

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФРАКЦИОННЫХ РЕШЕТОК В НИОБАТЕ ЛИТИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ДИФФУЗИЕЙ ТИТАНА И ЖЕЛЕЗА

И. Г. Войтенко, В. П. Редько, А. В. Томов

В интегрально-оптических устройствах обработки сигналов широкое применение находят пассивные элементы типа линз и призм, которые изготавливаются методами планарной технологии. Представляют также интерес дифракционные элементы, с помощью которых можно осуществлять деление оптических лучей в волноводе или отклонять лучи в плоскости волновода в заданном направлении.

В данной работе приводятся результаты экспериментального исследования дифракционных решеток, полученных диффузией титана и железа в Y -срез ниобата лития, и обсуждаются методы их получения.

В начальной стадии эксперимента на поверхность предварительно очищенных подложек ниобата лития методом фотолитографии наносились эквидистантные полоски титана толщиной 200 \AA и периодом 14 мкм . Общая площадь решетки имела размеры $3 \times 3 \text{ мм}$. Затем на образец наносилась планарная пленка титана такой же толщины. Диффузия проходила в кварцевом контейнере при температуре $1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Для предотвращения процесса обратной диффузии в контейнер помещался конгруэнтный порошок ниобата лития. Для температуры $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ минимальное время, за которое пленка титана толщиной τ диффундирует в кристалл полностью, определяется выражением [1]

$$t_0 = 1.5 \cdot 10^{-2} \tau, \quad (1)$$

где t_0 измеряется в часах, τ — в ангстремах. При этом глубина диффузии d , измеряемая в микрометрах, увеличивается за время диффузии $t_1 > t_0$ в соответствии с $d = 0.754 \sqrt{t_1}$ [2]. Следуя (1), время диффузии t_1 для общей толщины пленки диффузанта $\tau = 400 \text{ \AA}$ выбиралось равным 6 ч. Для удобства измерения показателя преломления в полосках решетки в печь помещался контрольный образец с толщиной диффузанта 400 \AA . После процесса диффузии эффективный показатель преломления для TE_0 -моды планарного волновода $N^* = 2.2042$ при показателе преломления подложки $N_0 = 2.2026$. Скачок показателя преломления в полосках решетки, измеренный на контрольном образце, $\Delta N = 1.3 \cdot 10^{-3}$. Измерение эффективного показателя преломления проводилось призмным методом на длине волны $\lambda_0 = 0.6328 \text{ мкм}$.

Характер дифракции определяется по величине параметра Q , который описывается выражением [3]

$$Q = L\lambda_0/N\Delta^2, \quad (2)$$

где N — волноводный показатель преломления, Λ — период решетки, L — длина взаимодействия. При $Q > 1$ дифракция соответствует режиму Брэгга. В условиях нашего экспери-

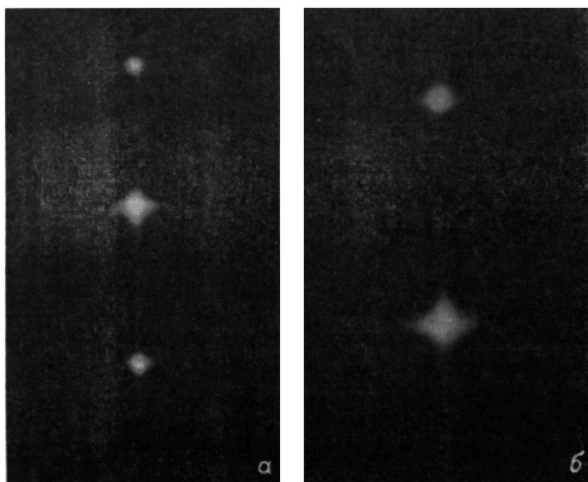


Рис. 1. Дифракционные картины при разных углах падения на решетку. $\Theta=0$ (а) и 0.6° (б).

мента $Q=4.4$ при $L=3000$ мкм, $N=2.20$, $\Lambda=14$ мкм. При этом условии Брэгга выполнялось для угла падения света на решетку $\Theta=0.6$ град. На рис. 1 приведены фотографии дифракционных картин для разных углов падения на решетку.

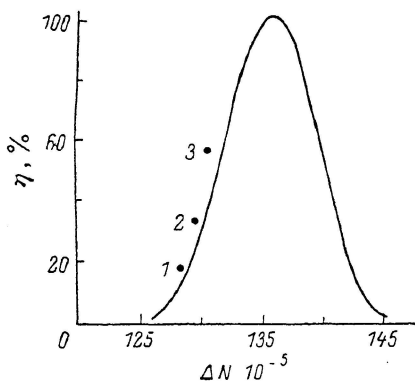
Для решетки с синусоидальным изменением показателя преломления эффективность можно рассчитать по формуле [4]

$$\eta = \sin^2\left(\frac{\pi\Delta N}{\lambda_0} L\right), \quad (3)$$

где ΔN — скачок показателя преломления в полосках решетки. Как видно из (3), при выбранных значениях L и λ_0 эффективность определяется значением ΔN . В используемом методе изготовления решетки верхний предел в ΔN достигается при времени диффузии, которое описывается уравнением (1). При увеличении минимального времени диффузии, когда пленка диффузанта диффундирует в подложку полностью, начинает преобладать боковая диффузия, которая постепенно приводит к уменьшению ΔN . При этом концентрация титана в областях с низким и высоким показателем преломления решетки постепенно приближается к общему значению, близкому к показателю преломления планарного волновода. Для случая, описываемого в данной работе, максимальное значение $\Delta N=1.3 \cdot 10^{-3}$ соответствовало эффективности дифракции $\eta=31\%$. Экспериментально эффективность дифракции измерялась как отношение $P_1/(P_0+P_1)$, где P_1 — мощность в дифрагированном луче, а P_0 — мощность в проходящем луче.

Рис. 2. Зависимость дифракционной эффективности от скачка показателя преломления.

t (ч), τ (Å): 1 — 8, 300; 2 — 6, 400; 3 — 7, 500. $T=1000$ °C.



На рис. 2 приведена зависимость эффективности дифракции от скачка преломления в полосках решетки, рассчитанная по формуле (3). Точки — значения эффективностей решеток, полученных при разных условиях диффузии.

На эффективность отклонения света в описанном устройстве влияет также поверхностное рифление, которое получается в процессе диффузии. Для выявления вклада в дифрак-

дию этого эффекта образцы отжигались в течение 16 ч при 1000°C для достижения общего значения показателей преломления планарного волновода и полосок решетки. Вклад в дифракцию определялся только эффектом рифления. Эффективность дифракции в этом случае составила $\eta=2.4\%$. Наличие поверхностного рифления объясняет, по-видимому, несоответствие экспериментальных и расчетных данных (рис. 2).

Привлекательным, на наш взгляд, методом является изготовление решеток в ниобате лития диффузией железа. Известно, что диффузия железа проходит в ниобат лития при температуре, меньшей, чем диффузия титана [5]. При использовании в качестве планарного волновода волноводный слой, полученный диффузией титана, решетка изготавливалась диффузией железа. Диффузия пленки железа толщиной 300 \AA проходила при температуре 910°C в течение 5 ч. При этом измеренный скачок показателя преломления составил $\Delta N = 3.1 \cdot 10^{-3}$, что соответствовало эффективности 48% . Значение показателя преломления планарного волновода после диффузии практически не изменилось.

Таким образом, при использовании описанных методов можно изготавливать дифракционные решетки и другие элементы на их основе с прогнозируемыми параметрами. Кроме того, элементы, полученные диффузией, имеют малые габариты и обладают высокой механической прочностью, что позволяет использовать их при построении сложных интегрально-оптических схем.

Литература

- [1] *Yi-Yan Alfredo, Andonovic I., Pun E. Y. B., Bjortorp B.* Appl. Phys. Lett., 1983, v. 43, N 1, p. 19—21.
- [2] *Vollmer J., Nisius J. P., Hertel P., Krätzig E.* Appl. Phys. A., 1983, N 32, p. 125—127.
- [3] *Дамон Р., Мэлони В., Мак-Магюи Д.* Взаимодействие света с ультразвуком: явление и применение. — В кн.: Физическая акустика / Под ред. Мэсона У. М.: Мир, 1974, т. 7, с. 311—426.
- [4] *White J. M., Heidrich P. F., Lean E. G.* Electron Lett., 1974, v. 10, N 28, p. 510—511.
- [5] *Войтенко И. Г.* Некоторые свойства волноводных слоев в ниобате лития, полученных термодиффузией железа. — Изв. АН БССР, Сер. физ.-мат. наук, 1980, № 1, с. 80—82.

Институт физики АН БССР
Могилевское отделение

Поступило в Редакцию
11 декабря 1985 г.