

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

---

Направление подготовки/специальность: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Лазерная и оптическая измерительная электроника

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.01.09</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>7 семестр - 4;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>144 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>7 семестр - 32 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>7 семестр - 32 часа;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>7 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>7 семестр - 77,5 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b>	
<b>Тестирование</b>	
<b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>7 семестр - 0,5 часа;</b>

**Москва 2021**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Коваль О.И.
	Идентификатор	R121ee132-KovalOI-3d30dc05

(подпись)

О.И. Коваль

(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	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)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	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-1 Способен осуществлять техническое управление разработкой проектов квантовооптических систем для решения задач диагностики, навигации, связи и контроля космического пространства	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Анализ исходных требований к разрабатываемому проекту квантово-оптических систем для решения задач диагностики, навигации, связи и контроля космического пространства	знать: - физические законы, лежащие в основах работы полупроводниковых лазеров, применяемых в квантово-оптических системах; - условия формирования характеристик излучения полупроводниковых лазеров, требуемых при конструировании квантово-оптических систем и их составных частей.
ПК-1 Способен осуществлять техническое управление разработкой проектов квантовооптических систем для решения задач диагностики, навигации, связи и контроля космического пространства	ИД-6 <sub>ПК-1</sub> Разработка технических заданий на разработку квантово-оптических систем в целом и их составных частей, эскизных и технических проектов	уметь: - применять современную приборную базу к проектированию и разработке квантово-оптических систем; - проводить классификацию полупроводниковых лазеров в зависимости от их параметров и возможности использования в системах навигации и связи.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Лазерная и оптическая измерительная электроника (далее – ОПОП), направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, 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	54	7	16	-	16	-	-	-	-	-	22	-	<p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Выполнения домашнего задания по разделу.</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу. Подготовка к тесту №1 и Контрольной работе №1</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение лекционного и дополнительного материала по разделу</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [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	14		4	-	4	-	-	-	-	-	6	-		
1.2	Локализованные состояния в полупроводниках. Статистика электронов и дырок	10		3	-	3	-	-	-	-	-	4	-		
1.3	Процессы поглощения и излучения в полупроводниках	20		6	-	6	-	-	-	-	-	8	-		
1.4	Диффузия и дрейф носителей заряда. P-n переходы и гетеропереходы	10		3	-	3	-	-	-	-	-	4	-		
2	Генерация и распространение излучения в полупроводниковых лазерах	22		6	-	6	-	-	-	-	-	10	-		<p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Выполнения домашнего задания по разделу.</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу. Подготовка к тесту №2</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение лекционного и дополнительного материала</p>
2.1	Вынужденное излучение в полупроводниках.	11		3	-	3	-	-	-	-	-	5	-		

	Усиление и генерация излучения.												по разделу. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 74-86, 89-94 [2], стр. 14
2.2	Трёхслойные плоские волноводы с конечной проводимостью. Боковое оптическое ограничение.	11	3	-	3	-	-	-	-	-	5	-	
3	Конструктивные особенности и характеристики полупроводниковых лазеров	32	10	-	10	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Выполнения домашнего задания по разделу. <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу. Подготовка к контрольной работе №2 <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение лекционного и дополнительного материала по разделу. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 106-108 [2], стр. 20, 23
3.1	Структура и технология изготовления инжекционных лазеров. Квантово-размерные слои.	13	4	-	4	-	-	-	-	-	5	-	
3.2	Основные приборные характеристики и спектры излучения полупроводниковых лазеров	19	6	-	6	-	-	-	-	-	7	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>44</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>77.5</b>		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – 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 и распространение 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..

2.2. 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..

### 3. Конструктивные особенности и характеристики полупроводниковых лазеров

3.1. 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..

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

### **3.4. Темы лабораторных работ** не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

#### Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

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 "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	
<b>Знать:</b>					
условия формирования характеристик излучения полупроводниковых лазеров, требуемых при конструировании квантово-оптических систем и их составных частей	ИД-1ПК-1		+		Контрольная работа/Контрольная работа 1. Поглощение и излучение в полупроводниковых материалах
физические законы, лежащие в основах работы полупроводниковых лазеров, применяемых в квантово-оптических системах	ИД-1ПК-1	+			Тестирование/Тест № 1. Зонная энергетическая структура и локализованные состояния в полупроводниках
<b>Уметь:</b>					
проводить классификацию полупроводниковых лазеров в зависимости от их параметров и возможности использования в системах навигации и связи	ИД-6ПК-1		+		Тестирование/Тест 2. Лазеры на основе квантово-размерных структур
применять современную приборную базу к проектированию и разработке квантово-оптических систем	ИД-6ПК-1			+	Контрольная работа/Контрольная работа 2. Основные рабочие и излучательные характеристики полупроводниковых лазеров

## **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**

Экзамен (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, 2010 - (384 с.)  
[https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=648](https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=648).

### **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](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	А-202, Учебная мультимедийная аудитория каф. Физики	парта, стол преподавателя, стул, шкаф для хранения инвентаря, доска интерактивная, мультимедийный проектор, доска маркерная, колонки, ноутбук
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	А-204, Учебная аудитория каф. Физики	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, колонки
Помещения для самостоятельной работы	А-111/1, Компьютерный класс каф. Физики	стол компьютерный, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, мультимедийный проектор, доска маркерная, колонки, компьютер персональный
Помещения для консультирования	А-201/1, Кабинет сотрудников каф. Физики	стол, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, колонки, компьютер персональный, принтер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Б-101/1, Склад каф. Физики им. В.А. Фабриканта	

## 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 – Экзамен.**

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. Р-n переходы и гетеропереходы		+			
2	Генерация и распространение излучения в полупроводниковых лазерах					
2.1	Вынужденное излучение в полупроводниках. Усиление и генерация излучения.			+		
2.2	Трёхслойные плоские волноводы с конечной проводимостью. Боковое оптическое ограничение.				+	
3	Конструктивные особенности и характеристики полупроводниковых лазеров					
3.1	Структура и технология изготовления инжекционных лазеров. Квантово-размерные слои.					+
3.2	Основные приборные характеристики и спектры излучения полупроводниковых лазеров					+
Вес КМ, %:			15	30	15	40