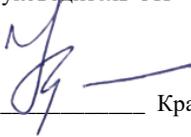




МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

«СОГЛАСОВАНО»
Руководитель ОП


Крайнова Г.С.

« 19 » _____ сентября 2018 г.

«УТВЕРЖДАЮ»
Заведующий кафедрой
физики низкоразмерных структур


Саранин А.А.

« 19 » _____ сентября 2018 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Оптические волноводы

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Профиль Электроника и нанoeлектроника

Форма подготовки очная

курс 3 семестр 5

лекции 18 час.

практические занятия 0 час.

лабораторные работы 36 час.

в том числе с использованием МАО лек. 0 /пр. 0 /лаб. 18 час.

всего часов аудиторной нагрузки 54 час.

в том числе с использованием МАО 18 час.

в том числе контролируемая самостоятельная работа 0 час.

в том числе в электронной форме 0 час.

самостоятельная работа 54 час.

в том числе на подготовку к экзамену 36 час.

контрольные работы не предусмотрено

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены

зачет нет семестр

экзамен 5 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта высшего образования ДВФУ № ОС-11.03.04-16/1-2016.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры физики низкоразмерных структур, протокол № 1 от « 19 » _____ сентября 2018 г.

Заведующий кафедрой Саранин А.А.

Составитель: к.ф.-м.н. Дышлок А.В.

Оборотная сторона титульного листа РПУД

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от « _____ » _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от « _____ » _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

ABSTRACT

Bachelor's degree in 11.03.04 Electronics and Nanoelectronics

Course title: Optical waveguides

Variable part of Block, 3 credits

Instructor: A.V. Dy`shlyuk, Cand. of Phys. and math., associate Professor of the General and experimental physics department, School of Natural Sciences of Far Eastern Federal University.

Learning outcomes:

SPC-2 ability to reasonably choose and implement in practice an effective method of experimental study of parameters and characteristics of devices, circuits, devices and installations of electronics and nanoelectronics for various functional purposes;

SPC-17 ability to service measuring, diagnostic, technological equipment.

Course description: study of the most important physical processes, phenomena and laws, optical radiation propagation through dielectric waveguides.

Main course literature:

1. Vitrik O.B. Optical waveguides.- Vladivostok: Publishing House of Far Eastern State Technical University , 2008.- 110 p.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:380792&theme=FEFU>

2. Czukanov V.N., Yakovlev M.Ya. Fiber-optic technology. - M.: Publishing House «Infra-Inzheneriya». - 2011. - 640 p.

<https://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=Znanium:Znanium-519912&theme=FEFU>

3. Strekalov A.V., Tenyakova N.A. Physical basis of fiber optics. - M.: Publishing House «Infra-M», 2013. - 106 p.

<https://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=Znanium:Znanium-309267&theme=FEFU>

Form of final knowledge control: exam.

Аннотация дисциплины «Оптические волноводы»

Учебная дисциплина «Оптические волноводы» разработана для студентов 3 курса направления бакалавриата 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» в соответствии с требованиями ОС ВО ДВФУ по данному направлению.

Дисциплина «Оптические волноводы» входит в дисциплины по выбору вариативной части образовательной программы.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 зачетные единицы (108 часов). Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (18 часов), лабораторные работы (36 часов), самостоятельная работа студента (54 часа, в том числе на подготовку к экзамену 36 часов). Дисциплина реализуется на 3 курсе в 5 семестре.

Цель: изучение важнейших физических процессов, явлений и закономерностей, распространения оптического излучения по диэлектрическим волноводам.

Задачи:

- формирование у студентов знаний об основных физических принципах передачи информационных сигналов по волоконным световодам;
- формирование у студентов знаний о характеристиках волоконных световодов;
- формирование у студентов навыков расчета параметров и характеристик основных типов оптических волноводов;
- формирование у студентов навыков экспериментального исследования параметров и характеристик основных типов оптических волноводов.

Для успешного изучения дисциплины «Оптические волноводы» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-1);
- способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2);
- способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных (ОПК-5);
- способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий (ОПК-6).

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие общекультурные и профессиональные компетенции (элементы компетенций):

| Код и формулировка компетенции | Этапы формирования компетенции | |
|--|--------------------------------|---|
| ПК-2, способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного | Знает | основные методики экспериментального исследования параметров и характеристик основных типов оптических волноводов |
| | Умеет | аргументированно выбирать и реализовывать на практике основные методики экспериментального исследования параметров и характеристик основных типов оптических волноводов |
| | Владеет | навыками экспериментального исследования параметров и характеристик основных типов оптических волноводов |

| | | |
|--|---------|--|
| функционального назначения | | |
| ПК-17, способность к сервисному обслуживанию измерительного, диагностического, технологического оборудования | Знает | стандарты, регламентирующие сервисное обслуживание основных типов измерительного, диагностического, технологического оборудования для тестирования волоконных световодов |
| | Умеет | осуществлять сервисное обслуживание основных типов измерительного, диагностического, технологического оборудования для тестирования волоконных световодов |
| | Владеет | навыками контроля соответствия параметров и характеристик основных типов измерительного, диагностического, технологического оборудования для тестирования волоконных световодов установленным стандартам |

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Оптические волноводы» применяются следующие методы активного/интерактивного обучения: мозговой штурм, дискуссия.

I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Лекционные занятия (18 час.)

Раздел 1. Лучевой анализ оптических волноводов (ОВ) (5 час.)

Тема 1. Потери излучения в кварце (1 час.)

«Хвосты» УФ и ИК поглощения. Релеевское рассеяние. Примесное поглощение. «Окна» прозрачности.

Тема 2. Симметричный планарный волновод. Волоконные световоды со ступенчатым профилем показателя преломления (СПВ) (1 час.)

Закон Снеллиуса применительно к СПВ. Критический угол. Классификация лучей: направляемые и вытекающие. Устройство волоконных световодов (ВС) со ступенчатым профилем показателя преломления. Особенности закона

Снеллиуса применительно к ВС. Классификация лучей: направляемые и вытекающие меридианальные и косые. Туннелирующие лучи.

Тема 3. Дисперсия в волоконных световодах (1 час.)

Время распространения луча в ВС. Уширение импульсов. Лучевая дисперсия. Слабонаправляющие ВС. Лучи в градиентных ВС. Оптимальный профиль показателя преломления.

Тема 4. Волновые параметры направляемых лучей (1 час.)

Постоянная распространения. Поперечные фазовые параметры. Приведенная частота волновода.

Тема 5. Фазовая и групповая скорость распространения луча (1 час.)

Материальная и волноводная дисперсия в одномодовых световодах. Область «нулевой» материальной дисперсии в кварце. ВС с «нулевой», «положительной» и «отрицательной» материальной дисперсией. ВС со «смещенной» дисперсией.

Раздел 2. Модовый анализ регулярных ОВ (5 час.).

Тема 6. Границы применимости лучевого подхода (1 час.).

Физическая картина возникновения мод. Скалярное приближение для слабонаправляющих волноводов. ТЕМ и LP моды. Граничные условия.

Тема 7. Решение скалярного волнового уравнения для СПВ (1 час.).

Решение скалярного волнового уравнения для СПВ. Четные и нечетные моды. Характеристическое уравнение и его графическое решение. Диапазон изменения фазовых параметров мод и частота отсечки ТЕМ моды. Диапазон одномодового режима. Число ТЕМ мод. Ортогональности и нормировка ТЕМ мод. Разложение направляемых волн по ТЕМ модам в СПВ. Мощность моды. Часть мощности в сердцевине. Особенности TE и TM мод. Роль поляризационных поправок

Тема 8. Решение скалярного волнового уравнения для ВС (1 час.).

Решение скалярного волнового уравнения для ВС. Типы LP мод. Характеристическое уравнение и свойства его решений. Диапазон изменения

фазовых параметров мод и частота отсечки LP моды. Диапазон одномодового режима. Аксиальная и радиальная структура LP мод - распределение поляризации и интенсивности. Основная мода ВС Моды высокого и низкого порядков. Вырождение LP моды и количество вырожденных мод. Общее число LP мод в ВС.

Тема 9. Ортогональности и нормировка LP мод (1 час.).

Разложение направляемых волн по LP волнам в ВС. Мощность моды. Часть мощности в сердцевине. Межмодовая интерференция и спекл-структура картины межмодовой интерференции на выходе многомодового ВС

Тема 10. Гибридный характер мод реального ВС (1 час.).

Особенности EH и HE мод. Поляризационные поправки к скалярным постоянным распространения для EH и HE мод. Интерференция LP мод одного порядка. О применимости приближения LP мод для описания светового поля в ВС.

II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Лабораторные работы (54 час.)

Лабораторная работа №1. Оптические световоды. (6 час.)

Классификация. Назначение. Инструмент для работы со световодами.

Лабораторная работа № 2. Потери излучения в кварце (4 час.)

«Хвосты» УФ и ИК поглощения. Релеевское рассеяние. Примесное поглощение. «Окна» прозрачности.

Лабораторная работа № 3. Симметричный планарный волновод. Волоконные световоды со ступенчатым профилем показателя преломления (СПВ) (4 час.)

Закон Снеллиуса применительно к СПВ. Критический угол. Классификация лучей: направляемые и вытекающие. Устройство волоконных световодов (ВС) со ступенчатым профилем показателя преломления. Особенности закона Снеллиуса применительно к ВС. Классификация лучей: направляемые и вытекающие меридианальные и косые. Туннелирующие лучи.

Лабораторная работа № 4. Дисперсия в волоконных световодах (4 час.)

Время распространения луча в ВС. Уширение импульсов. Лучевая дисперсия. Слабонаправляющие ВС.

Лабораторная работа № 5. Градиентные ВС (4 час.)

Лучи в градиентных ВС. Оптимальный профиль показателя преломления.

Лабораторная работа № 6. Волновые параметры направляемых лучей (4 час.)

Постоянная распространения. Поперечные фазовые параметры. Приведенная частота волновода.

Лабораторная работа № 7. Фазовая и групповая скорость распространения луча (4 час.)

Материальная и волноводная дисперсия в одномодовых световодах. Область «нулевой» материальной дисперсии в кварце. ВС с «нулевой», «положительной» и «отрицательной» материальной дисперсией. ВС со «смещенной» дисперсией.

Лабораторная работа № 8. Технология изготовления ВС. Контроль качества волоконных световодов (4 час.)

Лабораторная работа № 9. Границы применимости лучевого подхода (4 час.).

Физическая картина возникновения мод. Скалярное приближение для слабонаправляющих волноводов. ТЕМ и LP моды. Граничные условия ()

Лабораторная работа № 10. Решение скалярного волнового уравнения для СПВ (4 час.).

Решение скалярного волнового уравнения для СПВ. Четные и нечетные моды. Характеристическое уравнение и его графическое решение. Диапазон изменения фазовых параметров мод и частота отсечки ТЕМ моды. Диапазон одномодового режима. Число ТЕМ мод. Ортогональности и нормировка ТЕМ мод. Разложение направляемых волн по ТЕМ модам в СПВ. Мощность моды. Часть мощности в сердцевине. Особенности ТЕ и ТМ мод. Роль поляризационных поправок

Лабораторная работа № 11. Решение скалярного волнового уравнения для ВС (4 час.).

Решение скалярного волнового уравнения для ВС. Типы LP мод. Характеристическое уравнение и свойства его решений. Диапазон изменения фазовых параметров мод и частота отсечки LP моды. Диапазон одномодового режима. Аксиальная и радиальная структура LP мод - распределение поляризации и интенсивности. Основная мода ВС Моды высокого и низкого порядков. Вырождение LP моды и количество вырожденных мод. Общее число LP мод в ВС.

Лабораторная работа № 12. Ортогональности и нормировка LP мод (4 час.).

Разложение направляемых волн по LP волнам в ВС. Мощность моды. Часть мощности в сердцевине. Межмодовая интерференция и спекл-структура картины межмодовой интерференции на выходе многомодового ВС

Лабораторная работа № 13. Гибридный характер мод реального ВС (4 час.).

Особенности EH и HE мод. Поляризационные поправки к скалярным постоянным распространения для EH и HE мод. Интерференция LP мод одного порядка. О применимости приближения LP мод для описания светового поля в ВС.

**III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Оптические волноводы» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;

характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;

требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

| № п/п | Контролируемые разделы / темы дисциплины | Коды и этапы формирования компетенций | | Оценочные средства | |
|-------|---|---------------------------------------|----------------|---------------------------|--------------------------|
| | | | | текущий контроль | промежуточная аттестация |
| 1 | Лучевой анализ оптических волноводов | ПК-2 | знает | Собеседование (УО-1) | Вопросы 1 - 3 |
| | | | умеет, владеет | Контрольная работа (ПР-2) | Вопросы 4-8 |
| 2 | Модовый анализ регулярных оптических волноводов | ПК-2, ПК-17 | знает | Собеседование (УО-1) | Вопросы 9 - 10 |
| | | | умеет, владеет | Контрольная работа (ПР-2) | Вопросы 11 - 12 |

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. Оптические волноводы. Учебное пособие / Сост. О. Б. Витрик .- Владивосток: Изд-во Дальневосточного технического университета , 2008.- 110 с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:380792&theme=FEFU>
2. Цуканов, В.Н. Волоконно-оптическая техника [Электронный ресурс] / В.Н. Цуканов, М.Я. Яковлев. - М.: Инфра-Инженерия. - 2011. - 640 с. <https://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=Znanium:Znanium-519912&theme=FEFU>
3. Физические основы волоконной оптики: Учебное пособие / А.В. Стрекалов, Н.А. Тенякова. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2013. - 106 с. <https://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=Znanium:Znanium-309267&theme=FEFU>

Дополнительная литература

1. Барыбин, А.А. Электродинамика волноведущих структур. Теория возбуждения и связи волн [Электронный ресурс] : . — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2007. — 510 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2106
2. Конструирование электронных устройств систем автоматизации и вычислительной техники : учебное пособие для вузов / С. Г. Григорьян. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2007. – 303 с. <https://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=chamo:381640&theme=FEFU>

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Гуртов В.А. Оптоэлектроника и волоконная оптика: Учебное пособие. - Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2005. - 239 с. <http://window.edu.ru/resource/066/65066>
2. Никоноров Н.В., Сидоров А.И. Материалы и технологии волоконной оптики: оптическое волокно для систем передачи информации: Учебное пособие. - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. - 95 с. <http://window.edu.ru/resource/393/67393>

3. Никоноров Н.В., Сидоров А.И. Материалы и технологии волоконной оптики: специальные оптические волокна: Учебное пособие. - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. - 130 с. <http://window.edu.ru/resource/394/67394>

VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Основными видами аудиторной работы студентов по дисциплине «Оптические волноводы» являются лекции и лабораторные работы.

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации по подготовке к лабораторным работам и указания на самостоятельную работу.

Тематика лабораторных работ направлена на закрепление и углубление теоретических знаний. Лабораторные занятия проводятся с целью изучения студентами основных физических процессов, явлений и закономерностей, распространения оптического излучения по диэлектрическим волноводам.

Формами текущего контроля являются собеседование и контрольная работа. Формой промежуточного контроля является экзамен.

VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебная лаборатория, комплект учебного оборудования по волоконной оптике Newport M-FKP-STD



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ
по дисциплине «Оптические волноводы»
Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
Профиль Электроника и наноэлектроника
Форма подготовки очная**

**Владивосток
2018**

1. План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

| № п/п | Дата/сроки выполнения | Вид самостоятельной работы | Примерные нормы времени на выполнение | Форма контроля |
|-------|-----------------------|---|---------------------------------------|---|
| 1. | В течение семестра | Изучение разделов теоретической части курса | 9 час. | Собеседование (УО-1) |
| 2. | В течение семестра | Подготовка к лабораторным работам | 9 час. | Собеседование (УО-1) Контрольная работа (ПР-2) |
| 3 | В течении семестра | Подготовка к экзамену | 36 час. | Экзамен |

2. Темы рефератов

1. Полимерные оптические волноводы.
2. Современное состояние интегральной оптики.
3. Современное состояние волоконно-оптических систем связи.
4. FTTH и FTTP.
5. Рекордные волоконно-оптические системы передачи информации.
6. WDM и DWDM.
7. Кодовое разделение каналов в волоконно-оптических системах связи.
8. Синхронная цифровая иерархия.
9. Плеззиохронная цифровая иерархия.
10. Оптические сети доступа.
11. Тестирование и мониторинг волоконно-оптических систем связи.
12. Современная элементная база волоконно-оптических систем связи.
13. Современные оптические кабели.
14. Волоконно-оптические усилители.
15. Полностью оптические системы передачи и обработки информации.

3. Методические рекомендации по подготовке рефератов

В учебном процессе реферат является частью самостоятельной, внеаудиторной работы студента по выбранной теме. Цель выполнения реферативной работы - самостоятельное глубокое изучение и анализ конкретных вопросов, получение навыков библиографического поиска, аналитической работы с литературой, письменного оформления текста. Реферат - это самостоятельное творческое исследование студентом определенной темы, он должен быть целостным и законченным, творческой научной работой. Автор реферата должен показать умение разбираться в проблеме, систематизировать научные знания, применять теоретические знания на практике.

Реферат выполняется самостоятельно, плагиат недопустим. Мысли других авторов, цитаты, изложение учебных и методических материалов должны иметь ссылки на источник.

Реферат выполняется по одной из предложенных тем по выбору студента. Студент может предложить собственную тему исследования, обосновав ее целесообразность. Выполнение студентами одной группы реферативной работы на одну и ту же тему не допускается.

При написании работы необходимо использовать рекомендуемую литературу: учебные и практические пособия, учебники, монографические исследования, статьи в научных журналах.

Реферат - самостоятельное, творческое исследование. Структурно реферативная работа должна выглядеть следующим образом:

- титульный лист;
- план реферативной работы (оглавление);
- текст реферативной работы, состоящий из введения, основной части (главы и параграфы) и заключения;
- список использованной литературы.

Рекомендуемый объем реферата - 15-20 страниц машинописного текста. Название работы, глав и подглав не должны быть громоздкими и не должны

совпадать. Работа над рефератом начинается с составления плана. Продуманность плана – основа успешной и творческой работы над проблемой.

Во введении автор обосновывает выбор темы, ее актуальность, место в существующей проблематике, степень ее разработанности и освещенности в литературе, определяются цели и задачи исследования. Желателен сжатый обзор научной литературы.

В основной части выделяют 2-3 вопроса рассматриваемой проблемы (главы, параграфы), в которых формулируются ключевые положения темы. При необходимости главы, параграфы должны заканчиваться логическими выводами, подводящими итоги соответствующего этапа исследования. Желательно, чтобы главы не отличались сильно по объему. Приступать к написанию реферата лучше после изучения основной литературы, вдумчивого осмысления принципов решения проблемы, противоположных подходов к ее рассмотрению. Основное содержание реферата излагается по вопросам плана последовательно, доказательно, аргументировано, что является основным достоинством самостоятельной работы.

В заключении подводятся итоги исследования, обобщаются полученные результаты, делаются выводы по реферативной работе, рекомендации по применению результатов. В оглавлении введению и заключению не присваивается порядковый номер. Нумеруются лишь главы и параграфы основной части работы.

Реферат завершается списком использованной литературы, который служит показателем изученности темы автором.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине «Оптические волноводы»
Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
Профиль Электроника и наноэлектроника

Форма подготовки очная

Владивосток
2018

Паспорт ФОС

| Код и формулировка компетенции | Этапы формирования компетенции | |
|---|--|--|
| | ПК-2 способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения | Знает |
| Умеет | | аргументированно выбирать и реализовывать на практике основные методики экспериментального исследования параметров и характеристик основных типов оптических волноводов |
| Владеет | | навыками экспериментального исследования параметров и характеристик основных типов оптических волноводов |
| ПК-17 способность к сервисному обслуживанию измерительного, диагностического, технологического оборудования | Знает | стандарты, регламентирующие сервисное обслуживание основных типов измерительного, диагностического, технологического оборудования для тестирования волоконных световодов |
| | Умеет | осуществлять сервисное обслуживание основных типов измерительного, диагностического, технологического оборудования для тестирования волоконных световодов |
| | Владеет | навыками контроля соответствия параметров и характеристик основных типов измерительного, диагностического, технологического оборудования для тестирования волоконных световодов установленным стандартам |

| № п/п | Контролируемые разделы / темы дисциплины | Коды и этапы формирования компетенций | Оценочные средства | | |
|-------|--|---------------------------------------|--------------------|---------------------------|---------------|
| | | | текущий контроль | промежуточная аттестация | |
| 1 | Лучевой анализ оптических волноводов | ПК-2 | знает | Собеседование (УО-1) | Вопросы 1 - 3 |
| | | | умеет, владеет | Контрольная работа (ПР-2) | Вопросы 4-8 |

| | | | | | |
|---|---|----------------|-------------------|---------------------------|-----------------|
| 2 | Модовый анализ регулярных оптических волноводов | ПК-2, ПК-17 | знает | Собеседование (УО-1) | Вопросы 9 - 10 |
| | | | умеет, владеет | Контрольная работа (ПР-2) | Вопросы 11 - 12 |

Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

| Код и формулировка компетенции | Этапы формирования компетенции | | критерии | показатели |
|--|--------------------------------|---|--|--|
| ПК-2 способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и микроэлектроники различного функционального назначения | Знает | основные методики экспериментального исследования параметров и характеристик основных типов оптических волноводов | воспроизводить и объяснять учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты | способность показать базовые знания основных методик экспериментального исследования параметров и характеристик основных типов оптических волноводов |
| | Умеет | аргументированно выбирать и реализовывать на практике основные методики экспериментального исследования параметров и характеристик основных типов оптических волноводов | выполнять типичные задачи на основе основных методик экспериментального исследования параметров и характеристик основных типов оптических волноводов | способность применить знания и практические умения в задачах, связанных с основными методиками экспериментального исследования параметров и характеристик основных типов оптических волноводов |
| | Владеет | навыками экспериментального исследования параметров и характеристик основных типов оптических волноводов | решать усложненные задачи в нетипичных ситуациях на основе приобретенных знаний, умений и навыков | способность применить фактическое и теоретическое знание, практические умения по экспериментальному исследованию параметров и характеристик |

| | | | | основных типов оптических волноводов |
|--|---------|--|---|---|
| ПК-17 способность к сервисному обслуживанию измерительного, диагностического, технологического оборудования | Знает | стандарты, регламентирующие сервисное обслуживание основных типов измерительного, диагностического, технологического оборудования для тестирования волоконных световодов | самостоятельно разбираться в стандартах, регламентирующих их параметры и характеристики основных типов измерительного, диагностического, технологического оборудования для тестирования волоконных световодов | способность показать базовые знания и основные умения в использовании стандартов, регламентирующих параметры и характеристики основных типов измерительного, диагностического, технологического оборудования для тестирования волоконных световодов |
| | Умеет | осуществлять сервисное обслуживание основных типов измерительного, диагностического, технологического оборудования для тестирования волоконных световодов | осуществлять сервисное обслуживание основных типов измерительного, диагностического, технологического оборудования для тестирования волоконных световодов | способность осуществлять сервисное обслуживание основных типов измерительного, диагностического, технологического оборудования для тестирования волоконных световодов |
| | Владеет | навыками контроля соответствия параметров и характеристик основных типов измерительного, диагностического, технологического оборудования для тестирования волоконных световодов установленным стандартам | самостоятельно осуществлять контроль соответствия параметров и характеристик основных типов измерительного, диагностического, технологического оборудования для тестирования волоконных световодов установленным стандартам | способность осуществлять контроль соответствия параметров и характеристик основных типов измерительного, диагностического, технологического оборудования для тестирования волоконных световодов установленным стандартам |

Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины

Оценочные средства для промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация студентов. Промежуточная аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Критерии выставления оценки студенту на экзамене по дисциплине "Оптические волноводы "

| Баллы (рейтинговой оценки) | Оценка зачета (стандартная) | Требования к сформированным компетенциям |
|----------------------------|-----------------------------|--|
| 86 -100 | «отлично» | Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач. |
| 76 - 85 | «хорошо» | Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения. |
| 61 -75 | «удовлетворительно» | Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ. |
| 0 -60 | «неудовлетворительно» | Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного «не материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не |

| | | |
|--|--|---|
| | | могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. |
|--|--|---|

1. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Вопросы к экзамену

1. Потери излучения в кварце. «Хвосты» УФ и ИК поглощения. Релеевское рассеяние. Примесное поглощение. «Окна» прозрачности.
2. Симметричный планарный волновод (СПВ). Закон Снеллиуса применительно к СПВ. Критический угол. Классификация лучей: направляемые и вытекающие.
3. Устройство ВС со ступенчатым профилем показателя преломления. Особенности закона Снеллиуса применительно к ВС. Классификация лучей: направляемые и вытекающие меридианальные и косые. туннелирующие лучи.
4. Время распространения луча в ВС. Уширение импульсов. Лучевая дисперсия. Слабонаправляющие ВС.
5. Градиентные ВС. Лучи в градиентных ВС. Оптимальный профиль показателя преломления.
6. Волновые параметры направляемых лучей. Постоянная распространения. Поперечные фазовые параметры. Приведенная частота волновода.
7. Фазовая и групповая скорость распространения луча. Материальная и волноводная дисперсия в одномодовых световодах. Область «нулевой» материальной дисперсии в кварце. ВС с «нулевой», «положительной» и «отрицательной» материальной дисперсией. ВС со «смещенной» дисперсией.
8. Технология изготовления ВС. Контроль качества волоконных световодов.
9. Модовый анализ регулярных ВС.
10. Границы применимости лучевого подхода. Физическая картина возникновения мод.

11. Скалярное приближение для слабонаправляющих волноводов. ТЕМ и LP моды. Граничные условия.
12. Решение скалярного волнового уравнения для СПВ. Четные и нечетные моды. Характеристическое уравнение и его графическое решение. Диапазон изменения фазовых параметров мод и частота отсечки ТЕМ моды. Диапазон одномодового режима. Число ТЕМ мод.

2. Оценочные средства для текущей аттестации

Текущая аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме контрольных мероприятий по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется преподавателем.

3. Типовые задачи для контрольных работ

Задача 1.1. Рассчитайте величину критического угла для волноводов с числовыми апертурами, равными $NA=0,1$; $NA=0,2$; $NA=0,4$ и $n_1=1,5$.

Задача 1.2. На рис. 1.1 показан несимметричный планарный волновод. Каким будет критический угол распространения световых лучей для такого волновода, если $n_1=1,49$ и $n_2=1,48$?

Задача 1.3. Сколько раз испытает полное внутреннее отражение направляемый луч, распространяющийся в симметричном планарном волноводе длиной 1 см под углом вдвое меньшим, чем критический? Параметры волновода принять равными: $n_1=1,5$, $\rho=20$ мкм, $NA=0,15$.

Задача 1.4. Если при падении светового луча на границу раздела сред условия полного внутреннего отражения не выполняются, интенсивность отраженного луча (I_{omp}) зависит от состояния поляризации падающего света и связана с интенсивностью последнего (I_{nd}) соотношениями:

$$I_{omp} = \frac{\operatorname{tg}^2(\theta_{nd} - \theta_{omp})}{\operatorname{tg}^2(\theta_{nd} + \theta_{omp})} I_{nd}, \quad (1)$$

$$I_{omp} = \frac{\sin^2(\theta_{nd} - \theta_{omp})}{\sin^2(\theta_{nd} + \theta_{omp})} I_{nd}, \quad (2)$$

где θ_{nd} , θ_{omp} - углы падения и преломления света. Пользуясь этими соотношениями, рассчитайте, во сколько раз ослабится интенсивность обеих ортогонально поляризованных компонент вытекающего луча на выходе планарного волновода длиной 100 м, если угол распространения луча α равен

а) $1,01\alpha_0$;

б) $2\alpha_0$.

Параметры волновода принять равными: $n_1=1,5$, $\rho=100$ мкм, $NA=0,2$.

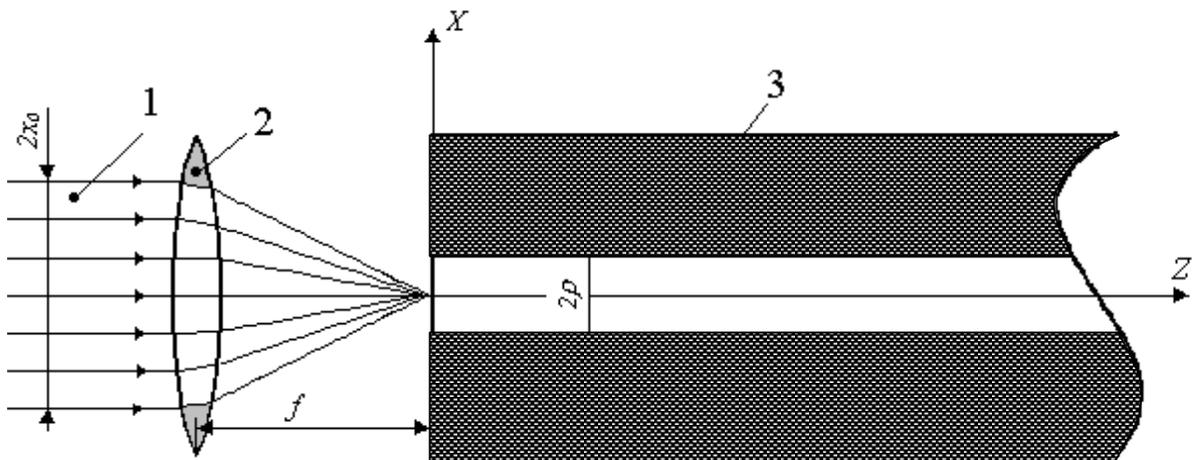


Рис. 1.1. Возбуждение волновода с помощью линзы:

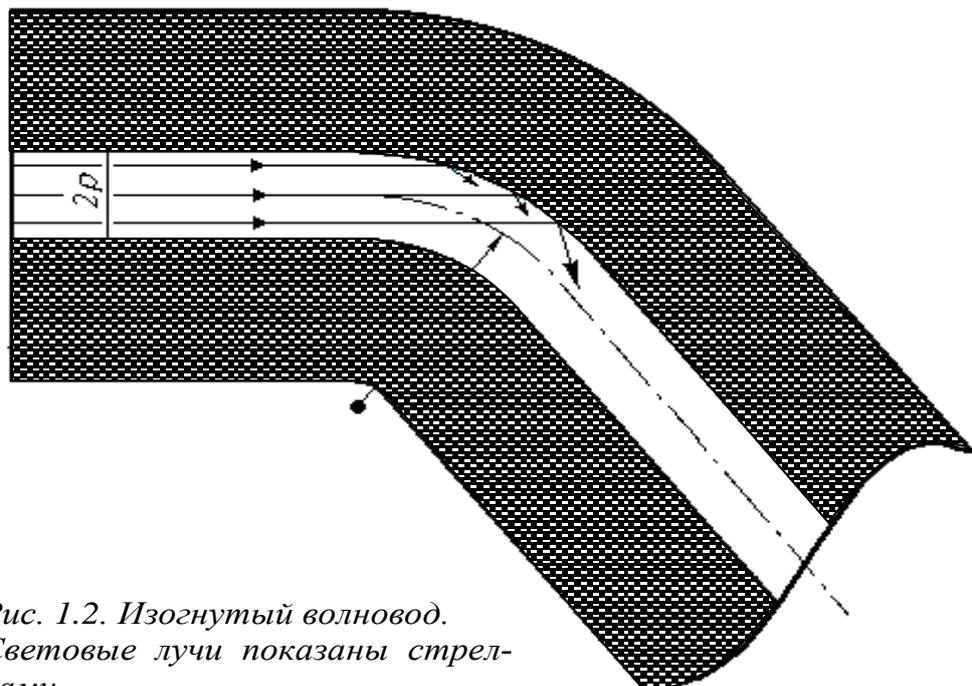
1 - коллимированный пучок, 2 - линза, 3 - волновод.

Задача 1.5. На входной торце симметричного планарного волновода отвесно падает пучок параллельных лучей (рис. 1.1).

Интенсивность падающего пучка постоянна по поперечному сечению и равна I_0 , поперечный размер пучка $x_0 = 4\rho$. Используя соотношения Френеля (1) и (2), запишите выражение для полной мощности введенного направляемого излучения. Задачу считать двухмерной. **Указание.** Необходимо исходить из того, что только некоторая часть излучения, которая падает непосредственно на область сердцевины, захватывается ею и преобразуется в направляемые лучи.

Задача 1.6. Решите задачу 1.5 для случая волоконного световода (для трехмерного случая).

Задача 1.7. В планарный волновод введен коллимированный световой пучок. Центральный участок волновода изогнут. Лучи, распространяясь в области изогнутого участка, падают на границу сердцевины и оболочки под различными углами так, как показано на рис. 1.2. Рассчитайте, при каком радиусе изгиба R_{ii} хотя бы некоторые из рассматриваемых лучей станут



*Рис. 1.2. Изогнутый волновод.
Световые лучи показаны стрелками.*

испытывать потери за счет преломления в оболочку. Каков этот радиус для световодов с параметрами:

а) $n=1,5$, $\rho=50$ мкм, $NA=0,2$;

б) $n=1,5$, $\rho=10$ мкм, $NA=0,1$?

Существует ли такой радиус изгиба, при котором все лучи в области изогнутого участка станут преломляющимися?

Задача 1.8. Для повышения эффективности возбуждения световода часто перед его входным торцом волновода помещают собирающую линзу. Будем полагать, что линза располагается на одной оси с волноводом и ее фокус попадает в центр входного торца (рис. 1.5). Какими должны быть фокусное расстояние линзы f и диаметр коллимированного пучка $2x_0$, чтобы максимальная доля энергии падающего излучения была преобразована в направляемое излучение? Какова эта доля с учетом френелевского отражения от входного торца?

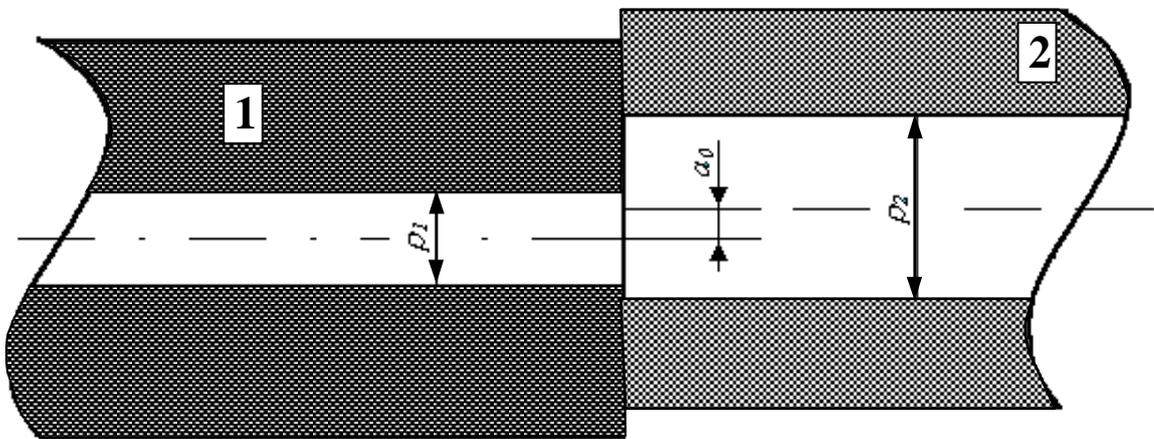


Рис. 1.5. Соединение волноводов

Указание. При расчетах коэффициентов френелевского отражения (1) и (2), можно приближенно принять угол падения света на входной торец равным нулю.

Задача 1.9. Интенсивность коллимированного пучка из предыдущей задачи постоянна по поперечному сечению и равна I_0 . Какая доля мощности этого пучка будет преобразована в направляемое излучение слабонаправляющего волоконного световода, если радиус пучка равен 1,5 см, фокусное расстояние линзы - 2 см, а числовая апертура волоконного световода равна 0,2, показатель преломления сердцевины $n_1=1,49$?

Задача 1.10. На рис. 1.6 показано соединение двух слабонаправляющих волноводов. В рамках лучевого приближения, рассчитайте какая доля энергии светового потока проникает из первого волновода во второй, если величина осевого сдвига a_0 равна нулю, а параметры первого волновода составляют: $\rho_1=50$ мкм, $NA_1=0,21$, параметры второго: $\rho_2=50$ мкм, $NA_2=0,15$. Волноводы считать планарными симметричными, интенсивность направляемого

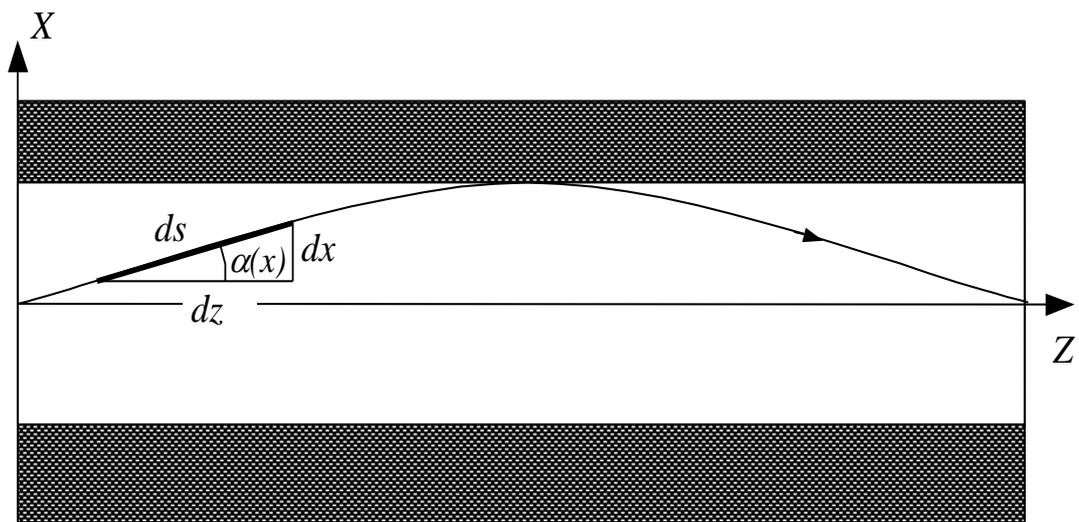


Рис. 1.6. Соотношение между элементом длины траектории луча ds и элементом длины волновода dz в градиентном планарном волноводе. Излучения в первом волноводе не зависит от угла распространения лучей. У обоих волноводов показатель преломления сердцевины равен $n_1=1,49$.

Задача 1.11. Решите задачу 1.9 в случае, когда параметры первого волновода составляют: $\rho_1=50$ мкм, $NA_1=0,21$, параметры второго: $\rho_2=40$ мкм, $NA_2=0,21$, величина осевого сдвига a_0 равна нулю. Световоды считать планарными симметричными.

Задача 1.12. Решите задачу 1.9 в случае, когда параметры первого волновода составляют: $\rho_1=50$ мкм, $NA_1=0,21$, параметры второго: $\rho_2=50$ мкм, $NA_2=0,21$, а величина осевого сдвига a_0 равна 10 мкм. Световоды считать планарными симметричными.

Задача 1.13. Решите задачу 1.9 для случая волоконных световодов.

Задача 1.14. Решите задачу 1.10 для случая волоконных световодов.

Задача 1.15. Решите задачу 1.11 для случая волоконных световодов.

Задача 1.17. Покажите, что координата точки поворота для градиентного планарного волновода параболического профиля задается следующим

выражением $x_{\max} = \rho \sqrt{\frac{n_1}{\Delta n} (1 - \cos \alpha(0))}$.

Задача 1.19. Воспользовавшись выражением (1.5.3), прямыми вычислениями в рамках параксиального приближения докажите, что в планарном волноводе параболического профиля, оптические пути всех направляемых лучей одинаковы и равны $n_1 L$, где L - длина волновода.

Указание: Считайте, длина волновода кратна периоду фокусировки лучей. При расчетах пренебрегайте членами выражений порядка Δn^2 .

Задача 1.20. Световой луч распространяется в среде, показатель

преломления которой распределен по закону:
$$n(x) = \begin{cases} n_1 - \Delta n \frac{x}{\rho}, & x \leq \rho \\ n_2 & , x > \rho \end{cases} .$$

Рассчитайте в параксиальном приближении траекторию луча при следующих начальных условиях: $x|_{z=0} = 0$, $\alpha|_{z=0} = \arccos(n_2/n_1)$.

Задача 1.21. Параметры двухслойного волоконного световода ступенчатого профиля составляют $\rho_1 = 50$ мкм, $NA_1 = 0,21$, $n_1 = 1,49$. Рассчитайте величину лучевой и материальной дисперсии для этого световода на длинах волн $\lambda = 0,9$, $1,3$ и $1,5$ (мкм), если в качестве источника излучения используется полупроводниковый светодиод с относительной шириной линии $\Delta\lambda / \lambda = 0,01$.

Задача 1.22. Известно, что для чистого кварца на длине волны "нулевой дисперсии" $\lambda_0 = 1,276$ мкм параметр $\lambda \frac{d^3 n}{d\lambda^3}$ равен $-0,029$ мкм⁻². Оцените с точностью до членов порядка $\frac{d^2 t}{d\lambda^2}$ величину материальной дисперсии в одномодовом волоконном световоде на длине волны λ_0 , если длина световода l равна 1 км, а ширина спектральной линии источника $\Delta\lambda = 10$ нм.

Задача 1.23. Для чистого кварца на длине волны "нулевой дисперсии" $\lambda_0 = 1,276$ мкм параметры $\lambda \frac{d^3 n}{d\lambda^3}$ и $\lambda \frac{d^4 n}{d\lambda^4}$ равны соответственно $-0,029$ мкм⁻² и $0,108$ мкм⁻³. При какой ширине линии источника $\Delta\lambda$, имеющего центральную длину волны λ_0 , вклад членов порядка $\frac{d^3 t}{d\lambda^3}$ в материальную дисперсию становится существенным для кварцевого волновода?

Задача 1.24. Можно ли в рамках лучевого приближения проанализировать процессы распространения света в волоконных световодах со следующими параметрами

а) $\rho = 5$ мкм, $NA = 0,11$; $n_1 = 1,49$

б) $\rho = 50$ мкм, $n_1 = 1,49$, $n_2 = 1,48$;

в) $\rho=50$ мкм, $NA=0,21$, $n_1=1,49$

если длина волны света равна $1,3$ мкм?

Задача 2.1. В планарном волноводе распространяются две плоские волны с одинаковой фазовой скоростью, так что волновой вектор одной из них ориентирован под углом $+\alpha$, а другой $-\alpha$ к оси. Амплитуды обеих волн равны, векторы напряженности их электрических полей перпендикулярны плоскости чертежа, причем у одной из них вектор \vec{E} направлен к наблюдателю, а у другой - от наблюдателя. Рассчитайте распределение амплитуды электрического и магнитного поля суммарной волны.

Задача 2.2. Решите предыдущую задачу в случае, когда векторы напряженности магнитных полей обеих волн перпендикулярны плоскости чертежа и направлены к наблюдателю.

Задача 2.3. Решите задачу 2.1 в случае, когда векторы напряженности магнитных полей обеих волн перпендикулярны плоскости чертежа, причем у одной из них вектор \vec{H} направлен к наблюдателю, а у другой - от наблюдателя.

Задача 2.4. Какие моды будут возбуждаться в симметричном планарном волноводе при $V=3$, $V=5$ и $V=8$?

Задача 2.5. Излучение длиной волны $1,3$ мкм вводится в симметричный планарный волновод. Показатель преломления сердцевины световода равен $1,47$; оболочки - $1,465$. Какие TEM моды будет направлять световод, если полуширина его сердцевины равна 5 мкм? 10 мкм?

Задача 2.6. Отсечка моды TEM_1 в симметричном планарном волноводе наступает на длине волны $1,48$ мкм. Каким будет модовый состав волновода на длинах волн $1,3$ мкм; $1,2$ мкм и $0,8$ мкм?

Задача 2.7. Показатель преломления сердцевины симметричного планарного волновода равен $1,47$, разность между показателем преломления сердцевины и оболочки - $0,003$. Какой следует выбрать полуширину сердцевины, чтобы на длине волны $1,55$ мкм этот волновод был одномодовым?

Задача 2.8. Рассчитайте постоянную распространения мод TEM_0 и TEM_1 , возбуждаемых в симметричном планарном волноводе с параметрами: $n_1=1,48$; $n_2=1,46$, $\rho=50$ мкм. Длину волны излучения принять равной $1,3$ мкм.

Задача 2.9. Рассчитайте постоянную распространения моды TEM_{11} , возбуждаемой на длине волны $1,3$ мкм в симметричном планарном волноводе с параметрами: $n_1=1,48$; $n_2=1,477$, $\rho=5,3$ мкм.

Задача 2.10. Покажите, что нормировка TEM_m моды может быть рассчитана в виде
$$N = \rho \frac{V^2}{U_m^2} \frac{1 + W_m}{W_m}.$$

Задача 2.11. Покажите, что доля мощности TEM_m моды в сердцевине планарного волновода может быть рассчитана в виде
$$\eta = 1 - \frac{U^2}{V^2(1 + W)}.$$

Задача 2.12. Покажите, что полная мощность направляемой по планарному волноводу волны может быть вычислена, как $P = P_X + P_Y$, где $P_T = n\sqrt{\epsilon_0/\mu_0} \sum_{(m)} (a_m^T)^2 N_m$, где T – означает любую из поперечных осей X или Y , a_m^T – m -й коэффициент разложения декартовой компоненты волны в ряд по TEM модам, N_m – нормировка TEM_m моды.

Задача 2.13. Оцените разницу в фазовых скоростях основных TE_0 и TM_0 мод в симметричном планарном волноводе с параметрами: $n_1=1,48$; $n_2=1,475$, $V=2$. Длину волны излучения принять равной $1,3$ мкм.

Задача 2.14. Оцените разницу в постоянных распространения TE_2 и TM_2 мод в симметричном планарном волноводе с параметрами: $n_1=1,48$; $n_2=1,47$, $V=6$. Длину волны излучения принять равной $1,3$ мкм.

Задача 2.15. Оцените величину межмодовой дисперсии в одномодовом симметричном планарном волноводе с параметрами: $n_1=1,48$; $n_2=1,475$, $V=1,5$, неучтенную в скалярном приближении. Длина волновода равна 1 м, длина волны излучения – $1,3$ мкм.

Задача 2.16. Какие моды будут возбуждаться в волоконном световоде при $V=3$, $V=5$ и $V=8$?

Задача 2.17. Излучение длиной волны 1,3 мкм вводится в волоконный световод. Показатель преломления сердцевины световода равен 1,47; оболочки - 1,465. Какие LP моды будет направлять световод, если радиус его сердцевины равен 5 мкм? 10 мкм?

Задача 2.18. Отсечка моды LP_{11} в волоконном световоде наступает на длине волны 1,48 мкм. Каким будет модовый состав световода на длинах волн 1,3 мкм; 1,2 мкм и 0,8 мкм.

Задача 2.19. Показатель преломления сердцевины волоконного световода равен 1,47, разность между показателем преломления сердцевины и оболочки - 0,003. Каким следует выбрать радиус сердцевины, чтобы на длине волны 1,55 мкм этот световод был одномодовым?

Задача 2.20. Рассчитайте постоянную распространения мод LP_{01} и LP_{11} , возбуждаемых на длине волны 1,3 мкм в волоконном световоде с параметрами: $n_1=1,48$; $n_2=1,46$, $\rho=50$ мкм.

Задача 2.21. Рассчитайте постоянную распространения моды LP_{11} , возбуждаемой на длине волны 1,3 мкм в волоконном световоде с параметрами: $n_1=1,48$; $n_2=1,477$, $\rho=5,3$ мкм.

Задача 2.22. На входном торце волоконного световода возбуждаются моды LP_{01} и LP_{11} . Напряженность электрического поля моды LP_{01} распределена в плоскости входного торца по закону $\vec{e}_x F_0(R)$, моды LP_{11} - по закону $\vec{e}_x \cos \varphi F_1(R)$. Постоянные распространения мод равны β_{01} и β_{11} соответственно. Получите выражения для интенсивности интерференционного поля этих мод на произвольном расстоянии z от входного торца. Условно принимая, что $F_{01}(R)=F_{11}(R)=const$, постройте распределение поляризации суммарного поля мод в плоскости поперечного сечения световода при $z=0$ и $z=\frac{\pi}{(\beta_{01}-\beta_{11})}$.

Задача 2.23. Постройте распределение поляризации поля четной HE_{22} моды в плоскости поперечного сечения световода.