

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 538.566.6

Журнал технической физики, т. 58, в. 6, 1988

ОБРАТНЫЙ ИОННЫЙ ОБМЕН В Н : LiNbO₃ СВЕТОВОДАХ

В. А. Ганьшин, Ю. Н. Коркишко, В. З. Петрова

Метод протонолитиевого обмена $H^+ \rightleftharpoons Li^+$ широко применяется в интегральной оптике для формирования световодных слоев в подложках кристаллов типа ниобата лития. Однако в литературе отсутствуют сообщения об обратном обмене $Li^+ \rightleftharpoons H^+$, протекающем при обработке Н : LiNbO₃ структур в расплавах литийсодержащих солей. Вместе с тем, как будет показано, такой процесс открывает новые возможности формирования световодных слоев в кристаллах ниобата лития.

Целью данной работы является исследование свойств световодов, полученных методом обратного ионного обмена $Li^+ \rightleftharpoons H^+$, протекающего при обработке Н : LiNbO₃ [1] и TIPE [2] структур в расплаве LiNO₃.

Исследование характера деформаций в легированных слоях проводилось путем анализа кривых качания, снятых на двукристалльном дифрактометре ДРОН-0.5 (излучение $CuK_{\alpha 1}$, монохроматор Si (333)); спектральные исследования выполнялись на ИК спектрофотометре Spresord 751R, рентгенофазовый анализ — на дифрактометре D-2 «Rigaku Denki». Профили показателей преломления (ППП) в световодных слоях восстанавливались по данным измеренных методом призмного ввода лазерного излучения $\lambda = 633$ нм в световод эффективных показателей преломления (ПП) волноводных мод.

Н : LiNbO₃ структуры формировались на пластинах X- и Y-срезов кристаллов путем протонообменной диффузии в расплавах ZnCl₂—KCl [3] и пальмитиновой кислоты [4], TIPE структуры получали обработкой Ti : LiNbO₃ световодов в расплаве KHSO₄.

В работе [1] было показано, что в протонообменной области ПП обыкновенного луча о-луча уменьшается до 2.26, а на фронте диффузии формируется слой моноклинной фазы LiNb₃O₈, имеющей еще более низкий ПП. Этот слой играет роль подложки, а Н : LiNbO₃ световодной среды для распространения ТМ мод (назовем их «фазовыми»), имеющих меньшие эффективные ПП, чем ПП о-луча исходного ниобата лития. Так как формируемый слой LiNb₃O₈ имеет малую толщину и низкое кристаллографическое совершенство, то из-за утечки в подложку и рассеяния коэффициент затухания этих мод очень велик ($\alpha > 100$ дБ/см).

На рис. 1 представлены основные стадии изменения со временем модового спектра Н : LiNbO₃ структуры при обработке ее в расплаве LiNO₃ при $T = 330$ °С. Соответственно наблюдается уменьшение интенсивности поглощения —О—Н связи в области 3500 см⁻¹, и в конце стадии II она достигает величины исходного метаниобата лития.

ППП о-луча в начале стадии III имеет форму ступеньки, и ПП на поверхности кристалла равен соответствующей величине чистого ниобата лития, а рентгенофазовый анализ по-прежнему показывает наличие фазы LiNb₃O₈ в структурах. В течение стадии III происходит последовательная отсечка «фазовых» ТМ мод с высшими индексами и снижается интенсивность сигналов, соответствующих плоскостям LiNb₃O₈. Завершение стадии III характеризуется отсутствием волноводного распространения света в поверхностной области кристалла и полным восстановлением состава и структуры ниобата лития.

Анализ кривых качания от плоскостей (030) Н : LiNbO₃ структур показал, что в течение обратного протонного обмена происходит уменьшение интенсивности диффузионного пика на кривых качания, которая в конце стадии II становится практически равной нулю. Отметим, что при этом форма кривой качания в целом сохраняется. Это указывает на то, что процесс обратного ионного обмена развивается аналогично прямому — профиль деформаций имеет ступенчатую форму [1].

Рассмотрим $\text{H} : \text{LiNbO}_3$ структуру в начале стадии II обратного ионного обмена. Профиль деформаций в ней можно построить на основании известного соответствующего профиля в исходном $\text{H} : \text{LiNbO}_3$ световоде [1] (рис. 2, б). Глубина обратного обмена y_0 определена из соотношения площадей под диффузионными пиками в исходном S_1 и в обработанном в LiNO_3 образце S_2 :

$$S_2/S_1 = \int_{y_0}^y F(y) dy \bigg/ \int_0^y F(y) dy,$$

где $F(y) = \exp(-2\mu_0 y / \sin \theta_{(030)})$, μ — коэффициент поглощения рентгеновских лучей в ниобате лития ($\mu_0 = 470 \text{ см}^{-1}$ [6]).

В работе [1] показано полное соответствие между профилем деформаций и ППП. На основании данных этой работы ППП e - и o -лучей имеют вид, представленный на рис. 2, в. Та-

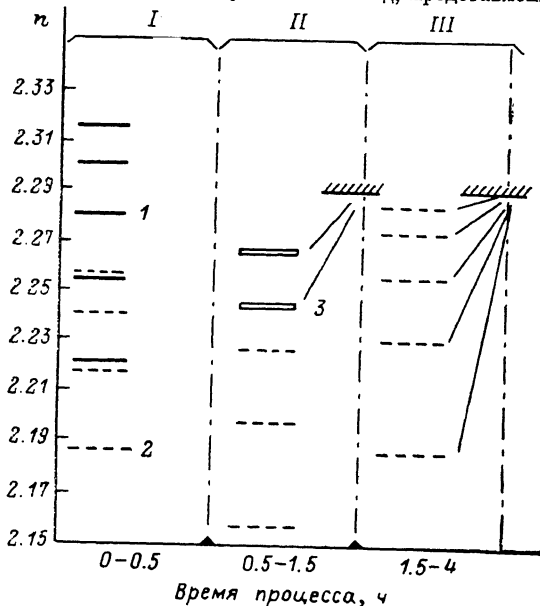


Рис. 1. Типичная диаграмма изменения модового спектра $\text{H} : \text{LiNbO}_3$ структуры от времени обработки в расплаве LiNO_3 при $T=330^\circ\text{C}$.

1 — TE моды, 2 — «фазовые» TM моды, 3 — TM моды с малыми оптическими потерями.

кой ППП o -луча обеспечивает волноводное распространение TM мод, имеющих в отличие от «фазовых» TM мод низкий коэффициент затухания ($\alpha < 1 \text{ дБ/см}$). Волноводной средой для них служит область чистого кристалла LiNbO_3 , а подложкой $\text{H} : \text{LiNbO}_3$. Восстановление ППП o -луча по значениям измеренных эффективных ППП этих мод полностью подтвердило построенный профиль.

Отметим, что обратный ионный обмен позволяет формировать в глубине кристалла область с резкими границами, имеющую повышенное значение ППП e -луча, и тем самым получать «утолщенные» световоды, поддерживающие распространение TE мод.

Обратный обмен протекает и при обработке $TIPE$ структур в расплаве LiNO_3 , приводя к полному восстановлению структуры и состава $\text{Ti} : \text{LiNbO}_3$ световодов.

Исходный $TIPE$ световод поддерживал распространение 1 TM и 5 TE мод с $\alpha < 1 \text{ дБ/см}$, и ППП e -луча в нем имел ступенчатую форму.

На рис. 3, а показана кривая качания от плоскости (030) $TIPE$ структуры в LiNbO_3 , обработанной в расплаве LiNO_3 при $T=330^\circ\text{C}$ в течение 1 ч. Отметим, что левая часть кривой качания полностью соответствует исходной $\text{Ti} : \text{LiNbO}_3$ структуре. Однако вместе с тем в приповерхностной области присутствуют деформации растяжения, соответствующие $\text{H} : \text{LiNbO}_3$ области и имеющие ступенчатый профиль распределения. Аналогично ранее изложенному из соотношения площадей под диффузионными пиками была определена глубина залегания ступенчатого профиля деформаций. Для определения характера деформаций сжатия, соответствующих $\text{Ti} : \text{LiNbO}_3$ структуре, были построены теоретические кривые качания для различных коэффициентов A в $\epsilon_y = \epsilon_0 \exp[-(y/A)^2]$ аналогично тому, как это

сделано авторами работы [6]. Истинное значение коэффициента $A=1$ мкм определялось из соответствия теоретической и экспериментальной кривых. На рис. 3, б представлен профиль деформаций в исследуемой структуре. Отметим, что полученный световод поддерживал распространение 3 TM и 1 TE мод с $\alpha < 1$ дБ/см. Исходя из соответствия профилей деформаций

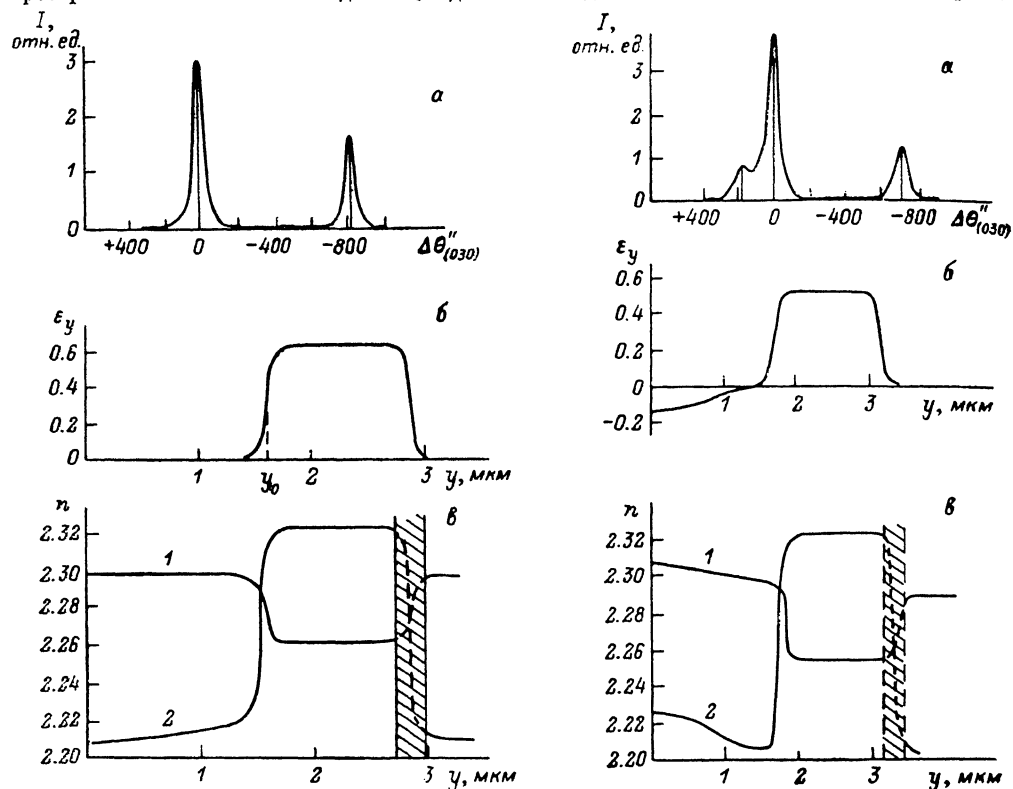


Рис. 2. Характеристики $H : LiNbO_3$ структуры, обработанной в расплаве $LiNO_3$ при $T=330^\circ C$ в течение 0.6 ч.

а — кривая качания от плоскости (030), б — профиль деформаций параметра решетки α , ϵ — ППП σ - (1) и ϵ - (2) лучей (область фазообразования заштрихована).

Рис. 3. Характеристики TIPE структуры, обработанной в расплаве $LiNO_3$ при $T=330^\circ C$ в течение 1 ч.

а — кривая качания от плоскости (030), б — профиль деформаций параметра решетки α , ϵ — ППП σ - (1) и ϵ -лучей (2) (область формирования $LiNb_2O_6$ заштрихована).

в $Ti : LiNbO_3$ и $H : LiNbO_3$ структурах и их ППП ϵ -луча [1, 4], были построены ППП необыкновенного луча в исследуемой структуре. ППП σ -луча был восстановлен по данным измерений эффективных ПП TM мод (рис. 3, в).

Таким образом, метод обратного ионного обмена создает новые возможности широкого варьирования параметрами протонообменных световодов вплоть до формирования многослойных структур.

Литература

- [1] Ганьшин В. А., Коркишко Ю. Н., Петрова В. З. ЖТФ, 1985, т. 55, № 11, с. 2224—2227.
- [2] De Micheli M., Botineau J., Sibillot P. et al. Opt. Comm., 1983, v. 42, N 2, p. 101—103.
- [3] Ганьшин В. А., Коркишко Ю. Н., Петрова В. З. Письма в ЖТФ, 1983, т. 9, № 19, с. 1197—1200.
- [4] De Micheli M., Botineau J., Sibillot P. et al. Opt. Lett., 1983, v. 8, N 2, p. 114—115.
- [5] Sugii K., Fukuma M., Iwasaki H. J. Mat. Science, 1978, v. 13, p. 523—533.

Московский институт электронной техники

Поступило в Редакцию
11 февраля 1986 г.