

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор
по образовательной деятельности

А.А. Панфилов

« 31 » 08

20 20г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
МИКРООПТИКА И ФОТОНИКА
(наименование дисциплины)

Направление подготовки: **28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника**

Профиль/программа подготовки: **Нанотехнологии и микросистемная техника**

Уровень высшего образования: **бакалавриат**

Форма обучения: **очная**

| Семестр | Трудоемкость зач. ед./ час. | Лекции, час. | Практич. занятия, час. | Лаборат. работы, час. | СРС, час. | Форма промежуточной аттестации (экзамен/зачет/зачет с оценкой) |
|---------|--------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------------------|--------------|---|
| 8 | 4/144 | 18 | 9 | 18 | 63 | Экзамен (36) |
| Итого | 4/144 | 18 | 9 | 18 | 63 | Экзамен (36) |

Владимир 2020

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Микрооптика и фотоника» является формирование знаний в области базовых принципов функционирования и конструирования оптических элементов и устройств, реализуемых на микроуровне.

Задачи дисциплины:

- получение знаний о последних достижениях в области микрооптики и фотоники, формирование у студентов научного мышления и современной естественнонаучной картины мира;
- изучение основных эффектов, процессов и явлений, определяющих функционирование элементов и устройств на микроуровне в оптическом диапазоне;
- изучение методов анализа и расчета элементов и систем микрооптики и фотоники;
- ознакомление студентов с современной научной аппаратурой и выработка у них начальных навыков проведения экспериментальных научных исследований различных физических явлений и оценки погрешностей измерений.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Микрооптика и фотоника» относится к блоку Б1, к части, формируемой участниками образовательных отношений – дисциплине по выбору. Номер в учебном плане Б1.В.ДВ.05.02.

Пререквизиты дисциплины - для изучения дисциплины студенты должны обладать знаниями, умениями и навыками, приобретенными при изучении таких дисциплин, как: Микроэлектромеханические системы, Моделирование и проектирование в нанотехнологиях.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП

| Код формируемых компетенций | Уровень освоения компетенции | Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций (показатели освоения компетенции) |
|--|------------------------------|---|
| 1 | 2 | 3 |
| ПК-1 Способен проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий | Частично | Знать: физические и математические законы и модели физических процессов, лежащих в основе принципов действия объектов нанотехнологии и микросистемной техники. Уметь: решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы компьютерного моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники. Владеть: математическим аппаратом и методами компьютерных технологий для моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники. |
| ПК-4 Способен совершенствовать процессы измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур | Частично | Знать: базовое контрольно-измерительное оборудование для метрологического обеспечения исследований и промышленного производства наноматериалов и компонентов. Уметь: осуществлять диагностику неполадок и частичный ремонт измерительного, диагностического, технологического оборудования. Владеть: навыками мониторинга диагностического, технологического оборудования. |

4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 часов

| № п/п | Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины | Семестр | Неделя семестра | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах) | | | | Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %) | Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам) |
|----------------------------|--|----------|-----------------|--|----------------------|---------------------|-----------|---|---|
| | | | | Лекции | Практические занятия | Лабораторные работы | СРС | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом | 8 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2/40% | |
| 2 | Твердотельные источники и приемники излучения | 8 | 2-3 | 4 | 2 | 4 | 4 | 4/40% | Рейтинг-контроль №1 |
| 3 | Оптические волноводы | 8 | 4-5 | 4 | 2 | 4 | 4 | 5/50% | Рейтинг-контроль №2 |
| 4 | Фотонные кристаллы и голография | 8 | 6-7 | 4 | 2 | 4 | 4 | 4/40% | Рейтинг-контроль №3 |
| 5 | Оптические микроэлементы и устройства | 8 | 8-9 | 4 | 2 | 4 | 4 | 4/40% | |
| Всего за <u>8</u> семестр: | | 8 | 9 | 18 | 9 | 18 | 63 | 19/42% | Экзамен, 36ч. |
| Наличие в дисциплине КП/КР | | нет | | | | | | | |
| Итого по дисциплине | | 8 | 9 | 18 | 9 | 18 | 63 | 19/42% | Экзамен, 36ч. |

Содержание лекционных занятий по дисциплине

Раздел 1. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом.

Тема 1. Излучение и вещество.

Содержание темы. Квантовые размерные эффекты. Способы управления оптическим излучением.

Раздел 2. Твердотельные источники и приемники излучения.

Тема 1. Источники излучения.

Содержание темы. Источники некогерентного излучения. Твердотельные лазеры.

Тема 2. Твердотельные приемники излучения.

Содержание темы. Оптические резонаторы, добротность. Моды лазерного резонатора. Фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, фотоумножители. ПЗС линейки и матрицы, микроканальные пластины.

Раздел 3. Оптические волноводы.

Тема 1. Объемные и планарные оптические волноводы.

Содержание темы. Основные критерии. Отличия. Диаграммы.

Тема 2. Волноводные структуры в объемных образцах.

Содержание темы. Основные критерии. Отличия. Диаграммы.

Раздел 4. Фотонные кристаллы и голография.

Тема 1. Фотонные и поляритонные кристаллы.

Содержание темы. Структура. Основные критерии. Диаграммы.

Тема 2. Способы голографической записи.

Содержание темы. Объемная голография и фоточувствительные материалы для голографии. Голограммные и дифракционные оптические элементы. Голографическая интерферометрия, голографическая память, оптико-голографическая обработка информации.

Раздел 5. Оптические микроэлементы и устройства.

Тема 1. Основные компоненты интегрально-оптических схем.

Содержание темы. Элементы и блоки элементов. Принципы действия.
Тема 2. Микрооптомеханические схемы.

Содержание темы. Микрооптические элементы и их функционал.

Содержание практических занятий по дисциплине

Раздел 1. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом.

Тема 1. Излучение и вещество.

Содержание занятий. Расчет концентрации частиц коллоидного раствора.

Раздел 2. Твердотельные источники и приемники излучения.

Тема 1. Источники излучения.

Содержание занятий. Расчет параметров оптических схем.

Раздел 3. Оптические волноводы.

Тема 2. Волноводные структуры в объемных образцах.

Содержание занятий. Изучение технологии сварки оптических волокон. Расчет потерь соединительного стыка.

Раздел 4. Фотонные кристаллы и голография.

Тема 2. Способы голографической записи.

Содержание занятий. Обзор способов и методов голографической записи.

Раздел 5. Оптические микроэлементы и устройства.

Тема 2. Микрооптомеханические схемы.

Содержание занятий. Исследование параметров лазерных диодов на основе гетероструктур.

Содержание лабораторных занятий по дисциплине

Раздел 1. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом.

Тема 1. Излучение и вещество.

Содержание занятий. Исследование коллоидных растворов, допированных наночастицами благородных металлов.

Раздел 2. Твердотельные источники и приемники излучения.

Тема 1. Источники излучения.

Содержание практических/лабораторных занятий. Построение оптических схем в программе Zemax. Оптимизация оптических схем.

Раздел 3. Оптические волноводы.

Тема 1. Объемные и планарные оптические волноводы.

Содержание практических/лабораторных занятий. Формирование оптических структур в прозрачных материалах.

Тема 2. Волноводные структуры в объемных образцах.

Содержание практических/лабораторных занятий. Изучение технологии сварки оптических волокон. Соединение оптического волокна.

Раздел 4. Фотонные кристаллы и голография.

Тема 1. Фотонные и поляритонные кристаллы.

Содержание практических/лабораторных занятий. Модификация показателя преломления в оптическом волокне фемтосекундным лазерным излучением.

Раздел 5. Оптические микроэлементы и устройства.

Тема 1. Основные компоненты интегрально-оптических схем.

Содержание практических/лабораторных занятий. Исследование лазерных диодов.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В преподавании дисциплины «Микрооптика и фотоника» используются разнообразные образовательные технологии как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения.

Активные и интерактивные методы обучения:

Интерактивная лекция (Раздел 1. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом. Тема 1. Излучение и вещество. Раздел 2. Твердотельные источники и приемники излучения. Тема 1. Источники излучения. Тема 2. Твердотельные приемники излучения. Раздел 3. Оптические волноводы. Тема 1. Объемные и планарные оптические

волноводы. Тема 2. Волноводные структуры в объемных образцах. Раздел 4. Фотонные кристаллы и голография. Тема 1. Фотонные и поляритонные кристаллы. Тема 2. Способы голографической записи. Раздел 5. Оптические микроэлементы и устройства. Тема 1. Основные компоненты интегрально-оптических схем. Тема 2. Микрооптомеханические схемы.);

Групповая дискуссия (Раздел 2. Твердотельные источники и приемники излучения. Тема 2. Твердотельные приемники излучения. Раздел 3. Оптические волноводы. Тема 2. Волноводные структуры в объемных образцах. Раздел 4. Фотонные кристаллы и голография. Тема 1. Фотонные и поляритонные кристаллы. Раздел 5. Оптические микроэлементы и устройства. Тема 2. Микрооптомеханические схемы.)

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Вопросы рейтинг-контроля №1

1. Оптические константы, световые лучи.
2. Отражение и преломление света на границе раздела двух сред, явление полного внутреннего отражения, прохождение света через поглощающие среды.
3. Электромагнитные волны, уравнение Максвелла и граничные условия.
4. Интерференция и дифракция света, комплексный показатель преломления, показатель поглощения.
5. Фазовая и групповая скорость света, дисперсия, соотношение Крамерса-Кронига.
6. Поляризация плоских волн, распространение света в изотропных и анизотропных средах, двойное лучепреломление.
7. Оптическая активность и фарадеевское вращение.
8. Квантовые переходы при взаимодействии с электромагнитным излучением.
9. Спонтанное и вынужденное излучение, коэффициенты Эйнштейна.
10. Кинетические уравнения, усиление и генерация оптического излучения.
11. Монохроматичность, поляризация, когерентность, направленность лазерных пучков.
12. Пространственное, амплитудное, поляризационное, частотное, временное и фазовое преобразование лазерных пучков.
13. Нелинейные явления второго порядка, электромагнитная формулировка нелинейного взаимодействия.
14. Нелинейная поляризуемость кристалла и нелинейные оптические эффекты.
15. Генерация гармоник.
16. Условие фазового синхронизма.
17. Параметрические преобразования в оптике, настройка частоты в параметрических генераторах.
18. Модуляторы на основе оптической нелинейности.
19. Нелинейная оптика и молекулярное рассеяние света.
20. Зеркальное отражение, микросероховатость поверхности и геометрические неоднородности
21. Многослойные низкоразмерные композиции.
22. Квантовые ограничения. Размерные эффекты.
23. Методы получения наночастиц и наноматериалов.
24. Квантовые точки, квантовая проволока, нанослои.
25. Периодические квантово-размерные гетероструктуры.
26. Электронный спектр двумерных и одномерных систем.
27. Оптические переходы в квантово-размерных структурах.
28. Электрооптические методы управления оптическим излучением.
29. Акустооптические методы управления оптическим излучением.
30. Магнитооптические методы управления оптическим излучением.

Вопросы рейтинг-контроля №2

1. Инжекционные источники света на основе гомо- и гетеропереходов.
2. Излучатели с преобразователем спектрального состава излучения.
3. Инфракрасные излучатели.
4. Лазеры на кристаллах и стеклах.
5. Основные способы получения лазерной керамики.
6. Оптические резонаторы, добротность.
7. Моды лазерного резонатора.
8. Лазеры с селекцией мод, перестраиваемые и частотно-модулированные лазеры.
9. Инжекционные лазеры на гетеропереходах.
10. Фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, фотоумножители.
11. Спектральные, энергетические, частотные характеристики.
12. ПЗС линейки и матрицы, микроканальные пластины.
13. Основные понятия теории волноводов. Полное внутреннее отражение. Потери и усиление оптических сигналов.
14. Объемные и планарные оптические волноводы.
15. Распределение мощности, соотношения для лучевого и волнового приближений.
16. Нелинейно-оптические эффекты в брэгговских волноводах.
17. Механизмы возникновения потерь в оптических волноводах.
18. Элементы теории оптических наноантенн.
19. Соединение и сращивание оптических волокон.
20. Оптические мультиплексоры и демultipлексоры.

Вопросы рейтинг-контроля №3

1. Фотонные кристаллы и метаматериалы. Понятие запрещенной зоны.
2. Распространение света в фотонных материалах с запрещенной зоной.
3. Моделирование оптических эффектов в фотонных кристаллах.
4. Способы получения реальных фотонных кристаллов.
5. Отрицательные показатель преломления. Метаматериалы и гиперболические материалы.
6. Метаповерхности. Аномальное преломление и отражение.
7. Коллоидные растворы.
8. Основы локально усиленной оптической микроскопии и спектроскопии.
9. Формирование изображений и отображение информации с помощью голограммной оптики и голографических систем.
10. Объемная голография и фоточувствительные материалы для голографии
11. Голограммные и дифракционные оптические элементы
12. Голографическая интерферометрия, голографическая память, оптико-голографическая обработка информации
13. Способы диагностики нано- и микроустройств.
14. Устройства и способы ввода и вывода излучения.
15. Оптические распределительные и комутационные устройства, направленные ответвители, переключатели.
16. Оптические спектральные фильтры, интерференционные покрытия.
17. Управляемые зеркала и дифракционные решетки.
18. Линзы Френеля, фокусирующие компоненты интегральной оптики.
19. Оптомеханические ключи.
20. Механические сканирующие микрзеркала, линзы, модуляторы и дифракционные решетки.

Вопросы к экзамену

1. Квантово-размерные эффекты.
2. Основные положения геометрической оптики.
3. Классические размерные эффекты.
4. Основные положения волновой оптики.

5. Источники некогерентного излучения.
6. Основные положения квантовой оптики
7. Твердотельные лазеры.
8. Основные положения нелинейной оптики.
9. Формирование волноводных структур в прозрачных средах.
10. Твердотельные приемники излучения.
11. Объемные и планарные оптические волноводы.
12. Методы управления оптическим излучением.
13. Основные компоненты интегрально-оптических схем.
14. Фотонные кристаллы. Распространение света в фотонных материалах.
15. Физические особенности работы гетероструктур.
16. Микрооптомеханические схемы.
17. Объемная голография и фоточувствительные материалы для голографии.
18. Способы получения лазерной нанокерамики.
19. Основные понятия теории волноводов.
20. Метаматериалы и гиперболические материалы.

Вопросы для контроля самостоятельной работы

1. Особенности взаимодействия электромагнитных волн с микрообъектами.
2. Уравнения для расчёта фотонных кристаллов.
3. Выбор материалов оптических компонентов лазерных систем.
4. Технологический процесс изготовления активных элементов лазерных систем.
5. Методы оценки параметров лазерных устройств.
6. Микро и нанолазеры.
7. Механизмы формирования эпитаксиальных пленок.
8. Технология пробоподготовки материалов.
9. Эффект Допплера, сдвиг и уширение линий.
10. Эффекты Физо и Саньяка.
11. Волоконно-оптические гироскопы.
12. Методы фазовой коррекции волнового фронта.
13. Особенности гиперболических материалов.
14. Технологии в области защитных голограмм.
15. Голографическая память.
16. Оптические системы искусственного интеллекта.
17. Сверхскоростные способы передачи и обработки информации.
18. Системы на основе наноразмерных и фотонно-кристаллических структур.
19. Системы оптических и квантовых вычислений и оптические компьютеры.
20. Интеграция механических, оптических и электронных компонентов на микроуровне.

Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Книгообеспеченность

| Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство | Год издания | КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ | |
|---|-------------|---|---|
| | | Количество экземпляров изданий в библиотеке ВлГУ в соответствии с ФГОС ВО | Наличие в электронной библиотеке ВлГУ |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Основная литература | | | |
| 1. Введение в фемтонанопонику. Фундаментальные основы и лазерные методы управляемого получения и диагностики наноструктурированных материалов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ С.М. Аракелян [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Логос | 2015 | - | http://www.iprbookshop.ru/40504.html |
| 2. Белов Н.П. Физические основы квантовой электроники [Электронный ресурс] / Белов Н.П., Шерстобитова А.С., Яськов А.Д. - Электрон. текстовые данные. - СПб.: Университет ИТМО, 2014. - 65 с. | 2014 | - | http://www.iprbookshop.ru/65346.html |
| 3. Ташлыкова-Бушкевич И.И. Физика. Часть 2. Оптика. Квантовая физика. Строение и физические свойства вещества [Электронный ресурс]: учебник / Ташлыкова-Бушкевич И.И. - Электрон. текстовые данные. - Минск: Высшая школа. | 2014 | - | http://www.iprbookshop.ru/35563 |
| Дополнительная литература | | | |
| 1. Крюков П.Г. Фемтосекундные импульсы. Введение в новую область лазерной физики/ Крюков П.Г.— М.: ФИЗМАТЛИТ | 2008 | - | http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922109413.html |
| 2. Реутов, А. Т. Физика лазеров. Часть 2. Основы теории лазеров : учебное пособие / А. Т. Реутов. — Москва : Российский университет дружбы народов, 2011. — 96 с. — ISBN 978-5-209-03654-8 | 2011 | - | http://www.iprbookshop.ru/11534.html |
| 3. Бакланов, Е. В. Основы лазерной физики : учебник / Е. В. Бакланов. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2011. — 131 с. — ISBN 978-5-7782-1606-8 | 2011 | - | http://www.iprbookshop.ru/45127.html |

7.2. Периодические издания

1. Журнал «Квантовая электроника». ISSN:1063-7818. Архив номеров. Режим доступа: <http://www.mathnet.ru/qe/archive>.
2. Журнал «Фотоника», ISSN: 1993-7296. Архив номеров. Режим доступа: <http://www.photonics.su>.
3. Журнал «Прикладная фотоника», ISSN:2411-4375. Архив номеров. Режим доступа: <http://applied.photonics.pstu.ru/archives>.
4. Журнал «Наносистемы: физика, химия, математика». ISSN: 2305-7971. Архив номеров. Режим доступа: <http://nanojournal.ifmo.ru/articles>.

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины лекционные аудитории, оснащенные доской и переносным проектором для проведения занятий с применением компьютерных презентаций и демонстрационных роликов (420-3, 3156-3).

Аудитории для проведения практических и лабораторных занятий, оснащенные современными персональными компьютерами, объединенными в локальную вычислительную сеть и укомплектованными необходимым системным и прикладным программным обеспечением (1226-3) и научные лаборатории (107а-3, 107-3, 419-3):

Перечень используемого оборудования:

- 1) Фемтосекундный лазерный комплекс Ti:SP
- 2) Сканирующая зондовая лаборатория NtegraAura (работающая в режиме ближнепольного микроскопа).

Рабочую программу составили

Ст.препод.каф.ФиПМ Елена Леонидовна Шаманская
Директор института ПМФИ Хорьков К.С.

(ФИО, подпись)

Рецензент

(представитель работодателя) Ген.директор ООО «ВладИнТех» Осипов А.В
(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ _____

Протокол № 1 от 31.08.2020 года

Заведующий кафедрой _____

(ФИО, подпись)

Аракелян С.М.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии
направления 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Протокол № 1 от 31.08.2020 года

Председатель комиссии _____

(ФИО, подпись)

Аракелян С.М.

ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа одобрена на _____ учебный год

Протокол заседания кафедры № _____ от _____ года

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на _____ учебный год

Протокол заседания кафедры № _____ от _____ года

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на _____ учебный год

Протокол заседания кафедры № _____ от _____ года

Заведующий кафедрой _____