

УДК 535:621.372.8

А.С. Перин, С.М. Козлова, В.М. Шандаров

## Пространственное самовоздействие когерентных световых пучков в фоторефрактивном интерферометре Фабри–Перо

Экспериментально продемонстрирован эффект существенного изменения распределений интенсивности лазерных пучков вследствие пространственного самовоздействия света в интерферометре Фабри–Перо на основе образцов ниобата лития с поверхностью, легированной фоторефрактивными примесями – железом и медью.

**Ключевые слова:** нелинейный интерферометр, фоторефрактивный эффект, гауссов пучок, ниобат лития.

При исследовании нелинейно-оптических эффектов [1] и создании оптических приборов разного рода, например лазерных манипуляторов микро- и наночастиц [2], требуются лазерные пучки с амплитудными профилями, более сложными, чем стандартная основная Гауссова мода. Для синтеза подобных пучков используются как пассивные оптические элементы [3, 4], так и электрически управляемые пространственные модуляторы света [5]. Пространственные модуляторы света могут быть и оптически управляемыми [6], причем для фоторефрактивных материалов достаточны микроваттные уровни мощности управляющих пучков. Целью данной работы явилось исследование эффекта преобразования амплитудных профилей когерентных световых пучков в интерферометре Фабри–Перо (ИФП) на основе кристалла ниобата лития ( $\text{LiNbO}_3$ ) с поверхностью, легированной ионами железа (Fe) и меди (Cu). Введение Fe и Cu в  $\text{LiNbO}_3$  делает его фоточувствительным, а использование комбинаций данных ионов с разным соотношением концентраций позволяет изменять в широких пределах фоторефрактивные характеристики материала, в том числе характерное время нелинейного отклика [7, 8]. Инерционность фоторефрактивного нелинейного отклика позволяет проследить за временной эволюцией структуры светового поля в подобном интерферометре, обусловленной эффектами его самовоздействия, без применения сложных экспериментальных методик.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Источником когерентного излучения является непрерывный твердотельный лазер (YAG:Nd<sup>3+</sup>) с удвоением частоты, работающий в режиме одной продольной моды (длина волны света  $\lambda=532$  нм, диапазон варьирования выходной мощности 0÷50 мВт).

В экспериментах поперечное сечение лазерного пучка имело форму от круговой (с диаметром около 1 мм) до эллиптической, с эллиптичностью до 1:6, что достигалось с помощью коллиматора из цилиндрических линз. Световой пучок проходил через пластину  $\text{LiNbO}_3$  X-реза (НЛ) толщиной 1,5 мм в направлении нормали к ее плоскости. Для пучка с эллиптическим сечением меньшая полуось эллипса ориентировалась вдоль оптической оси кристалла. Световая мощность составляла от 5 мВт (для кругового сечения пучка) до 50 мВт (для эллиптического), поляризация света соответствовала необыкновенной волне в кристалле. Поле прошедшего ИФП и отраженного от его входной плоскости световых пучков изучалось с помощью анализатора лазерных пучков *BS-FW-FX33* (АЛП), сопряженного с персональным компьютером (ПК). Одновременная визуализация полей прошедшего и отраженного пучков одной видеокамерой достигалась с помощью светоделительных кубиков (СК) и зеркала (З). Приповерхностная область пластины  $\text{LiNbO}_3$  легирована ионами Fe и Cu путем последовательной термической диффузии. Глубина диффузии Fe составляла ~50 мкм, а Cu ~150 мкм. Размеры образца вдоль осей Y и Z – 8×20 мм<sup>2</sup>. Время экспонирования ИФП в экспериментах варьировалось от нескольких десятков секунд до нескольких минут.

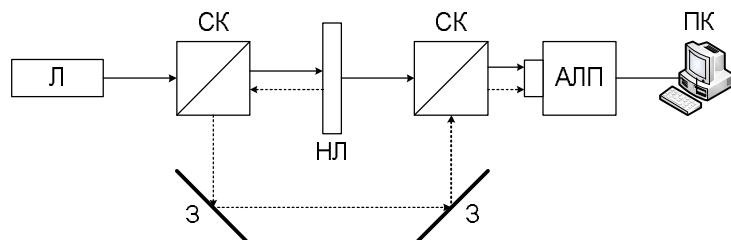


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: Л – лазер; СК – светоделительные кубики; НЛ – образец ниобата лития; З – зеркала; АЛП – анализатор лазерных пучков; ПК – персональный компьютер

Эволюция распределения интенсивности в прошедшем ИФП световом пучке с круговым сечением иллюстрируется картинами его поля, полученными с помощью анализатора лазерных пучков (левый столбец), и профилями интенсивности в направлении оптической оси кристалла (правый столбец), представленными на рис. 2, *а*. В начальный момент времени ( $t = 0$ ) световой пучок характеризуется гауссовым профилем. После экспонирования в течение нескольких секунд при световой мощности 5 мВт и диаметре пучка 1 мм распределение интенсивности в его поперечном сечении существенно изменяется, в его центральной области появляется провал. Затем в этой области вновь возникает максимум, а два образовавшихся провала в световом поле сдвигаются на периферию пучка (см. рис. 2, *а*;  $t=30$  с). При увеличении времени экспонирования это распределение становится еще более сложным (см. рис. 2, *а*,  $t=60$  с), причем изменения в световом поле наиболее сильны в направлении вдоль оптической оси кристалла, что обусловлено фотоэлектрическим механизмом транспорта носителей заряда в  $\text{LiNbO}_3$ , который проявляется в их движении в направлении, параллельном полярной оси кристалла. В результате, в освещенной области возникает электрическое поле пространственного заряда  $E_{sc}$  с преимущественным направлением вдоль этой оси. Аналогичные изменения в пространственной структуре поля прошедшего светового пучка наблюдаются и для пучков с эллиптическим поперечным сечением, что иллюстрирует рис. 2, *б*. В данном случае световая мощность составила 35 мВт, соотношение полуосей эллипса было 1:6, а ширина пучка в направлении оптической оси ~2 мм. Ввиду меньшей плотности мощности света требуемое время экспонирования для наблюдения изменений в распределении интенсивности в пучке составило уже несколько минут.

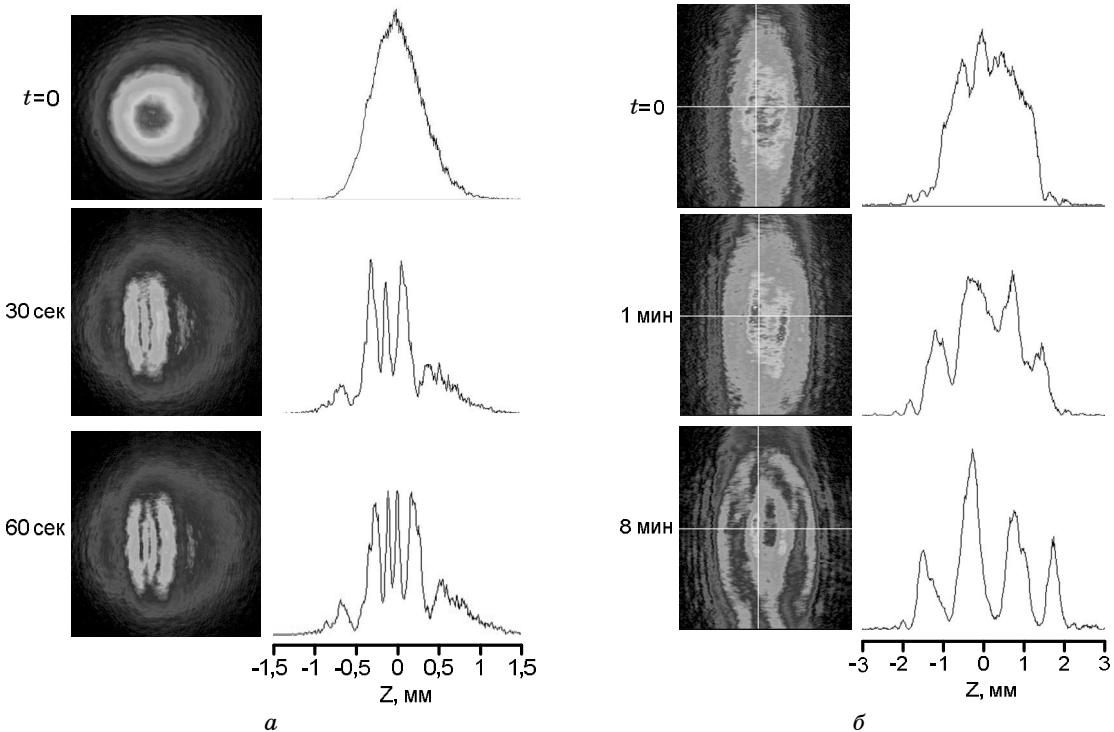


Рис. 2. Картинки распределения интенсивности света в прошедшем ИФП световом пучке с круговым поперечным сечением (*а* – левый столбец) и эллиптическим поперечным сечением (*б* – левый столбец), а также соответствующие профили интенсивности (правые столбцы)

Одновременное наблюдение полей прошедшего ИФП и отраженного от него световых пучков позволяет не только сравнить характер изменения их пространственной структуры в поперечном сечении (рис. 3, *а*), но и проследить за изменением коэффициентов отражения и пропускания ИФП при индуцировании в нем оптической неоднородности. Так, на рис. 3, *б* представлены зависимости мощностей прошедшего ИФП и отраженного от него световых полей в случае лазерного пучка с круговым сечением диаметром около 1 мм и мощностью 5 мВт. Можно видеть, что в ходе эксперимента снижение коэффициента пропускания ИФП сопровождается увеличением его коэффициента отражения.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований продемонстрировали возможность управляемой трансформации профилей когерентных световых пучков в не-

линейном интерферометре Фабри–Перо с оптически индуцированными неоднородностями на основе фоторефрактивных образцов  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe:Cu}$ . Способность длительного хранения фоторефрактивных голограмм в образцах  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe:Cu}$  вместе с их сравнительно низкой фоторефрактивной чувствительностью в длинноволновой области видимого спектра и в ближнем инфракрасном диапазоне указывают на возможность создания оптически управляемых фазовых транспарантов для преобразования профилей когерентных световых пучков на основе подобных интерферометров Фабри–Перо.

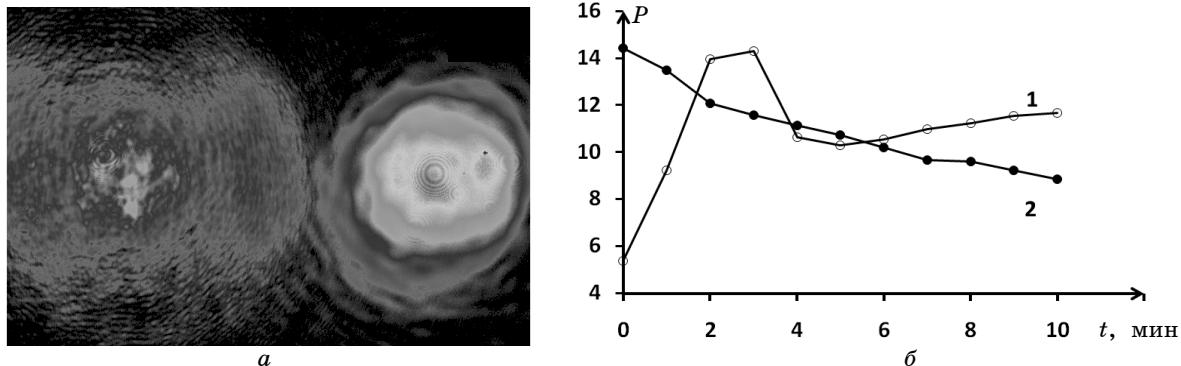


Рис. 3. Картинки светового поля в прошедшем через ИФП (справа) и отраженном от него (слева) световых пучках – *а*; *б* – зависимости мощностей отраженного (1) от ИФП и прошедшего (2) через него световых полей в случае лазерного пучка кругового сечения

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (НИР РНП.2.1.1.429, НИР по госконтракту № 02.740.11.0553).

#### Литература

1. Rodas-Verde M.I. Dynamics of vector solitons and vortices in two-dimensional photonic lattices / M.I. Rodas-Verde, H. Michinel, Yu.S. Kivshar // Opt. Lett. – 2006. – № 31. – P. 607–609.
2. Gahagan K.T. Optical vortex trapping of particles / K.T. Gahagan, G.A. Swartzlander // Opt. Lett. – 1996. – Vol. 21, № 11. – P. 827–829.
3. Davidson N. Diffractive elements for annular laser beam transformation / N. Davidson, A.A. Friesem, E. Hasman // Appl. Phys. Lett. – 1992. – Vol. 61, № 4. – P. 381–383.
4. Continuous-phase elements can improve laser beam quality / Ram Oron, Nir Davidson, A. Asher Friesem, Erez Hasman // Opt. Lett. 2000. – Vol. 25, № 13. – P. 939–941.
5. Nonlinear Bloch modes in two-dimensional photonic lattices / Denis Trager, Robert Fischer, Dragomir N. Neshev et al. // Opt. Express. – 2006. – Vol. 14, № 5. – P. 1913–1923.
6. Гиббс Х. Оптическая бистабильность. Управление светом с помощью света. – М.: Мир, 1988. – 518 с.
7. Шандаров В.М. Эффект компенсации темновой проводимости  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$  при его легировании медью // Письма в ЖТФ. – 1995. – Т. 21, № 12. – С. 46–50.
8. Петров М.П. Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике / М.П. Петров, С.И. Степанов, А.В. Хоменко. – СПб.: Наука, 1992. – 317 с.

**Перин Антон Сергеевич**

Студент гр. 156 РТФ ТУСУРа

Тел.: 8-923-487-27-25

Эл. почта: perin@sibmail.com

**Козлова Светлана Михайловна**

Студентка гр. 156 РТФ ТУСУРа

**Шандаров Владимир Михайлович**

Д-р физ.-мат. наук, проф. каф. СВЧиКР ТУСУРа

Perin A.S., Kozlova S.M., Shandarov V.M.

**Spatial self-action of coherent light beams in the photorefractive Fabry-Perot interferometer**

The strong variations in intensity distributions of laser beams over their cross-sections due to a spatial self-action effect are experimentally demonstrated for Fabry-Perot interferometers in lithium niobate samples with a surface doped by photorefractive impurities, namely by iron and copper.

**Keywords:** nonlinear interferometer, photorefractive effect, Gaussian beam, lithium niobate.