

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 12.03.01 Приборостроение

Наименование образовательной программы: Компьютерная фотоника

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Заочная

Рабочая программа дисциплины
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ


Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.01.04
Трудоемкость в зачетных единицах:	7 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	7 семестр - 8 часов;
Практические занятия	7 семестр - 4 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	7 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	7 семестр - 128,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	7 семестр - 1,2 часа;
включая: Тестирование Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	7 семестр - 0,3 часа;

Москва 2023

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Паршин В.А.
	Идентификатор	R683b30a4-ParshinVA-d4b11303

(подпись)

В.А. Паршин

(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Скорнякова Н.М.
	Идентификатор	R984920bc-SkorniakovaNM-67f74b6

(подпись)


Н.М.

Скорнякова

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Скорнякова Н.М.
	Идентификатор	R984920bc-SkorniakovaNM-67f74b6

(подпись)

Н.М.

Скорнякова

(расшифровка подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Изучение физики процессов в полупроводниковых лазерах и их приборных характеристик.

Задачи дисциплины

- изучение возможностей использования полупроводниковых лазеров в современных квантово-оптических системах;
- изучение физических явлений в полупроводниковых лазерах, их приборных характеристик и параметров излучения;
- приобретение навыков приятия и обоснования конкретных технических решений при исследовании и конструировании элементов квантово-оптических систем.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-2 способен осуществлять разработку технологических процессов и технической документации на изготовление, сборку, юстировку и контроль оптических, оптико-электронных, механических блоков, узлов и деталей	ИД-2ПК-2 Анализ состояния технологий изготовления, сборки, юстировки и контроля современных оптических и оптико-электронных приборов и комплексов	знать: - условия формирования характеристик излучения полупроводниковых лазеров, требуемых при конструировании квантово-оптических систем и их составных частей; - физические законы, лежащие в основах работы полупроводниковых лазеров, применяемых в квантово-оптических системах. уметь: - проводить классификацию полупроводниковых лазеров в зависимости от их параметров и возможности использования в системах навигации и связи; - применять современную приборную базу к проектированию и разработке квантово-оптических систем.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Компьютерная фотоника (далее – ОПОП), направления подготовки 12.03.01 Приборостроение, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать фундаментальные законы квантовой механики
- уметь определять, какие законы оптики обуславливают явления или процессы в устройствах различной физической природы, и выполнять применительно к ним простые технические расчёты
- уметь применять основные физические явления, законы оптики и их математическое описание к решению задач
- уметь определять, какие законы квантовой механики обуславливают явления или процессы в устройствах различной физической природы, и выполнять применительно к ним простые технические расчёты

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Физика полупроводников, входящих в состав полупроводниковых лазеров	69.00	7	4.00	-	2.6	-	-	-	0.4	-	62	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу. Подготовка к тесту №1 <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение лекционного и дополнительного материала по разделу <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 6-29, 30-49, 50-73, 95-105 [2], стр. 12, 23 [3], стр. 22-69, 35-36, 69-82, 93-120, 224-229, 302-313</p>	
1.1	Энергетическая зонная структура полупроводников	19.6		1	-	0.5	-	-	-	0.1	-	18	-		
1.2	Локализованные состояния в полупроводниках. Статистика электронов и дырок	13.15		0.75	-	0.3	-	-	-	0.1	-	12	-		
1.3	Процессы поглощения и излучения в полупроводниках	22.4		1.5	-	0.8	-	-	-	0.1	-	20	-		
1.4	Диффузия и дрейф носителей заряда. P-n переходы и гетеропереходы	13.85		0.75	-	1	-	-	-	0.1	-	12	-		
2	Генерация излучения в полупроводниковых лазерах	12.9		0.5	-	0.2	-	-	-	0.2	-	12	-		<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу. Подготовка к контрольной работе №1 <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение лекционного и дополнительного материала по разделу. <u>Изучение материалов литературных</u></p>
2.1	Вынужденное излучение в полупроводниках. Усиление и генерация излучения.	12.9		0.5	-	0.2	-	-	-	0.2	-	12	-		

													источников: [1], стр. 74-86 [2], стр. 14
3	Собственные типы волн в полупроводниковых лазерах с планарным и полосковым волноводом	13.4	1	-	0.2	-	-	-	0.2	-	12	-	Подготовка к текущему контролю: Повторение материала по разделу. Подготовка к тесту №2 Самостоятельное изучение теоретического материала: Изучение лекционного и дополнительного материала по разделу. Изучение материалов литературных источников: [1], стр. 89-94
3.1	Трёхслойные плоские волноводы с конечной проводимостью. Боковое оптическое ограничение.	13.4	1	-	0.2	-	-	-	0.2	-	12	-	
4	Конструктивные особенности и характеристики полупроводниковых лазеров	28.7	2.5	-	1.0	-	-	-	0.4	-	24.8	-	Подготовка к текущему контролю: Повторение материала по разделу. Подготовка к контрольной работе №2 Самостоятельное изучение теоретического материала: Изучение лекционного и дополнительного материала по разделу. Изучение материалов литературных источников: [1], стр. 106-108 [2], стр. 20, 23
4.1	Структура и технология изготовления инжекционных лазеров. Квантово-размерные слои.	13.8	1	-	0.2	-	-	-	0.2	-	12.4	-	
4.2	Основные приборные характеристики и спектры излучения полупроводниковых лазеров	14.9	1.5	-	0.8	-	-	-	0.2	-	12.4	-	
	Зачет с оценкой	20.0	-	-	-	-	2	-	-	0.3	-	17.7	
	Всего за семестр	144.00	8.00	-	4.0	-	2	-	1.2	0.3	110.8	17.7	
	Итого за семестр	144.00	8.00	-	4.0		2		1.2	0.3	128.5		

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Физика полупроводников, входящих в состав полупроводниковых лазеров

1.1. Энергетическая зонная структура полупроводников

Уравнение Шредингера для кристалла. Адиабатическое приближение. Одноэлектронное приближение.. Трансляционная симметрия. Функция Блоха. Зоны Бриллюэна. Приближение слабосвязанных электронов. Отражение Брэгга и энергетическая щель. Приближение сильносвязанных электронов.. Эффективная масса электронов. Понятие дырки. Число состояний в разрешенных зонах энергий.. Деление веществ на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории. Энергетическая зонная структура основных полупроводников..

1.2. Локализованные состояния в полупроводниках. Статистика электронов и дырок

Водородоподобные примеси. Метод эффективной массы. Колебания решётки. Фононы. Экситоны. Плотность состояний для электронов и дырок.. Функция распределения Ферми-Дирака. Уровень Ферми. Равновесные и неравновесные концентрации электронов и дырок в зонах проводимости и валентной зоне для собственного и примесного полупроводников. Квазиуровни Ферми..

1.3. Процессы поглощения и излучения в полупроводниках

Прямые и не прямые оптические переходы. Влияние внешних факторов (температуры, давления) на край поглощения. Собственное поглощение в сильном электрическом поле.. Эффект Франца-Келдыша. Зависимость положения края полосы поглощения от концентрации примесей. Эффект Бурштейна-Мосса. Экситонное поглощение. Переходы между зоной и примесным уровнем. Переходы между донорами и акцепторами.. Внутризонные переходы в полупроводниках р-типа и n-типа. Поглощение свободными носителями заряда. Решеточное поглощение. Излучательные переходы в полупроводниках.. Скорость излучательной рекомбинации. Время жизни носителей заряда. Рекомбинация через центры рекомбинации. Оже-рекомбинация..

1.4. Диффузия и дрейф носителей заряда. Р-n переходы и гетеропереходы

Диффузия и дрейф основных и неосновных носителей. Уравнение непрерывности.. Р-n переходы и гетеропереходы. Энергетическая диаграмма. Вольт-амперные характеристики.. Анизотипные и изотипные гетеропереходы. Двойные гетероструктуры..

2. Генерация излучения в полупроводниковых лазерах

2.1. Вынужденное излучение в полупроводниках. Усиление и генерация излучения.

История развития полупроводниковых лазеров. Применение полупроводниковых лазеров. Особенности лазерного эффекта в полупроводниках.. Спектральный диапазон и интервал значений мощности излучения. Вынужденное излучение в полупроводниках. Необходимое условие вынужденного излучения.. Классификация полупроводниковых лазеров по способам возбуждения. Лазеры с накачкой электронным пучком и оптической накачкой. Инжекционные лазеры.. Условие генерации для проводящей активной среды. Резонаторы..

3. Собственные типы волн в полупроводниковых лазерах с планарным и полосковым волноводом

3.1. Трёхслойные плоские волноводы с конечной проводимостью. Боковое оптическое ограничение.

Распространение электромагнитных волн в среде с конечной проводимостью..
Комплексный показатель преломления. Волноводный эффект в инжекционных лазерах..
Условия возникновения фундаментальной моды и мод более высокого порядка.
Коэффициент оптического ограничения.. Оптическое ограничение в боковых направлениях..

4. Конструктивные особенности и характеристики полупроводниковых лазеров

4.1. Структура и технология изготовления инжекционных лазеров. Квантово-размерные слои.

Изготовление и основные конструкции полупроводниковых лазеров.. Лазеры полосковой геометрии.. Боковая диффузия носителей заряда.. Квантово-размерные структуры. Способы получения.. Напряжённые квантово-размерные слои.. Энергетическая диаграмма потенциальной ямы..

4.2. Основные приборные характеристики и спектры излучения полупроводниковых лазеров

Воль-тамперные и ватт-амперные характеристики лазеров с широким контактом и полосковых лазеров.. Эффективность преобразования и КПД.. Температурные зависимости плотности порогового тока для лазеров с широким контактом и полосковых лазеров, лазеров на основе квантово-размерных структур.. Излучательные свойства лазеров с широким контактом и полосковых лазеров. Угловая расходимость. Картина дальнего поля. Спектры излучения в зависимости от плотности тока накачки..

3.3. Темы практических занятий

1. Локализованные состояния в полупроводниках. Статистика электронов и дырок;
2. Основные приборные характеристики и спектры излучения полупроводниковых лазеров;
3. Структура и технология изготовления инжекционных лазеров. Квантово-размерные слои.;
4. Трёхслойные плоские волноводы с конечной проводимостью. Боковое оптическое ограничение.;
5. Вынужденное излучение в полупроводниках. Усиление и генерация излучения;
6. Диффузия и дрейф носителей заряда. P-n переходы и гетеропереходы;
7. Процессы поглощения и излучения в полупроводниках;
8. Энергетическая зонная структура кристаллических полупроводниковых материалов.

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Текущий контроль (ТК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Физика полупроводников, входящих в состав полупроводниковых лазеров"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Генерация и распространение излучения в полупроводниковых лазерах"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Собственные типы волн в полупроводниковых лазерах с планарным и полосковым волноводом"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Конструктивные особенности и характеристики полупроводниковых лазеров"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
Знать:						
физические законы, лежащие в основах работы полупроводниковых лазеров, применяемых в квантово-оптических системах	ИД-2ПК-2	+				Тестирование/Тест № 1. Зонная энергетическая структура и локализованные состояния в полупроводниках
условия формирования характеристик излучения полупроводниковых лазеров, требуемых при конструировании квантово-оптических систем и их составных частей	ИД-2ПК-2		+			Контрольная работа/Контрольная работа 1. Поглощение и излучение в полупроводниковых материалах
Уметь:						
применять современную приборную базу к проектированию и разработке квантово-оптических систем	ИД-2ПК-2				+	Контрольная работа/Контрольная работа 2. Основные рабочие и излучательные характеристики полупроводниковых лазеров
проводить классификацию полупроводниковых лазеров в зависимости от их параметров и возможности использования в системах навигации и связи	ИД-2ПК-2			+		Тестирование/Тест 2. Лазеры на основе квантово-размерных структур

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

7 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа 1. Поглощение и излучение в полупроводниковых материалах (Контрольная работа)
2. Контрольная работа 2. Основные рабочие и излучательные характеристики полупроводниковых лазеров (Контрольная работа)
3. Тест 2. Лазеры на основе квантово-размерных структур (Тестирование)
4. Тест № 1. Зонная энергетическая структура и локализованные состояния в полупроводниках (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №7)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 7 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Коваль, О. И. Полупроводниковые лазеры : Учебное пособие по курсу "Лазерные источники света" по направлению "Электроника и микроэлектроника" / О. И. Коваль, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2004 . – 122 с. - ISBN 5-7046-1169-9 .;
2. Источники лазерного излучения : задачник по направлению "Электроника и наноэлектроника" / В. В. Близнюк, П. Г. Зверев, О. И. Коваль, В. А. Паршин, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2018 . – 46 с. - ISBN 978-5-7046-1692-4 .
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10312;](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10312)
3. Шалимова К. В.- "Физика полупроводников", (4-е изд., стер.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2022 - (384 с.)
[https://e.lanbook.com/book/210524.](https://e.lanbook.com/book/210524)

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Майнд Видеоконференции.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-417/6, Белая мультимедийная студия	стол компьютерный, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, компьютер персональный
	Ж-417/7, Световая черная студия	стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, микрофон, мультимедийный проектор, экран, оборудование специализированное, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-417/1, Компьютерный класс ИДДО	стол преподавателя, стол компьютерный, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная передвижная, компьютер персональный, принтер, кондиционер, стенд информационный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-417/1, Компьютерный класс ИДДО	стол преподавателя, стол компьютерный, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная передвижная, компьютер персональный, принтер, кондиционер, стенд информационный
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Ж-2006, Конференц-зал ИДДО	стол, стул, компьютер персональный, кондиционер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Ж-417 /2а, Помещение для инвентаря	стеллаж для хранения инвентаря, экран, указка, архивные документы, дипломные и курсовые работы студентов, канцелярский принадлежности, спортивный инвентарь, хозяйственный инвентарь, запасные комплектующие для оборудования

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Полупроводниковые лазеры

(название дисциплины)

7 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Тест № 1. Зонная энергетическая структура и локализованные состояния в полупроводниках (Тестирование)
- КМ-2 Контрольная работа 1. Поглощение и излучение в полупроводниковых материалах (Контрольная работа)
- КМ-3 Тест 2. Лазеры на основе квантово-размерных структур (Тестирование)
- КМ-4 Контрольная работа 2. Основные рабочие и излучательные характеристики полупроводниковых лазеров (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Физика полупроводников, входящих в состав полупроводниковых лазеров					
1.1	Энергетическая зонная структура полупроводников		+			
1.2	Локализованные состояния в полупроводниках. Статистика электронов и дырок		+			
1.3	Процессы поглощения и излучения в полупроводниках		+			
1.4	Диффузия и дрейф носителей заряда. P-n переходы и гетеропереходы		+			
2	Генерация излучения в полупроводниковых лазерах					
2.1	Вынужденное излучение в полупроводниках. Усиление и генерация излучения.			+		
3	Собственные типы волн в полупроводниковых лазерах с планарным и полосковым волноводом					
3.1	Трёхслойные плоские волноводы с конечной проводимостью. Боковое оптическое ограничение.				+	
4	Конструктивные особенности и характеристики полупроводниковых лазеров					
4.1	Структура и технология изготовления инжекционных лазеров. Квантово-размерные слои.					+
4.2	Основные приборные характеристики и спектры излучения полупроводниковых лазеров					+
Вес КМ, %:			15	30	15	40