

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

ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ БИОМЕДИЦИНЫ
КАФЕДРА ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ КВАНОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ И БИОФОТОНИКИ

ОДОБРЕНО НТС ИФИБ

Протокол № 5/25
от 18.11.2025

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
МОЩНЫЕ ОДИНОЧНЫЕ ДИОДНЫЕ ЛАЗЕРЫ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

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
9	3	108	16	24	8		24		Э
Итого	3	108	16	24	8	8	24		

АННОТАЦИЯ

Дисциплина является частью профессионального модуля образовательной программы. Целью дисциплины является: дать будущим специалистам в области фотоники и лазерной физики, микроэлектроники и нанотехнологий необходимые знания для исследовательской и инженерно-конструкторской деятельности в области разработки и практического использования полупроводниковых лазерных диодов, разработки на их основе систем накачки твердотельных лазеров, волоконных лазеров, лазеров на парах металлов, технологий обработки материалов, информационных систем, систем связи и навигации, приборов для медицинских и биотехнологических применений, создания систем для микрообработки материалов, решения других научно-технических и технологических задач в различных областях.

Содержание программы дисциплины представляет собой развитие и углубление полученных ранее знаний в области физики. В ней используются основные понятия и представления, отвечающие теоретической базе, освоенной студентами при изучении других дисциплин.

Освоение данной дисциплины имеет самостоятельное методическое значение, демонстрирующее реализацию комплекса важных физических принципов в уникальном по своим внутренним параметрам и выходным характеристикам объекте лазерной физики – мощном одиночном лазерном диоде, а также указывает пути практического использования мощных лазерных диодов для решения широкого круга научно-технических и технологических задач.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дать будущим специалистам в области фотоники и лазерной физики, микроэлектроники и нанотехнологий необходимые знания для исследовательской и инженерно-конструкторской деятельности в области разработки и практического использования полупроводниковых лазерных диодов, разработки на их основе систем накачки твердотельных лазеров, волоконных лазеров, лазеров на парах металлов, технологий обработки материалов, информационных систем, систем связи и навигации, приборов для медицинских и биотехнологических применений, создания систем для микрообработки материалов, решения других научно-технических и технологических задач в различных областях.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Содержание программы дисциплины представляет собой развитие и углубление полученных ранее знаний в области физики. В ней используются основные понятия и представления, отвечающие теоретической базе, освоенной студентами при изучении других дисциплин.

Освоение данной дисциплины имеет самостоятельное методическое значение, демонстрирующее реализацию комплекса важных физических принципов в уникальном по своим внутренним параметрам и выходным характеристикам объекте лазерной физики – мощном одиночном лазерном диоде, а также указывает пути практического использования мощных лазерных диодов для решения широкого круга научно-технических и технологических задач.

Овладение данной дисциплиной необходимо выпускникам для следующих областей профессиональной деятельности по исследованию и разработке:

- установок и систем в области физики конденсированного состояния вещества;

- методов повышения безопасности лазерных установок, материалов и технологий;
- лазерных установок и технологий, обладающих высокой эффективностью, безопасностью и защищенностью.

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			
- выявление актуальных проблем и тенденций в области физики - работа с научной литературой, в том числе с использованием информационных технологий, отслеживание отечественных и зарубежных работ в исследуемой области - выбор методов, современной аппаратуры и информационных технологий для проведения исследования - проведение теоретических и экспериментальных исследований	физические объекты и системы различного масштаба, уровня организации, физические явления и процессы, физические, инженерно-физические, биофизические технологии, методы, приборы, устройства	ПК-3 [1] - Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта Основание: Профессиональный стандарт: 40.011	3-ПК-3 [1] - знать методы проведения научных исследований и выполнения опытно-конструкторских работ в области физики У-ПК-3 [1] - уметь самостоятельно формулировать цели, ставить задачи научных исследований в своей профессиональной сфере; решать физические задачи с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта В-ПК-3 [1] - владеть навыками работы на современной аппаратуре, оборудовании; навыками использования информационных технологий в своей профессиональной области

<p>- выявление актуальных проблем и тенденций в области физики - работа с научной литературой, в том числе с использованием информационных технологий, отслеживание отечественных и зарубежных работ в исследуемой области - выбор методов, современной аппаратуры и информационных технологий для проведения исследования - проведение теоретических и экспериментальных исследований</p>	<p>физические объекты и системы различного масштаба, уровня организации, физические явления и процессы, физические, инженерно-физические, биофизические технологии, методы, приборы, устройства</p>	<p>ПК-1.2 [1] - Способен применять на практике знания лазерной физики, физики полупроводников, оптики, физических основ взаимодействия излучения с веществом для качественного и количественного описания исследуемых объектов и явлений</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт 40.039, 40.037, 40.006</p>	<p>З-ПК-1.2 [1] - Знать законы и принципы физики твердого тела, оптики, взаимодействия излучения с веществом, квантовой механики, лазерной физики У-ПК-1.2 [1] - Уметь формулировать, выделять, анализировать исходные данные об исследуемом объекте и явлении, исходя из законов и принципов физики твердого тела, оптики, взаимодействия излучения с веществом, квантовой механики, лазерной физики В-ПК-1.2 [1] - Владеть приемами и методами, используемыми в области физики твердого тела, оптики, взаимодействия излучения с веществом, квантовой механики, лазерной физики, для качественного и количественного описания исследуемых объектов и явлений</p>
<p>- выявление актуальных проблем и тенденций в области физики - работа с научной литературой, в том числе с использованием информационных технологий, отслеживание отечественных и зарубежных работ в исследуемой области - выбор методов, современной аппаратуры и информационных технологий для</p>	<p>физические объекты и системы различного масштаба, уровня организации, физические явления и процессы, физические, инженерно-физические, биофизические технологии, методы, приборы, устройства</p>	<p>ПК-1.3 [1] - Способен ставить и решать теоретические и экспериментальные задачи в области физики конденсированного вещества, фотоники, физики лазеров, полупроводниковой физики, взаимодействия излучения с веществом</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.037, 40.039</p>	<p>З-ПК-1.3 [1] - Знать теоретические и аналитические модели и основные приемы проведения эксперимента в области физики конденсированного вещества, фотоники, физики лазеров, полупроводниковой физики, взаимодействия излучения с веществом У-ПК-1.3 [1] - Уметь формулировать задачи исследования в области физики конденсированного вещества, фотоники, физики лазеров, полупроводниковой физики, взаимодействия излучения с</p>

проведения исследования - проведение теоретических и экспериментальных исследований			веществом, выбирать подходящие модели, экспериментальные приемы и методы исследования В-ПК-1.3 [1] - Владеть навыками анализа полученных результатов, формулирования выводов, корректировки дальнейшего плана исследования в области физики конденсированного вещества, фотоники, физики лазеров, полупроводниковой физики, взаимодействия излучения с веществом
---	--	--	---

технологическо-трансферный			
- разработка новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности - формирование целей проекта (программы), критериев и показателей достижения целей, построение структуры их взаимосвязей, выявление приоритетов решения задач с учетом всех аспектов деятельности - разрабатывать технические задания на проектирование технологических	физические объекты и системы различного масштаба, уровня организации, физические явления и процессы, физические, инженерно-физические, биофизические технологии, методы, приборы, устройства	ПК-5 [1] - Способен принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт 40.039, 40.008	З-ПК-5 [1] - знать современные направления исследований в своей профессиональной области У-ПК-5 [1] - уметь анализировать и выявлять перспективные направления в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности В-ПК-5 [1] - владеть современными методиками и подходами в решении научно-инновационных и инженерно-технологических задач в профессиональной сфере

процессов и схем производства устройств, приборов, систем и комплексов			
--	--	--	--

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	- формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)	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	- формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для: - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со

		<p>студентами занятий и регулярных бесед;</p> <ul style="list-style-type: none"> - формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.
Профессиональное воспитание	<ul style="list-style-type: none"> - формирование культуры безопасности при работе с лазерным излучением (В32); 	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин «Введение в специальность», «Основы и применение синхротронного излучения», «Физика биологического действия радиации» и всех видов практик – ознакомительной, научно-исследовательской, педагогической, преддипломной для:</p> <ul style="list-style-type: none"> - формирования культуры работы с патогенами, обеспечивающей безопасность и не распространение, приборами дозиметрического контроля, радиационной и экологической безопасности посредством тематического акцентирования в содержании дисциплин и учебных заданий, подготовки эссе, рефератов, дискуссий по вопросам биобезопасности. <p>Использование воспитательного потенциала профильных дисциплин и всех видов практик для:</p> <ul style="list-style-type: none"> - формирования этических основ проведения экспериментов с использованием лабораторных животных посредством обсуждения техники безопасной работы с высокотехнологичным экспериментальным оборудованием, высокопроизводительной вычислительной техникой и с живыми системами.

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>9 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	8/12/4		25	КИ-8	З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, З-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, З-ПК-1.3, У-ПК-1.3, В-ПК-1.3
2	Второй раздел	9-16	8/12/4		25	КИ-16	З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, З-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, З-ПК-1.3, У-ПК-1.3, В-ПК-1.3
	<i>Итого за 9 Семестр</i>		16/24/8		50		
	Контрольные мероприятия за 9 Семестр				50	Э	З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, З-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, З-ПК-1.3, У-ПК-1.3, В-ПК-1.3

* – 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
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>9 Семестр</i>	16	24	8
1-8	Первый раздел	8	12	4
1	1. Введение в дисциплину «Мощные одиночные диодные лазеры» 1.1 Краткая история развития направления . 1.2. Терминология . 1.4. Типы полупроводниковых лазеров . 1.5. «Эволюция» лазерных диодов . 1.6. Место инжекционных (диодных) лазеров в семье полупроводниковых лазеров. 1.7. Лазерные диоды в науке, в технике и в быту (датчики, указки, CD, DVD, ТВ, Интернет и т.д.)	Всего аудиторных часов 1 0 0 Онлайн 0 0 0		
2	2. Резонатор, оптическое и электронное ограничение 2.1. Электронное ограничение 2.1. Оптическое ограничение 2.2. Методы создания обратной связи и вывод излучения 2.3. Оптический резонатор Фабри-Перо 2.4. Проблемы скальвания граней кристалла по плоскостям спайности (краткий экскурс в кристаллографию) 2.4. Дефекты сколов и методы их устранения 2.5 ДГС, РО –ДГС 2.6. РО-ДГС с широким волноводом и ассиметричная РО-ДГС	Всего аудиторных часов 1 2 4 Онлайн 0 0 0		
3	3. Методы создания полосковых структур 3.1. Типы полосковых структур 3.2. Боковое оптическое ограничение 3.3. Методы создания бокового оптического ограничения 3.4. Пространственно - одномодовый режим генерации 3.5. Пространственные параметры излучения в одномодовом режиме 3.5. Спектральные параметры в одномодовом режиме 3.6. Новые подходы к симметризации выходного пучка (режим вытекающих мод по «быстрой оси») 3.7. Режим вытекающих мод по медленной оси	Всего аудиторных часов 1 1 0 Онлайн 0 0 0		
4	4. Основные параметры	Всего аудиторных часов 1 2 4		
	4.1. Пороговый ток			

	4.2. Плотности порогового тока для разных типов структур 4.3. Мощность излучения и эффективность 4.4. Спектральные параметры 4.5. Последовательное сопротивление, потери 4.6. Полный К.П.Д. и его предельные значения 4.7 Практические пути повышения полного к.п.д	Онлайн 0 0 0
5	5. Инжекционные лазеры 1 5.1 . Лазерные диоды с торцевым выводом излучения 5.2. Дизайн лазерного чипа 5.3 Подавление кольцевых мод 5.4. Защита боковых граней кристалла ЛД 5.5. Вывод излучения в одну сторону 5.6. Лазерный диод на постоянном токе 5.7 Лазерный диод в импульсном режиме 5.8 . Эквивалентная схема	Всего аудиторных часов 1 2 4 Онлайн 0 0 0
6	6. Инжекционные лазеры 2 6.1.. Типичные параметры мощных ЛД 6.2. Мощные ЛД на 808 нм. 6.3. Мощные ЛД на 980 нм. 6.4. Мощные ЛД на 1060 нм. 6.5.. Линейки, матрицы и модули ЛД 6.6. ЛД с поверхностным выводом излучения (VCSEL)	Всего аудиторных часов 1 2 0 Онлайн 0 0 0
7	7. Инжекционные лазеры 3 7.1. ЛД на основе GaAs и InP 7.2 ЛД на основе GaAs/AlGaAs - подарок природы 7.3 Гетероструктуры на основе принципа изопериодического замещения 7.4 ЛД на основе фосфидов-арсенидов . 7.5 ЛД на основе гетероструктур GaInAsP / InP 7.6 ЛД на основе GaInAsN/GaAs 7.7 ЛД на основе ZnCdSe/GaAs 7.8. Напряженные гетероструктуры	Всего аудиторных часов 1 2 0 Онлайн 0 0 0
8	8. Инжекционные лазеры 4 8.1. ЛД на основе квантоворазмерных структур 8.1.1. ЛД на основе квантовых проволок 8.1.2. ЛД на основе квантовых точек 8.2. ЛД на основе нитридных гетероструктур 8.3. ЛД на основе органических полупроводников	Всего аудиторных часов 1 1 0 Онлайн 0 0 0
9-16	Второй раздел	8 12 4
9	9. Инжекционные лазеры 5 9.1 . ЛД ближнего и среднего ИК диапазона ($1 > 1.5 \text{ mm}$) 9.2. ЛД на основе антимонидов - арсенидов 9.3. Антимонид-арсенидные ЛД на основе гетеропереходов II типа 9.4. Длинноволновые ЛД на основе полупроводников II-VI групп. 9.5. ЛД на основе полупроводников IV-VI групп	Всего аудиторных часов 1 2 0 Онлайн 0 0 0
10	10 . Технологии выращивания гетероструктур для ЛД 10.1 Требования к помещениям чистых зон 10.2 Требования к одежде персонала (ESD –safe)	Всего аудиторных часов 1 1 0 Онлайн 0 0 0

	10.2 Переходы (Серая зона, шлюзы, чистая зона) 10.2 Зонирование внутри чистой зоны (локальные зоны и ламинарные шкафы) 10.1 МОС – гидридная эпитаксия 10.2 Молекулярно – лучевая эпитаксия 10.3 Подложки для эпитаксии 10.4 Методы изготовления подложек (выращивание монокристаллов, ориентация по кристаллографическим плоскостям , резка, шлифовка, полировка) 10.5 Подложки без дефектов 10.6 Эпитаксиальные методы повышения качества материала 10.7 EPI – ready подложки и многослойный напряжённый буфер		
11	11. Технологии пост – ростового цикла 1 11.1 Фотолитография 11.2 Химическое травление 11.3 Сухое травление (ионно – плазменные и ионно – лучевые методы) 11.4 Нанесение диэлектрических покрытий 11.5 Нанесение омических контактов 11.6 Вплавление омических контактов	Всего аудиторных часов 1 1 0 Онлайн 0 0 0	
12	12 . Технологии пост-ростового цикла 2 12.1 Скрайбирование и разделение пластин на иголки 12.2 Скрайбирование и разделение иголок на чипы 12.3. Обращение с чипами (вакуумные держатели и пинцеты, переворот чипов) 12.3. Хранение чипов (типы контейнеров и гелевых упаковок) 12.4. Межоперационное и долговременное хранение пластин, иголок и чипов (азотные боксы)	Всего аудиторных часов 1 1 0 Онлайн 0 0 0	
13	13. Проблема катастрофического оптического разрушения зеркал излучением ЛД 13.1 Типичные параметры КОР 13.2 Методы повышения порога КОР 13.5 Гетероструктуры с широким волноводом 13.6. Гетероструктуры с широкозонным окном 13.7. Пассивация поверхности сколотых граней 13.8 Зависимость порога КОР от времени наработки и проблема надёжности 13.9. Типичные параметры зеркал резонаторов ЛД	Всего аудиторных часов 1 2 0 Онлайн 0 0 0	
14	14. Технологии пост-ростового цикла 3 14.1 Тепловая проблема и проблема термоупругих напряжений как ключевые проблемы в физике и технологиях ЛД 14.2 Базовые теплоотводящие элементы для одиночных чипов ЛД (С-маунт, F –маунт и.т.д.) 14.3 Базовые типы сабмаунтов (BeO, SiC, CuW, CuMo, CVD –алмаз и.др.) 14.4 Базовые теплоотводящие элементы для лазерных	Всего аудиторных часов 1 2 Онлайн 0 0 0	

	линеек 14.5 Разварка электродов 14.6 Оптические модули на основе ЛД 14.7. Оптические разъёмы и pigtails , формирователи пучка .			
15	15. Измерения выходных параметров 15.1 Измерение ВтАХ и ВАХ в непрерывном режиме 15.2 Измерение ВтАх в импульсном режиме 15.3 Измерение пространственных характеристик 15.4 Ближняя и дальняя зоны излучения 15.5 Измерение спектральных характеристик 15.6 Ресурсные испытания 15.7 Сертификация параметров готовых ЛД	Всего аудиторных часов 1 2 4 Онлайн 0 0 0		
16	16 . Применение ЛД для накачки твердотельных лазеров и в медицине 16.1 Продольная накачка 16.2 Неоднородная накачка 16.3 Поперечная накачка 16.4 Модовая структура 16.5 Методы суммирования мощности ЛД 16.6 Накачка волоконных лазеров 16.7. Сварка и резка (Rofin – Sinar) 16.8. Хирургия 16.9. Терапия 16.10. Онкология (фотодинамическая и кислородная терапия)	Всего аудиторных часов 1 1 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 ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>9 Семестр</i>
	Знакомство с оборудованием и правилами работы в комплексе чистых помещений. - одежда , обувь, головные уборы - защитные очки от лазерного излучения, вводные сведения о безопасной работе с лазерным излучением на длинах волн 808, 980, 1060 нм - визуализаторы инфракрасного лазерного излучения - «белая» и «серая» зоны комплекса чистых помещения - система подготовки и кондиционирования воздуха, классы чистоты помещения

	<ul style="list-style-type: none"> - локальные чистые зоны, ламинарные шкафы подачи чистого воздуха - компрессор для подачи чистого сжатого воздуха - струйные насосы для создания чистого вакуума - генератор чистого азота и накопители - средства ESD –safe, обеспечение защиты от статического электричества - инструментарий (пинцеты, браслеты и т.д.) - технологическое и исследовательское оборудование КЧП
	<p>Знакомство с конструкциями лазерных диодов . Монтаж лазерного диода на основной блок охлаждения .</p> <ul style="list-style-type: none"> - корпусные и бескорпусные конструкции лазерных диодов, герметичная и негерметичная конструкции, их особенности и применения - модули на основе лазерных диодов, их конструкции и применения - риски при использовании бескорпусных и негерметичных конструкций лазерных диодов - теплоотводящие элементы типа С-маунт и F- маунт - требования к теплоотводящим элементам мощных лазерных диодов - методы обработки поверхности и методы контроля параметров - методы отвода тепла – пассивное (кондуктивное) охлаждение и принудительное (активное) охлаждение - термохолодильники работающие на принципе эффекта Пельтье - контактные пластины, радиаторы и вентиляторы, жидкостное охлаждение (кулеры) - Монтаж лазерного диода на основной блок охлаждения. <p>Практические занятия - обучение работе с микроскопом МБС -10 , изучение под микроскопом конструкции смонтированного лазерного чипа , освоение методики безопасного монтажа мощного лазерного диода, смонтированного на теплоотводящем элементе типа С-маунт на основной блок охлаждения .</p> <p>(обучение использованию методов ESD-safe и методам правильного безопасного крепления теплоотводящего элемента с лазерным кристаллом на основной теплоотводящий блок)</p>
	<p>Знакомство с установкой для монтажа чипов лазерных диодов . Монтаж лазерного диода на теплоотводящий элемент типа С-маунт .</p> <ul style="list-style-type: none"> - устройство установки монтажа Лямбда А6 - метод флип –чип - работа с оптикой и механикой, точность позиционирования чипа лазерного кристалла - программирование процессов сборки - модуль давления - держатель кристалла (dieholder) - контроль термоцикла процесса on-line с помощью боковой видеокамеры <p>Проведение пробного процесса сборки лазерного кристалла .</p> <p>Изучение собранного образца смонтированного лазерного чипа под микроскопом, диагностика качества сборки, выявление дефектов монтажа .</p>
	<p>Знакомство с установкой для ультразвуковой разварки верхних электродов на смонтированные чипы лазерных диодов . Прведение пробных процессов разварки золотых электродов .</p> <ul style="list-style-type: none"> - устройство установки - метод ультразвуковой приварки - инструментарий, золотая проволока , лента , различные типы , конусы - подогрев столика - методика работы - програмирование режимов работы

	<ul style="list-style-type: none"> - обрыв проволоки, устранение неполадок <p>Проведение пробных процессов разварки верхних электродов к смонтированным лазерным чипам .</p> <p>Инспекция качества приварки с помощью микроскопических исследований и контроля усилия разрыва соединения.</p>
	<p>Измерение Воль-Амперных и Ватт-Амперных характеристик собранных образцов мощных лазерных диодов.</p> <ul style="list-style-type: none"> - оборудование и контрольно – измерительные приборы - требования к источнику питания лазерных диодов - требования к измерителю мощности - требования к системе охлаждения и термостабилизации <p>Проведение измерений. Оформление результатов измерений, построение графиков ВАХ и ВТАХ .</p> <p>Определение основных параметров :</p> <ul style="list-style-type: none"> - последовательного сопротивления - напряжения отсечки - порогового тока - крутизны ВТАХ, дифференциальной квантовой эффективности - полного к.п.д.
	<p>Исследование спектров излучения мощных лазерных диодов.</p> <ul style="list-style-type: none"> - оборудование и контрольно-измерительные приборы для спектральных измерений - проведение спектральных измерений - запись спектров излучения при различных значениях токов накачки - построение зависимостей пика огибающей и ширины спектрального распределения на половине высоты от тока накачки - использование полученных результатов для вычисления зависимости средней температуры активной области лазерного диода от тока накачки , прогнозирование теплового режима при более высоких токах накачки по характеру этих зависимостей
	<p>Исследование пространственного распределения излучения мощных лазерных диодов.</p> <ul style="list-style-type: none"> - ближняя и дальняя зоны излучения - каналы генерации и неоднородности ближней зоны в мощных лазерных диодах, их влияние на расходимость излучения в дальней зоне - применение периодических структур для повышения однородности ближней зоны излучения - расходимость излучения по «медленной» оси и по «быстрой» оси - применение цилиндрической оптики для уменьшения расходимости по «быстрой» оси - методические и приборные проблемы при изучении дальней зоны излучения мощных лазерных диодов - оборудование и контрольно-измерительные приборы для исследования пространственного распределения излучения мощных лазерных диодов - сканатор лазерного пучка, измеритель профиля лазерного пучка на основе CCD камеры. <p>Измерение распределения излучения в дальней зоне мощного лазерного диода с помощью сканатора лазерного пучка , определение ширины распределения на половине высоты .</p>
	<p>Предварительные испытания и исследование ресурсных параметров лазерных диодов.</p> <ul style="list-style-type: none"> - первое измерение электрических и оптических параметров лазерных диодов после сборки, кратковременные испытания на измерительном стенде

	<ul style="list-style-type: none"> - эффекты «приработки» и стабилизации параметров - «быстрая мода» деградации , связь с качеством зеркальных граней и качеством монтажа - исследование деградации на стенде ресурсных испытаний - конструкция стенда ресурсных испытаний, термоплита, питание, регистрация параметров , сбор и хранение файлов данных - монтаж и демонтаж исследуемых образцов мощных лазерных диодов» на стенде ресурсных испытаний - исследования при повышенной температуре, метод ускоренных испытаний, обоснованность метода ускоренных испытаний - натурные выборочные долговременные ресурсные испытания и тренировочные испытания - концепция обеспечения гарантированного ресурса после проведения успешных тренировочных испытаний . Качество , обеспеченное технологией на всех этапах изготовления, измерений и сертификации . <p>Практические занятия . Монтаж и демонтаж образцов на ресурсном стенде . Проведение испытаний, контроль и запись параметров в процессе испытаний.</p>
	<p>Итоговая работа , закрепляющая полученные знания и навыки методом самостоятельного выполнения студентами всех этапов изготовления мощного лазерного диода и измерения его параметров.</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыки работы в КЧП и с оборудованием обеспечения - проверка и закрепление знаний по безопасной работе с лазерным излучением - проверка знаний по работе с чипами лазерных диодов , в том числе технологиям ESD –safe , обеспечивающие отсутствие механических и электрических повреждений, а также гарантии отсутствия привнесённых загрязнений и сохранность внутренних параметров лазерного чипа при манипуляциях , монтаже и полном цикле измерений. - проверка знаний по конструкциям мощных лазерных диодов - проверка знаний по методам правильного и безопасного обращения с мощными лазерными диодами , по оборудованию питания и охлаждения мощных лазерных диодов - проверка знаний по методам монтажа - проверка знаний по методам измерения основных электрических и оптических параметров, ,ВАХ, ВтАХ, спектров излучения, пространственного распределения излучения в дальней зоне , ресурсных параметров. - проверка знаний по методам прогнозирования срока службы - проверка знаний по сертификация параметров.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении данной дисциплины основную роль играют аудиторные занятия в виде лекций, практических и лабораторных занятий, а также самостоятельная работа студентов, заключающаяся в выполнении повторения ранее пройденного материала и подготовке к контрольным мероприятиям.

С целью формирования и развития профессиональных навыков, обучающихся в учебном процессе, широко используются технологии активного обучения – обсуждение пройденного материала.

На занятиях контролируется степень усвоения материала, даются консультации, оказывается помощь в анализе и систематизации получаемой информации.

Для того чтобы дать представление о современных достижениях в создании мощных одиночных диодных лазеров предусмотрено широкое использование современных научных работ и публикаций по данной теме, посещение лабораторий НИЯУ МИФИ и ФИАН. Рекомендуется посещение студентами научных семинаров и конференций, проводимых в ФИАН, в НИЯУ МИФИ, а также в других организациях.

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	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-5	З-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-1.2	З-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-1.3	З-ПК-1.3	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1.3	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1.3	Э, КИ-8, 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	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется
75-84		C	студенту, если он твёрдо знает материал,

70-74		D	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	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.
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. ЭИ K67 Solid-State Laser Engineering : , New York, NY: Springer New York,, 2006
2. ЭИ Б 82 Лазеры: устройство и действие : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
3. ЭИ Б 91 Основы полупроводниковой электроники : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2012
4. ЭИ З-47 Основы физики полупроводников : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2009
5. ЭИ Ш 18 Физика полупроводников : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2022
6. 621.38 К64 Физика полупроводниковых приборов: режимы работы и параметры : учебное пособие, С. В. Кондратенко, В. А. Королев , Москва: МИФИ, 2009

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 620 А53 Избранные труды. Нанотехнологии : , Москва: Магистр-Пресс, 2013
2. 621.37 Д81 Квантовая электроника. Приборы и их применение : учебное пособие для вузов, В. И. Дудкин, Л. Н. Пахомов, Москва: Техносфера, 2006
3. 681.7 Е51 Введение в физику инжекционных лазеров : , П. Г. Елисеев, Москва: Наука, 1983
4. 621.37 И62 Инжекционные лазеры и их применение : , Физический ин-т им.Лебедева П.Н. Труды...Т.216; Гл.ред.Басов Н.Г.; Отв.ред.т.Елисеев П.Г.Г/U/, М.: Наука, 1992

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

Для реализации дисциплины используются учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы. Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения – мультимедийным оборудованием. Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены рабочими местами, в том числе компьютерной техникой, с возможностью выхода в сеть «Интернет». Для проведения лабораторных работ помещения оснащены соответствующим оборудованием.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Комплекс дисциплины предполагает ряд основных видов работы:

- аудиторная работа в виде лекций и практических занятий,
- самостоятельная работа,
- выполнение лабораторных работ,
- выполнение контрольных заданий.

Перечисленные виды работы составляют целостную систему обучения, обеспечивающую разностороннюю подготовку обучающегося и призваны к приобретению новых компетенций и повышению уровня его компетентности.

Структура курса предполагает освоение каждой предлагаемой темы в несколько этапов.

Начальный этап предусматривает проведение лекционный занятий.

На последующих этапах проводятся практические занятия, на которых студенты демонстрируют знания лекционного материала, подготовленность к занятиям, выполнение домашнего задания, проводятся лабораторные работы. Также предполагается самостоятельная работа студента по предложенным темам с последующим контролем со стороны преподавателя.

На заключительном этапе работы студентам предлагаются такие виды работы, как выполнение контрольных заданий.

Текущий контроль: в течение семестра выполняются следующие контрольных мероприятий:

- оценка участия в круглых столах;
- выполнение домашнего задания;
- выполнение лабораторных работ;
- выполнение тестовых заданий.

Результаты выполнения контрольных мероприятий являются основанием для допуска к сдаче экзамена по дисциплине.

Промежуточный контроль осуществляется методом проверки и оценки ответов на предложенные вопросы.

Промежуточный контроль: по окончании курса учебным планом предусмотрено проведение экзамена.

Система оценки успеваемости студента

Для оценки успеваемости студента применяется 100-балльная система, которая позволяет учитывать работу студента в течение семестра и ответ на предложенные вопросы на зачете.

Учебная работа студента в семестре оценивается по следующим категориям: показатели посещаемости и эффективности работы на каждом занятии, результаты выполнения контрольных мероприятий.

Максимальное количество баллов, которое студент может получить в ходе аудиторной и самостоятельной работы в семестре, составляет 50 баллов.

Минимальное количество баллов, которое необходимо для допуска студента к промежуточной аттестации, составляет 30 баллов.

По итогам семестра проводится промежуточная аттестация, которая включает в себя письменный и устный ответ на предложенные вопросы.

В совокупности за промежуточную аттестацию студент может получить 50 баллов.

Итого, максимальная оценка по курсу по итогам семестра составляет 100 баллов, для аттестации по курсу необходимо набрать минимум 60 баллов.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Комплекс дисциплины предполагает ряд основных видов работы:

- аудиторная работа в виде лекций и практических занятий,
- самостоятельная работа,
- выполнение лабораторных работ,
- выполнение контрольных заданий.

Перечисленные виды работы составляют целостную систему обучения, обеспечивающую разностороннюю подготовку обучающегося и призваны к приобретению новых компетенций и повышению уровня его компетентности.

Структура курса предполагает освоение каждой предлагаемой темы в несколько этапов.

Начальный этап предусматривает проведение лекционный занятий.

На последующих этапах проводятся практические занятия, на которых студенты демонстрируют знания лекционного материала, подготовленность к занятиям, выполнение домашнего задания, проводятся лабораторные работы. Также предполагается самостоятельная работа студента по предложенными темам с последующим контролем со стороны преподавателя.

На заключительном этапе работы студентам предлагаются такие виды работы, как выполнение контрольных заданий.

Текущий контроль: в течение семестра выполняются следующие контрольных мероприятий:

- оценка участия в круглых столах;
- выполнение домашнего задания;
- выполнение лабораторных работ;

- выполнение тестовых заданий.

Результаты выполнения контрольных мероприятий являются основанием для допуска к сдаче экзамена по дисциплине.

Промежуточный контроль осуществляется методом проверки и оценки ответов на предложенные вопросы.

Промежуточный контроль: по окончании курса учебным планом предусмотрено проведение экзамена.

Система оценки успеваемости студента

Для оценки успеваемости студента применяется 100-балльная система, которая позволяет учитывать работу студента в течение семестра и ответ на предложенные вопросы на зачете.

Учебная работа студента в семестре оценивается по следующим категориям: показатели посещаемости и эффективности работы на каждом занятии, результаты выполнения контрольных мероприятий.

Максимальное количество баллов, которое студент может получить в ходе аудиторной и самостоятельной работы в семестре, составляет 50 баллов.

Минимальное количество баллов, которое необходимо для допуска студента к промежуточной аттестации, составляет 30 баллов.

По итогам семестра проводится промежуточная аттестация, которая включает в себя письменный и устный ответ на предложенные вопросы.

В совокупности за промежуточную аттестацию студент может получить 50 баллов.

Итого, максимальная оценка по курсу по итогам семестра составляет 100 баллов, для аттестации по курсу необходимо набрать минимум 60 баллов.

Автор(ы):

Безотосный Виктор Владимирович, к.ф.-м.н.