

УДК 535.44

С.А. Смычков, М.В. Бородин, В.В. Щербина

Исследование стойкости планарных волноводов $Zn:LiNbO_3$ к оптическому излучению с длиной волны 532 нм

Представлены результаты исследований фоторефрактивной чувствительности планарного волновода, полученного высокотемпературной диффузией из плёнки оксида цинка в подложку x -среза конгруэнтного ниобата лития. Экспериментально проведена оценка уровня наведённых изменений и получены временные зависимости для разных уровней световой интенсивности.

Ключевые слова: ниобат лития, планарный волновод, фоторефрактивный эффект.

Кристаллы ниобата лития широко используются для создания интегрально-оптических устройств, благодаря хорошим электрооптическим и нелинейно-оптическим свойствам. Свойства ниобата лития значительно зависят от его стехиометрического состава и содержания легирующих примесей [1]. К таким свойствам, важным для практического применения, относится фоторефрактивная чувствительность, т.е. способность изменять показатель преломления под действием излучения. Однако в задачах нелинейной оптики, связанных с преобразованием спектральных характеристик лазерного излучения, требуется высокая стабильность оптических свойств, в частности, для выдерживания условий фазового синхронизма. Важной задачей является поиск методик подавления фотоиндуцированных изменений параметров среды, в том числе внесением соответствующих примесей. При создании оптических волноводов для устройств интегральной оптики традиционно используется его диффузионное легирование титаном, приводящее к повышению показателя преломления поверхностного слоя ниобата лития [2]. Считается, что для нелинейно-оптических элементов в интегральном исполнении перспективно диффузионное легирование ниобата лития такими примесями, как цинк [3] и галлий [4], которые снижают фоторефрактивную чувствительность ниобата лития к излучению видимого диапазона при объемном легировании [1].

В данной работе представлены результаты исследований стойкости планарного волновода $Zn:LiNbO_3$, сформированного высокотемпературной диффузией из пленки оксида цинка, к воздействию излучения твердотельного лазера с длиной волны 532 нм, широко используемого в различных приложениях.

Исследуемый образец. Планарный волновод $Zn:LiNbO_3$ был сформирован на подложке конгруэнтного ниобата лития x -среза толщиной в 3 мм и с поперечными размерами 7×24 мм по осям z и y соответственно. Волноводный слой сформирован высокотемпературной диффузией из плёнки оксида цинка по технологии, описанной в [5]. На длине волны 532 нм в данном образце поддерживаются по крайней мере три волноводные ТЕ моды. Полагая профиль волновода удовлетворяющим функциональной зависимости \cosh^{-2} , расчётом по измеренным эффективным показателям преломления для этого образца были получены эффективная глубина волноводного слоя, составившая 12,8 мкм, и перепад показателя преломления, составивший 0,00197.

Экспериментальная часть. Во всех экспериментах распространение лазерного пучка происходило вдоль кристаллографического направления y , вектор напряженности электрического поля волны ориентировался вдоль полярной оси z . Таким образом, мы использовали волноводные ТЕ-моды. В качестве источника излучения использовался непрерывный твердотельный лазер с длиной волны 532 нм.

Стойкость волновода к лазерному излучению оценивалась по величине нелинейной добавки к показателю преломления, возникающей в волноводном слое при неоднородной засветке. Для этого при помощи двухпучкового взаимодействия в волноводе записывалась фоторефрактивная решётка, после чего измерялась эффективность дифракции лазерного пучка на этой решётке. Эффективность дифракции на решётке позволяет вычислить величину наведённых изменений показателя преломления. Для записи решетки в волновод через рутиловую призму связи вводились два лазерных пучка с длиной волны 532 нм, которые затем пересекались в плоскости волновода, образуя интерференционную решётку, и выводились через выходную призму. На выходе интенсивность обоих пучков

фиксирувалась фотодиодами. Запись решётки производилась в течение 10 мин, после чего один из входящих пучков перекрывался, и измерялась интенсивность дифрагированного излучения.

Эффективность дифракции в используемой геометрии, определяемая как отношение интенсивностей дифрагированного и основного пучков, составила 6,89%.

Характер изменений характеристик волновода во времени также стал предметом наших исследований. Экспериментальная установка для наблюдения изменений интенсивности прошедшего через волновод света во времени состояла из твердотельного лазера с длиной волны 532 нм, коллиматора, стеклянной пластины, волновода Zn:LiNbO₃, рутиловых призм связи, фотодиодов ФД-24К, цифровых микроамперметров и блока считывания и обработки данных, подключенного к персональному компьютеру. Интенсивность излучения лазера изменялась посредством изменения угла падения лазерного луча на пластину из кварцевого стекла.

В результате экспериментов, время которых составляло от 600 до 7200 с, были получены зависимости интенсивности излучения на выходе из волновода от времени воздействия при мощностях пучка, падающего на призму ввода, составляющих 4, 18 и 37 мВт (см. рис. 1). При входной мощности 4 мВт в течение 1 ч плавное уменьшение интенсивности выводимого из волновода излучения произошло в 2,88 раза. Для входной мощности 37 мВт выходная интенсивность за час экспозиции упала уже в 8,9 раза.

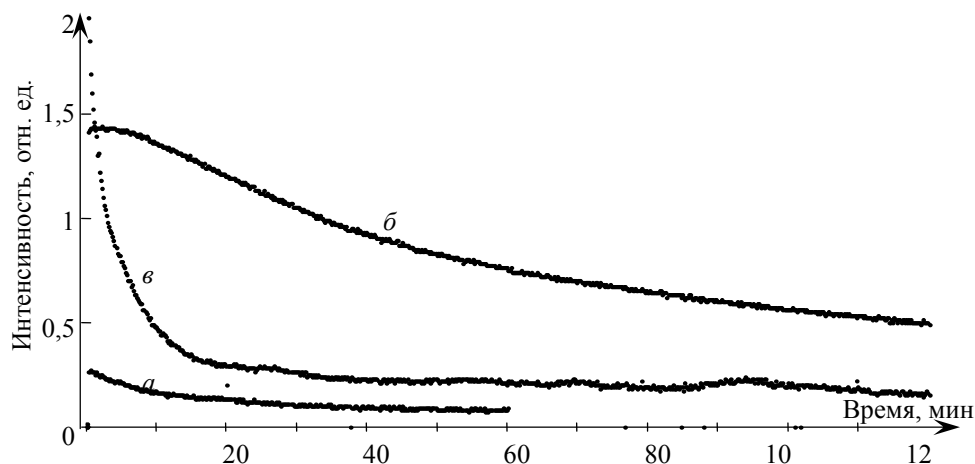


Рис. 1. Зависимость интенсивности излучения на выходе из волновода от времени: а – входная мощность излучения 4 мВт; б – входная мощность излучения 18 мВт; в – входная мощность излучения 37 мВт

Проведённые нами оценки показывают, что входной мощности 1 мВт в наших экспериментах соответствует плотность мощности света в волноводе 300 мВт/см². То есть максимальная плотность мощности (зависимость «в» на рис. 1), полученная в наших экспериментах, составила 11,1 Вт/см².

Обсуждение результатов. Эффективность дифракции, полученная в наших экспериментах, позволяет вычислить амплитуду наведенных изменений показателя преломления по формуле

$$\delta n = \frac{\lambda}{\pi L} \arcsin(\sqrt{\eta}), \quad (1)$$

где η – эффективность дифракции на записанной решётке; λ – длина волны; L – длина взаимодействия; δn – наведённая добавка к показателю преломления. В таблице приведены как данные для данного образца, так и данные для волновода на ниобате лития с титаном, полученные по той же методике.

Эффективность дифракции на фоторефрактивной решётке и нелинейная добавка к показателю преломления для волноводов с титаном и цинком

Тип волновода	Эффективность дифракции на фоторефрактивной решётке η , %	Нелинейная добавка к показателю преломления δn
Ti: LiNbO ₃	16,7	$8,911 \cdot 10^{-6}$
Zn: LiNbO ₃	6,89	$5,622 \cdot 10^{-6}$

Как видно из сравнения, волноводы с цинком действительно менее подвержены воздействию лазерного излучения. Тем не менее различия и не так сильны, как ожидалось, что может объяснять-

ся, в частности, иной стехиометрией как подложки, так и плёнки, другим уровнем легирования, по сравнению с аналогами, известными из литературы.

Изменения оптических свойств волновода во времени, как видно из рис. 1, демонстрируют заметную зависимость как скорости, так и масштаба изменений от входной мощности пучка. Свет большой интенсивности приводит к более сильным изменениям показателя преломления, вследствие чего нарушаются оптимальные условия распространения света в волноводе, соответствующие волноводной моде, и его интенсивность падает. Эффект самодифракции, усиливающийся с ростом интенсивности, также вносит негативный вклад.

Заключение. Таким образом, в настоящей работе показано, что использование легирования цинком вместо титана для создания волноводов на ниобате лития приводит к небольшому снижению фоторефрактивных свойств материала. Как показали наши измерения, изменения оптических свойств исследуемой среды при больших световых интенсивностях оказывают заметное влияние на условия распространения света. В дальнейшем планируется провести экспериментальное выявление закономерностей влияния стехиометрии оксидных плёнок с цинком и галлием на фоторефрактивные характеристики сформированных на их основе оптических волноводов.

Работа выполнена при поддержке программ ФАНИ (гос. контракт 02.740.11.0553) и «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)». Авторы благодарят С.А. Кузнецову, В.В. Козика и С.М. Шандарова за постановку задачи и консультации.

Литература

1. Ниобат лития: дефекты, фоторефракция, колебательный спектр, поляритоны / Н.В. Сидоров, Т.Р. Волк, Б.Н. Маврин, В.Т. Калинин. – М.: Наука, 2003. – 255 с.
2. Schmidt R.V., Kaminov I.P. Metal-diffused optical waveguides in LiNbO₃ // Appl. Phys. Lett. – 1974. – Vol. 25. – P. 458–460.
3. Fabrication, characterization and index profile modeling of high-damage resistance Zn-diffused waveguides in congruent and MgO:Lithium niobate / W.M. Young, M.M. Fejer, M.J.F. Digonnet et al. // J. Lightwave Technol. – 1992. – Vol. 10, № 9. – P. 1238–1246.
4. Huang W.H. Gallium in-diffusion for the fabrication of lithium niobate optical waveguides / W.H. Huang, W.S. Wang // IEEE Phot. Technol. Lett. – 2007. – Vol. 19, № 20. – P. 1679–1681.
5. Планарные оптические волноводы Zn:LiNbO₃ для интегральной и нелинейной оптики / Д.О. Анисимов, М.В. Бородин, А.Ю. Печёнкин и др. // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 2(22), ч. 2. – С. 58–61.

Смычков Станислав Александрович

Аспирант каф. электронных приборов ТУСУРа
Тел.: (382-2) 41-38-87, +7-909-538-95-57
Эл. почта: s.smy@sibmail.com

Бородин Максим Викторович

Аспирант каф. электронных приборов ТУСУРа
Тел.: (382-2) 41-38-87, +7-960-972-68-76
Эл. почта: crupter06@rambler.ru

Щербина Веста Вячеславовна

Аспирант каф. электронных приборов ТУСУРа
Тел.: (382-2) 41-35-07
Эл. почта: vesta-87@mail.ru

Smychkov S.A., Borodin M.V., Scherbina V.V.

Investigation of planar Zn:LiNbO₃ waveguide resistance to optical radiation with a wavelength of 532 nm

The results of photorefractive damage resistance observation of planar Zn-indiffused lithium niobate waveguides are presented. The amplitude of induced refractive index variations has been measured by the two-wave interaction method. Time dependences of light passed through waveguide have been also obtained.

Keywords: lithium niobate, planar waveguide, photorefractive effect.