучена.

Использование широкополосного некогерентного излучения при записи оптического изображения позволяет подавить эффект ФРРС, а также устранить стирание изображения в кристаллах ниобата лития при считывании.

Целью настоящей работы является исследование возможности записи и считывания оптического изображения в легированных кристаллах ниобата лития при использовании широкополосного некогерентного нелазерного излучения.

## 2. Объекты исследования и методика эксперимента

Используются кристаллы ниобата лития с примесями железа, меди, родия или рутения. Образцы представляют собой кристаллические пластинки толщиной 1–2 мм с размерами в плане 10 × 10 мм. Полярная ось кристалла расположена в плоскости пластинки. Концентрация примеси составляет 0.01–0.3 wt.%.

Кристаллы облучаются излучением от лампы накаливания ПЖ-1000 с плотностью мощности до 0.6 мВт/мм<sup>2</sup> при однородном освещении. Излучение от лампы накаливания с помощью системы объективов направляется на транспорант, который создает форму светового пятна, падающего на входную грань кристалла.

Считывание записанного изображения производится методом фазового контраста в белом свете на границе свет–тень или тень–полутень либо интерференционно-поляризационным методом в лазерных пучках.

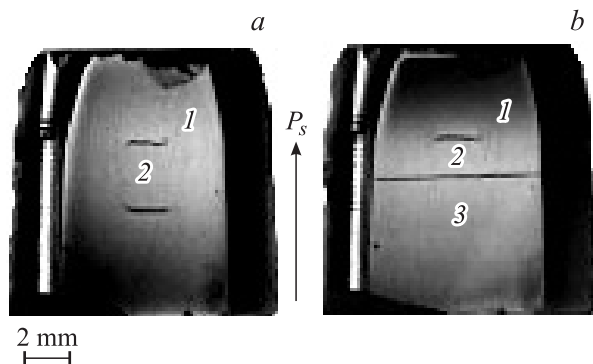
Записанное изображение фотографируется цифровой камерой и обрабатывается с помощью математического пакета mathcad. Видность изображения (контраст) определяется по формуле

$$T = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

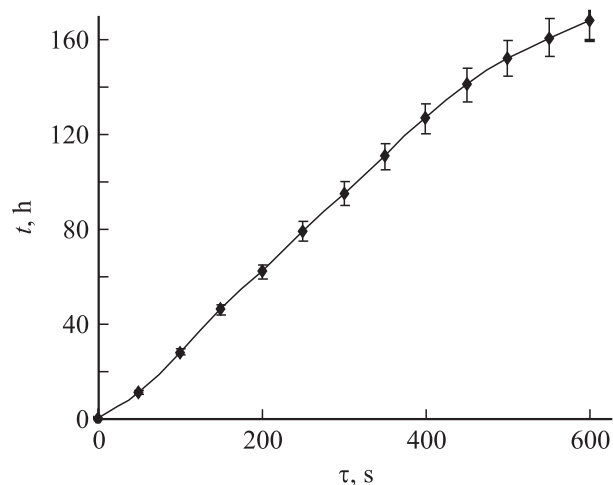
где  $I_{\min}$ ,  $I_{\max}$  — значения максимальной и минимальной интенсивностей записанного изображения в кристалле. Значения  $I_{\min}$ ,  $I_{\max}$  определяются как средние величины яркости пикселей в наиболее освещенной и темной областях сфотографированного изображения. Наилучшей зарегистрированной видностью (контрастом) изображения является  $T = 50–60\%$ .

## 3. Экспериментальные результаты

На рис. 1 представлена запись (в течение 5 мин) изображения пропускающей диафрагмы в форме пря-



**Рис. 1.** Запись световой полоски размером  $2 \times 3$  mm в кристалле  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$  (0.3 wt.%). Сторона полоски размером 3 mm параллельна  $P_s$ : *a* — открыта вся полоска, *b* — половина полоски закрыта экраном, реализуется стирание нижней половины полоски. 1 — неосвещенная область кристалла, 2 — световая полоска, 3 — область кристалла после повторного облучения (произошло стирание нижней части полоски).



**Рис. 2.** Зависимость времени хранения  $t$  изображения от времени экспозиции  $\tau$  в кристалле  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$  (0.3 wt.%).

моугольника с длинной стороной, ориентированной параллельно полярной оси кристалла, позволяющей получить световую полоску в форме прямоугольника. Стороны прямоугольника, параллельные полярной оси кристалла, не визуализируются ни методом фазового контраста, ни интерференционно-поляризационным методом (рис. 1, *a*). Однако хорошо регистрируются края полоски, перпендикулярные полярной оси кристалла. Если закрыть верхнюю половину кристалла с записанным изображением непрозрачным экраном и облучить открытую часть кристалла светом с однородной интенсивностью (в течение 5 min), то происходит стирание предварительно записанной информации (рис. 1, *b*). Если осуществить термический отжиг кристалла в воздухе в течение 30 min при  $180^\circ\text{C}$ , то стирается вся информация.

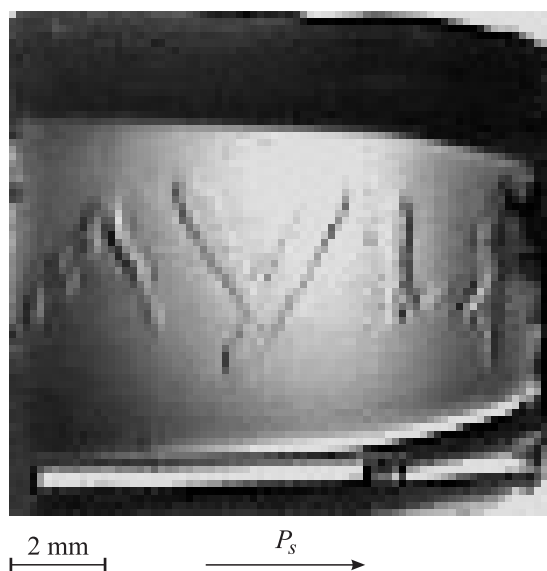
Отметим, что помимо стирания нижней части изображения полоски произошла запись нижней части непрозрачного экрана (рис. 1, *b*). Темная линия перпендикулярна полярной оси кристалла.

Во всех случаях запись изображения происходит в течение 60–100 s ( $T = 25\text{--}35\%$ ). При дальнейшем облучении кристалла контраст изображения возрастает и достигает максимального значения за 300–350 s (контраст  $T = 60\text{--}70\%$ ). В кристалле  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$  (0.3 wt.%) изображение сохраняется контрастным ( $T = 40\text{--}50\%$ ) при комнатной температуре в темноте более суток. Чем больше время экспозиции, тем дольше хранится изображение, сохраняя контраст порядка 40% (рис. 2).

Длительность записи изображения зависит также от температуры окружающей среды (температуры кристалла). При температуре окружающей среды  $40\text{--}85^\circ\text{C}$  изображение записывается в течение 8–15 min и хранится 35–40 h. При температуре  $85\text{--}120^\circ\text{C}$  запись изображения осуществляется за время 15–30 min, а при  $180^\circ\text{C}$  наведенная оптическая неоднородность стирается.

На рис. 3 приведена запись текстовой информации с использованием широкополосного некогерентного излучения.

В номинально чистых кристаллах запись изображения зарегистрировать не удалось. В кристаллах, легированных ионами рутения (0.3 wt.%), меди (0.05 wt.%) и двойными примесями: железо (0.3 wt.%) с медью (0.01 wt.%), железо (0.3 wt.%) с родием (0.01 wt.%), запись мало-контрастная ( $T = 10\text{--}20\%$ ), но при увеличении времени экспозиции (до 10–15 min) изображение становится контрастным ( $T = 40\text{--}50\%$ ) и хорошо визуально наблюдается. Только у кристаллов с примесью железа контраст достигает 40% при сравнительно небольшом времени облучения (2–5 min). В кристаллах ниобата лития с примесью родия (0.05 wt.%) производится запись



**Рис. 3.** Запись изображения в кристалле  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$  (0.3 wt.%).  $P_s$  — полярная ось кристалла.

Ориентационно-поляризационная зависимость контраста изображения

Ориентация световых полосок по отношению к полярной оси кристалла, deg	Ориентация вектора $E$ световой волны по отношению к полярной оси кристалла, deg	Контраст изображения, %
90	0	63.4
90	45	54.7
90	90	44.2
45	0	42.0
45	45	31.6
45	90	22.7
0	0	0
0	45	0
0	90	0

с долговременной памятью (более 50 суток). Изображение стирается только термическим отжигом при температуре  $180^\circ\text{C}$  в течение 30 min.

#### 4. Обсуждение результатов

В фоторефрактивных кристаллах возможна как запись изображений, так и запись голограмм, для которых используется обычно лазерное излучение [1].

В фотосегнетоэлектриках под действием света происходит изменение показателя преломления ( $\Delta n$ ) [6]. Еще в 70-х годах предсказывалось применение таких материалов в устройствах оптической голографической памяти с использованием этого эффекта. Предсказания в полной мере пока еще не осуществились из-за некоторых нерешенных проблем, таких как невысокая чувствительность, сопровождение фоторефракции фоторефрактивным рассеянием света [7], что приводит к ухудшению качества записи.

Под действием света в фотосегнетоэлектрике возникает ток [6]

$$j = \chi\beta I + D\nabla I + \sigma E. \quad (2)$$

Он состоит из токов фотогальванического ( $\chi\beta I$ ), диффузионного ( $D\nabla I$ ) и тока проводимости ( $\sigma E$ ). Здесь  $\chi$ ,  $\beta$ ,  $D$  — соответственно коэффициенты поглощения света, фотовольтаический и диффузии;  $\sigma$  — проводимость;  $E$  — напряженность электрического поля (фотонаведенная или приложенная к кристаллу);  $I(r)$  — распределение интенсивности света. Ток  $j$  производит пространственное перераспределение зарядов, согласованное с распределением  $I(r)$ , в результате чего в кристалле возникает электрическое поле  $E(r)$ , пропорциональное  $I(r)$ . Наведенное поле  $E(r)$  изменяет показатель преломления вследствие электрооптического эффекта  $\Delta n_{ij} = r_{ijk} E_k$ .

В соответствии с тем, что в кристаллах ниобата лития преимущественным механизмом переноса заряда является фотовольтаический [8], запись изображения, обус-

ловленная электрооптическим эффектом, имеет четкую ориентационно-поляризационную зависимость, которая приведена в таблице.

#### 5. Заключение

Экспериментальные результаты показали, что запись изображения в легированных кристаллах ниобата лития реализуется только тогда, когда присутствует градиент освещенности, ориентированный параллельно полярной оси кристалла (ось  $z$ ). В этом направлении токи фотовольтаической природы имеют значение на один-два порядка больше, чем вдоль осей  $x$  и  $y$  за счет большей нелинейности восприимчивости.

Вероятен вклад и других механизмов записи изображения, например нелинейного четырехволнового взаимодействия в объеме кристалла. Отсутствие записи полоски света, ориентированной параллельно полярной оси кристалла, может быть также обусловлено неоднородностью электрического поля, когда максимальное значение электрического поля имеется только у краев световой полоски, перпендикулярной полярной оси кристалла, а при отходе от полоски резко падает, в центре полоски электрическое поле равно нулю (поэтому нет изменения показателя преломления).

Записанное в кристалле ниобата лития изображение может быть стерто при равномерном освещении кристалла некогерентным нелазерным излучением или термическим отжигом. Возможны многократная реверсивная запись и стирание изображения в легированных кристаллах ниобата лития при использовании для записи изображения некогерентного широкополосного излучения.

#### Список литературы

- [1] М.П. Петров, С.И. Степанов, А.В. Хоменко. Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике. Наук, СПб. (1992). 320 с.
- [2] Ю.С. Кузьминов. Электрооптический и нелинейнооптический кристалл ниобата лития. Наука, М. (1987). 264 с.
- [3] Т.Р. Волк. Автореф. докт. дис. ИК РАН, М. (1995). 32 с.
- [4] А.В. Сюй. Автореф. канд. дис. ДВГУПС, Хабаровск (2000). 16 с.
- [5] Б.Б. Педько, Э.В. Лебедев, И.Л. Кислова, Т.Р. Волк. ФТТ **40**, 337 (1998).
- [6] В.М. Фридкин. Фотосегнетоэлектрики. Наука, М. (1979). 264 с.
- [7] В.В. Обуховский. Автореф. докт. дис. КГУ, Киев (1989). 24 с.
- [8] Н.В. Сидоров, Т.Р. Волк, Б.Н. Маврин, В.Т. Калинин. Наобат лития: дефекты, фоторефракция, колебательный спектр, поляритоны. Наука, М. (2003). 255 с.