

Формирование дифракционных структур в фоторефрактивном интерферометре Фабри–Перо на основе ниобата лития

А. С. Перин,* А. О. Сёмкин,† В. М. Шандаров‡

*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
радиотехнический факультет, кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники
Россия, 634050, Томск, проспект Ленина, д. 40*

В работе представлены результаты экспериментального исследования оптического индуцирования фотонных дифракционных структур в фоторефрактивном интерферометре Фабри-Перо (ИФП) на основе кристалла ниобата лития. Экспериментально продемонстрировано самоиндуцирование одномерных периодических дифракционных структур в кристалле. Изучены некоторые особенности пространственного самовоздействия лазерных пучков в фоторефрактивных ИФП на основе легированных фоторефрактивными примесями пластин ниобата лития.

PACS: 42.65.Hw, 42.25.Nz, 42.40.Eq.

УДК: 535.417.22.

Ключевые слова: ниобат лития, интерферометр Фабри–Перо, дифракционная структура.

Нелинейно-оптические элементы на основе кристаллических материалов широко используются в современной фотонике, интегральной оптике и оптоэлектронике. Так, на основе нелинейных эталонов Фабри-Перо, продемонстрирована реализация полностью оптических бистабильных и мультистабильных элементов для оптических компьютеров [1]. Интерферометры Фабри-Перо (ИФП) на основе фоторефрактивных материалов не обладают требуемым для целей оптических вычислений быстродействием, однако позволяют реализовать эффекты обращения волнового фронта, нелинейные невзаимные и адаптивные элементы [2]. Инерционность фоторефрактивного нелинейного отклика дает возможность детального изучения временной эволюции структуры светового поля в подобных элементах, обусловленной эффектами самовоздействия этого поля без применения сложных экспериментальных методик.

Ранее экспериментально продемонстрировано формирование стационарных квазирегулярных дифракционных структур в кристаллических фоторефрактивных образцах ниобата лития (LiNbO_3) [3] при сравнительно низких световых мощностях. Целью данной работы явилось исследование характеристик подобных одномерных дифракционных структур и связи их пространственного периода с условиями экспериментов.

В экспериментах исследовался фоторефрактивный ИФП в виде плоскопараллельной пластины кристалла ниобата лития Z-среза с оптической полировкой поверхностей. Образец легирован ионами железа ($\text{LiNbO}_3:\text{Fe } 0,05\%$) при выращивании кристалла. Геометрические размеры ИФП составляют $10 \times 10 \times 1,5 \text{ мм}^3$ вдоль осей X, Y и Z соответственно. Схема экспериментальной установки по самоиндуцированию структур представлена на рис. 1. В качестве источника экс-

понирующего когерентного излучения использовался непрерывный твердотельный лазер ($\text{YAG}:\text{Nd}^{3+}$, длина волны света $\lambda = 532 \text{ нм}$, выходная мощность до 50 Вт). Экспонирующее световое поле имело практически однородное распределение интенсивности, что достигалось расширением излучения лазера линзой (Л) и последующим выделением однородной области пучка диафрагмой (Д) с размером $3 \times 3 \text{ мм}^2$. Поляризация света соответствовала обыкновенной волне в кристалле. В установке предусмотрено изменение угла падения света на исследуемый образец в горизонтальной плоскости с помощью углового поворотного столика (ПС).

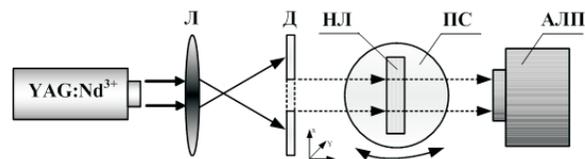


Рис. 1: Схема экспериментальной установки. $\text{YAG}:\text{Nd}^{3+}$ — источник лазерного излучения, Л — линза, Д — диафрагма, НЛ — образец LiNbO_3 , ПС — угловой поворотный столик, АЛП — анализатор лазерных пучков

В экспериментах наблюдалось формирование одномерных практически регулярных картин распределения интенсивности светового поля на выходной плоскости ИФП либо существенное повышение контраста подобных картин, в случае отклонения направления падающего светового луча от нормали к плоскости ИФП, в результате его экспонирования в течение некоторого времени.

На рис. 2 представлены подобная картина распределения интенсивности света при нормальном падении индуцирующего светового поля (рис. 2а) и график зависимости периода формируемых структур от угла падения индуцирующего светового поля на входную грань образца (рис. 2б).

Характеристики регулярных дифракционных структур, сформированных в ИФП, исследовались путем их

*E-mail: perin.anton@gmail.com

†E-mail: a.o.semkin@gmail.com

‡E-mail: shandarovvm@svch.rk.tusur.ru

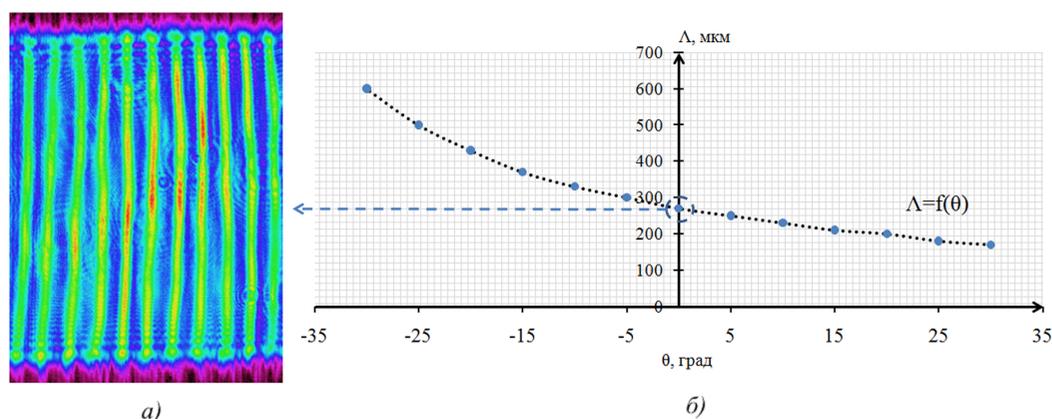


Рис. 2: (а) — распределение интенсивности света на выходной грани образца при нормальном падении индуцирующего светового поля; (б) — график зависимости периода формируемых структур от угла падения индуцирующего светового поля на входную грань образца

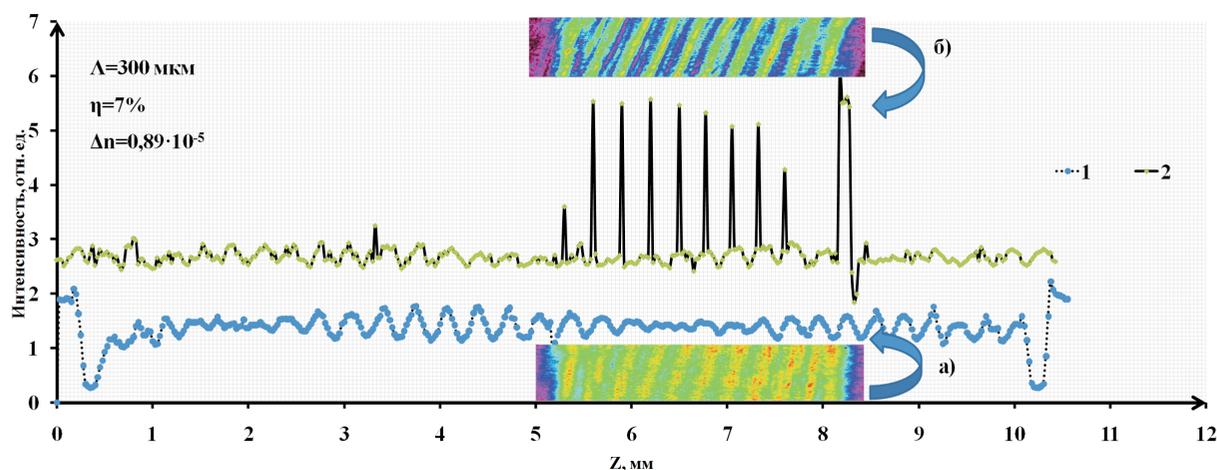


Рис. 3: Графики зависимости (1,2) интенсивности света от расстояния точки сканирования до грани образца и соответствующие им (а, б) картины распределения интенсивности светового поля на выходной плоскости ИФП: 1, а — для чистого кристалла; 2, б — для образца с записанной структурой

сканирования в направлении вектора структуры световым пучком диаметром 23 мкм. В эксперименте световой луч перемещался вдоль кристалла с шагом 25 мкм. В каждой точке измерялась интенсивность прошедшего пучка. На рис. 3 приведены экспериментальные зависимости интенсивности света от положения точки сканирования (рис. 3, графики 1, 2) и соответствующие им картины распределения интенсивности светового поля на выходной плоскости ИФП (рис. 3, картины а, б). Картина распределения интенсивности света (а) снята после отжига кристалла и стирания в нем каких-либо наведенных ранее оптических неоднородностей. Можно видеть, что на выходной поверхности ИФП существует интерференционная картина. Однако

сканирование образца указывает на отсутствие наведенных оптических неоднородностей (рис. 3, график 1). В результате экспонирования кристалла световым полем с интенсивностью около 100 мВт/см^2 в течение некоторого времени, в образце формируется одномерная дифракционная структура с периодом, соответствующим существующей интерференционной картине (рис. 3, график 2 и картина б).

При дифракции света на сформированных дифракционных структурах наблюдался режим дифракции Рамана-Ната.

Изменение показателя преломления в индуцированной структуре оценивалось по величине дифракционной эффективности. Дифракционная эффективность

таких решеток для света, дифрагировавшего в ± 1 порядки, определялась как $\eta_{\pm 1} = I_{\pm 1}/I_0$, где $I_{\pm 1}$ — интенсивность света, дифрагировавшего в первый порядок, I_0 — интенсивность света, падающего на решетку.

В случае дифракции Рамана–Ната величина дифракционной эффективности для максимума порядка m может быть найдена из соотношения [4]:

$$\eta_m = J_m^2(\delta) = J_m^2\left(\frac{2\pi d \cdot \Delta n_0}{\lambda \cos \vartheta}\right), \quad (1)$$

где $J_m(\delta)$ — функция Бесселя, Δn_0 — величина из-

менения показателя преломления, $\cos \vartheta$ — косинус угла между направлениями распространения дифрагировавшего в ± 1 порядок пучка и пучка, прошедшего решетку. В результате, для решетки с периодом 300 мкм (рис. 3) дифракционная эффективность составила 7%, а согласно (1) величина изменения показателя преломления $\Delta n_0 = 0,89 \cdot 10^{-5}$.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках базовой части государственного задания № 2014/225 на выполнение работ в сфере научной деятельности.

- [1] Гиббс Х. Оптическая бистабильность. Управление светом с помощью света (М.: Мир, 1988).
 [2] Byron He Q. *et al.* Opt. Lett. **17**, No. 9. P. 664. (1992).
 [3] Perin A.S. *et al.* Physics of Wave Phenomena. **19**, No. 4.

- Р. 1. (2011).
 [4] Яриш А., Юх. П. Оптические волны в кристаллах. (М.: Мир, 1987).

Formation of diffraction structures in photorefractive Fabry-Perot interferometer on lithium niobate

A.S. Perin^a, A.O. Semkin^b, V.M. Shandarov^c

*Department of Microwave and Quantum Radio Engineering, Faculty of Engineering
 Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. Tomsk, 634050, Russia
 E-mail: ^aperin.anton@gmail.com, ^ba.o.semkin@gmail.com, ^cshandarovvm@svch.rk.tusur.ru*

The results of an experimental study of the optical induction of photonic diffraction structures in a photorefractive Fabry-Perot interferometer (FPI) based on lithium niobate crystal have been presented. A self-induction periodic diffraction structure in the crystal has been demonstrated experimentally. Some features of the spatial self-actions of laser beams in photorefractive Fabry-Perot interferometers based on doped with photorefractive impurities lithium niobate plates have been studied.

PACS: 42.65.Hw, 42.25.Hz, 42.40.Eq.

Keywords: lithium niobate, Fabry-Perot interferometer, the diffractive structure.

Сведения об авторах

1. Перин Антон Сергеевич — аспирант, младший научный сотрудник; тел.: (3822) 701-518, e-mail: perin.anton@gmail.com.
2. Семкин Артем Олегович — аспирант, младший научный сотрудник; тел.: (3822) 701-518, e-mail: a.o.semkin@gmail.com.
3. Шандаров Владимир Михайлович — докт. физ.-мат. наук, профессор, профессор; тел.: (3822) 701-518, e-mail: shandarovvm@svch.rk.tusur.ru