

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ
КАФЕДРА ФИЗИКИ МИКРО- И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 4

от 23.07.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ОПТОЭЛЕКТРОНИКА (КВАНТОВАЯ И ОПТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Направление подготовки [1] 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
(специальность)

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, экз./зач./КР/КП
7	2-3	72-108	32	32	0	8-44	0	3	
Итого	2-3	72-108	32	32	0	0	8-44	0	

АННОТАЦИЯ

В курсе изучаются физические принципы получения лазерной генерации и усиления. Излагаются физические механизмы создания и поддержания инверсии населенностей, изучаются энергетические уровни, времена жизни и скорости переходов в лазерных средах. Отдельное внимание уделяется резонаторам и их свойствам, а также нелинейно-оптическому преобразованию в гармоники. Дано описание наиболее часто использующихся типов лазеров. Отдельное внимание обращается на предельные энергетические характеристики лазерных генераторов и усилителей. Излагаются основные сведения об особенностях применения лазерных систем для микрообработки различных материалов.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дать основные физические представления о принципах получения и преобразования лазерного излучения, а также его применении в технологических процессах микрообработки материалов.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Профессиональный модуль, дисциплина по выбору

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
Анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования	Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования.	ПК-3 [1] - Способен анализировать и систематизировать результаты исследований, определять степень достоверности результатов экспериментальных	З-ПК-3[1] - Знание законов статистической физики; У-ПК-3[1] - Умение находить научную информацию в базах данных, выполнять её анализ и

	<p>Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и наноэлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и наноэлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p>	<p>исследований, сопоставлять полученные результаты с мировым уровнем, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций, баз данных</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>систематизацию, представлять результаты своих исследований в виде докладов, отчетов и публикаций.; В-ПК-3[1] - Владение методами обработки результатов измерений</p>
--	--	--	---

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное и трудовое воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры исследовательской и инженерной деятельности (В16)	Использование воспитательного потенциала дисциплин "Основы конструирования и САПР", "Курсовой проект: основы конструирования и САПР", "Инженерная и компьютерная графика", "Детали машин и основы конструирования" для формирования навыков владения эвристическими методами поиска и выбора технических решений в условиях неопределенности

		через специальные задания (методики ТРИЗ, морфологический анализ, мозговой штурм и др.), культуры инженера-разработчика через организацию проектной, в том числе самостоятельной работы обучающихся с использованием программных пакетов.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (В22)	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного колLECTивизма в ходе</p>

		совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.
--	--	---

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>7 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	16/16/0		25	КИ-8	3-ПК-3
2	Второй раздел	9-16	16/16/0		25	КИ-16	У-ПК-3, В-ПК-3
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		32/32/0		50		
	Контрольные мероприятия за 7 Семестр				50	3	3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3

* – 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
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	32	32	0
1-8	Первый раздел	16	16	0
1 - 2	Тема 1 Основные понятия. Вероятность переходов в поле теплового излучения. Коэффициенты Эйнштейна. Вероятность перехода в монохроматическом поле. Форма и ширина линии перехода. Поперечное время релаксации.	Всего аудиторных часов 3 Онлайн 0	3 0 0	0
2 - 3	Тема 2 Факторы, определяющие ширину спектральных линий газов. Однородное и неоднородное уширение. Эффект насыщения. Полевое уширение. Параметр насыщения.	Всего аудиторных часов 3 Онлайн 0	3 0 0	0
4 - 5	Тема 3 Усиление и чувствительность квантового усилителя. Влияние насыщения. Чувствительность и энергетические характеристики квантового усилителя. Предельные значения выходной энергии и выходной интенсивности. Амплитудное и фазовое условие генерации. Предельное значение интенсивности генератора.	Всего аудиторных часов 3 Онлайн 0	3 0 0	0
5 - 6	Тема 4 Спектроскопические характеристики трехвалентного иона хрома и механизм образования инверсии в рубиновом лазере. Стационарная интенсивности, стационарная и пороговая инверсия одномодового рубинового лазера. Переходной режим, временные, энергетические и спектральные характеристики одномодового рубинового лазера	Всего аудиторных часов 3 Онлайн 0	3 0 0	0
7 - 8	Тема 5 Энергетические характеристики и динамика гигантского импульса. Методы модуляции добротности. Синхронизация мод.	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	4 0 0	0
9-16	Второй раздел	16	16	0
9 - 10	Тема 6 Твердотельные неодимовые лазеры. Лазеры на редкоземельных скандиевых и галлиевых гранатах. Газовые лазеры. CO ₂ -лазеры. Азотный и эксимерный лазеры. Химические лазеры. Лазеры на красителях. Лазеры на свободных электронах. Полупроводниковые лазеры. Волоконные лазеры.	Всего аудиторных часов 3 Онлайн 0	3 0 0	0
10 - 11	Тема 7 Характеристики и свойства оптических резонаторов. Добротность резонатора. Продольные и поперечные моды. Устойчивость резонаторов. Конструкции резонаторов. Методы селекции мод.	Всего аудиторных часов 3 Онлайн 0	3 0 0	0
11 - 12	Тема 8 Нелинейно-оптическое преобразование. Природа нелинейной поляризации и распространение волн в нелинейных средах. Генерация второй гармоники. Параметрическое усиление. Фазовое согласование при параметрическом усилении. Параметрическая генерация. Перестройка частот, выходная мощность и насыщение	Всего аудиторных часов 3 Онлайн 0	3 0 0	0

	накачки в оптических параметрических генераторах.			
12 - 13	Тема 9 Физические основы лазерной микрообработки	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	Тема 10 Источники и оптические системы для лазерной микрообработки.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
15 - 16	Тема 11 Процессы лазерной микрообработки. Разделение материалов, лазерная резка, лазерно-индуцированное травление, лазерная маркировка, скрайбирование, управляемое термораскальвание, сверление микроотверстий.	Всего аудиторных часов		
		2	2	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

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	7 Семестр
1 - 2	Тема 1. Основные понятия. Вероятность переходов в поле теплового излучения. Коэффициенты Эйнштейна. Вероятность перехода в монохроматическом поле. Форма и ширина линии перехода. Поперечное время релаксации.
2 - 3	Тема 2. Факторы, определяющие ширину спектральных линий газов. Однородное и неоднородное уширение. Эффект насыщения. Полевое уширение. Параметр насыщения.
4 - 5	Тема 3. Усиление и чувствительность квантового усилителя. Влияние насыщения. Чувствительность и энергетические характеристики квантового усилителя. Предельные значения выходной энергии и выходной интенсивности. Амплитудное и фазовое условие генерации. Предельное значение интенсивности генератора.
5 - 6	Тема 4. Спектроскопические характеристики трехвалентного иона хрома и механизм образования инверсии в рубиновом лазере. Стационарная интенсивности, стационарная и пороговая инверсия одномодового рубинового лазера. Переходной режим одномодового рубинового лазера. Временные, энергетические и спектральные

	характеристики одномодового рубинового лазера.
7 - 8	Тема 5. Энергетические характеристики и динамика гигантского импульса. Методы модуляции добротности. Синхронизация мод.
9 - 10	Тема 6. Твердотельные неодимовые лазеры. Лазеры на редкоземельных скандиевых и галлиевых гранатах. Газовые лазеры. CO ₂ -лазеры. Азотный и эксимерный лазеры. Химические лазеры. Лазеры на красителях. Лазеры на свободных электронах. Полупроводниковые лазеры. Волоконные лазеры.
10 - 11	Тема 7. Характеристики и свойства оптических резонаторов. Добротность резонатора. Продольные и поперечные моды. Устойчивость резонаторов. Конструкции резонаторов. Методы селекции мод.
11 - 12	Тема 8. Нелинейно-оптическое преобразование. Природа нелинейной поляризации и распространение волн в нелинейных средах. Генерация второй гармоники. Параметрическое усиление. Фазовое согласование при параметрическом усилении. Параметрическая генерация. Перестройка частот, выходная мощность и насыщение накачки в оптических параметрических генераторах.
12 - 13	Тема 9. Физические основы лазерной микрообработки.
13 - 14	Тема 10. Источники и оптические системы для лазерной микрообработки.
15 - 16	Тема 11. Процессы лазерной микрообработки. Разделение материалов, лазерная резка, лазерно-индукционное травление, лазерная маркировка, скрайбирование, управляемое термораскалывание, сверление микроотверстий.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При проведении лекций используются наглядные формы демонстрации учебного материала в виде презентаций, а также выступление приглашенных ученых-исследователей, занимающихся исследованиями в области лазерной физики, фотоники, нанофотоники и наноэлектроники и практических применений. Проведение семинаров предусматривает проведение дискуссий и выступления студентов с докладами на темы, связанные с применением лазеров в аналитических методах.

7. 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	З, КИ-8
	У-ПК-3	З, КИ-16

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		B	
75-84		C	
70-74	4 – «хорошо»	D	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
65-69			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.
60-64	3 – «удовлетворительно»	E	
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.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 535 С16 Оптика и фотоника. Принципы и применения Т.1 , Салех Б., Долгопрудный: Интеллект, 2012

2. 535 С16 Оптика и фотоника. Принципы и применения Т.2 , Салех Б., Долгопрудный: Интеллект, 2012

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

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

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Демонстрационный проектор (Э-207)

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Обучающийся, для успешного освоения данного курса, должен знать:

- высшую математику в соответствии с основными разделами курса высшей математики в университете объеме;
- разделы курса теоретической физики в части квантовой механики, статистической физики;
- курс общей физики, часть оптика;
- курс физической оптики и основ фотоники,

При выполнении практических заданий допускается использование студентами справочных материалов, необходимых для проведения численных расчетов. Допускается использование интернет-ресурсов при работе над заданиями.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

При изложении материала необходимо особое внимание уделить вводным разделам, объясняющим физические механизмы получения лазерной генерации и усиления. Лекции должны сопровождаться наглядным иллюстративным материалом, в частности, с использованием компьютерных технологий. Следует уделить особое внимание практическим расчетам, выполняемым самими студентами при работе над текущими заданиями. Допускается использование студентами справочных материалов, необходимых для проведения численных расчетов. Формулировку практических заданий следует выполнять подробно, а так же допускать использование интернет-ресурсов при работе над заданиями.

Автор(ы):

Котковский Геннадий Евгеньевич, к.ф.-м.н.