

Министерство науки и высшего образования РФ  
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»  
Инженерно-физический факультет высоких технологий  
Кафедра радиофизики и электроники

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
для самостоятельной работы по дисциплине  
«Практикум по интегральной и волоконной оптике»  
студентов бакалавриата по направлению 03.03.03 «радиофизика»  
Очная форма обучения

Санников Д.Г.

Ульяновск 2019

**Методические указания для самостоятельной работы по дисциплине «Практикум по интегральной и волоконной оптике» для студентов бакалавриата по направлению 03.03.03 «радиофизика», очная форма обучения. Санников Д.Г. Ульяновск: УлГУ, 2019.**

Настоящие методические указания предназначены для студентов направления 03.03.03 «радиофизика», изучающих дисциплину «Практикум по интегральной и волоконной оптике». Приводится литература по дисциплине, основные темы курса и вопросы в рамках каждой темы, а также контрольные вопросы для самопроверки.

Указания могут быть полезны при подготовке к лабораторным работам и зачету по данной дисциплине.

Рекомендованы к использованию Ученым советом инженерно-физического факультета высоких технологий УлГУ, протокол №11 от «18» июня 2019 г.

## ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

- [1] Сивухин Д. В. Общий курс физики : учеб. пособие для физ. спец. вузов : в 5 т. Т. 4 : Оптика / Сивухин Дмитрий Васильевич. - 3-е изд., стер. - Москва : Физматлит : МФТИ, 2002.
- [2] Интегральная оптика для систем передачи и обработки информации / А.С. Семенов, В. Л. Смирнов, А. В. Шмалько. - Москва : Радио и связь, 1990.
- [3] Оптика и фотоника. Принципы и применения : учеб. пособие : в 2 т. Т. 1 / Б. Салех, М. Тейх; пер. с англ. В. Л. Дербова. - Долгопрудный : Интеллект, 2012.
- [4] Волноводная оптоэлектроника / Т. Тамир, Х. Когельник, У. Бернс и др. Москва : Мир, 1991.
- [5] Санников Д.Г. Специальный лабораторный практикум по курсу «Практикум по интегральной и волоконной оптике». Ульяновск : УлГУ, 2007.

## Темы для самостоятельной работы

1. Плоские монохроматические волны. Формулы Френеля.
2. Отражение пучка света от границы.
3. Лучевой и электромагнитный подходы для планарных оптических волноводов.
4.  $b$ - $v$  диаграммы, слабонаправляющие (а)симметричные оптические волноводы.
5. Канальные (полосковые) волноводы.
6. Волоконные световоды.
7. Методы изготовления оптических волноводов.
8. Теория связанных мод.

## Тема 1. Плоские монохроматические волны. Формулы Френеля.

### Основные вопросы темы

1. История развития интегральной и волоконной оптики. Распространение и характеристики плоских монохроматических волн в однородной среде.
2. Отражение однородной плоской волны от границы раздела «диэлектрик-диэлектрик». Формулы Френеля.
3. ТЕ и ТМ волны, явление Брюстера, критический угол, сдвиги фаз при отражении волн ортогональных поляризации.

### Рекомендации по изучению темы

Вопрос 1: [1], глава 1\*, [2], стр.3-7.

Вопрос 2: [1], глава 5; [3], стр.84.

Вопрос 3: [1], глава 5, [3], п.6.2.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите основные этапы развития интегральной и волоконной оптики.
2. В каких областях длин волн работают интегрально-оптические схемы?
3. Что такое угол Брюстера, критический угол?
4. Запишите формулы Френеля для обеих поляризации и объясните их.
5. Какие компоненты имеют векторы электрического и магнитного полей для ТЕ и ТМ волн?

### **Тесты для самопроверки. Выберите один правильный ответ.**

1. Видимый участок оптического диапазона включает длины волн:  
А) от 2 до 50 мкм  
Б) от 10 нм до 350 нм  
В) от 0,38 до 0,78 мкм
2. Критический угол определяет  
А) исчезновение ТМ компоненты плоской электромагнитной волны при отражении  
Б) условие полного внутреннего отражения  
В) возникновение ТЕ компоненты плоской электромагнитной волны при отражении
3. Угол Брюстера возникает:  
А) только для ТМ волны  
Б) для ТМ и ТЕ волны  
В) только для ТЕ волны

---

\* т.е. книга [1] Сивухин Д. В. Общий курс физики. Т.4: Оптика, 2002, глава 1.

## Тема 2. Отражение пучка света от границы.

### Основные вопросы темы

1. Ограниченный в поперечном направлении пучок.
2. Сдвиг Гуса - Хенхен.

### Рекомендации по изучению темы

Вопрос 1: [3], стр.340-341.

Вопрос 2: [3], стр.429, [4], раздел 2.1.3.

### **Контрольные вопросы**

1. Запишите электрическое поле для пучка света, состоящего из двух монохроматических волн.
2. Дайте определения терминам «сдвиг Гуса-Хенхен», «кажущаяся глубина проникновения».
3. Как отличаются сдвиги Гуса-Хенхен для пучков света ТЕ и ТМ поляризаций?
4. Как сдвиг Гуса-Хенхен влияет на дисперсионное уравнение для ТЕ и ТМ мод планарного оптического волновода?
5. Зарисуйте картину интерференции 2-х падающих и 2-х отраженных монохроматических волн.

### **Тесты для самопроверки. Выберите один правильный ответ.**

1. Сдвиг Гуса-Хенхен может происходить:  
А) в продольном направлении на границе раздела двух сред  
Б) в анизотропной бесконечной среде  
В) в поперечном направлении на границе раздела двух сред
2. Математическое описание сдвига Гуса-Хенхен возможно с помощью  
А) одной монохроматической волны в свободном пространстве  
Б) двух плоских монохроматических волн (лучей), падающих на границу раздела под двумя незначительно отличающимися углами  
В) двух некогерентных волн, распространяющихся в свободном пространстве
3. Фазовый сдвиг при полном внутреннем отражении волны зависит от  
А) угла падения волны и постоянной распространения  
Б) только от угла падения волны  
В) только от постоянной распространения моды

**Тема 3. Лучевой и электромагнитный подходы для планарных оптических волноводов.**

Основные вопросы темы

1. Описание работы диэлектрического волновода на основе лучевого приближения.
2. Эффективная ширина волновода.
3. Электромагнитный подход для описания мод планарного диэлектрического волновода.
4. Анализ характеристических уравнений для ТЕ и ТМ мод.

Рекомендации по изучению темы

Вопрос 1: [2], стр.8; [3], стр.418-419; [4], п.2.1.4; [5], теор. введение к лаб. работе №1.

Вопрос 2: [4], п.2.1.4.

Вопрос 3: [2], раздел 1.1, [3], раздел 8.2.1; [4], раздел 2.2.

Вопрос 4: [3], раздел 8.2.2; [4], раздел 2.3; [5], теор. введение к лаб. работе №1.

**Контрольные вопросы**

1. Дайте определение планарного оптического волновода.
2. Каково должно быть соотношение между оптической плотностью направляющего слоя, подложки и покровного слоя в 3-слойном планарном волноводе, и почему?
3. Какие параметры волновода связывает дисперсионное соотношение?
4. Запишите условие отсечки и зарисуйте соответствующее распределение поля.
5. Почему волноводные моды имеют дискретный спектр?

**Тесты для самопроверки. Выберите один правильный ответ.**

1. Дисперсионное соотношение для 3-слойного волновода связывает константу распространения моды:
  - А) с показателями преломления сред и частотой
  - Б) с показателями преломления сред, частотой и толщиной структуры
  - В) с частотой и толщиной структуры
2. Условие отсечки в 3-слойном планарном волноводе означает
  - А) возникновение преломления по крайней мере в одной из окружающих сред
  - Б) дисперсию мод структуры
  - В) возмущение диэлектрической проницаемости волноводной плёнки
3. Дискретностью в 3-слойном планарном волноводе обладают
  - А) излучательные моды подложки
  - Б) излучательные моды покровной среды
  - В) направляемые моды волновода

**Тема 4.  $b$ - $v$  диаграммы, слабонаправляющие (а)симметричные оптические волноводы.**

Основные вопросы темы

1. Характеристические уравнения в нормированных параметрах
2.  $b$ - $v$  диаграммы для ступенчатых волноводов.
3. Нормировка потока, связь мощности моды с эффективной толщиной волновода.
4. Слабонаправляющие симметричные и асимметричные оптические волноводы.

Рекомендации по изучению темы

Вопрос 1: [2], стр.10-11; [4], стр.28-31.

Вопрос 2: [3], стр. 654-658; [4], стр.30.

Вопрос 3: [4], раздел 2.1.4.

Вопрос 4: [3], стр.429; [4], раздел 2.1.2.

**Контрольные вопросы**

1. Что такое нормированные параметры, каков их смысл?
2. Запишите характеристическое уравнение для 3-слойного плоского ступенчатого волновода в нормированных параметрах.
3. В чем смысл нормировки потока?
4. Какова связь мощности моды с эффективной толщиной волновода?
5. Как связаны математические описания слабонаправляющих симметричных и асимметричных оптических волноводов?

**Тесты для самопроверки. Выберите один правильный ответ.**

1. Для записи характеристического уравнения необходимо:  
А) 3 нормированных параметра – константа распространения ( $b$ ), толщина ( $v$ ), степень асимметрии ( $A$ )  
Б) 4 нормированных параметра – константа распространения ( $b$ ), толщина ( $v$ ), степень асимметрии ( $A$ ) и номер моды ( $m$ )  
В) 3 нормированных параметра – константа распространения ( $b$ ), номер моды ( $m$ ), степень асимметрии ( $A$ )
2. Мощности моды 3-слойного плоского волновода связана с эффективной толщиной  
А) прямо пропорционально  
Б) обратно пропорционально  
В) по кубическому закону
3. Асимметричный оптический волновод – это структура, у которой:  
А) распределения полей мод ТЕ и ТМ типов асимметричны  
Б) распределения полей двух первых ТЕ мод асимметричны  
В) показатели преломления покровной среды и подложки различны

## Тема 5. Канальные (полосковые) волноводы.

### Основные вопросы темы

1. Трехмерные канальные (полосковые) волноводы.
2. Гибридные моды.

### Рекомендации по изучению темы

Вопрос 1: [3], раздел 8.3; [4], раздел 2.5.

Вопрос 2: [2], раздел 3.2; [4], раздел 3.5.

### **Контрольные вопросы**

1. Дайте определение канального (полоскового) волновода.
2. Перечислите основные типы канальных волноводов.
3. Какими методами описывается распространение света в прямоугольном канальном волноводе?
4. Кратко опишите суть метода Маркатили.
5. Что такое гибридные моды, в чем разница между  $E^x$  и  $E^y$  модами полоскового волновода?

### **Тесты для самопроверки. Выберите один правильный ответ.**

1. Канальный волновод может поддерживать распространение  
А) только  $EH$  мод  
Б)  $EH$ ,  $E^x$  и  $E^y$  мод  
В)  $E^x$  и  $E^y$  мод
2. К основным типам канальных волноводов относят, в частности:  
А) планарный волновод  
Б) погруженный волновод  
В) асимметричный волновод
3. Канальный волновод называют прямоугольным из-за  
А) прямоугольного поперечного сечения структуры  
Б) прямоугольного продольного сечения структуры  
В) симметрии его оптических характеристик



## **Тема 6. Волоконные световоды.**

### Основные вопросы темы

1. Волоконные световоды. Основные характеристики, классификация.
2. Анализ распространения направляемых мод.

### Рекомендации по изучению темы

Вопрос 1: [2], раздел 5.1; [3], раздел 9.1.

Вопрос 2: [3], разделы 9.2,9.3, [5], теор. введение к лаб. работе №3.

### **Контрольные вопросы**

1. Как устроен волоконный световод?
2. Как классифицируются волоконные световоды?
3. Что такое числовая апертура волокна?
4. Перечислите виды потерь в оптических волокнах.
5. Как описывается распространение света в волоконных световодах?

### **Тесты для самопроверки. Выберите один правильный ответ.**

1. Защитная оболочка одномодового волоконного световода  
А) желтого цвета  
Б) оранжевый цвета  
В) темно-зеленая с черными полосками
2. Одномодовый режим распространения в волоконном световоде наступает, если  
А) нормированный параметр  $v < 2,405$   
Б) нормированный параметр  $v > 2,405$   
В) нормированный параметр  $b > 1$
3. Числовая апертура волокна:  
А) не зависит от показателя преломления сердцевины  
Б) не зависит от показателя преломления оболочки  
В) определяется показателями преломления оболочки и сердцевины

## Тема 7. Методы изготовления оптических волноводов.

### Основные вопросы темы

1. Пленочные технологии, диффузия, протонный обмен.
2. Технологии эпитаксии и фотолитографии.

### Рекомендации по изучению темы

Вопрос 1: [2], раздел 4.2; [4], раздел 4.1.1, 4.1.2.

Вопрос 2: [2], раздел 4.1; [4], раздел 4.1.3.

### **Контрольные вопросы**

1. Дайте термину «пленочные технологии».
2. Как реализуется метод химического парофазного осаждения (CVD)?
3. Опишите получение направляющих структур с помощью методов диффузии и протонного обмена
4. Что такое эпитаксия?
5. Перечислите этапы фотолитографического процесса создания волноводной структуры.

### **Тесты для самопроверки. Выберите один правильный ответ.**

1. Гетероэпитаксией называют:  
А) направленный рост кристалла  
Б) направленный рост одного кристалла на поверхности другого  
В) создание кристаллического соединения путем диффузии
2. Пленочные технологии не применимы для изготовления  
А) кристаллических волноводов  
Б) металлических волноводов  
В) волноводов на основе аморфных материалов
3. Протонный обмен состоит в  
А) повышении показателя преломления материала за счет замещения ионов протонами  
Б) понижении показателя преломления материала за счет замещения ионов протонами  
В) повышении показателя преломления за счет диффузии

## Тема 8. Теория связанных мод.

### Основные вопросы темы

1. Понятие о связи между модами и связанных волноводах. Теория связанных мод.
2. Общие принципы и характеристики согласования элементов. Распределённая и непосредственная связь.
3. Линзовые, решеточные и призмные элементы связи.

### Рекомендации по изучению темы

Вопрос 1: [2], раздел 1.3; [3], раздел 8.5.2; [3], раздел 2.6; [5], теор. введение к лаб. работе №4.

Вопрос 2: [3], раздел 8.5.1; [4], раздел 4.2.1.

Вопрос 3: [3], раздел 8.5; [5], теор. введение к лаб. работе №1

### **Контрольные вопросы**

1. Как производится вывод уравнений связанных мод (исходные положения).
2. Запишите и объясните уравнения связи собственных волн.
3. Что такое интеграл перекрытия?
4. Дайте определение фазового синхронизма мод.
5. Как находится коэффициент направленности связи?

### **Тесты для самопроверки. Выберите один правильный ответ.**

1. К устройствам распределённой связи можно отнести:  
А) сферическую линзу  
Б) решетку на поверхности волновода  
В) тонкую ровную плёнку-покрытие на поверхности волновода
2. Синонимом термина «коэффициент связи» для мод волновода является термин:  
А) «коэффициент направленности»  
Б) «интеграл перекрытия»  
В) «функция Якоби»
3. В случае фазового синхронизма мод происходит:  
А) частичный обмен мощностью между связанными модами  
Б) полный обмен мощностью между связанными модами  
В) полное затухание обеих связанных мод