

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 ДИФРАКЦИИ СВЕТОВОГО ПУЧКА В СРЕДЕ С
ПЕРИОДИЧЕСКОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ**

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 оптики

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФРАКЦИИ СВЕТОВОГО ПУЧКА В СРЕДЕ С
ПЕРИОДИЧЕСКОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ**

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

Разработчик:

профессор кафедры СВЧиКР
_____ В.М.Шандаров

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	4
2. Элементы теории	4
3. Содержание работы.....	5
4. Содержание отчета.....	6
5. Контрольные вопросы	7
6. Рекомендуемая литература	7

1. ВВЕДЕНИЕ

В современных оптических системах обработки и передачи информации, а также в приборах фотоники и лазерной техники важную роль играют волноводно-оптические элементы и интегрально-оптические схемы. Это обусловлено потенциалом интегральной оптики в повышении стабильности и помехозащищенности подобных приборов и систем, а также в снижении их массогабаритных параметров. Существенна и возможность реализации на базе волноводно-оптических систем новых, полностью оптических операций преобразования пространственно – временной структуры световых полей.

Целью данной работы является экспериментальное исследование особенностей дифракции когерентных световых пучков в среде с периодической модуляцией показателя преломления, представляющей собой одномерную систему связанных планарных оптических волноводов.

2. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ

Дифракционные эффекты являются проявлением фундаментальных свойств волновых полей, для света они проявляются как в материальных средах, так и в вакууме. Как известно, дифракция приводит к уширению когерентного светового пучка при его распространении в оптически однородной среде. Для основной моды гауссова пучка угол дифракционной расходимости характеризуется отношением λ/d , где λ – длина волны света, а d – ширина пучка в области перетяжки [1 - 3].

Проявление дифракционных эффектов может существенно изменяться, если световой пучок распространяется в оптически неоднородной среде. Так, в волноводно-оптических элементах дифракция в поперечных направлениях может полностью отсутствовать. Особый интерес представляет случай неоднородной среды с периодической модуляцией ее оптических свойств, например – показателя преломления. В определенных ситуациях такая среда может рассматриваться как система связанных оптических волноводов. Связь отдельных волноводных элементов обусловлена наличием экспоненциально затухающего поля за границами волновода. Существование таких экспоненциально спадающих полей становится очевидным при рассмотрении явления полного внутреннего отражения света от границы раздела диэлектрических сред. Величина связи между волноводными элементами зависит от пространственного периода структуры, длины волны света и разницы показателей преломления в области максимума и минимума. При некоторых условиях связь между волноводными элементами может быть пренебрежимо малой и вся структура представляет собой систему практически изолированных волноводных элементов. Для среды с одномерной модуляцией показателя преломления это система планарных оптических волноводов. Тогда при возбуждении светового пучка в отдельном волноводном элементе

дифракционные эффекты проявляются только в плоскости планарного волновода, а в направлении нормали к его плоскости дифракция отсутствует.

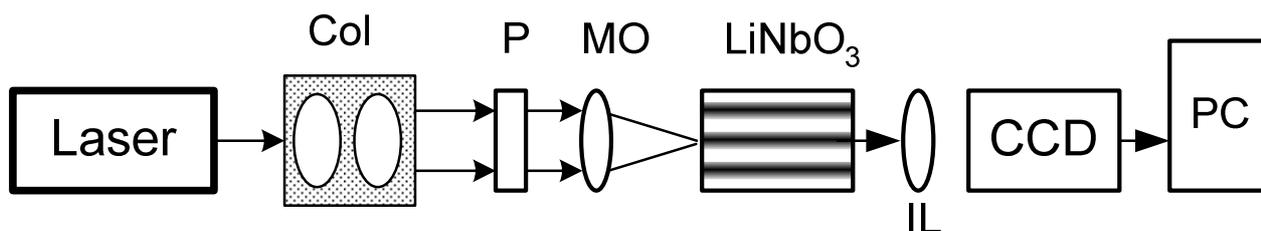
При конечной величине связи между волноводами наблюдается эффект туннелирования энергии в соседние волноводные слои, что приводит к сложному пространственному распределению интенсивности света в поперечном сечении периодической волноводной структуры. **Этот эффект называют дискретной дифракцией света**, подразумевая, что в каждом из волноводных элементов дифракция подавлена хотя бы в одном направлении. Для структуры с бесконечным числом волноводных элементов и одинаковой связью между соседними волноводами, при возбуждении света на входе структуры только в одном из них, распределение амплитуды поля по элементам структуры определяется соотношением [1]:

$$E_n(z) = E_0 (i)^n \exp(i\beta z) J_n(2Cz),$$

где n – номер волновода (считая, что свет возбуждается в элементе с $n=0$); z – расстояние от входной плоскости структуры в направлении распространения света; i – мнимая единица; β – продольная постоянная распространения световой волны в структуре; J_n – функция Бесселя; C – величина коэффициента связи между каналами.

3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

3.1. Схема экспериментальной установки для исследования эффекта дискретной дифракции света в одномерной периодической волноводной структуре (фотонной решетке).



Col – коллиматор; P – поляризатор; MO – фокусирующая линза; LiNbO₃ – кристалл ниобата лития с периодической волноводной структурой; IL – изображающая линза; CCD – видеокамера; PC – персональный компьютер.

В реальной экспериментальной установке периодическая структура связанных планарных оптических волноводов сформирована путем фоторефрактивной записи голографической решетки в кристалле ниобата лития (LiNbO₃), легированном ионами железа. Период структуры около 15 мкм, ее апертура около 3 мм. Кристалл расположен на столике с микрометрической подвижкой, что позволяет смешать структуру относительно светового пучка с достаточно высокой точностью. Луч He – Ne лазера ЛГН – 207-А ($\lambda=633$ нм)

фокусируется на входную плоскость кристалла с помощью сферической линзы (МО) с фокусным расстоянием $25 \div 35$ мм. Изображение входной или выходной граней проецируется на ПЗС матрицу видеокамеры с помощью изображающей линзы (П).

3.2. Задание на работу.

3.2.1. Проверить, соответствует ли состояние поляризации лазерного излучения необыкновенной волне в кристалле LiNbO_3 . Получить изображение сфокусированного светового пятна на входной плоскости кристалла в однородной области. С помощью видеокамеры зафиксировать изображение распределения интенсивности и сохранить его в компьютере. Изменением положения изображающей линзы получить на мониторе изображение выходной плоскости кристалла также в однородной области и поля светового пучка на ней. Зафиксировать изображение.

3.2.2. Сместить образец в поперечном направлении с помощью микрометрической подвижки, пронаблюдать за изменением картины светового поля на выходной плоскости кристалла при возбуждении света в волноводных элементах структуры. Объяснить наблюдаемые результаты.

3.2.3. Получить симметричную картину распределения интенсивности на выходной плоскости в направлении вектора решетки, используя микрометрическую подвижку столика. Зафиксировать картину с помощью видеокамеры. Сохранить файл с изображением.

3.2.4. Используя bmp файлы с изображениями, получить с помощью программы Mathcad распределения интенсивности светового пучка на входной и выходной плоскостях в однородной области. Определить угол дифракционной расходимости пучка, используя полученные распределения. Сравнить результат с теоретической оценкой.

3.2.5. Построить распределение интенсивности света на выходной плоскости в области волноводной структуры. С помощью приведенного соотношения для $E_n(z)$ попытаться оценить величину коэффициента связи между каналами, исходя из размеров образца и полученной картины поля на выходной плоскости структуры.

3.2.6. Оформить отчет по работе.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

4.1. Название работы, цель работы и схема экспериментальной установки.

4.2. Изображения световых полей на входной и выходной плоскостях фотонной решетки в однородной и неоднородной областях, объяснение полученных результатов.

4.3. Распределения интенсивности света на выходной плоскости фотонной решетки, восстановленные по данным bmp файлов. Теоретические зависимости

подобных зависимостей, соответствующих по форме полученным экспериментальным. Сравнение результатов теории и эксперимента.

4.4. Выводы по результатам работы.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. Как с помощью принципа Гюйгенса – Френеля объяснить изменение профиля интенсивности лазерного пучка в оптически однородной среде?

5.2. За счет какого эффекта в диэлектрическом оптическом волноводе возможно распространение света?

5.3. Что называют дискретной дифракцией?

5.4. В чем заключается суть фоторефрактивного эффекта?

5.5. Каковы основные механизмы пространственного перераспределения носителей электрического заряда?

6.3. Почему в экспериментах используется поляризация света, соответствующая необыкновенной волне в ниобате лития?

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. 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>

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