

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ  
(ТУСУР)

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники  
(СВЧиКР)

**“ Волоконная оптика (по выбору)”**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНАРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ,  
ОПТИЧЕСКИ ИНДУЦИРОВАННЫХ В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ  
КРИСТАЛЛЕ  $\text{LiNbO}_3$**

Методические указания к лабораторной работе для студентов  
направления подготовки бакалавров **200600**  
**ФОТОНИКА И ОПТОИНФОРМАТИКА**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ  
(ТУСУР)

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники  
(СВЧиКР)

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. каф. СВЧиКР

\_\_\_\_\_ С.Н.Шарангович

“\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2011 г.

**“ Волоконная оптика (по выбору)”**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНАРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ,  
ОПТИЧЕСКИ ИНДУЦИРОВАННЫХ В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ  
КРИСТАЛЛЕ  $\text{LiNbO}_3$**

Методические указания к лабораторной работе для студентов  
направления подготовки бакалавров **200600**  
**ФОТОНИКА И ОПТОИНФОРМАТИКА**

Разработчики:

асп. кафедры СВЧиКР

\_\_\_\_\_ П.А. Тренихин

профессор кафедры СВЧиКР

\_\_\_\_\_ В.М.Шандаров

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Элементы теории .....	4
2. Схемы экспериментальных установок.....	5
3. Контрольные вопросы .....	6
4. Задание на работу .....	6
5. Содержание отчета .....	7
6. Рекомендуемая литература .....	7

**Цель работы:** Экспериментальное исследование параметров планарных оптических волноводов, оптически индуцированных в кристаллических образцах ниобата лития с фоторефрактивными свойствами.

### 1. Элементы теории

В кристаллических материалах без центра симметрии, обладающих линейным электрооптическим эффектом, проявляется фоторефрактивный эффект [1, 2]. Он заключается в изменении показателя преломления среды под действием света. К числу наиболее известных фоторефрактивных материалов относится ниобат лития ( $\text{LiNbO}_3$ ), легированный некоторыми примесями, например, Fe, Cu, Rh, Co, Se, а также их комбинациями. Активные примеси могут вводиться в кристалл как в процессе выращивания, так и путем диффузии с поверхности специально подготовленных образцов. Последний метод позволяет варьировать в широких пределах соотношение концентраций таких примесей в поверхностном слое, изменяя фоторефрактивные свойства материала в разных участках подложки. Фоторефрактивная чувствительность  $\text{LiNbO}_3$  максимальна в синей – зеленой области видимого спектра, поэтому фоторефрактивные голограммы, сформированные коротковолновым излучением, могут в течение долгого времени считываться излучением He-Ne лазера без их разрушения.

Фоторефрактивный эффект является результатом нескольких последовательно развивающихся процессов:

а) фотовозбуждения носителей электрического заряда, например, электронов с энергетических уровней активных примесных центров в запрещенной зоне, в зону проводимости;

б) перераспределения фотовозбужденных носителей в пространстве вследствие тепловой диффузии, под действием внешнего электрического поля или вследствие фотовольтаического эффекта;

в) захвата носителей заряда в неосвещенных областях глубокими ловушечными центрами и, в результате, появления электрического поля пространственного заряда;

г) модуляции показателя преломления среды полем пространственного электрического заряда вследствие линейного электрооптического эффекта.

Величина локального изменения показателя преломления материала при фоторефрактивном эффекте  $\Delta n_{fp}$  определяется величиной поля пространственного заряда  $E_{sc}$  и соответствующих электрооптических коэффициентов  $r_{ij}$  [2, 3]:

$$\Delta n_{fp} = -\frac{n^3 \cdot r_{ij} \cdot E_{sc}}{2},$$

где  $n$  – показатель преломления материала.

Для  $\text{LiNbO}_3$  основной механизм пространственного перераспределения носителей заряда – это фотовольтаический ток. Величина фоторефрактивного изменения показателя преломления в  $\text{LiNbO}_3$ , легированном железом и медью, может достигать уровня  $\Delta n_{fp} \sim 10^{-4}$ , а поле пространственного заряда значения

$E_{sc} \sim 10^5$  В/см. Данный эффект с успехом может быть использован для формирования в кристаллах ниобата лития как планарных, так и канальных оптических волноводов и волноводных систем.

## 2. Схемы экспериментальных установок

Работа предполагает две стадии: формирование планарных оптических волноводов в фоторефрактивных образцах ниобата лития путем их оптического индуцирования и исследование параметров полученных волноводных элементов.

В экспериментах (рис. 1) волноводные элементы формируются в кристаллах  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$  или  $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$  с объёмным легированием ионами железа или меди путем фоторефрактивной записи. Для этого используются амплитудные маски (А) в виде одномерной дифракционной решетки. Образцы масок созданы на стандартной пластине фотошаблона из плавленного кварца размерами  $100 \times 100$  мм<sup>2</sup> путем вакуумного нанесения пленки хрома (Cr) с последующим обеспечением нужной топологии дифракционных структур методом фотолитографии. Пространственный период структур меняется от 40 до 80 мкм, количество элементов в каждой из них составляет  $N=50$ . Маска размещается на минимально возможном расстоянии от поверхности образца (О) таким образом, чтобы границы между освещенной и неосвещенной областями в кристалле были перпендикулярны направлению оптической оси кристалла. Затем образец экспонируется через маску некогерентным излучением (синий -  $\lambda=470$  нм, зеленый -  $\lambda=505$  нм, либо ультрафиолетовый -  $\lambda=380$  нм светодиоды) или когерентным излучением (YAG:Nd<sup>3+</sup> лазер). Индуцирующее излучение с помощью конденсора или коллиматора (К) формируется в близкий к параллельному световой пучок. Время экспозиции составляет от 10 до 50 минут. В освещенных участках образца вследствие фоторефрактивного эффекта показатель преломления уменьшается, в неосвещенных он остается неизменным, что приводит к его периодической модуляции, т.е. экспонированная область превращается в систему квазипланарных оптических волноводов с законом изменения показателя преломления в направлении вдоль оптической оси, определяемым функцией пропускания амплитудного транспаранта.



Рис. 1. Схема формирования волноводных структур. S-светодиод или лазер, А - амплитудная маска, О - фоторефрактивный образец.

Для исследования параметров сформированных планарных волноводов используется экспериментальная установка, схема которой изображена на рис. 2. Здесь источниками излучения являются гелий-неоновый (He-Ne) или YAG:Nd<sup>3+</sup> лазеры. Их излучение коллимируется, затем фокусируется на входную плоскость кристалла с волноводными элементами с помощью

фокусирующей линзы с фокусным расстоянием от 25 до 50 мм. Кристалл  $\text{LiNbO}_3$  расположен на поворотном столике с микрометрической подвижкой, что позволяет варьировать направление распространения света относительно плоскости волноводного слоя и смещать структуру в поперечном направлении относительно светового пучка с достаточно высокой точностью для достижения максимальной эффективности ввода света в волноводный элемент. Поляризация зондирующего светового пучка соответствует необыкновенной волне в кристалле. Изображение входной или выходной граней кристалла проецируется с помощью изображающей линзы на ПЗС матрицу видеокамеры, сигнал которой вводится в персональный компьютер. Изображения распределения интенсивности света на экране монитора изучаются визуально и при необходимости записываются в устройствах памяти в виде файлов.

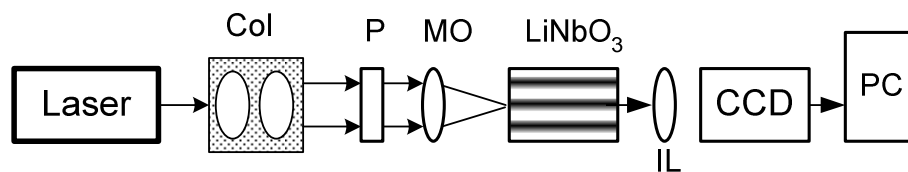


Рис. 2. Col – коллиматор; P – поляризатор; MO – фокусирующая линза;  $\text{LiNbO}_3$  – кристалл ниобата лития с периодической волноводной структурой; IL – изображающая линза; CCD – видеокамера; PC – персональный компьютер.

### 3. Контрольные вопросы

3.1. Какие эффекты приводят к изменению показателя преломления фоторефрактивного кристалла под действием света?

3.2. В чем заключается суть фоторефрактивного эффекта?

3.3. Как должна ориентироваться граница света и тени в кристалле для достижения эффекта изменения показателя преломления в фоторефрактивном ниобате лития?

3.4. Какой должна быть поляризация света для достижения максимального изменения показателя преломления среды при считывании фоторефрактивных решеток в ниобате лития, вектор которых ориентирован параллельно оптической оси кристалла?

3.5. С какой целью при исследовании индуцированных оптических волноводов считывающий световой пучок коллимируется?

### 4. Задание на работу

4.1. Для заданного преподавателем кристаллического образца и заданной амплитудной маски проведите эксперимент по формированию в нем системы оптических волноводов, используя когерентное или некогерентное излучение (по выбору преподавателя).

4.2. Исходя из толщины волноводного элемента (половина пространственного периода амплитудной маски), рассчитайте величину

фокусного расстояния фокусирующей линзы для наилучшего согласования ширины сфокусированного светового пятна и ширины волноводного элемента.

4.3. Введите в схему фокусирующую линзу и определите ее положение, соответствующее минимальному размеру светового пятна сфокусированного пучка на входной плоскости кристалла в однородной области. С помощью видеокамеры зафиксируйте изображение распределения интенсивности. Изменением положения изображающей линзы получите на мониторе изображение выходной плоскости кристалла и поля светового пучка на ней. Зафиксируйте изображение.

4.3. Для линейной поляризации света с направлением вектора  $E$ , параллельным оптической оси кристалла, сместите образец в поперечном направлении с помощью микрометрической подвижки, наблюдайте за изменением картины светового поля на выходной плоскости кристалла при возбуждении света в волноводных элементах. Сохраните изображение картины светового поля на выходной плоскости кристалла. Объясните наблюдаемые результаты.

4.4. Повторите п. 4.3 для поляризации света с направлением вектора  $E$ , ортогональным оптической оси кристалла. Объясните различие в картинах светового поля, исходя из электрооптических свойств кристалла.

4.7. Оформите отчет по работе.

## 5. Содержание отчета

В отчете должны быть представлены:

- схема экспериментальных установок;
- задание на работу;
- результаты экспериментального исследования;
- выводы по работе.

## 6. Рекомендуемая литература

1. С.М. Шандаров, В.М. Шандаров, А.Е. Мандель, Н.И. Буримов. Фоторефрактивные эффекты в электрооптических кристаллах. – Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. – 230 с. (30)
2. М.П. Петров, С.И. Степанов, А.В. Хоменко. Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике. - СПб.: Наука. С. - Петерб. отд., 1992. – 320 с.
3. А.Ярив, П.Юх. Оптические волны в кристаллах. – М.: Мир, 1987. – 616 с.