

## Формирование волноводных каналов темными пространственными солитонами в планарном волноводе, оптически индуцированном в кристалле ниобата лития

В.М.Шандаров, К.В.Шандарова

*Экспериментально продемонстрировано формирование оптических волноводных каналов при фоторефрактивном самовоздействии сфазированного светового пучка в планарном волноводе, оптически индуцированном в объеме кристалла ниобата лития, легированного железом. При формировании планарных и канальных волноводов использовалось излучение He–Ne-лазера с длиной волны  $\lambda = 633$  нм и мощностью 1 мВт и  $\sim 10$  мкВт соответственно.*

**Ключевые слова:** темные солитоны, планарный волновод, взаимодействие излучения с веществом.

В последнее время значительный интерес вызывают пространственные оптические солитоны [1–3] – области светового поля с практически бездифракционным поведением в оптически нелинейной среде. В простейшем случае это светлый пространственный солитон, т. е. световой пучок, дифракционное расплывание которого компенсируется самофокусировкой [1, 2]. В дефокусирующей среде могут существовать темные солитоны, т. е. неосвещенные области в световом поле с бездифракционным поведением [3]. Фоторефрактивные пространственные солитоны наблюдались при микро- и милливаттных мощностях света в кристаллах титаната висмута [4], стронций-бариевого ниобата [5] и некоторых других электрооптических кристаллах в условиях приложенного внешнего электрического поля. Одномерные темные фотovoltaические солитоны реализованы в объемных образцах ниобата лития ( $\text{LiNbO}_3$ ) [6]. В работах [7–9] продемонстрировано возникновение светлых и темных фоторефрактивных солитонов в планарных волноводах, сформированных методами ионной имплантации на поверхности образцов стронций-бариевого ниобата [7] и термической диффузии Fe и Ti на поверхности  $\text{LiNbO}_3$  [8, 9]. Темный солитон индуцирует в неосвещенной области волноводный канал аналогично тому, как светлый солитон индуцирует такой канал в освещенной области.

В настоящей работе впервые продемонстрировано формирование волноводных каналов полем темных фотovoltaических солитонов в планарных волноводах, оптически индуцированных в объеме легированного железом кристалла ниобата лития ( $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}$ ).

Планарные волноводы были сформированы в результате двухлучевой записи одномерных фоторефрактивных решеток обыкновенно поляризованным излучением He–Ne-лазера с длиной волны  $\lambda = 633$  нм в образце  $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}$  с размерами 9, 6 и 8 мм вдоль осей  $x$ ,  $y$  и  $z$  соответственно. Вектор решетки ориентировался вдоль оптической оси кристалла (ось  $z$ ), суммарная мощность

записывающих пучков излучения составляла  $\sim 1$  мВт, их апертура изменялась от 2 до 3 мм. В линейном приближении показатель преломления в области сформированной решетки изменяется согласно соотношению  $n(z) = n_s + \Delta n \cos^2(\pi z/L)$ , где  $n_s$  и  $\Delta n$  – его невозмущенное значение и максимальное изменение, а  $L$  – пространственный период решетки. В общем случае такие решетки являются системами связанных планарных волноводов [10, 11].

Коэффициент связи между соседними элементами зависит от периода  $L$  и величины  $\Delta n$ . При определенных условиях волноводные слои оказываются практически изолированными. На рис.1 показаны распределения интенсивности света в выходной плоскости в системах связанных и изолированных планарных волноводов, индуцированных в данном образце, при их возбуждении гауссовым пучком с необыкновенной поляризацией. Световое поле изучалось с помощью видеокамеры. Видно, что световой пучок в волноводах испытывает обычную дифракцию в их плоскости, а в направлении вектора решетки дифракция ограничивается или определяется волноводными свойствами.

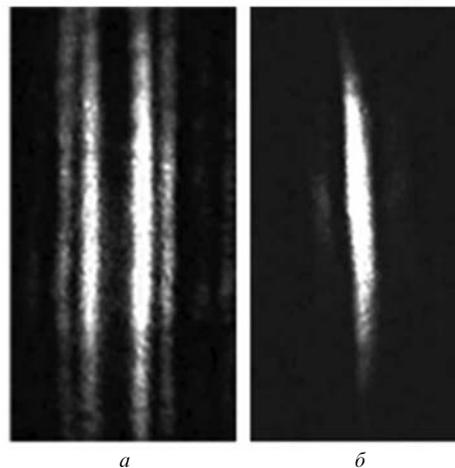


Рис.1. Распределения интенсивности в выходной плоскости при возбуждении одного волноводного слоя в системах связанных ( $\Delta n = 10^{-4}$ ,  $L = 15$  мкм) (а) и изолированных ( $\Delta n = 10^{-4}$ ,  $L = 20$  мкм) (б) планарных волноводов.

В.М.Шандаров, К.В.Шандарова. Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Россия, 634050 Томск, просп. Ленина, 40; e-mail: shan@svch.rk.tusur.ru

Поступила в редакцию 30 июня 2005 г.

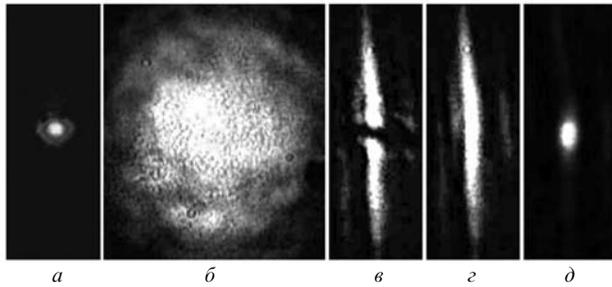


Рис.2. Распределения интенсивности во входной (а) и выходной (б) плоскостях однородного кристалла для гауссова пучка с размером перетяжки 15 мкм, а также в выходной плоскости для формирующего пучка при  $t = 0$  (в) и считывающего пучка при  $t = 0$  (з) и 180 мин (д).

Для индуцирования волноводных каналов в планарном волноводе использовались световые пучки с амплитудным профилем, близким к требуемому для достижения режима темных пространственных солитонов. Во входной световой пучок вводилась тонкая стеклянная пластинка, перекрывающая половину его апертуры и обеспечивающая для светового поля фазовый сдвиг  $(2m + 1)\pi$ , где  $m$  – целое число. Сферическими линзами с фокусным расстоянием от 2 до 5 см пучок фокусировался на входную плоскость волноводного слоя. В ходе эксперимента пластинка периодически выводилась из формирующего пучка, что позволяло следить за изменением профиля интенсивности считывающего пучка в выходной плоскости и соответственно за процессом формирования волноводного канала. На рис.2 представлены результат дифракции считывающего светового пучка на длине кристалла в однородной области и распределения интенсивности в выходной плоскости волновода для формирующего и считывающего пучков в решетке с  $\Lambda = 20$  мкм и  $\Delta n = 10^{-4}$ . Формирующий сфазированный световой пучок с размером перетяжки 15 мкм на входной плоскости волновода имел мощность 10 мкВт.

Уже при времени экспозиции  $t < 30$  мин наблюдалась заметная локализация светового поля считывающего пучка в области минимума интенсивности формирующего пучка. При  $t = 180$  мин дифракционная расходимость считывающего пучка в плоскости волновода почти полностью компенсировалась (рис.2,д), что указывает на формирование в планарном волноводе темного фото-рефрактивного пространственного солитона, индуцирующего каналный волновод в неосвещенной области. Эволюция распределения интенсивности считывающего пучка в выходной плоскости волновода иллюстрируется зависимостью отношения его поперечных размеров  $w_z/w_y$  от времени экспозиции при создании каналного

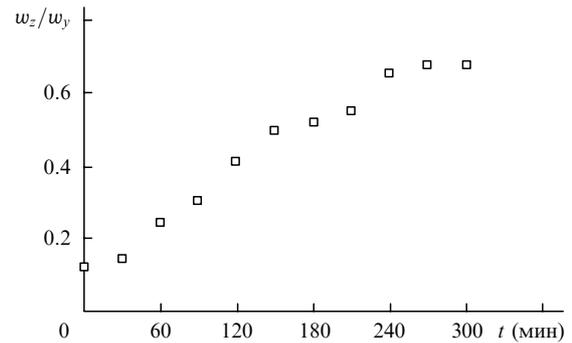


Рис.3. Временная зависимость отношения  $w_z/w_y$  размеров пучка в выходной плоскости кристалла (по уровню половинной интенсивности).

волновода формирующим пучком (рис.3). Здесь  $w_z$  и  $w_y$  – размеры пучка по уровню половинной интенсивности в направлении нормали к плоскости волновода и в данной плоскости. Сечение считывающего пучка остается слегка эллиптическим даже при времени экспозиции  $t = 5 - 6$  ч, поскольку изменение показателя преломления в плоскости волновода может сравняться с таковым в направлении нормали к этой плоскости только при полном исчезновении волноводного слоя в освещенной области.

Таким образом, продемонстрирована генерация изолированных двумерных волноводных каналов в объеме кристалла  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ . Полученные результаты указывают на возможность формирования более сложных канальных волноводных структур в оптически индуцированных в кристалле  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$  системах связанных и изолированных планарных оптических волноводов.

1. Kivshar Yu.S., Stegeman G.I. *Opt. & Phot. News*, **13** (2), 59 (2002).
2. Stegeman G.I., Segev M. *Science*, **286**, 1518 (1999).
3. Kivshar Yu.S., Luther-Davis B. *Phys. Rep.*, **298**, 81 (1998).
4. Iturbe-Castillo M.D., Marquez-Aguilar P.A., Sanchez-Mondragon J.J., Stepanov S., Vysloukh V. *Appl. Phys. Lett.*, **64**, 408 (1994).
5. Duree G., Shultz J., Salamo G., Segev M., Yariv A., Crosignani B., Di Porto P., Sharp E., Neurgaonkar R.R. *Phys. Rev. Lett.*, **71**, 533 (1993).
6. Taya M., Bashaw M.C., Fejer M.M., Segev M., Valley G.C. *Phys. Rev. A*, **52**, 3095 (1995).
7. Kip D., Wesner M., Shandarov V., Moretti P. *Opt. Lett.*, **23**, 921 (1998).
8. Shandarov V., Kip D., Wesner M., Hukriede J. *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.*, **2**, 500 (2000).
9. Chauvet M., Chauvin S., Maillotte H. *Opt. Lett.*, **26**, 1344 (2001).
10. Neshev D., Ostrovskaya E., Kivshar Yu., Krolikowski W. *Opt. Lett.*, **28**, 710 (2003).
11. Fleischer J., Carmon T., Segev M., Efremidis N.K., Christodoulides D.N. *Phys. Rev. Lett.*, **90**, 023902 (2003).