

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 3

от 30.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ВОЛОКОННЫЕ ЛАЗЕРЫ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика

| Семестр | Трудоемкость, кред. | Общий объем курса, час. | Лекции, час. | Практич. занятия, час. | Лаборат. работы, час. | В форме практической подготовки/В | СРС, час. | КСР, час. | Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП |
|---------|------------------------|----------------------------|--------------|---------------------------|--------------------------|---|-----------|-----------|--|
| 2 | 3 | 108 | 7 | 23 | 0 | | 42 | 0 | Э |
| Итого | 3 | 108 | 7 | 23 | 0 | 0 | 42 | 0 | |

АННОТАЦИЯ

Цель освоения учебной дисциплины Волоконные лазеры - ознакомить студентов с основными физическими идеями и методами лазерной физики и волоконной оптики, изложить общие подходы при описании радиофизических и оптических явлений, конкретные решения и предельно достижимые характеристики волоконных лазеров.

В курсе излагаются вопросы создания, исследования и применения волоконных лазеров. Рассмотрены свойства волоконных световодов, легированных ионами ряда редкоземельных элементов, способы изготовления световодов с двойной оболочкой, а также методы формирования и свойства внутриволоконных брэгговских решеток, используемых в качестве селективных отражателей. Приведены основные схемы накачки лазеров на основе активных световодов, активированных ионами неодима, иттербия, эрбия, тулия и гольмия. Рассмотрены принципы построения ВКР-конвертеров лазерного излучения на основе волоконных световодов различного состава.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины «Волоконные лазеры» является формирование у магистрантов навыков необходимых для успешной научной и профессиональной деятельности в различных областях лазерной физики и волоконной оптики, а также овладение математическим аппаратом, применяемым для постановки и аналитического решения физических задач в области волоконных лазеров.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина логически и содержательно-методически связана со следующими разделами лазерной физики: взаимодействие лазерного излучения, процессы накачки, оптические резонаторы, непрерывный и импульсный режимы работы лазеров, свойства лазерных пучков.

Освоение данной дисциплины необходимо для овладения теоретической базой и экспериментальными методами применения волоконных лазеров для решения современных проблем лазерной технологии – от разработки теоретических основ до формирования практических рекомендаций по эффективному использованию лазерного излучения, а также созданию новых технологических процессов лазерной обработки.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции |
|--------------------------------|--|
|--------------------------------|--|

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

| Задача профессиональной деятельности (ЗПД) | Объект или область знания | Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта) | Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции |
|--|--|--|--|
| научно-исследовательский | | | |
| Разработка методов, аппаратуры, систем оптического и фотонного приборостроения | Элементная база, системы, материалы, методы и технологии, обеспечивающие оптическую передачу, прием, обработку, запись и хранение информации | ПК-3 [1] - способен разрабатывать фотонное устройство на основе элементной базы, выбирать необходимое оборудование и способ контроля параметров устройства <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.036, 40.039, 40.041 | З-ПК-3[1] - Знать: элементную базу и устройства фотоники ; У-ПК-3[1] - Уметь: приобретать и использовать новые знания в своей предметной области; предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач в своей предметной области ; В-ПК-3[1] - Владеть: основными методами и способами контроля параметров устройств фотоники |
| Разработка методов, аппаратуры, систем оптического и фотонного приборостроения | Элементная база, системы, материалы, методы и технологии, обеспечивающие оптическую передачу, прием, обработку, запись и хранение информации | ПК-6.2 [1] - способен разрабатывать структурно-функциональные схемы инновационных систем лазерного, медицинского и биофотонного назначения <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.008 | З-ПК-6.2[1] - Знать: особенности инновационной техники лазерного, медицинского и биофотонного назначения и области их применения; У-ПК-6.2[1] - Уметь: конкретизировать необходимые требования к сборке и проверке структурно-функциональных элементов систем лазерного, медицинского, и биофотонного назначения; В-ПК-6.2[1] - Владеть: методами и методиками вычисления прогнозируемых характеристик разрабатываемой |

| | | | |
|---|---|---|--|
| | | | техники лазерного, медицинского и биофотонного назначения |
| проектно-конструкторский | | | |
| Проведение экспериментальных и опытно-конструкторских работ в области биомедицины | Элементная база и системы неинвазивной лазерной терапии, рефрактометрии, офтальмологических исследований. | ПК-4 [1] - способен к разработке функциональных и структурных схем фотоники и оптоинформатики на уровне узлов, элементов, систем и технологий <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 26.014 | 3-ПК-4[1] - Знать: физические принципы действия устройств и систем фотоники и оптоинформатики ; У-ПК-4[1] - Уметь: проводить сравнительный анализ изделий-аналогов; формулировать технические требования на отдельные узлы, элементы, системы и технологии ; разрабатывать и исследовать новые способы и принципы функционирования оптических и оптико-электронных приборов и систем получения, хранения и обработки информации ; В-ПК-4[1] - Владеть: методами анализа и расчета ожидаемых параметров разрабатываемых приборов и систем фотоники и оптоинформатики |
| Проведение экспериментальных и опытно-конструкторских работ в области биомедицины | Элементная база и системы неинвазивной лазерной терапии, рефрактометрии, офтальмологических исследований. | ПК-5 [1] - способен проектировать и конструировать в соответствии с техническим заданием типовые оптические и оптоинформационные системы <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 26.014 | 3-ПК-5[1] - Знать: особенности и области применения оптических и оптоинформационных систем; правила оформления проектной и конструкторской документации ; У-ПК-5[1] - Уметь: анализировать технические требования, предъявляемые к разрабатываемым |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | узлам, блокам и системам; проводить концептуальную и проектную проработку типовых систем, приборов, деталей и узлов; представлять и оформлять результаты проектно-конструкторской деятельности ; В-ПК-5[1] - Владеть: навыками проектирования и конструирования типовых оптических и оптоинформационных системы |
|--|--|--|--|

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

| № п.п | Наименование раздела учебной дисциплины | Недели | Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час. | Обязат. текущий контроль (форма*, неделя) | Максимальный балл за раздел** | Аттестация раздела (форма*, неделя) | Индикаторы освоения компетенции |
|-------|---|--------|---|---|-------------------------------|-------------------------------------|--|
| | <i>2 Семестр</i> | | | | | | |
| 1 | Часть 1 | 1-8 | 4/12/0 | | 25 | Т-8 | З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, З-ПК-6.2, У- |

| | | | | | | | |
|---|---|------|--------|--|----|------|--|
| | | | | | | | ПК-6.2, В-ПК-6.2 |
| 2 | Часть 2 | 9-15 | 3/11/0 | | 25 | Т-15 | 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-6.2, У-ПК-6.2, В-ПК-6.2 |
| | <i>Итого за 2 Семестр</i> | | 7/23/0 | | 50 | | |
| | Контрольные мероприятия за 2 Семестр | | | | 50 | Э | 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-6.2, |

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|---------------------------------------|
| | | | | | | | У- ПК- 6.2, В- ПК- 6.2 |
|--|--|--|--|--|--|--|---------------------------------------|

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

| Обозначение | Полное наименование |
|-------------|---------------------|
| Т | Тестирование |
| Э | Экзамен |

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

| Недели | Темы занятий / Содержание | Лек., час. | Пр./сем., час. | Лаб., час. |
|------------|--|------------------------|----------------|------------|
| | <i>2 Семестр</i> | 7 | 23 | 0 |
| 1-8 | Часть 1 | 4 | 12 | 0 |
| 1 - 3 | Введение. Волоконная оптика. Волоконные световоды и устройства на их основе. Твердотельные лазеры. Вспомогательное излучение накачки в системах со многими уровнями энергии. Безизлучательная релаксация в твердом теле. Колебательный спектр матрицы. Примеры ионов неодима, иттербия, эрбия. Ион-ион взаимодействие. Выбор оптимальной концентрации. Рубиновый и неодимовый лазеры. | Всего аудиторных часов | | |
| | | 1 | 5 | 0 |
| | | Онлайн | | |
| | | 0 | 0 | 0 |
| 4 - 5 | Непрерывные волоконные лазеры средней мощности. Элементы волоконного лазера. Активные добавки волоконных световодов. Активные волоконные световоды. Схемы накачки активных световодов. Особенности волоконных световодов как усилительной среды. Волоконные брэгговские решетки. Длиннопериодные волоконные решетки. Методы изготовления решеток показателя преломления. УФ источники для записи решеток. Применение волоконных брэгговских решеток. | Всего аудиторных часов | | |
| | | 1 | 3 | 0 |
| | | Онлайн | | |
| | | 0 | 0 | 0 |
| 6 | Характеристики волоконных лазеров. Лазеры на основе световодов, легированных ионами Nd ³⁺ , Yb ³⁺ , Er ³⁺ , Ho ³⁺ . Мощные волоконные лазеры. Конструкция и технические характеристики. | Всего аудиторных часов | | |
| | | 1 | 1 | 0 |
| | | Онлайн | | |
| | | 0 | 0 | 0 |
| 7 - 8 | Методы нелинейной оптики. Генерация гармоник. Вынужденное комбинационное рассеяние. Волоконные лазеры видимого диапазона. Построение волоконных ВКР-лазеров. Однокаскадные ВКР-лазеры. Многокаскадные ВКР-лазеры. Составные | Всего аудиторных часов | | |
| | | 1 | 3 | 0 |
| | | Онлайн | | |
| | | 0 | 0 | 0 |

| | | | | |
|-------------|---|------------------------|-----------|----------|
| | ВКР-лазеры. Импульсные волоконные лазеры. | | | |
| 9-15 | Часть 2 | 3 | 11 | 0 |
| 9 | Волоконные усилители. Усилители оптических сигналов в ВОЛС. Оптические усилители, использующие нелинейные явления в оптических волокнах. | Всего аудиторных часов | | |
| | | 1 | 1 | 0 |
| | | Онлайн | | |
| 10 | Физические процессы при взаимодействии лазерного излучения с материалами. Энергетические условия взаимодействия лазерного излучения при обработке материалов. Плазменные процессы при лазерной обработке. Тепловые процессы при лазерном воздействии. | Всего аудиторных часов | | |
| | | 1 | 1 | 0 |
| | | Онлайн | | |
| 11 | Элементы лазерных технологий. Лазерная сварка. Лазерная резка и сверление материалов. Лазерное легирование материалов. Лазерная маркировка и гравировка. | Всего аудиторных часов | | |
| | | 1 | 1 | 0 |
| | | Онлайн | | |
| 12 - 15 | Применение волоконных лазеров. Лазерное оборудование для обработки материалов. Волоконные лазеры для обработки материалов. Медицинские аппараты на основе волоконных лазеров. Фемтосекундный спектрометрический комплекс на основе волоконного лазера. Волоконно-оптические линии связи. Волоконные лазеры для ВОЛС. Волоконные лазеры для перспективных направлений лазерной обработки материалов. | Всего аудиторных часов | | |
| | | 0 | 8 | 0 |
| | | Онлайн | | |
| | | 0 | 0 | 0 |

Сокращенные наименования онлайн опций:

| Обозначение | Полное наименование |
|-------------|----------------------------------|
| ЭК | Электронный курс |
| ПМ | Полнотекстовый материал |
| ПЛ | Полнотекстовые лекции |
| ВМ | Видео-материалы |
| АМ | Аудио-материалы |
| Прз | Презентации |
| Т | Тесты |
| ЭСМ | Электронные справочные материалы |
| ИС | Интерактивный сайт |

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении данной дисциплины основную роль играют аудиторные занятия в виде лекций, а также самостоятельная работа студентов, заключающаяся в выполнении домашнего задания, повторения ранее пройденного материала.

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

| Компетенция | Индикаторы освоения | Аттестационное мероприятие (КП 1) |
|-------------|---------------------|-----------------------------------|
| ПК-3 | З-ПК-3 | Э, Т-8, Т-15 |
| | У-ПК-3 | Э, Т-8, Т-15 |
| | В-ПК-3 | Э, Т-8, Т-15 |
| ПК-4 | З-ПК-4 | Э, Т-8, Т-15 |
| | У-ПК-4 | Э, Т-8, Т-15 |
| | В-ПК-4 | Э, Т-8, Т-15 |
| ПК-5 | З-ПК-5 | Э, Т-8, Т-15 |
| | У-ПК-5 | Э, Т-8, Т-15 |
| | В-ПК-5 | Э, Т-8, Т-15 |
| ПК-6.2 | З-ПК-6.2 | Э, Т-8, Т-15 |
| | У-ПК-6.2 | Э, Т-8, Т-15 |
| | В-ПК-6.2 | Э, Т-8, Т-15 |

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

| Сумма баллов | Оценка по 4-ех балльной шкале | Оценка ECTS | Требования к уровню освоению учебной дисциплины |
|--------------|-------------------------------|-------------|---|
| 90-100 | 5 – «отлично» | A | 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, использует в ответе материал монографической литературы. |
| 85-89 | 4 – «хорошо» | B | Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос. |
| 75-84 | | C | |
| 70-74 | | D | |
| 65-69 | 3 – «удовлетворительно» | E | Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения |
| 60-64 | | | |

| | | | |
|---------|------------------------------|---|---|
| | | | логической последовательности в изложении программного материала. |
| Ниже 60 | 2 – «неудовлетворительно» | F | Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. |

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Б 73 Волоконные технологические лазеры и их применение : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2021
2. ЭИ К 44 Квантовая и оптическая электроника : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2020
3. ЭИ Б 82 Лазеры: устройство и действие : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2021
4. 537 3-43 Принципы лазеров : , О. Звелто, Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.7 Ш65 Лазерный синтез функционально-градиентных мезоструктур и объемных изделий : , И. В. Шишковский, Москва: Физматлит, 2009
2. 535 Ш47 Принципы нелинейной оптики : , Шен И.Р.;Пер.с англ., М.: Наука, 1989

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

При изучении курса «Волоконные лазеры» необходимо твердо усвоить основные положения волоконной оптики, конструкции волоконных световодов и устройств на их основе, отличия волоконных лазеров от других типов лазеров, основные элементы волоконного лазера, активные добавки волоконных световодов. При анализе генерационных характеристик волоконных лазеров, использующих различные активные добавки нужно хорошо разбираться в различных схемах накачки активных световодов и особенностях волоконных световодов как усилительной среды.

При анализе элементов волоконного лазера особое внимание необходимо обратить на методы формирования волоконных брэгговских решеток, на их основные характеристики и способы их стабилизации, а также источники УФ-излучения, используемые при их изготовлении.

При изучении характеристик волоконных лазеров, использующих различные активные добавки, особое внимание следует обратить на лазеры на основе световодов, легированных ионами Yb^{3+} и Er^{3+} .

Рассматривая материалы, относящиеся к мощным волоконным лазерам, необходимо хорошо усвоить конструктивные особенности таких лазеров и их предельные характеристики.

При изучении темы волоконные ВКР-лазеры необходимо сначала ознакомиться с основными понятиями нелинейной оптики, изучить материалы, относящиеся к проблеме вынужденного комбинационного рассеяния и генерации гармоник.

В разделе применения волоконных лазеров очень важным является рассмотрение физических процессов взаимодействия лазерного излучения с материалами, плазменных и тепловых процессов при лазерном воздействии. В разделе волоконно-оптические линии связи особое внимание нужно обратить на варианты реализации таких систем и основные элементы систем связи.

Для выполнения самостоятельной работы получить у преподавателя задание и список рекомендованной литературы. Изучение теоретических вопросов следует проводить по возможности самостоятельно, но при затруднениях обращаться к преподавателю. Подготовить письменный отчет о проделанной работе. При выполнении фронтальных заданий по усмотрению преподавателя работа может быть оценена без письменного отчета на основе ответов на контрольные вопросы, при условии активной самостоятельной работы.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Лекционный курс строится по следующему плану: сначала вводятся и обсуждаются основные понятия волоконной оптики, рассматриваются конструктивные особенности волоконных световодов и принципы работы твердотельных лазеров различного типа. Потом рассматриваются элементы волоконных лазеров, их характеристики и методы их изготовления. Далее рассматриваются вопросы, связанные с созданием волоконных лазеров на основе световодов, легированных ионами неодима, иттербия, эрбия и гольмия. В занятиях по нелинейной оптике, рассматриваются основные положения нелинейной оптики и более подробно те эффекты, которые используются при создании волоконных лазеров.

Заключительные разделы курса посвящены ознакомлению с практическим применением волоконных лазеров: в лазерной технологии, медицине, в волоконно-оптических линиях связи, при проведении фундаментальных физических экспериментов.

С целью выработки профессиональных компетенций студентов на занятиях используется интерактивная форма (20%) проведения занятий. Активная форма проведения занятий предполагает, в частности, что студенты самостоятельно прорабатывают отдельные дополнительные разделы курса с учетом дополнительной литературы, сообщаемой преподавателем.

Автор(ы):

Петровский Виктор Николаевич, к.ф.-м.н., с.н.с.

Рецензент(ы):

Кузнецов А.П., д.ф.м.н., доцент