

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ БИОМЕДИЦИНЫ  
КАФЕДРА ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ КВАНОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ И БИОФОТОНИКИ

ОДОБРЕНО НТС ИФИБ

Протокол № 5/25  
от 18.11.2025

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИСКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

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, экз./зач./КР/КП
9	4	144	32	16	0		51	0	Э
Итого	4	144	32	16	0	8	51	0	

## АННОТАЦИЯ

Дисциплина является частью профессионального модуля образовательной программы. Курс вводит студента в область современных полупроводниковых технологий, позволяющих совместить достоинства полупроводникового и твердотельного лазеров. В результате курса студент должен освоить физические основы полупроводникового лазера с резонансно-периодическим усилением, изучить проблемы создания активной гетероструктуры с встроенным брэгговским зеркалом, представлять возможности данной технологии в освоении новых спектральных диапазонов от среднего ультрафиолетового до терагерцового диапазона на основе внутрирезонаторного нелинейного преобразования излучения полупроводникового дискового лазера.

В курсе изучается физика, технология изготовления и различные применения полупроводниковых дисковых лазеров в народном хозяйстве и оборонной технике. Кратко приводятся необходимые сведения из физики и технологии полупроводниковых гетероструктур и квантовой электроники. Рассматриваются одномерные фотонные кристаллы, брэгговские зеркала, периодические гетероструктуры с квантовыми ямами, обеспечивающие резонансно-периодическое усиление. Изучаются технологические проблемы создания активных гетероструктур из различных соединений  $A_2B_6$  и  $A_3B_5$ , в том числе нитридных соединений  $A_3N$ . Приводятся основные условия обеспечения низкого порога генерации, высокого КПД. Рассматриваются различные способы накачки полупроводниковых лазеров: оптическая накачка, накачка электронным пучком и инжекционная накачка. Обсуждаются основные проблемы дальнейшего развития таких лазеров.

Дисциплина логически и содержательно-методически связана со следующими дисциплинами: полупроводниковые квантовые генераторы, фотоника, физика твердого тела, физика гетероструктур, физические основы технологии полупроводниковых лазеров, технология роста гетероструктур, твердотельные лазеры с диодной накачкой, мощные диодные лазеры.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Курс вводит студента в область современных полупроводниковых технологий, позволяющих совместить достоинства полупроводникового и твердотельного лазеров. В результате курса студент должен освоить физические основы полупроводникового лазера с резонансно-периодическим усилением, изучить проблемы создания активной гетероструктуры с встроенным брэгговским зеркалом, представлять возможности данной технологии в освоении новых спектральных диапазонов от среднего ультрафиолетового до терагерцового диапазона на основе внутрирезонаторного нелинейного преобразования излучения полупроводникового дискового лазера.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина логически и содержательно-методически связана со следующими дисциплинами: полупроводниковые квантовые генераторы, фотоника, физика твердого тела, физика гетероструктур, физические основы технологии полупроводниковых лазеров, технология роста гетероструктур, твердотельные лазеры с диодной накачкой, мощные диодные лазеры.

В курсе изучается физика, технология изготовления и различные применения полупроводниковых дисковых лазеров в народном хозяйстве и оборонной технике. Кратко

приводятся необходимые сведения из физики и технологии полупроводниковых гетероструктур и квантовой электроники. Рассматриваются одномерные фотонные кристаллы, брэгговские зеркала, периодические гетероструктуры с квантовыми ямами, обеспечивающие резонансно-периодическое усиление. Изучаются технологические проблемы создания активных гетероструктур из различных соединений A<sub>2</sub>B<sub>6</sub> и A<sub>3</sub>B<sub>5</sub>, в том числе нитридных соединений A<sub>3</sub>N. Приводятся основные условия обеспечения низкого порога генерации, высокого КПД. Рассматриваются различные способы накачки полупроводниковых лазеров: оптическая накачка, накачка электронным пучком и инжекционная накачка. Обсуждаются основные проблемы дальнейшего развития таких лазеров.

Овладение данной дисциплиной необходимо выпускникам для следующих областей профессиональной деятельности по исследованию и разработке:

- проведение научных исследований поставленных проблем в области полупроводниковых лазеров и их применений;
- формулировка новых задач, возникающих в ходе научных исследований;
- работа с научной литературой с использованием новых информационных технологий, слежение за научной периодикой;
- выбор технических средств, подготовка оборудования, работа на экспериментальных физических и технологических установках;
- выбор необходимых методов исследования;
- анализ получаемой физической информации с использованием современной вычислительной техники;
- применение результатов научных исследований в инновационной деятельности;
- разработка новых методов инженерно - технологической деятельности;
- участие в формулировке новых задач и разработке новых методических подходов в научно - инновационных исследованиях;
- обработка и анализ полученных данных с помощью современных информационных технологий;
- участие в организации научно - исследовательских и научно - инновационных работ, контроль за соблюдением техники безопасности;
- участие в организации семинаров, конференций;
- составление рефератов, написание и оформление научных статей;
- участие в подготовке заявок на конкурсы грантов и оформлении научно - технических проектов, отчетов и патентов;
- участие в организации инфраструктуры предприятий, в том числе информационной и технологической;
- подготовка и ведение семинарских занятий и лабораторных практикумов;
- руководство научной работой студентов;
- проведение кружковых занятий по физике.

### **3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ**

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции		
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			
- выявление актуальных проблем и тенденций в области физики - работа с научной литературой, в том числе с использованием информационных технологий, отслеживание отечественных и зарубежных работ в исследуемой области - выбор методов, современной аппаратуры и информационных технологий для проведения исследования - проведение теоретических и экспериментальных исследований	физические объекты и системы различного масштаба, уровня организации, физические явления и процессы, физические, инженерно-физические, биофизические технологии, методы, приборы, устройства	ПК-3 [1] - Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	3-ПК-3 [1] - знать методы проведения научных исследований и выполнения опытно-конструкторских работ в области физики У-ПК-3 [1] - уметь самостоятельно формулировать цели, ставить задачи научных исследований в своей профессиональной сфере; решать физические задачи с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта В-ПК-3 [1] - владеть навыками работы на современной аппаратуре, оборудовании; навыками использования информационных технологий в своей профессиональной области
- выявление актуальных проблем	физические объекты и системы	ПК-1.2 [1] - Способен применять на практике	3-ПК-1.2 [1] - Знать законы и принципы

<p>и тенденций в области физики - работа с научной литературой, в том числе с использованием информационных технологий, отслеживание отечественных и зарубежных работ в исследуемой области - выбор методов, современной аппаратуры и информационных технологий для проведения исследования - проведение теоретических и экспериментальных исследований</p>	<p>различного масштаба, уровня организации, физические явления и процессы, физические, инженерно-физические, биофизические технологии, методы, приборы, устройства</p>	<p>знания лазерной физики, физики полупроводников, оптики, физических основ взаимодействия излучения с веществом для качественного и количественного описания исследуемых объектов и явлений</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт 40.039, 40.037, 40.006</p>	<p>физики твердого тела, оптики, взаимодействия излучения с веществом, квантовой механики, лазерной физики</p> <p>У-ПК-1.2 [1] - Уметь формулировать, выделять, анализировать исходные данные об исследуемом объекте и явлении, исходя из законов и принципов физики твердого тела, оптики, взаимодействия излучения с веществом, квантовой механики, лазерной физики</p> <p>В-ПК-1.2 [1] - Владеть приемами и методами, используемыми в области физики твердого тела, оптики, взаимодействия излучения с веществом, квантовой механики, лазерной физики, для качественного и количественного описания исследуемых объектов и явлений</p>
<p>- выявление актуальных проблем и тенденций в области физики - работа с научной литературой, в том числе с использованием информационных технологий, отслеживание отечественных и зарубежных работ в</p>	<p>физические объекты и системы различного масштаба, уровня организации, физические явления и процессы, физические, инженерно-физические, биофизические технологии,</p>	<p>ПК-1.3 [1] - Способен ставить и решать теоретические и экспериментальные задачи в области физики конденсированного вещества, фотоники, физики лазеров, полупроводниковой физики, взаимодействия</p>	<p>3-ПК-1.3 [1] - Знать теоретические и аналитические модели и основные приемы проведения эксперимента в области физики конденсированного вещества, фотоники, физики лазеров, полупроводниковой физики, взаимодействия</p>

<p>исследуемой области - выбор методов, современной аппаратуры и информационных технологий для проведения исследования - проведение теоретических и экспериментальных исследований</p>	<p>методы, приборы, устройства</p>	<p>излучения с веществом</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт 40.039, 40.037</p>	<p>излучения с веществом</p> <p>У-ПК-1.3 [1] - Уметь формулировать задачи исследования в области физики конденсированного вещества, фотоники, физики лазеров, полупроводниковой физики, взаимодействия излучения с веществом, выбирать подходящие модели, экспериментальные приемы и методы исследования</p> <p>В-ПК-1.3 [1] - Владеть навыками анализа полученных результатов, формулирования выводов, корректировки дальнейшего плана исследования в области физики конденсированного вещества, фотоники, физики лазеров, полупроводниковой физики, взаимодействия излучения с веществом</p>
--	------------------------------------	--	--

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	<p>- формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)</p>	<p>Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного</p>

		процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
Профессиональное воспитание	- формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований.</li> </ul> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед;</li> <li>- формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.</li> </ul>
Профессиональное воспитание	- формирование культуры безопасности при работе с лазерным излучением (В32);	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин «Введение в специальность», «Основы и применение синхротронного излучения», «Физика биологического действия радиации» и всех видов практик – ознакомительной, научно-исследовательской, педагогической, преддипломной для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования культуры работы с патогенами, обеспечивающей</li> </ul>


безопасность и не распространение, приборами дозиметрического контроля, радиационной и экологической безопасности посредством тематического акцентирования в содержании дисциплин и учебных заданий, подготовки эссе, рефератов, дискуссий по вопросам биобезопасности. Использование воспитательного потенциала профильных дисциплин и всех видов практик для: - формирования этических основ проведения экспериментов с использованием лабораторных животных посредством обсуждения техники безопасной работы с высокотехнологичным экспериментальным оборудованием, высокопроизводительной вычислительной техникой и с живыми системами.

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел*	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	9 Семестр						
1	Первый раздел	1-8	16/8/0		25	КИ-8	3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-1.3, У-ПК-1.3, В-ПК-1.3,
2	Второй раздел	9-16	16/8/0		25	КИ-16	3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-1.2,

						У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, З-ПК-1.3, У-ПК-1.3, В-ПК-1.3,
	<i>Итого за 9 Семестр</i>		32/16/0	50		
	<b>Контрольные мероприятия за 9 Семестр</b>			50	Э	З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, З-ПК-1.3, У-ПК-1.3, В-ПК-1.3,

\* – 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:

<b>Обозначение</b>	<b>Полное наименование</b>
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

<b>Недели</b>	<b>Темы занятий / Содержание</b>	<b>Лек., час.</b>	<b>Пр./сем., час.</b>	<b>Лаб., час.</b>
	<i>9 Семестр</i>	32	16	0
<b>1-8</b>	<b>Первый раздел</b>	16	8	0
1 - 2	<b>Тема 1. Общее введение в курс «Полупроводниковые дисковые лазеры».</b> История создания данного типа лазеров. «Излучающее зеркало». Полупроводниковые лазеры с продольной накачкой электронным пучком. Поверхностно излучающий полупроводниковый лазер с «вертикальным резонатором» (VCSEL). Лазер с удлиненным (внешним) резонатором с оптической накачкой лазерными диодами. Возможность использования инжекционной накачки и накачки электронным пучком. Достоинства полупроводникового дискового лазера (ПДЛ), его сходство и различие с твердотельными дисковыми лазерами. Области применения.	Всего аудиторных часов 3 Онлайн 0	1 0	0
3 - 5	<b>Тема 2. Наноразмерная гетероструктура для ПДЛ. Основные требования.</b> Расчет материального коэффициент усиления. Пороговое условие. Резонансно-периодическое усиление. Эффект периодичности структуры	Всего аудиторных часов 7 Онлайн 0	5 0	0

	(одномерного фотонного кристалла) на порог и спектр генерации. Эффективность сбора неравновесных носителей в квантовых ямах. Требование к зонной диаграмме гетероструктуры.			
6 - 8	<b>Тема 3. Технология изготовления активного элемента лазера.</b> Особенности технологии выращивания активной гетероструктуры с брэгговским эпитаксиальным зеркалом. Требование к морфологии поверхности. Температурный режим работы ПДЛ. Требования к теплоотводу и теплопроводности материалов гетероструктуры. Использования алмазных теплоотводов. Технология соединения структуры с алмазом. Возможность оптической накачки структуры непосредственно в квантовые ямы. Многопроходная система накачки.	Всего аудиторных часов		
		6	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>9-16</b>	<b>Второй раздел</b>	16	8	0
9 - 12	<b>Тема 4. Основные характеристики ПДЛ.</b> Расчет резонатора. Распределение поля в ближней и дальней зонах. Проблема сброса инверсии спонтанным шумом, распространяющегося вдоль структуры, и ее решение. Спектр генерации. Основные достижения по мощности и кпд лазера. Особенности импульсного режима работы. Генерация коротких импульсов. ПДЛ с накачкой электронным пучком. ПДЛ с накачкой излучением лазерной электронно-лучевой трубы.	Всего аудиторных часов		
		8	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 16	<b>Тема 5. ПДЛ с внутри-резонаторным нелинейным преобразованием частоты.</b> Генерация второй гармоники внутри резонатора ПДЛ. Двухчастотный ПДЛ и внутрирезонаторная генерация разностной частоты. Лазер на вынужденном комбинационном рассеянии внутри резонатора ПДЛ. Оптический параметрический генератор среднего инфракрасного и терагерцевого диапазона на основе внутрирезонаторного преобразование частоты излучения ПДЛ. Проект создания ПДЛ лазера для среднего ультрафиолетового диапазона.	Всего аудиторных часов		
		8	4	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

## ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<b>9 Семестр</b>
	<b>Тема 1. Лабораторный макет полупроводникового дискового лазера.</b> Ознакомление с элементным составом ПДЛ, его работой в лабораторных условиях; приборами для измерения мощности, спектра, направленности генерируемого излучения; аппаратурой для диагностики качества используемых гетероструктур, методиками их исследования; технологической установкой эпитаксиального роста гетероструктур; установкой для нанесения зеркальных покрытий.
	<b>Тема 2. Распространение волн в слоистой среде.</b> Нахождение коэффициентов отражения и пропускания электромагнитной волны слоистой средой. Брегговские зеркала, фильтры.
	<b>Тема 3. Инженерия гетероструктуры.</b> Зависимость качества структуры от рассогласования параметров кристаллической решетки слоев ростовой подложки. Понятие критической толщины.
	<b>Тема 4. Температурный режим работы ПДЛ.</b> Расчет распределения температуры в активной области при различных теплоотводах.
	<b>Тема 5. Оптическая накачка ПДЛ в квантовые ямы.</b> Возможность оптической накачки структуры непосредственно в квантовые ямы.
	<b>Тема 6. Материальный коэффициент усиления.</b> Расчет коэффициента усиления квантовой ямы в структуре с разрывами зон первого типа.
	<b>Тема 7. Микрорезонатор со слоистой активной структурой.</b> Нахождение распределения поля внутри резонатора при оптической накачке. Спектр излучения активного микрорезонатора.
	<b>Тема 8. Резонансно-периодическое усиление.</b> Зависимость модового усиления лазера от положения квантовых ям относительно пучностей моды резонатора. Условие резонансно-периодического усиления.
	<b>Тема 9. Согласование параметров накачки с резонатором ПДЛ.</b> Согласование поперечных размеров области возбуждения и основной моды резонатора.
	<b>Тема 10. Генерация второй гармоники.</b> Генерация второй гармоники с использованием кристалла LBO внутри резонатора ПДЛ, излучающей в красной области спектра.

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении данной дисциплины основную роль играют аудиторные занятия в виде лекций и практических занятий, а также самостоятельная работа студентов, заключающаяся в выполнении повторения ранее пройденного материала и подготовке домашнего задания и подготовке к контрольным мероприятиям.

С целью формирования и развития профессиональных навыков, обучающихся в учебном процессе, широко используются технологии активного обучения – обсуждение тем для самостоятельного изучения.

На занятиях контролируется выполнение домашнего задания, даются консультации, оказывается помощь в анализе и систематизации получаемой информации.

Для того чтобы дать современное состояние полупроводниковых дисковых лазеров, предусмотрено широкое использование современных научных работ и публикаций по данной теме, посещение лабораторий НИЯУ МИФИ и ФИАН. Рекомендуется посещение студентами

научных семинаров и конференций, проводимых в ФИАН, в НИЯУ МИФИ, а также в других организациях.

## 7. 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-3	З-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-1.2	З-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-1.3	З-ПК-1.3	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1.3	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1.3	Э, КИ-8, КИ-16

### 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 – «отлично»	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		B	
75-84		C	
70-74	4 – «хорошо»	D	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
65-69			Оценка «удовлетворительно»
60-64	3 – «удовлетворительно»	E	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.
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	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.

## **8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. ЭИ Б 82 Лазеры: устройство и действие : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. ЭИ 3-47 Основы физики полупроводников : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2009
3. ЭИ Ш 18 Физика полупроводников : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2022
4. ЭИ Л 33 Физика полупроводниковых приборов : , Москва: Физматлит, 2008
5. 537 А71 Введение в теорию полупроводников : Учебное пособие для вузов, А. И. Ансельм, Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2008

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. 620 А53 Избранные труды. Нанотехнологии : , Москва: Магистр-Пресс, 2013
2. 537 Г90 Основы физики полупроводников. Нанофизика и технические приложения : , Москва: Физматлит, 2012
3. 621.38 Н25 Наногетероструктуры в сверхвысокочастотной полупроводниковой электронике : , Москва: Техносфера, 2010

### **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:**

Специальное программное обеспечение не требуется

### **LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:**

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для реализации дисциплины используются учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы. Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения – мультимедийным оборудованием. Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены рабочими местами, в том числе компьютерной техникой, с возможностью выхода в сеть «Интернет».

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

Комплекс дисциплины предполагает ряд основных видов работы:

- аудиторная работа в виде лекций и практических занятий,
- самостоятельная работа,
- выполнение домашних заданий,
- выполнение контрольных работ.

Перечисленные виды работы составляют целостную систему обучения, обеспечивающую разностороннюю подготовку обучающегося и призваны к приобретению новых компетенций и повышению уровня его компетентности.

Структура курса предполагает освоение каждой предлагаемой темы в несколько этапов.

Начальный этап предусматривает проведение лекционный занятий.

На последующих этапах проводятся практические занятия, на которых студенты демонстрируют знания лекционного материала, подготовленность к занятиям, выполнение домашнего задания. Также предполагается самостоятельная работа студента по предложенными темам с последующим контролем со стороны преподавателя.

На заключительном этапе работы студентам предлагается выполнение контрольных работ.

Текущий контроль: в течение семестра выполняются следующие контрольных мероприятий:

- выполнение домашнего задания;
- выполнение контрольных работ.

Результаты выполнения контрольных мероприятий являются основанием для допуска к промежуточному контролю по дисциплине.

Промежуточный контроль осуществляется методом проверки и оценки ответов на предложенные вопросы.

**Система оценки успеваемости студента**

Для оценки успеваемости студента применяется 100-балльная система, которая позволяет учитывать работу студента в течение семестра и ответ на предложенные вопросы на экзамене.

Учебная работа студента в семестре оценивается по следующим категориям: показатели посещаемости и эффективности работы на каждом занятии, результаты выполнения контрольных мероприятий.

Максимальное количество баллов, которое студент может получить в ходе аудиторной и самостоятельной работы в семестре, составляет 50 баллов.

Минимальное количество баллов, которое необходимо для допуска студента к промежуточной аттестации, составляет 30 баллов.

По итогам семестра проводится промежуточная аттестация, которая включает в себя письменный и устный ответ на предложенные вопросы.

В совокупности за промежуточную аттестацию студент может получить 50 баллов.

Итого, максимальная оценка по курсу по итогам семестра составляет 100 баллов, для аттестации по курсу необходимо набрать минимум 60 баллов.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Комплекс дисциплины предполагает ряд основных видов работы:

- аудиторная работа в виде лекций и практических занятий,
- самостоятельная работа,
- выполнение домашних заданий,
- выполнение контрольных работ.

Перечисленные виды работы составляют целостную систему обучения, обеспечивающую разностороннюю подготовку обучающегося и призваны к приобретению новых компетенций и повышению уровня его компетентности.

Структура курса предполагает освоение каждой предлагаемой темы в несколько этапов.

Начальный этап предусматривает проведение лекционный занятий.

На последующих этапах проводятся практические занятия, на которых студенты демонстрируют знания лекционного материала, подготовленность к занятиям, выполнение домашнего задания. Также предполагается самостоятельная работа студента по предложенными темам с последующим контролем со стороны преподавателя.

На заключительном этапе работы студентам предлагается выполнение контрольных работ.

Текущий контроль: в течение семестра выполняются следующие контрольных мероприятий:

- выполнение домашнего задания;
- выполнение контрольных работ.

Результаты выполнения контрольных мероприятий являются основанием для допуска к промежуточному контролю по дисциплине.

Промежуточный контроль осуществляется методом проверки и оценки ответов на предложенные вопросы.

### **Система оценки успеваемости студента**

Для оценки успеваемости студента применяется 100-балльная система, которая позволяет учитывать работу студента в течение семестра и ответ на предложенные вопросы на экзамене.

Учебная работа студента в семестре оценивается по следующим категориям: показатели посещаемости и эффективности работы на каждом занятии, результаты выполнения контрольных мероприятий.

Максимальное количество баллов, которое студент может получить в ходе аудиторной и самостоятельной работы в семестре, составляет 50 баллов.

Минимальное количество баллов, которое необходимо для допуска студента к промежуточной аттестации, составляет 30 баллов.

По итогам семестра проводится промежуточная аттестация, которая включает в себя письменный и устный ответ на предложенные вопросы.

В совокупности за промежуточную аттестацию студент может получить 50 баллов.

Итого, максимальная оценка по курсу по итогам семестра составляет 100 баллов, для аттестации по курсу необходимо набрать минимум 60 баллов.

Автор(ы):

Козловский Владимир Иванович, к.ф.-м.н.,  
профессор