

07; 12

© 1992

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТОНООБМЕННЫХ ОПТИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ НИОБАТА ЛИТИЯ

А.В. Кухарев, А.А. Липовский

Эффективность нелинейных взаимодействий возрастает с увеличением плотности световой мощности, поэтому использование полосковых (канальных) оптических волноводов позволяет существенно усилить соответствующие эффекты. В связи с этим большой интерес представляет исследование канальных протоннообменных оптических структур, сформированных в подложках из ниобата лития. На основе подобных структур может быть реализован процесс несинхронной генерации второй гармоники – Черенковская ГВГ [1]. Процесс планарной диффузии протонов в достаточной степени изучен. Однако процедура формирования канальных световодов при проведении диффузии через маскирующее покрытие требует дополнительных исследований.

В настоящей работе для формирования канальных световодов в подложках из ниобата лития использовалась диффузия из расплава бензойной кислоты, проводимая в герметичном тигле. Для создания структур требуемой топологии применялось маскирующее покрытие, выполненное из нанесенной термическим испарением пленки металлического титана. Необходимый рисунок выполнялся с помощью фотолитографии. Изготовленные маски оказывались достаточно стойкими по отношению к бензойной кислоте.

При изготовлении канальных оптических волноводов важным является вопрос о влиянии боковой диффузии на их характеристики. Прямым следствием боковой диффузии является уширение канального световода и, следовательно, изменение модового спектра и распределений электрических полей, рассчитываемых обычно для канала прямоугольного сечения. Для оценки увеличения поперечного сечения канальных световодов нами был использован дифракционный метод [2]. В этом случае на поверхности образца была сформирована маска, представляющая собой периодическую структуру, состоящую из щелей шириной 3.5 мкм с зазором между ними 6 мкм. Далее через эту маску, выполненную из пленки титана, был проведен протонный обмен, в результате которого была сформирована область с периодическим изменением показателя преломления, представляющая собой фазовую дифракционную решетку с толщиной, равной глубине диффузии протонов.

Затем, с помощью обратного Фурье-преобразования, на основе дифракционных измерений для различных порядков дифракции был восстановлен профиль фазовой модуляции. Сопоставление этого про-

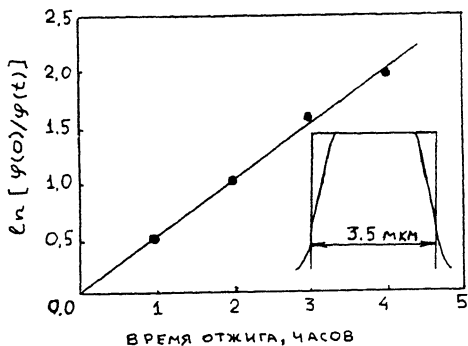


Рис. 1. Восстановленный по данным дифракционных измерений для 9 порядков профиль фазовой модуляции света периодической протонообменной структурой и профиль маски, через которую проводилась диффузия; зависимость индекса фазовой модуляции от времени отжига при температуре 275 °С для протонообменной структуры с периодом 9.5 мкм.

филья с профилем маски позволило судить о расплывании структуры в боковом направлении. Это положение иллюстрируется на рис. 1, на основе которого можно сделать вывод о том, что расплывание невелико и профиль диффузии с хорошей точностью соответствует профилю маски, хотя и не является строго прямоугольным.

Дифракционная методика дает возможность определить коэффициент боковой диффузии по данным измерений изменения эффективности дифракции в процессе дополнительного отжига образцов.

Измерения, проведенные как для фазовых дифракционных решеток малого периода, так и для высших пространственных гармоник решеток большого периода при постдиффузионном отжиге при той температуре, при которой проводилась диффузия, не позволили определить значение коэффициента боковой диффузии для температуры изготовления, так как после несущественных изменений значения индексов фазовой модуляции стабилизировались и оставались практически постоянными. Это значит, что при таком отжиге практически отсутствует трансформация профиля показателя преломления канального световода.

При проведении протонного обмена наблюдается деградация электрооптических и нелинейно-оптических постоянных ниобата лития, которые могут быть восстановлены при отжиге образцов [4]. Поэтому важным является вопрос о профилях каналов с восстановительными электрооптическими характеристиками, так как в этом случае используется сравнительно высокотемпературный отжиг. Соответствующие измерения были проведены. На рис. 1 также представлена зависимость от времени отжига при $T = 295$ °С индекса фазовой модуляции диффузионной периодической структурой проходя-

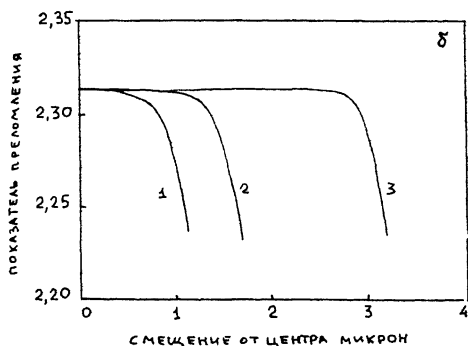
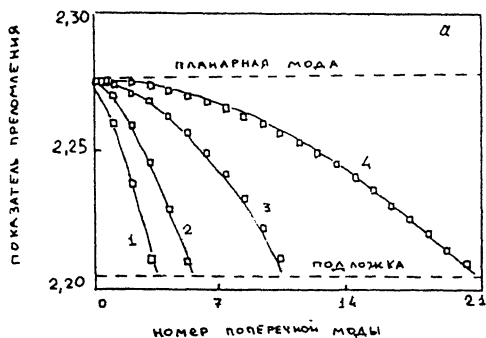


Рис. 2. а) Рассчитанные зависимости $N(m)$ – спектры эффективных показателей преломления поперечных мод канальных световодов – и экспериментальные точки для каналов с шириной: 1 – 2 мкм, 2 – 3 мкм, 3 – 6 мкм, 4 – 12 мкм. б) Профили показателя преломления, восстановленные по измеренным модовым спектрам для каналов шириной: 1 – 2 мкм, 2 – 3 мкм, 3 – 6 мкм.

шего излучения. Определенное на основании этих измерений значение коэффициента боковой диффузии составляет $D = 0.14 \text{ мкм}^2/\text{с}$. Измеренное для 350°C значение этого коэффициента составило $D = 0.29 \text{ мкм}^2/\text{с}$. Насколько известно авторам, это первая информация о коэффициенте боковой диффузии для протонообменных LiNbO_3 –структур при пост-диффузионном отжиге.

Дифракционная методика также была использована для определения изменения показателя преломления обыкновенного луча, которое для протонообменных структур на основе ниобата лития отрицательно. Точное значение этой величины необходимо знать, например, для расчета эффективности генерации второй гармоники в „черенковской“ геометрии [3]. В процессе работы определялся индекс фазовой модуляции проходящего излучения диффузионной дифракционной решеткой большого периода, выбранного с таким расче-

том, чтобы избежать влияния боковой диффузии на эффективность дифракции. В приближении ступенчатого профиля показателя преломления было сделано естественное предположение о равной глубине областей с изменением n_e и n_o . Поскольку данные по n_e могут быть восстановлены из волноводных измерений, т. е. значения Δn_e и глубины диффузии d можно считать известными, а d одинаково для Δn по обоим поляризациям, из этих измерений определяется $\Delta n_o < 0$. В случае подложки из ниобата лития Z-среза такие измерения могут быть проведены только для Δn_o , так как в любом случае падающий нормально на поверхность подложки световой пучок оказывается поляризованным перпендикулярно оптической оси кристалла (поляризация соответствует обыкновенному лучу). В случае X или Y-среза изменение поляризации падающего луча на ортогональную позволяет определить отношение $\Delta n_o / \Delta n_e$ и, таким образом, получить необходимую информацию.

Действительно, при поляризации излучения вдоль направления Z кристалла индекс фазовой модуляции пропорционален Δn_e , а при поляризации вдоль оси X или Y кристалла — пропорционален Δn_o . Соответствующие измерения, проведенные для различных образцов и различных дифракционных порядков, позволили определить отношение $\Delta n_o / \Delta n_e$, пропорциональное отношению индексов фазовой модуляции для ортогональных поляризаций. Согласно измерениям $\Delta n_o / \Delta n_e = 0.309$. При $\Delta n_e = 0.126$ ($\lambda = 0.633$ мкм) это дает $\Delta n_o = 0.0389$, что близко к известному оценочному значению 0.04.

В экспериментах исследовались также каналные оптические волноводы, сформированные в ниобате лития протонным обменом. При этом проводилось измерение спектра эффективных показателей преломления мод световода, который сравнивался с расчетным. Основное внимание уделялось поперечным модам.

На первом этапе при расчетах использовалась гипотеза о прямоугольном сечении оптического волновода, далее применялся метод эффективного показателя преломления [5]. При этом было обнаружено, что для широких каналов совпадение лучше, чем для узких — см. рис. 2, а. В сочетании с данными по боковой диффузии это дало основание предположить, что реальный профиль канала несколько отличается от прямоугольного.

К сожалению, измерения в режиме дифракции „на просвет“ дают информацию только об „интегральном“ по глубине характере дифракционной решетки. Однако, поскольку формируемое при планарной диффузии изменение показателя преломления по глубине носит характер, близкий к ступенчатому, естественным было предположить, что каналная структура представляет собой область с одинаковым всюду увеличением показателя преломления $\Delta n = \text{const}$. Область эта имеет более сложную, чем прямоугольная, форму поперечного сечения. На рис. 2б представлены восстановленные по модовым спектрам каналов формы сечения каналной структуры. Наблюдается хорошая корреляция с профилем, восстановленным по решеточным измерениям (см. рис. 1). Профиль, близкий к трапециевидному, был получен и при травлении протообменных полосковых структур.

Таким образом, можно утверждать, что сечения канальных световодов, особенно для узких структур, носят трапецеидальный характер.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] T i e n P.K., U l r i c h R., M a r t i n R.J. // Appl. Phys. Lett. 1970. V. 17. N 8. P. 447-449.
- [2] A r v i d s s o n G., L i p o v s k i i A.A. // J. Opt. Commun. 1987. V. 8. N 1. P. 12-18.
- [3] A r v i d s s o n G., L a u r e l l F., J a s k o r z y n s k a B. et al. Influence of annealing on the conversion efficiency for SHG for proton-exchanged LiNbO₃ waveguides. - Topical Meet. on Nonlinear guidedwave Phenomena: Physics and Applications, Houston, Texas, Feb. 2-4, 1989, proc. P. 1-4.
- [4] M i n a k a t a M., K u m a g a i K., K a w a k a m i S. // Appl. Phys. Lett. 1986. V. 49. N 16. P. 992-994.
- [5] H o o c k e r G.B., B u r n s W.K. // Appl. Optics. 1977. V. 16. N 9. P. 113-118.

С.-Петербургский
государственный
технический университет

Поступило в Редакцию
29 ноября 1991 г.