

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] 12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии

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

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 лазерных технологий фотоники на основе проведения библиографической работы с применением современных информационных технологий; построение математических моделей объектов исследования, выбор алгоритма решения задачи; теоретические и экспериментальные исследования в области лазерных технологий фотоники; оформление отчетов, статей, рефератов на базе современных средств редактирования и печати в соответствии с установленными требованиями	автокорреляционные, спектроскопические, интерферометрические и другие методы и системы для всестороннего исследования излучения; процессы генерации, усиления, модуляции, распространения и детектирования лазерного излучения; математические модели объектов исследования	ПК-4.1 [1] - способен разрабатывать новые методы лазерной диагностики сред и объектов на основе достижений современных лазерных технологий фотоники, обеспечивающие модернизацию экономики и развитие фундаментальной и прикладной науки <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004	З-ПК-4.1[1] - Знать основные достижения и проблемы современной оплотехники, обеспечивающие модернизацию экономики и развитие фундаментальной и прикладной науки; У-ПК-4.1[1] - Уметь анализировать состояние и перспективы развития оплотехники в целом и ее отдельных направлений; В-ПК-4.1[1] - Владеть навыками поиска и анализа научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по разработке оптических и оптико-электронных приборов и комплексов
формулирование задачи и плана научного исследования в области лазерных	автокорреляционные, спектроскопические, интерферометрические и другие методы и системы для	ПК-4.3 [1] - способен ставить экспериментальные задачи и проводить экспериментальные	З-ПК-4.3[1] - Знать основные методы экспериментальных исследований с применением

технологий фотоники на основе проведения библиографической работы с применением современных информационных технологий; построение математических моделей объектов исследования, выбор алгоритма решения задачи; теоретические и экспериментальные исследования в области лазерных технологий фотоники; оформление отчетов, статей, рефератов на базе современных средств редактирования и печати в соответствии с установленными требованиями	всестороннего исследования излучения; процессы генерации, усиления, модуляции, распространения и детектирования лазерного излучения; математические модели объектов исследования	исследования в области лазерных технологий фотоники; применять современные средства измерений, средства управления экспериментом, сбора и обработки данных <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004	лазеров, методы сбора и обработки данных ; У-ПК-4.3[1] - Уметь ставить экспериментальные задачи и проводить экспериментальные исследования в области лазерных технологий фотоники; применять современные средства измерений, средства управления экспериментом, сбора и обработки данных; В-ПК-4.3[1] - Владеть навыками проведения экспериментальных исследований в области лазерных технологий фотоники, применения современных средств измерений
формулирование задачи и плана научного исследования в области лазерных технологий фотоники на основе проведения библиографической работы с применением современных информационных технологий; построение математических моделей объектов исследования, выбор алгоритма решения задачи; теоретические и экспериментальные исследования в	автокорреляционные, спектроскопические, интерферометрические и другие методы и системы для всестороннего исследования излучения; процессы генерации, усиления, модуляции, распространения и детектирования лазерного излучения; математические модели объектов исследования	ПК-1 [1] - способен выбирать оптимальный метод и разрабатывать программы экспериментальных исследований лазерных приборов, систем, комплексов и технологий; проводить оптические, фотометрические и электрические измерения с выбором необходимых технических средств и обработкой полученных результатов <i>Основание:</i>	З-ПК-1[1] - Знать: основные методы исследований лазерных приборов, систем, комплексов и технологий; источники и приёмники оптического излучения; элементную базу лазерной техники; области применения лазерной техники и лазерных технологий; ; У-ПК-1[1] - Уметь: выбирать необходимые технические средства для проведения

области лазерных технологий фотоники; оформление отчетов, статей, рефератов на базе современных средств редактирования и печати в соответствии с установленными требованиями		Профессиональный стандарт: 29.004	оптических, фотометрических и электрических измерений; обрабатывать полученные экспериментальные результаты ; В-ПК-1[1] - Владеть: навыками проведения оптических, фотометрических и электрических измерений, обработки экспериментальных данных
проектно-конструкторский			
проведение фундаментальных научно-исследовательских работ с использованием гибридных лазерных систем фотоники (под гибридными лазерными системами понимаются устройства объединяющие в себе несколько подходов к формированию лазерного излучения, такие как связка полупроводникового лазера и системы волоконных и твердотельных усилителей, что позволяет использовать преимущества каждого блока системы); разработка новых методов в области лазерных технологий и создание приборов и систем на их основе	полупроводниковые, волоконные, твердотельные лазеры и усилители, и другие лазерные приборы, системы и технологии различного назначения; элементная база, системы, материалы, методы и технологии, обеспечивающие оптическую передачу, прием, обработку, запись и хранение информации; процессы генерации, усиления, модуляции, распространения и детектирования лазерного излучения;	ПК-3 [1] - способен разрабатывать функциональные и структурные схемы приборов и систем лазерной техники с определением их физических принципов действия, структурно-логических связей и установлением технических требований на отдельные блоки и элементы <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-3[1] - Знать: физические принципы действия приборов и систем лазерной техники, ; У-ПК-3[1] - Уметь: проводить сравнительный анализ изделий-аналогов; формулировать технические требования на отдельные блоки, узлы и элементы приборов и систем лазерной техники; разрабатывать и исследовать новые способы и принципы функционирования приборов и систем лазерной техники ; В-ПК-3[1] - Владеть: методами анализа и расчета ожидаемых параметров разрабатываемых приборов и систем лазерной техники.

производственно-технологический			
проведение прикладных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области лазерных технологий фотоники; проектирование, разработка и внедрение лазерных технологических процессов, систем и элементов лазерных комплексов	элементная база, системы и технологии гибридных лазерных систем; элементная база, системы, материалы, методы и технологии, обеспечивающие оптическую передачу, прием, обработку, запись и хранение информации	ПК-7 [1] - способен руководить работами по доводке и освоению лазерных технологий и техпроцессов производства лазерных приборов, систем и комплексов <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.037	З-ПК-7[1] - Знать: элементную базу, используемую в изделиях лазерной техники; оптические материалы и технологии, в т.ч. для лазерной техники; основы и принципы оптических измерений; основные лазерные технологии ; У-ПК-7[1] - Уметь: рассчитывать параметры и характеристики лазерных приборов и систем; выбирать элементы лазерных приборов и систем; выбирать контрольно-измерительную аппаратуру; обосновывать предлагаемые технические решения. ; В-ПК-7[1] - Владеть: методами лазерных измерений; методами работы с научно-технической литературой и информацией.

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	Первый раздел	1-8	4/12/0		25	КИ-8	З-ПК-4.1,

							У-ПК-4.1, В-ПК-4.1, З-ПК-4.3, У-ПК-4.3, В-ПК-4.3, З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7
2	Второй раздел	9-15	3/11/0		25	КИ-15	З-ПК-4.1, У-ПК-4.1, В-ПК-4.1, З-ПК-4.3, У-ПК-4.3, В-ПК-4.3, З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		7/23/0		50		
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	Э	З-ПК-4.1, У-ПК-4.1, В-ПК-4.1, З-ПК-4.3, У-ПК-4.3, В-ПК-4.3, З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7

* – 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>2 Семестр</i>	7	23	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. Компактность. Различные методы возбуждения и режимы работы. Области применения (оптическая связь, проекционное телевидение, дальнометрия, спектроскопия и т.д.).	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
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
9-15	Второй раздел	3	11	0
9 - 12	Тема 4. Инжекционные (диодные) лазеры (ИЛ). Условие получения усиления при инжекции тока через p-n 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	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
		0	0	0

	(лазерная электронно-лучевая трубка – ЛЭЛТ, локация, дисплейные технологии.). Перспективы развития			
15	Тема 6. Другие методы возбуждения ПЛ Импульсный метод возбуждения ПЛ сильным электрическим полем. Стриммерные ПЛ. Оптическая накачка.	Всего аудиторных часов		
		0	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

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении данной дисциплины основную роль играют аудиторные 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	З-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-3	З-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-15

ПК-4.1	З-ПК-4.1	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-4.1	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-4.1	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-4.3	З-ПК-4.3	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-4.3	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-4.3	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-7	З-ПК-7	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-7	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-7	Э, КИ-8, КИ-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 – <i>«отлично»</i>	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 – <i>«хорошо»</i>	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 – <i>«удовлетворительно»</i>	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 – <i>«неудовлетворительно»</i>	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 для вузов, Киселев Г. Л., Санкт-Петербург: Лань, 2023
2. ЭИ Б 82 Лазеры: устройство и действие : учебное пособие для вузов, Ивакин С. В., Борейшо А. С., Санкт-Петербург: Лань, 2023
3. 537 Г90 Основы физики полупроводников. Нанозифика 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.