

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

06; 12

Журнал технической физики, т. 59, в. 8, 1989

ПЛАНАРНАЯ ЛИНЗА В LiNbO_3 ,
ИЗГОТОВЛЕННАЯ МЕТОДОМ ДВОЙНОГО ПРОТОННОГО ОБМЕНА

В. А. Волков, В. А. Ганьшин, М. Ю. Кваша, Ю. Н. Коркишко, С. М. Федотов

Введение

Авторами [1-5], а также в наших работах [6-7] предложены и разработаны конструкция, методы расчета и технология изготовления планарных протонообменных линз в $\text{Ti} : \text{LiNbO}_3$ световодах, так называемых линз TIPE. Метод их изготовления включает следующие основные стадии: формирование $\text{Ti} : \text{LiNbO}_3$ световода на пластине X- или Y-среза ниобата лития; нанесение на поверхность кристалла пленки диэлектрика (Si_3N_4 или $\text{SiO}-\text{SiO}_2$), в которой с помощью фотолитографии вытравливается «окно» под линзу рассчитанного контура; формирование в области «окна» TIPE-структуры путем обработки образцов в расплаве — источнике ионов водорода.

Изготавливаемая таким образом TIPE-линза проста по конструкции, удовлетворяет требованиям планарной технологии и имеет отличные характеристики. К ее недостаткам можно отнести, пожалуй, лишь необходимость использования двух столь различных методов формирования световодов: диффузии титана и протонолитиевого обмена.

Цель нашей работы — получение и исследование световодной линзы в ниобате лития путем двойного протонолитиевого обмена, ДПО линзы, в изготовлении которой формирование $\text{Ti} : \text{LiNbO}_3$ световода заменяется на формирование идентичного по параметрам световода $\text{H} : \text{LiNbO}_3$.

Методы исследования и расчета

Эксперименты выполнены с кристаллами Y-среза LiNbO_3 . Известно, что профиль показателя преломления (ППП) $\text{H} : \text{LiNbO}_3$ световодов непосредственно после их изготовления описывается ступенчатой функцией [8, 9]. Поэтому показатель преломления (ПП) и толщина многомодовых структур определялись решением системы дисперсионных уравнений для различных мод.

ППП одномодовых световодов определялись из анализа зависимостей эффективного показателя преломления (ЭПП) моды e-луча от направления его распространения. Следуя Гончаренко и Редько [10], можно показать, что для световода на Y-срезе ниобата лития со ступенчатым ППП при распространении света под углом θ от оси C выполняется

$$\frac{2\pi}{\lambda} d u_w = \arctg \frac{u_s}{u_w} + \arctg \frac{u_c}{u_w} + m\pi, \quad (1)$$

где λ — длина волны света; d — толщина световода; $m=0, 1, 2$ — номер моды

$$u_w, s = \left(\frac{|\varepsilon_0^{w,s} \varepsilon_c^{w,s} - \varepsilon_{33}^{w,s} n_m^2(\theta)|}{\varepsilon_0^{w,s}} \right)^{1/2}; \quad u_c = (n_m^2(\theta) - 1)^{1/2},$$

где $\varepsilon_{33}^{w,s} = \varepsilon_e^{w,s} \cos^2 \theta + \varepsilon_o^{w,s} \sin^2 \theta$, $\varepsilon_e^{w,s}$ и $\varepsilon_o^{w,s}$ — диэлектрические проницаемости соответственно для e- и o-лучей (индекс w относится к волноводной области, s — к подложке), $n_m(\theta)$ — ЭПП m -моды.

Измеряя $n_m(\theta)$ при различных θ (минимум при трех значениях) и решая систему (1), можно определить $\varepsilon_e^{w,s}$, $\varepsilon_o^{w,s}$, d .

В случае градиентных световодов дисперсионные уравнения в ВКБ приближении выглядят следующим образом:

$$\frac{2\pi}{\lambda} \int_0^{Y_m} u_w(Y) dY = \text{arctg} \left[\frac{u_e}{(\epsilon_w^2(0) - n_m^2(\theta))^{1/2}} \right] + m \left(\pi + \frac{1}{4} \right), \quad (2)$$

где Y_m — поворотная точка m -моды, а диэлектрические проницаемости являются функциями от Y : $\epsilon_w^e, e(Y)$.

Для построения ППП с удовлетворительной точностью необходимо измерить 7—10 значений $n_m(\theta)$ при различных θ . Метод и схема исследования параметров линзы описаны нами ранее [7]. Все исследования выполнены при $\lambda=633$ нм.

Изготовление и параметры ДПО линз

ДПО линзы получали следующим образом. Вначале в расплавах некоторых кислотных солей осуществлялась протонообменная диффузия, формировались $H:LiNbO_3$ световоды со ступенчатым ППП и $n_e^e=2.33$, $n_o^e=2.25$ и $d=0.4$ мкм. После этого образцы отжигались при

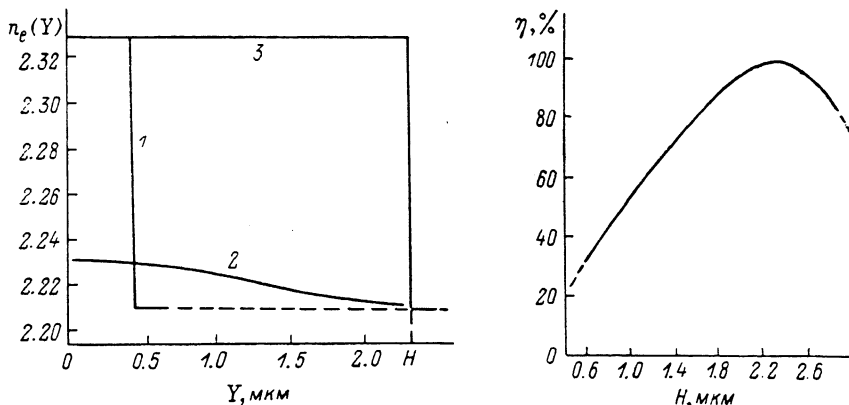


Рис. 1. Профили показателя преломления е-луча в световодах на различных стадиях изготовления.

1 — $H:LiNbO_3$, непосредственно после протонолитиевого обмена; 2 — после отжига при $350^\circ C$ (1 ч); 3 — ДПО область.

Рис. 2. Эффективность преобразования нулевой моды $H:LiNbO_3$ световода с гауссовым профилем показателя преломления ($n_e^{(0)}=2.23$, $D=2$ мкм) в нулевую моду ДПО световода в зависимости от его толщины.

$350^\circ C$ в течение 1 ч. В результате формировались световоды — аналоги $Ti:LiNbO_3$ с ППП, близким к функции Гаусса,

$$n_{e,o}^e = n_{e,o}^{(e)} + (n_{e,o}^e(0) - n_{e,o}^{(e)}) \exp \left[-\frac{Y^2}{D^2} \right],$$

где $n_e^e(0)=2.23$, $n_o^e(0)=2.23$, $D=2.0$ мкм.

Также структуры поддерживали распространение в X -направлении одной TE -моды с ЭПП 2.215. Далее поверхность пластины покрывалась фоторезистом и проводилась фотолитография. Контур «окна» рассчитывался с учетом анизотропии световодов для фокусного расстояния линзы 60 мм [6, 7]. Пленка фоторезиста служила непосредственно маской для протонообменной диффузии.

После повторного протонолитиевого обмена в открытой области маски формировалась ДПО линза со ступенчатым ППП. В ней поддерживалось распространение пяти TE -мод. Отметим, что при проведении повторного протонообменного обмена ППП световода, сформированного на первой стадии, практически не трансформируется. Это обусловлено тем, что после отжига концентрация протонов и связанный с нею коэффициент их диффузии в области световода существенно ниже, чем в области ДПО. На рис. 1 показаны ППП в структуре после каждой из стадий изготовления линзы.

Глубина области ДПО линзы выбиралась из соображений максимальной эффективности преобразования единственной моды в световоде $H:LiNbO_3$ в нулевую моду структуры ДПО.

Поля в каждой из двух структур вычислялись с помощью разложения по ортонормированным модам. Коэффициенты разложения рассчитывались из обычных граничных условий. Отраженной от границ линзы волной пренебрегали. В таком случае эффективность перекачки мод η определяется интегралом перекрытия полей в световоде и в области ДПО. На рис. 2 представлена зависимость η от толщины d световодной области ДПО, рассчитанная для характерного параметра $D=2.0$ мкм гауссова профиля ПП световода $H:LiNbO_3$.

Х а р а к т е р и с т и к и Д П О л и н з

№ образца	Коэффициент пропускания через линзу, %	Размер фокального пятна по уровню 3 дБ, мкм	Уровень первого бокового лепестка, дБ
1	70	30	11
2	80	30	12
3	80	30	11

В наших экспериментах использовались линзы с таким ходом лучей, при котором параллельный пучок из $H:LiNbO_3$ световода падает на их плоскую границу. Эта схема, выбранная и описанная ранее для ТИРЕ-линз [7], оказалась весьма эффективной. В таблице представлены некоторые характеристики изготовленных линз ДПО.

Линзы ДПО, как следует из сопоставления этих данных и данных работы [7], не уступают по своим параметрам линзам ТИРЕ. Учитывая важные преимущества в способе получения ДПО линз, можно ожидать существенные прикладные и научные результаты при разработке интегрально-оптических элементов такого типа.

Список литературы

- [1] Zang D. Y. // Opt. Commun. 1983. Vol. 47. N 4. P. 248—250.
- [2] Zang P. Y., Tsai C. S. // Appl. Phys. Lett. 1985. Vol. 46. N 8. P. 703—705.
- [3] Tsai C. S., Zang D. Y., Le P. // Appl. Phys. Lett. 1985. Vol. 47. N 6. P. 549—551.
- [4] Zang D. Y., Tsai C. S. // Appl. Optics. 1986. Vol. 25. N 14. P. 2264—2271.
- [5] Subara T., Fujiwara Sh., Nishibara H. // Appl. Optics. 1986. Vol. 25. N 19. P. 3379—3383.
- [6] Ганьшин В. А., Коркишко Ю. Н. // ЖТФ. 1987. Т. 57. Вып. 4. С. 827—829.
- [7] Волков В. А., Вьрелкин В. П., Ганьшин В. А. и др. // ЖТФ. 1987. Т. 57. Вып. 6. С. 1224—1223.
- [8] Jackel J. L., Rice C. E., Veselka J. J. // Appl. Phys. Lett. 1982. Vol. 41. N 7. P. 607—608.
- [9] Ганьшин В. А., Иванов В. Ш., Коркишко Ю. Н., Петрова В. З. // ЖТФ. 1986. Т. 56. Вып. 7. С. 1354—1362.
- [10] Гончаренко А. М., Редько В. П. Введение в интегральную оптику. Минск: Наука и техника, 1975. 148 с.

Московский институт
электронной техники

Поступило в Редакцию
3 июля 1987 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ В НИОБАТЕ ЛИТИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ДИФФУЗИЕЙ ЖЕЛЕЗА

А. И. Башкиров, В. М. Шандаров

Планарные оптические волноводы являются базовыми элементами широкого класса устройств интегральной оптики. Электрооптические и акустооптические модуляторы и переключатели, акустооптические корреляторы и анализаторы спектра, аналого-цифровые преобразователи — вот далеко не полный перечень уже реализованных устройств с использованием оптических волноводов [1]. В интегральной акустооптике в настоящее время основ-