

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИБРИДНЫХ ВОЛНОВОДОВ В НИОБАТЕ ЛИТИЯ

А. В. Томилова, И. С. Азанова

Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
614990, Пермь, Букирева, 15

Волновод – это область с повышенным показателем (ПП) преломления, внутри которой свет, распространяясь, испытывает многочисленные полные внутренние отражения. Волноводы на основе монокристаллов ниобата лития являются базовыми структурами для изготовления ряда интегрально-оптических компонентов. Наибольшее распространение получили два способа изготовления волноводных слоев: 1) диффузия титана вглубь подложки ( $\text{Ti:LiNbO}_3$ ); 2) протонный обмен ( $\text{H:LiNbO}_3$ ).

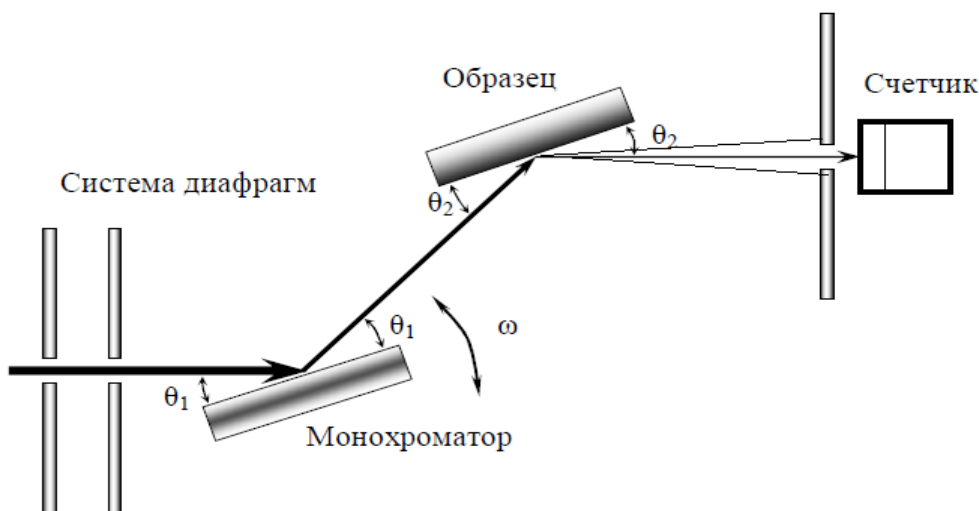
Гибридный волновод  $\text{H:Ti:LiNbO}_3$  – это комбинация протонообменного и титано-диффузного волновода, сформированного на подложке монокристалла  $\text{LiNbO}_3$ , с целью улучшения электрооптических свойств [1]. Данные волноводы обладают рядом преимуществ: путем варьирования соотношения концентрации водорода и титана в гибридном слое можно получить волновод, поддерживающий распространение света как одной поляризации, так и обеих. Диффузия протонов после протонного обмена способствует улучшению характеристик канала и снижению оптических потерь в нем. Рассмотрим несколько методов исследования гибридных волноводов.

### Дифракционный структурный анализ

Данный метод позволяет определить атомную структуру ниобата лития с помощью дифракции рентгеновских лучей на двухкристальном спектрометре (Рис. 1). Лучи, пройдя коллиматорную щель, падали на монохроматор – бездислокационный монокристалл Si. Отраженный от кристалла монохроматизированный луч падает на исследуемый кристалл, отражается и регистрируется счетчиком. Для измерения используется характеристическое излучение  $\text{Co}$ , соответствующее  $K_\beta$  серии ( $\beta$  излучение дает минимальный уровень искажений). Дифракционные кривые получают для семейства плоскостей с индексами (110). Исследуемый кристалл поворачивается вблизи отражающего положения с угловой скоростью  $\omega$ . В данном случае показана параллельная установка кристаллов (монохроматор параллелен образцу), при которой угловая дисперсия равна разности дисперсий от каждого кристалла [2].

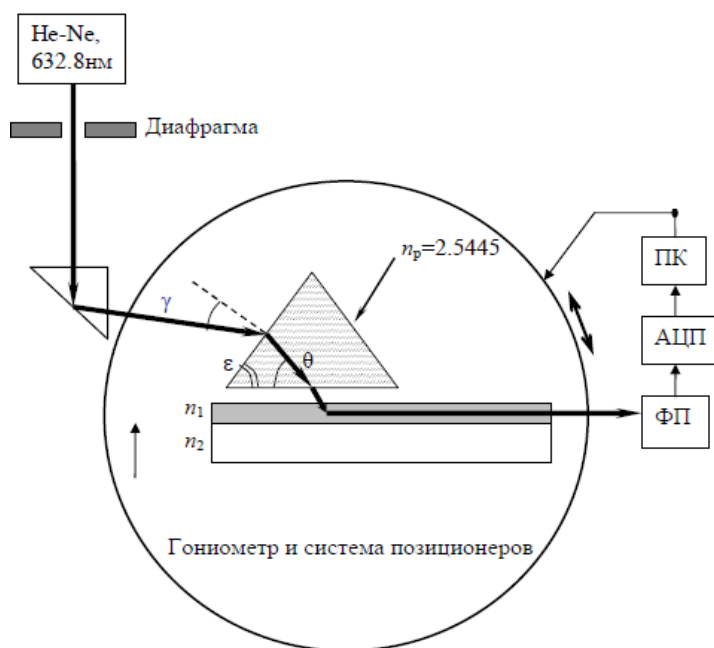
### Модовая спектроскопия

Для определения изменения показателя преломления  $\Delta n_e(x)$  используется метод модовой спектроскопии. С помощью метода призмного ввода измеряются эффективные ПП волноводных мод на длине волны  $\lambda=0,633 \mu\text{m}$ . Измеряемый образец приводят в контакт с



**Рис. 1.** *Схема двухкристального спектрометра*

основанием призмы при помощи пневматически соединительной головки, создавая небольшой воздушный зазор между пленкой и призмой. Лазерный луч падает на основание призмы и, как правило, полностью отражается с основания призмы на фотоприемник. Световой пучок направлен на призму под углом падения  $\gamma$  к поверхности волновода (Рис. 2). Вследствие эффекта Гусса-Хенхена наблюдается частичное проникновение отраженного внутри призмы света в исследуемую подложку с волноводным слоем на поверхности и выходит из торца на экран. Если постоянные распространения света в волноводе и в призме совпадают  $\beta = kn_1 \sin \theta$ , то происходит возбуждение моды.



**Рис. 2.** *Схема призмного ввода излучения в волновод*

### **Сканирующая электронная микроскопия**

Данный метод предназначен для исследования внутренней структуры приповерхностных слоев в кристалле  $\text{LiNbO}_3$ . Для проведения опыта на поверхность кристалла напыляют слой золота. Электронная пушка имеет высокий отрицательный потенциал и является катодом. Управляющий электрод и анод формируют узкий и интенсивный пучок электронов, летящих с катода. Далее этот пучок формируется с помощью системы конденсорных линз и фокусируется в узкий зонд. При взаимодействии электронов зонда с объектом возникает несколько видов волн, сигналы от которых регистрируются детекторами.

Важным параметром микроскопа является ускоряющее напряжение между катодом и анодом, которое задает энергию падающих электронов. От этой энергии и плотности пластинки зависит глубина проникновения электронов в материал.

### **Оптическая профилометрия**

Суть данной методики в выявлении микрорельефа образца. Принцип действия оптического профилометра заключается в том, что свет, испускаемый с источника, отражаясь от исследуемой и опорной поверхностей, образует интерференционную картину, регистрируемую камерой. Измерения проводятся в трехмерной системе координат. При вертикальном сканировании все точки поверхности поочередно проходят через фокус. По последовательности полученных интерференционных картин видеокамера определяет изменения интенсивности света в каждой точке в зависимости от расстояния. Программа вычисляет положение максимума интенсивности для каждой точки матрицы, после чего восстанавливается форма поверхности, основанная на регистрации интерференционных картин в белом свете при перемещении объектива по вертикали.

### **Список литературы**

1. *Jackel J. L., Rice C. E.* Topotactic  $\text{LiNbO}_3$  to cubic perovskite structural transformation in  $\text{LiTaO}_3$  and  $\text{LiNbO}_3$  // *Ferroelectrics*. 1981. Vol. 38. P. 801-811.
2. *Малинина Л. Н.* Дифракционный структурный анализ: учеб. пособие / Пермь, 2011. 246 с.