

**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

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Полупроводниковые лазеры
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра фотоники
курс:	2
квалификация:	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-p⁺
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-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели

новые научные результаты

ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

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 ⁺		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⁺

Энергетическая зонная диаграмма двойной гетероструктуры p-n-p⁺ в условиях теплового равновесия. Энергетическая зонная диаграмма двойной гетероструктуры p-n-p⁺ 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.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра фотоники
курс:	<u>2</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен	
Разработчик:	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-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

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⁺
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⁺
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.