

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)**

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники
(СВЧиКР)

Основы физической оптики

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ФАЗОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ,
ФОРМИРУЕМЫХ НЕКОГЕРЕНТНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ В КРИСТАЛЛЕ
LiNbO₃ С ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ**

Методические указания к лабораторной работе
для бакалавров направления 210700.62 "Инфокоммуникационные технологии и
системы связи" (профиль - "Оптические системы и сети связи")

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)**

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники
(СВЧиКР)

УТВЕРЖДАЮ
Зав. каф. СВЧиКР

_____ С.Н.Шарангович

“ ____ “ _____ 2013 г.

Основы физической и квантовой оптики

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ФАЗОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ,
ФОРМИРУЕМЫХ НЕКОГЕРЕНТНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ В КРИСТАЛЛЕ
LiNbO₃ С ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ**

Методические указания к лабораторной работе
для бакалавров направления 210700.62 "Инфокоммуникационные технологии и
системы связи" (профиль - "Оптические системы и сети связи")

Разработчики:

м.н.с. кафедры СВЧиКР
_____ А.В.Каншу

профессор кафедры СВЧиКР
_____ В.М.Шандаров

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	4
2. Элементы теории	4
3. Описание экспериментальных установок.....	5
4. Порядок выполнения работы	7
5. Содержание отчета	8
6. Контрольные вопросы	8
7. Рекомендуемая литература	8

1. ВВЕДЕНИЕ

Дифракционные решетки представляют собой один из важных элементов многих современных оптических измерительных приборов. При их изготовлении используются, как правило, различные прецизионные технологии, в том числе методы оптической и электронной литографии. Подобные элементы являются стационарными, не допуская управления их характеристиками. В то же время возможность целенаправленного варьирования параметров дифракционных элементов существенно расширила бы их возможности.

Целью лабораторной работы является:

- 1) Экспериментальное исследование возможности формирования фазовых периодических структур в фоторефрактивном ниобате лития с помощью источников некогерентного излучения;
- 2) Исследование особенностей дифракции когерентных световых пучков в среде с периодической модуляцией показателя преломления, представляющей собой фазовый транспарант, сформированный с помощью некогерентного источника света и амплитудной маски.

2. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ

Механизм формирования голографических решеток в кристалле ниобата лития обусловлен фоторефрактивным эффектом. Фоторефрактивный эффект заключается в изменении показателя преломления среды под действием света, он проявляется в кристаллических материалах без центра симметрии, обладающих линейным электрооптическим эффектом. К числу наиболее известных фоторефрактивных материалов относится ниобат лития (LiNbO_3), легированный некоторыми примесями, например, ионами Fe, Cu, Rh, Co, Ce, а также их комбинациями. Активные примеси могут вводиться в кристалл как в процессе его 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 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 $\Delta n_{\text{фр}}$ определяется величиной поля пространственного заряда E_{sc} и соответствующих электрооптических коэффициентов r_{ij} :

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

При этом для LiNbO_3 основной механизм пространственного перераспределения носителей заряда – это фотовольтаический ток. Он обусловлен асимметрией элементарных актов фотовозбуждения носителей заряда и их захвата ловушками в неосвещенных областях. Особенностью данного механизма является его проявление в условиях пространственной однородности интенсивности света и отсутствия внешнего электрического поля, приложенного к кристаллу, что существенно упрощает экспериментальные методики. Величина фоторефрактивного изменения показателя преломления в LiNbO_3 , легированном железом и медью, может достигать уровня $\Delta n_{\text{фр}} \sim 10^{-4}$, а поле пространственного заряда значения $E_{sc} \sim 10^5$ В/см.

3. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК

3.1. Схема экспериментальной установки по формированию в LiNbO_3 периодических фазовых структур некогерентным излучением представлена на рис. 1.

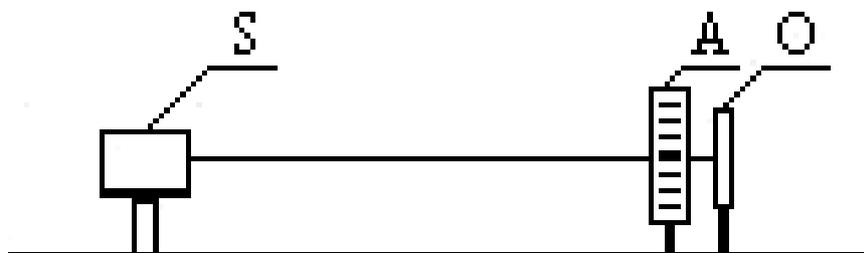


Рис. 1. Формирование периодических фазовых структур. S-светодиод, А-амплитудная маска, О-исследуемый образец.

В эксперименте периодическая фазовая структура формируется путем фоторефрактивной записи голографической решетки в кристалле LiNbO_3 , с объемным легированием ионами меди. Для формирования дифракционных структур используется амплитудная маска (А) в виде одномерной дифракционной решетки. Образцы масок созданы на стандартной пластине фотошаблона из плавленного кварца размерами $100 \times 100 \text{ мм}^2$ 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 его оптической оси. Это направление соответствует направлению транспорта носителей заряда, т.е. направлению возникающего в образце электрического поля пространственного заряда. Затем образец экспонируется через маску некогерентным излучением синего ($\lambda=470 \text{ нм}$) либо зеленого ($\lambda=505 \text{ нм}$), либо ультрафиолетового ($\lambda=380 \text{ нм}$) светодиодов (S). Некогерентное излучение с помощью конденсора (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, а в неосвещенных он остается неизменным, что приводит к его периодической пространственной модуляции. Таким образом, экспонированная область превращается в фазовую дифракционную решетку с законом изменения показателя преломления в направлении вдоль оптической оси, определяемым функцией пропускания амплитудного транспаранта.

3.2. Схема экспериментальной установки по исследованию сформированной структуры в ближней зоне представлена на рис. 2.

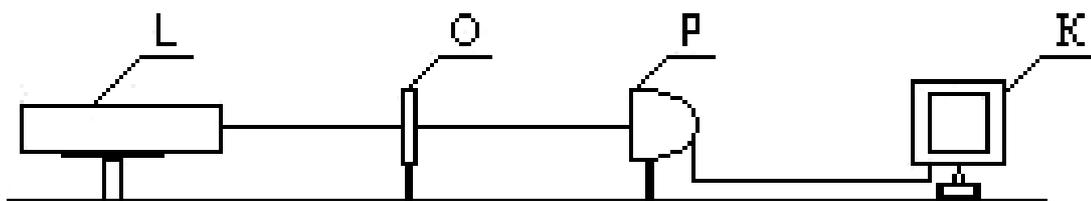


Рис. 2. Исследование сформированной периодической структуры L-лазер, O-исследуемый образец, P-ПЗС камера, K-компьютер.

После экспозиции образца исследуется структура и характеристики наведенной в кристалле дифракционной решетки. Для этого экспонированные участки зондируются коллимированным световым пучком (излучение He-Ne лазера с длиной волны $\lambda=633 \text{ нм}$) в направлении нормали к экспонированной поверхности, и исследуется световое поле прошедшего пучка как в ближней зоне (непосредственно на выходной поверхности образца), так и в дальней зоне. Пространственное распределение интенсивности в ближней зоне исследуется с помощью ПЗС – камеры. При анализе поля в дальней зоне с помощью

фотодиода измеряется интенсивность дифракционных максимумов разного порядка (для исследования сформированной структуры в дальней зоне вместо ПЗС- камеры используется светодиод, а вместо компьютера микроамперметр).

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Перед выполнением лабораторной работы необходимо ознакомиться с теоретической частью, элементами экспериментальной установки, ответить на контрольные вопросы. К работе можно приступать только после получения допуска от преподавателя!

4.2. Включить лазер и измерительные приборы. Дать лазеру прогреться 30 минут.

4.3. Собрать установку по формированию оптических элементов согласно рис. 1.

4.4. Экспонировать образец в течение 50 минут излучением одного из предложенных преподавателем светодиодов.

4.5. Собрать установку по исследованию сформированных оптических элементов в ближней зоне согласно рис. 2.

4.6. Получить с помощью ПЗС камеры изображение светового пучка на выходной плоскости кристалла в экспонированной области, зафиксировать полученные изображение распределения интенсивности светового поля на компьютере в виде графических файлов (*.bmp или *.jpg). Пронаблюдать как меняется распределение интенсивности света при изменении расстояния от линзы до выходной плоскости кристалла (смотреть в 4-6 точках, шаг изменения расстояния выбрать самим). Зафиксировать наблюдаемые изображения распределения интенсивности светового поля на компьютере в виде графических файлов.

4.7. Собрать установку по исследованию сформированных оптических элементов в дальней зоне согласно пункту 3.2.

4.8. Измерить с помощью фотодиода интенсивность света соответствующую разным порядкам дифракционных максимумов сформированной фазовой периодической структуры. Посчитать дифракционную эффективность наблюдаемых максимумов. Провести статистическую обработку полученных данных, объяснить необходимость данной процедуры.

4.9. Построить распределение дифракционной эффективности света от номера дифракционного максимума.

4.10. Пользуясь выражением, определяющим относительную интенсивность дифракционных максимумов в случае дифракции Рамана-Ната (отношение интенсивности дифрагированного пучка к интенсивности падающего), построить зависимость относительной интенсивности дифракционных максимумов от их порядка m , для которой их соотношение для первых трех максимумов близко к полученному в эксперименте:

$$\eta_m = J_m^2(\delta) = J_m^2\left(\frac{2\pi L \cdot \Delta n_0}{\lambda \cdot \cos \theta}\right)$$

где J_m – функция Бесселя, L – толщина решетки, Δn – изменение показателя преломления материала, λ – длина волны света, θ – угол падения светового пучка на плоскость решетки. По величине аргумента функции Бесселя оценить величину Δn в образце исследуемой решетки

4.11. Оформить отчет по работе.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

5.1. Название работы, цель работы и схемы экспериментальных установок.

5.2. Привести изображения, полученные в ближней зоне (пункт 4.6.), объяснить полученные результаты.

5.3. Привести зависимости дифракционной эффективности от номера дифракционного максимума для эксперимента и для теории дифракции Рамана-Ната. Сравнить результаты.

5.4. Сделать выводы по результатам работы.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. В чем суть фоторефрактивного эффекта?

6.2. Каковы основные механизмы пространственного перераспределения носителей электрического заряда при фоторефрактивном эффекте?

6.3. Запишите выражение для изменения показателя преломления среды при линейном электрооптическом эффекте.

6.4. Основы безопасной работы с лазером и приборами, подключёнными в сеть электропитания.

6.5. Как угловой спектр света прошедшего через периодический транспарант зависит от его периода?

6.6. Чем обусловлено выбранное расположение амплитудной маски и кристалла?

6.7. В чём вы видите преимущества и недостатки данной схемы формирования голографических структур по сравнению с известными вам?

7. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

7.1. В.М. Шандаров. Основы физической и квантовой оптики. – Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники, [Электронный ресурс]: учебное пособие- Томск: ТУСУР, 2012. – 197 с. Режим доступа:

<http://edu.tusur.ru/training/publications/750>

7.2. А. Ярив, П. Юх. Оптические волны в кристаллах.- М.: Мир, 1987.- 616 с.

7.3. Ф. Цернике, Дж. Мидвинтер. Прикладная нелинейная оптика.- М.: Мир, 1976.- 262 с.