

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

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/08-577

от 29.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ДИОДНЫЕ 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, экз./зач./КР/КП
1	3	108	8	24	0		40	0	Э
Итого	3	108	8	24	0	0	40	0	

АННОТАЦИЯ

В курсе изучается физика, технология изготовления и различные применения полупроводниковых лазеров (инжекционных и с катодно-лучевой накачкой). Кратко приводятся необходимые сведения из физики полупроводников и квантовой электроники. Рассматриваются прямые и не прямые оптические переходы в полупроводниках. Приводятся основные условия обеспечения необходимых рабочих характеристик лазеров—низкие пороги генерации, высокий КПД, рабочий ресурс. Основной упор сделан на использовании низкоразмерных наногетероструктур для совершенствования полупроводниковых лазеров. Обсуждаются основные проблемы дальнейшего развития таких лазеров

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью курса является использование знаний в области электромагнитного поля, квантовой механики, физики полупроводников для понимания рассматриваемых физических процессов взаимодействия электромагнитного поля с полупроводником, приводящих к спонтанному и вынужденному излучению. Рассматриваются физические процессы в полупроводниковых лазерах и технология их создания. Обсуждаются преимущества этих лазеров, их широкое использование как основных изделий лазерной техники.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина логически и содержательно-методически связана со следующими дисциплинами: квантовая радиофизика, физика твердого тела, методы лазерной диагностики, интегральная и волоконная оптика, экспериментальные методы лазерной физики.

В курсе изучается физика, технология изготовления и различные применения полупроводниковых лазеров (инжекционных и с катодно-лучевой накачкой). Кратко приводятся необходимые сведения из физики полупроводников и квантовой электроники. Рассматриваются прямые и не прямые оптические переходы в полупроводниках. Приводятся основные условия обеспечения необходимых рабочих характеристик лазеров—низкие пороги генерации, высокий КПД, рабочий ресурс. Основной упор сделан на использовании низкоразмерных наногетероструктур для совершенствования полупроводниковых лазеров. Обсуждаются основные проблемы дальнейшего развития таких лазеров.

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

- установок и систем в области физики конденсированного состояния вещества;
- установок и систем лазерной обработки материалов;
- 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			
формулирование задачи и плана научного исследования в области фотоники и оптоинформатики; построение математических моделей объектов исследования и выбор численного метода их моделирования, разработка алгоритма решения задачи; выполнение математического (компьютерного) моделирования и оптимизации параметров объектов фотоники и оптоинформатики; исследование элементов, устройств и систем фотоники и оптоинформатики; выбор оптимального метода и разработка программ экспериментальных исследований и измерений с выбором технических средств и обработкой результатов; осуществление наладки, настройки и опытной проверки отдельных видов	фундаментальные и прикладные научно-исследовательские разработки в области фотоники и оптоинформатики;	ПК-1.5 [1] - способен использовать знания о современных разработках и основных применениях лазеров, о физических основах и возможностях лазерной диагностики сред, особенностях взаимодействия лазерного излучения с биотканями и наноструктурами в профессиональной деятельности <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004	З-ПК-1.5[1] - Знать: современное состояние разработок и область применения лазеров, современные возможности лазерной диагностики различных сред; У-ПК-1.5[1] - Уметь: использовать знания о современных разработках и основных применениях лазеров, о физических основах и возможностях лазерной диагностики сред, особенностях взаимодействия лазерного излучения с биотканями и наноструктурами в профессиональной деятельности; В-ПК-1.5[1] - Владеть: навыками сравнительного анализа разработок лазеров, методов лазерной диагностики сред

систем фотоники и оптоинформатики в лабораторных условиях; составление описаний проводимых исследований, подготовка данных для составления отчетов, обзоров и другой технической документации; защита приоритета и новизны полученных результатов исследований с использованием юридической базы для охраны интеллектуальной собственности			
формулирование задачи и плана научного исследования в области фотоники и оптоинформатики; построение математических моделей объектов исследования и выбор численного метода их моделирования, разработка алгоритма решения задачи; выполнение математического (компьютерного) моделирования и оптимизации параметров объектов фотоники и оптоинформатики; исследование элементов, устройств и систем фотоники и оптоинформатики; выбор оптимального метода и разработка программ экспериментальных исследований и измерений с выбором	фундаментальные и прикладные научно-исследовательские разработки в области фотоники и оптоинформатики;	ПК-3 [1] - способен разрабатывать фотонное устройство на основе элементной базы, выбирать необходимое оборудование и способ контроля параметров устройства <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004	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

технических средств и обработкой результатов; осуществление наладки, настройки и опытной проверки отдельных видов систем фотоники и оптоинформатики в лабораторных условиях; составление описаний проводимых исследований, подготовка данных для составления отчетов, обзоров и другой технической документации; защита приоритета и новизны полученных результатов исследований с использованием юридической базы для охраны интеллектуальной собственности			
проектно-конструкторский			
анализ состояния научно-технической проблемы, постановка цели и задач проектирования приборов и систем фотоники и оптоинформатики; разработка функциональных и структурных схем приборов и систем фотоники и оптоинформатики и установление технических требований на отдельные блоки и элементы; проектирование и конструирование различных типов оптических и оптоинформационных	элементная база полупроводниковых, волоконных и планарных лазеров; элементная база и системы преобразования и отображения информации; устройства и системы на основе когерентной оптики и голографии; устройства и системы компьютерной фотоники; системы оптических и квантовых вычислений и оптические компьютеры; элементная база, системы и методы,	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: 40.011	З-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

систем, блоков и узлов с использованием средств компьютерного проектирования, проведение проектных расчетов и технико-экономическим обоснованием конструкторских решений; оценка технологичности конструкторских решений, разработка технологических процессов сборки и контроля элементов, устройств и систем; составление технической документации, включая инструкции по эксплуатации, программы испытаний, технические условия; участие в наладке, испытаниях и сдаче в эксплуатацию опытных образцов.	обеспечивающие оптическую передачу, прием, обработку, запись и хранение информации;		информации ; В-ПК-4[1] - Владеть: методами анализа и расчета ожидаемых параметров разрабатываемых приборов и систем фотоники и оптоинформатики
анализ состояния научно-технической проблемы, постановка цели и задач проектирования приборов и систем фотоники и оптоинформатики; разработка функциональных и структурных схем приборов и систем фотоники и оптоинформатики и установление технических требований на отдельные блоки и элементы; проектирование и конструирование различных типов	элементная база полупроводниковых, волоконных и планарных лазеров; элементная база и системы преобразования и отображения информации; устройства и системы на основе когерентной оптики и голографии; устройства и системы компьютерной фотоники; системы оптических и квантовых вычислений и оптические компьютеры;	ПК-5 [1] - способен проектировать и конструировать в соответствии с техническим заданием типовые оптические и оптоинформационные системы <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	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,

оптических и оптоинформационных систем, блоков и узлов с использованием средств компьютерного проектирования, проведение проектных расчетов и технико-экономическим обоснованием конструкторских решений; оценка технологичности конструкторских решений, разработка технологических процессов сборки и контроля элементов, устройств и систем; составление технической документации, включая инструкции по эксплуатации, программы испытаний, технические условия; участие в наладке, испытаниях и сдаче в эксплуатацию опытных образцов.	элементная база, системы и методы, обеспечивающие оптическую передачу, прием, обработку, запись и хранение информации;		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/ Практи. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>1 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	4/12/0		25	КИ-8	3-ПК-1.5, У-ПК-1.5, В-ПК-1.5, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4,

							У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
2	Второй раздел	9-16	4/12/0		25	КИ-16	З-ПК-1.5, У-ПК-1.5, В-ПК-1.5, 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
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		8/24/0		50		
	Контрольные мероприятия за 1 Семестр				50	Э	З-ПК-1.5, У-ПК-1.5, В-ПК-1.5, 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

* – 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>1 Семестр</i>	8	24	0
1-8	Первый раздел	4	12	0
1 - 2	Тема 1. Общее введение в курс "Диодные лазеры" Особенности полупроводниковых лазеров (ПЛ). Возможность непосредственного преобразования энергии электрического тока в световую энергию. Высокий КПД.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	Компактность. Различные методы возбуждения и режимы работы. Области применения (оптическая связь, проекционное телевидение, дальнометрия, спектроскопия и т.д.).			
3 - 6	Тема 2. Взаимодействие электромагнитного поля с полупроводником Описание электромагнитного поля. Волновые функции электронов в полупроводниках. Взаимодействие света с полупроводником. Вероятности поглощения- излучения света в полупроводниках при межзонных переходах. Прямые и непрямые переходы в полупроводниках	Всего аудиторных часов		
		2	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	Тема 3. Спонтанное и вынужденное излучение света в полупроводниках Выражение для усиления и поглощения. Спонтанное излучение. Условие усиления электромагнитного излучения в полупроводниках. Понятие квазиуровней Ферми. Различные методы возбуждения для получения усиления.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Второй раздел	4	12	0
9 - 12	Тема 4. Инжекционные (диодные) лазеры (ИЛ). Условие получения усиления при инжекции тока через р-п переход. Условие самовозбуждения. Обратная связь, резонаторы. КПД ИЛ. Зависимость порогового тока от температуры. Гетеролазеры, Оптическое ограничение. ИЛ на квантовых ямах и квантовых точках. Вертикально излучающие ИЛ. Униполярные ИЛ.Монолитные линейки ИЛ. Динамика излучения ИЛ и спектральный состав. Современная технология изготовления ИЛ. Применения ИЛ (связь, локация и т.д).	Всего аудиторных часов		
		2	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	Тема 5. Полупроводниковые лазеры с катодно-лучевой накачкой. Полупроводниковые лазеры с электронным возбуждением. Процесс прохождения быстрых электронов через твердое тело. Распределение неравновесных электронно-дырочных пар по энергиям. Оценка плотности порогового тока. Поперечная и продольная накачка. КПД. Применения (лазерная электронно-лучевая трубка – ЛЭЛТ, локация, дисплейные технологии.).Перспективы развития	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
15 - 16	Тема 6. Другие методы возбуждения ПЛ Импульсный метод возбуждения ПЛ сильным электрическим полем. Стриммерные ПЛ. Оптическая накачка.	Всего аудиторных часов		
		0	4	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 аудиторские занятия в виде лекций и семинаров, а также самостоятельная работа студентов, заключающаяся в повторении ранее пройденного материала и подготовке к контрольным мероприятиям.

С целью формирования и развития профессиональных навыков, обучающихся в учебном процессе, широко используются технологии активного обучения, интерактивные формы проведения занятий – дискуссии, обсуждение тем для самостоятельного изучения.

Рекомендуется посещение студентами научных семинаров и конференций, проводимых в ФИАН, в НИЯУ МИФИ, а также в других московских университетах и институтах.

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-1.5	З-ПК-1.5	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1.5	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1.5	Э, КИ-8, КИ-16
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-4	З-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-4	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

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-х 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 логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
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 К 44 Квантовая и оптическая электроника : учебное пособие, Киселев Г. Л., Санкт-Петербург: Лань, 2020
2. ЭИ Б 82 Лазеры: устройство и действие : , Ивакин С. В., Бореjšо А. С., Санкт-Петербург: Лань, 2022
3. 537 Г90 Основы физики полупроводников. Нанопфизика и технические приложения : , Грундман М., Москва: Физматлит, 2012
4. 537 Ш18 Физика полупроводников : учебник, Шалимова К.В., Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2010

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

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

Курс предполагает ряд основных видов работы:

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

Перечисленные виды работы составляют целостную систему обучения, обеспечивающую разностороннюю подготовку учащегося и призваны повысить уровень его общепрофессиональной и профессиональной компетентности.

Структура курса предполагает освоение каждой предлагаемой темы в несколько этапов.

Начальный этап предусматривает проведение лекционных занятий.

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

На заключительном этапе работы магистрантам предлагаются такие виды работы, как выполнение тестовых заданий и контрольных заданий

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Дисциплина «Диодные лазеры» предполагает ряд основных видов работы:

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

Перечисленные виды работы составляют целостную систему обучения, обеспечивающую разностороннюю подготовку учащегося и призваны повысить уровень его общепрофессиональной и профессиональной компетентности.

Структура курса предполагает освоение каждой предлагаемой темы в несколько этапов.

Начальный этап предусматривает проведение лекционных занятий.

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

На заключительном этапе работы магистрантам предлагаются такие виды работы, как выполнение тестовых заданий и контрольных заданий.

Автор(ы):

Величанский Владимир Леонидович, к.ф.-м.н.