

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УФ-ОБЛУЧЕНИЯ
ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОПТИКИ
НА НИОБАТЕ ЛИТИЯ

К.И. Авдиенко, В.Г. Долгополов,
В.Л. Масленников, Д.В. Петров,
В.А. Сычугов, А.М. Ражев,
О.В. Рыданных, Л.А. Федюхин

Кристаллы ниобата лития широко используются в квантовой электронике, в частности в интегральной оптике. Нелинейные, электро- и акустооптические свойства этого материала уникальны, что открывает возможности изготовления на их основе не только отдельных интегрально-оптических элементов, но и в некоторых случаях интегрально-оптических схем гибридного типа. Особый практический интерес представляют различные методы локального изменения свойств и параметров кристаллов ниобата лития, которые могли бы расширить технологические возможности при изготовлении этих схем.

В [1-3] показано, что при облучении ниобата лития ультрафиолетовым излучением возникает большое необратимое изменение показателя преломления ≈ -0.2 . Изучение механизмов образования такого изменения проводилось обратным резерфордским рассеянием [2, 3], а также ИК спектроскопией [4]. Эти исследования позволили сделать вывод, что необратимое изменение показателя преломления связано с возникновением большой концентрации точечных дефектов в структуре кристалла. Оценки показывают, что на один атом приходится около десяти поглощенных фотонов с энергией кванта, превышающей энергию межатомной связи. В цитированных выше работах установлены оптимальные условия облучения кристаллов с целью получения максимального изменения показателя преломления на их поверхности. Учитывая возможность изменения толщины формирующегося слоя при УФ-облучении, можно говорить о перспективности его использования для формирования одномодовых канальных волноводов на фоне Ti -диффузионных планарных волноводов, планарных линзовых структур или для создания решетчатого элемента ввода-вывода света из планарного волновода.

Цель настоящей работы - показать возможность создания дифракционных решеток на поверхности ниобата лития с помощью УФ облучения.

Ниже приведены результаты измерений некоторых параметров дифракционных структур, изготовленных двумя способами. Источником УФ облучения служил эксимерный лазер KrF^* (длина волны 249 нм).

В первом способе [4] облучение образцов ниобата лития Z -среза производилось через периодическую фазовую маску (период 6 мкм), изготовленную на кварцевой пластине путем ионного трав-

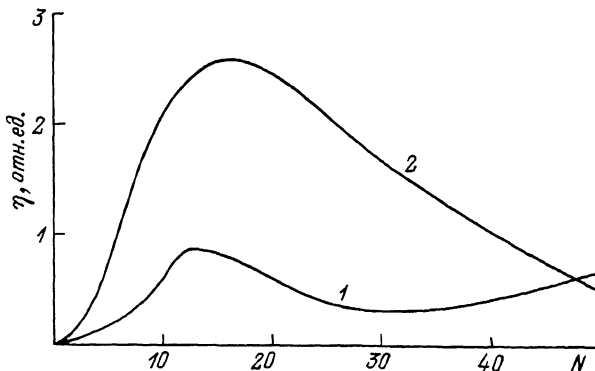


Рис. 1. Зависимость дифракционной эффективности решетки от числа импульсов облучения в первом порядке дифракции (кривая 1) и во втором порядке дифракции (кривая 2).

ления фоторезистивной маски. Фазовая маска плотно прижималась к образцу ниобата лития, поскольку пространственная когерентность излучения эксимерного лазера низка. В эксперименте измерялась относительная дифракционная эффективность решетки, наведенной в приповерхностном слое, в зависимости от числа импульсов облучения при плотности мощности на поверхности образца $\sim 9 \text{ МВт/см}^2$ в 1 и 2 порядках (см. рис. 1).

Экспериментально обнаружено образование в ниобате лития решеток с двумя периодами: равным и вдвое короче, чем у маски. Решетка с периодом, равным периоду маски, возникает как результат интерференции прошедшего пучка (т.е. 0-го порядка) и одного из дифракционных первого порядка. Решетка с периодом вдвое короче, чем у фазовой маски, обусловлена интерференцией дифракционных пучков +1 и -1 порядков. Преимущественное формирование в ниобате лития решетки с периодом вдвое короче, чем у маски, обусловлено, по-видимому, высокой дифракционной эффективностью фазовой маски.

В зависимости от числа импульсов облучения дифракционная эффективность этой решетки в ниобате лития при 12–16 импульсах испытывает насыщение. Наличие при облучении постоянного фона, т.е. волны 0-го порядка, обуславливает спад эффективности наведенной решетки с ростом числа импульсов УФ-облучения. По этой же причине, а также из-за возникновения гофра на поверхности облученного образца, оценка величины изменения показателя преломления по изменению абсолютного значения эффективности в этих экспериментах была затруднена.

Эксперименты по воздействию УФ-излучения на потери в волноводах, полученных путем диффузии титана в LiNbO_3 , выявили, что величина потерь в одномодовых волноводах не изменяется до тех

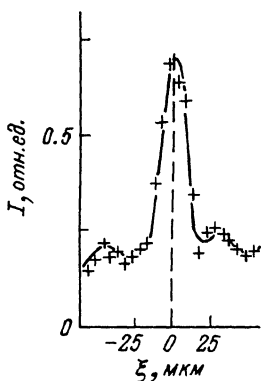
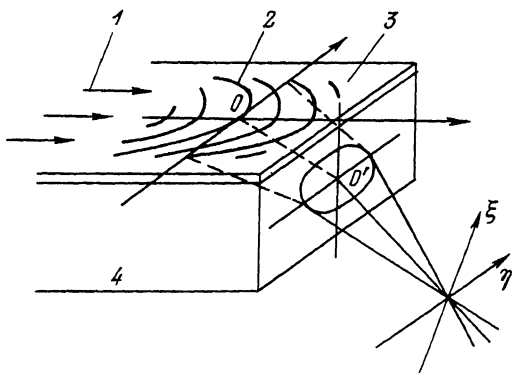


Рис. 2. а) Дифракционный элемент ввод-вывода света из планарного волновода: 1 - направляемая оптическая мода, 2 - фокусирующая дифракционная решетка, 3 - дифракционный волновод π -LiNbO₃, 4 - кристалл ниобата лития. б) Распределение интенсивности света вблизи фокуса.

пор, пока доза облучения не достигает значений, соответствующих насыщению Δn . Превышение этого уровня облучения приводит к заметному увеличению потерь в основном за счет рассеяния света.

Отметим также следующий экспериментальный факт. В облученной зоне скорость травления ниобата лития выше по сравнению со скоростью в необлученной. В наших экспериментах при плотности мощности 8 МВт/см² и 10 импульсах, когда еще нет деформации поверхности, после 20 минут травления в плавиковой кислоте при 20 °С возникает рельеф глубиной ~0.1 мкм.

Во втором способе облучение образцов ниобата лития X-среза проводилось через алюминиевую маску, нанесенную на поверхность кристалла. Предварительно с помощью диффузии титана на этой поверхности был изготовлен одномодовый оптический волновод. Методом геометрической оптики была рассчитана конфигурация штрихов дифракционной решетки, которая должна падающую на нее направляемую волну выводить из волновода и фокусировать на некотором расстоянии от подложки. (рис. 2,а). Размер решетки 1 x 1 мм. Оптическая длина пути от центра решетки до фокуса - 10 мм. Рисунок решетки с помощью фотолитографии вытравливался

в алюминиевой маске. Толщина маски ≈ 200 нм, что обеспечивало надежную защиту поверхности волновода от УФ излучения при длительности импульса 10 нс, плотности мощности ~ 20 МВт/см², полной дозе ~ 6 Дж/см².

Коллимированный пучок света (поляризация ТЕ) вводился в волновод через призму. Распределение интенсивности света вблизи фокуса измерялось сканированием стеклянным волноводом диаметром около 8 мкм (рис. 2,б). Размер фокусного пятна по оси X составил ~ 30 мкм, что примерно втрое больше дифракционного предела. Измерена эффективность решетки, определяемая как отношение интенсивности света в фокусе к интенсивности направляемой моды, падающей на решетку. Эффективность решетки составила величину около процента. Предполагая, что глубина возмущенного слоя, возникающего при лазерном облучении, составляет величину 350 \AA [3], можно оценить величины коэффициентов связи для типичных одно-модовых волноводов в ниобате лития и найти эффективность преобразования в излученную волну [5]. Она оказывается близка к экспериментально полученной. Пути повышения эффективности ясны: уменьшение глубины волновода (в частности, использование волноводов, полученных протонным обменом), увеличение длины решетки, оптимизация ее геометрии, использование УФ излучения с большей глубиной проникновения его в кристаллы $LiNbO_3$.

В заключение отметим, что возможность локального воздействия УФ излучением на различные участки интегрально-оптических схем на основе $LiNbO_3$ предоставляет простой и доступный способ подстройки некоторых элементов этих схем.

Л и т е р а т у р а

- [1] Ражев А.М. Тез. докл. XII Всесоюзной конференции по когерентной и нелинейной оптике, ч. 1, М., 1985, с. 383.
- [2] Баркан И.Б., Ищенко В.Н., Кочубей С.А., Луненок Д.И., Ражев А.М. - Квантовая электроника, 1986, т. 13, № 4, с. 849-851.
- [3] Barkan I.B., Ishchenko V.N., Kochubei S.A., Lunenok D.I., Rachev A.M. - Appl. Phys., 1987, A-44, p. 167-170.
- [4] Антонова К.Т., Жижин Г.Н., Масленников В.Л., Сычугов В.А., Тукиш В.Е., Яковлев В.А. - Препринт ИОФАН СССР, № 313, М., 1986.
- [5] Петров Д.В. - Квантовая электроника, 1984, т. 11, № 7, с. 1403-1411.

Поступило в Редакцию
17 марта 1988 г.