

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики**

**В.В. Иванов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Полупроводниковые лазеры
<b>по направлению:</b>	Электроника и наноэлектроника
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: микро- и наноэлектроника Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра фотоники
<b>курс:</b>	2
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: О.А. Рябушкин, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

Программа обсуждена на заседании кафедры фотоники 29.05.2020

## Аннотация

Курс "Полупроводниковые лазеры" предусматривает изучение физических основ, устройства и принципа работы полупроводниковых лазеров.

Задачи курса:

- Изучение свойств полупроводниковых гетероструктур;
- Изучение устройства и свойств различных типов полупроводниковых лазеров, изготовленных на основе гетероструктур.

По результатам освоения курса студент должен:

Знать:

Устройство и принцип работы полупроводниковых лазеров

Назначение и область применения полупроводниковых лазеров

Уметь:

Понимать и анализировать современную научную литературу по полупроводниковым лазерам

Владеть:

Теоретическими аспектами описания свойств полупроводников и полупроводниковых гетероструктур.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Электронно-дырочный (p-n) переход
2. Двойная гетероструктура p-n-n<sup>+</sup>
3. Физические принципы работы полупроводниковых лазеров
4. Мощные полупроводниковые лазерные диоды
5. Полупроводниковые лазеры с обратной связью
6. Особенности и устройство различных типов полупроводниковых лазеров

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- изучение физических основ, устройства и принципа работы полупроводниковых лазеров.

### Задачи дисциплины

- изучение свойств полупроводниковых гетероструктур;
- изучение устройства и свойств различных типов полупроводниковых лазеров, изготовленных на основе гетероструктур.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценить качество разработанной модели

новые научные результаты

ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- устройство и принцип работы полупроводниковых лазеров;
- назначение и область применения полупроводниковых лазеров.

уметь:

- понимать и анализировать современную научную литературу по полупроводниковым лазерам.

владеть:

- теоретическими аспектами описания свойств полупроводников и полупроводниковых гетероструктур.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Электронно-дырочный (p-n) переход		2		4
2	Двойная гетероструктура p-n-n <sup>+</sup>		4		4
3	Физические принципы работы полупроводниковых лазеров		8		4
4	Мощные полупроводниковые лазерные диоды		6		4
5	Полупроводниковые лазеры с обратной связью		4		6
6	Особенности и устройство различных типов полупроводниковых лазеров		6		8
Итого часов			30		30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 3 (Осенний)

##### 1. Электронно-дырочный (p-n) переход

Электронно-дырочный (p-n) переход. Энергетическая зонная диаграмма p-n перехода, уровень Ферми. Химический потенциал, электронное средство. Распределение электронных состояний в гомогенной структуре p-n перехода. Потенциальный барьер в p-n переходе. Ширина и ёмкость области p-n перехода. Инжекция неосновных носителей в p-n переходе при приложении прямого напряжения.

##### 2. Двойная гетероструктура p-n-n<sup>+</sup>

Энергетическая зонная диаграмма двойной гетероструктуры p-n-p<sup>+</sup> в условиях теплового равновесия. Энергетическая зонная диаграмма двойной гетероструктуры p-n-p<sup>+</sup> в условиях приложенного внешнего электрического поля. Методы изготовления полупроводниковых гетероструктур.

### 3. Физические принципы работы полупроводниковых лазеров

Квантовый генератор, активная среда, спонтанное и вынужденное излучение. Оптический резонатор, моды резонатора. Квазиуровни Ферми для электронов и дырок, распределение Ферми. Оптические свойства гетероструктур. Эффекты в гетероструктурах: эффект широкозонного «окна», эффект односторонней инжекции, эффект суперинжекции, волноводный эффект. Условие усиления, электронная температура.

### 4. Мощные полупроводниковые лазерные диоды

Двойная гетероструктура для мощного полупроводникового лазера. Полосковый лазерный диод на основе GaAs/AlGaAs гетероструктур. Параметры многомодового излучения мощного полупроводникового лазерного диода. Мощные полупроводниковые лазерные диоды многомодового излучения для оптической накачки волоконных лазеров. Пороговое значение тока инжекции мощных полупроводниковых лазерных диодов.

### 5. Полупроводниковые лазеры с обратной связью

Устройство, принцип работы полупроводниковых лазеров с распределённой обратной связью (DFB). Устройство, принцип работы полупроводниковых лазеров с обратной связью на основе Брэгговского отражения (DBR).

### 6. Особенности и устройство различных типов полупроводниковых лазеров

Поверхностно излучающие полупроводниковые лазеры с вертикальным резонатором. Каскадные полупроводниковые лазеры. Полупроводниковые лазеры на квантовых точках. Фотодетекторы на основе гетероструктур.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, оснащенная мультимедиа проектором, экраном и микрофоном.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Ю Питер, М. Кардона. Основы физики полупроводников. Пер. с англ. И. И. Решиной. Под ред. Б. П. Захарчени. — 3-е изд. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002.
2. Zh. I. Alferov, Semiconductor heterostructures: Physical processes and applications. MIR, 1989.
3. Шур М. Физика полупроводниковых приборов. В 2-х томах. Пер. с англ. М.: Мир, 1992.
4. W. W. Chow and S. W. Koch. Semiconductor-Laser Fundamentals. Springer, Berlin 1999. 998.

### Дополнительная литература

1. К.В. Шалимова. Физика полупроводников. М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1990
3. H. Reick. Semiconductor Lasers: Basic Physics, Technology, and Design. Macdonald & Co, 1970.

## 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. <http://www.opticsinfobase.org>
2. <http://www.elsevier.com>
3. <http://www.sciencedirect.com>
4. <http://www.elibrary.ru>

**8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

на занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

**9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, прослушавший курс семинаров, должен овладеть общим понятийным аппаратом и научиться применять теоретические знания на практике.

Успешное освоение курса требует:

- 1) посещения всех семинаров, предусмотренных учебным планом; ведение конспектов занятий; активное участие в обсуждении семинаров;
- 2) важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультацией к докладчику на семинаре.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Электроника и нанoeлектроника
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: микро- и нанoeлектроника Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра фотоники
<b>курс:</b>	2
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	О.А. Рябушкин, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценить качество разработанной модели
	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Полупроводниковые лазеры» обучающийся должен:

### знать:

- устройство и принцип работы полупроводниковых лазеров;
- назначение и область применения полупроводниковых лазеров.

### уметь:

- понимать и анализировать современную научную литературу по полупроводниковым лазерам.

### владеть:

- теоретическими аспектами описания свойств полупроводников и полупроводниковых гетероструктур.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия.

## 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы для подготовки к экзамену:

1. Электронно-дырочный (p-n) переход
2. Двойная гетероструктура p-n-n<sup>+</sup>
3. Физические принципы работы полупроводниковых лазеров
4. Мощные полупроводниковые лазерные диоды
5. Полупроводниковые лазеры с обратной связью
6. Особенности и устройство различных типов полупроводниковых лазеров

Примеры экзаменационных билетов.

Пример 1.

1. Двойная гетероструктура p-n-n<sup>+</sup>
2. Физические принципы работы полупроводниковых лазеров

Пример 2.

1. Электронно-дырочный (p-n) переход
2. Особенности и устройство различных типов полупроводниковых лазеров

## Критерии оценивания

### 10 баллов — (ПРЕВОСХОДНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы, а также по основным вопросам, выходящим за ее пределы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку, использовать научные достижения других дисциплин;
- творческая самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, активное участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

### 9 баллов — (ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации в рамках учебной программы, полное усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

### 8 баллов — (ПОЧТИ ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины (методами комплексного анализа, техникой информационных технологий), умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; способность самостоятельно решать сложные проблемы в рамках учебной программы;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку с позиций государственной идеологии (по дисциплинам социально-гуманитарного цикла);
- активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, систематическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

### 7 баллов — (ОЧЕНЬ ХОРОШО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), лингвистически и логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;



- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

6 баллов — (ХОРОШО):

- достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной программы;
- использование необходимой научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач; способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку; активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

5 баллов — (ПОЧТИ ХОРОШО):

- достаточные знания в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

4 балла — (УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), ЗАЧТЕНО:

- достаточный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- умение под руководством преподавателя решать стандартные (типовые) задачи;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им оценку;
- работа под руководством преподавателя на практических, лабораторных занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий.

3 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), НЕЗАЧТЕНО:

- недостаточно полный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- знание части основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными лингвистическими и логическими ошибками;
- слабое владение инструментарием учебной дисциплины, некомпетентность в решении стандартных (типовых) задач;
- неумение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях изучаемой дисциплины;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

2 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- фрагментарные знания в рамках образовательного стандарта;
- знания отдельных литературных источников, рекомендованных учебной программой дисциплины;
- неумение использовать научную терминологию дисциплины, наличие в ответе грубых стилистических и логических ошибок;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

1 балл — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- отсутствие знаний и компетенций в рамках образовательного стандарта или отказ от ответа.

**5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

При проведении экзамена обучающемуся предоставляется до 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов в устной и (или) письменной форме.