

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ С.А. ЕСЕНИНА»

Утверждаю:

Декан физико-математического  
факультета



Н.Б. Федорова  
«30» августа 2018 г

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Микро- и наноэлектроника**  
**и инновации**

Уровень основной профессиональной образовательной программы  
**бакалавриат**

Направление подготовки **27.03.05 Инноватика**

Направленность (профиль) подготовки **Управление инновационной  
деятельностью**

Форма обучения **заочная**

Сроки освоения ОПОП **нормативный срок освоения 4 года 6 месяцев**

Факультет (институт) **физико-математический**

Кафедра **общей и теоретической физики и МПФ**

Рязань, 2018

## **ВВОДНАЯ ЧАСТЬ**

### **1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целью освоения учебной дисциплины **Микро- и наноэлектроника и инновации** является формирование у бакалавров представлений о современных тенденциях развития микроэлектроники, физических принципах функционирования и применении основных приборных структур микро- и наноэлектроники, методах их исследования, а также компетенций, предусмотренных образовательным стандартом, и готовности обучаемого к выполнению различных видов профессиональной деятельности.

### **2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОПОП ВУЗА**

**2.1.** Учебная дисциплина **Микро- и наноэлектроника и инновации** относится к Блоку 1, циклу **Б.1.В.ДВ.13.1 Дисциплины по выбору** (вариативная часть).

**2.2.** Для изучения данной учебной дисциплины (модуля) необходимы следующие знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами:

Физика;

Математика

Химия и материаловедение;

Управление производством;

Подготовка производства;

Управление инновационной деятельностью;

Промышленные технологии и инновации

**2.3.** Перечень последующих учебных дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной:

Государственный экзамен.

**2.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения основной профессиональной образовательной программы**

Изучение данной учебной дисциплины направлено на формирование у обучающихся общекультурных (ОК) (общепрофессиональных- ОПК) и профессиональных (ПК) компетенций:

№ п/п	Номер/индекс компетенции	Содержание компетенции (или ее части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
			Знать	Уметь	Владеть
1	2	3	4	5	6
1.	ОПК-4	Способностью обосновывать принятие технического решения при разработке проекта, выбирать технические средства и технологии, в том числе с учетом экологических последствий их применения	Основные принципы организации процессов разработки и исследования микро- и нанoeлектронных приборов.	Корректно обосновать выбор технических средств для разработки и исследования микро- и нанoeлектронных приборов с учетом требований экологии.	Навыками организации процессов разработки и исследования микро- и нанoeлектронных приборов с учетом требований экологии.
2.	ОПК-5	Способностью использовать правила техники безопасности производственной санитарии пожарной безопасности и нормы охраны труда	Основные правила производственной техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда.	Составлять инструкции по обеспечению безопасности разрабатываемых микро- и нанoeлектронных приборов	Навыками применения правил производственной техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности в области микро- и нанoeлектроники.
3.	ПК-7	способностью систематизировать и обобщать информацию по использованию и формированию ресурсов	Основные принципы сбора и анализа научно-технической и нормативной информации для обеспечения разработки и исследования микро- и нанoeлектронных приборов.	Проводить корректный анализ информации для обеспечения разработки и исследования микро- и нанoeлектронных приборов.	Навыками применения методов поиска и анализа научно-технической и нормативной информации для обеспечения разработки и исследования микро- и нанoeлектронных приборов.

## 2.5 Карта компетенций дисциплины.

КАРТА КОМПЕТЕНЦИЙ ДИСЦИПЛИНЫ					
НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ <b>Микро- и нанoeлектроника и инновации</b>					
Цель дисциплины	Целью освоения учебной дисциплины <b>Микро- и нанoeлектроника и инновации</b> является формирование у бакалавров представлений о современных тенденциях развития микроэлектроники, физических принципах функционирования и применении основных приборных структур микро- и нанoeлектроники, методах их исследования, а также компетенций, предусмотренных образовательным стандартом, и готовности обучаемого к выполнению различных видов профессиональной деятельности.				
В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие					
общефессиональные компетенции:					
КОМПЕТЕНЦИИ		Перечень компонентов	Технологии формирования	Форма оценочного средства	Уровни освоения компетенции
ИНДЕКС	ФОРМУЛИРОВКА				
ОПК-4	Способностью обосновывать принятие технического решения при разработке проекта, выбирать технические средства и технологии, в том числе с учетом экологических последствий их применения	<p><b>Знать:</b> основные принципы организации процессов разработки и исследования микро- и нанoeлектронных приборов.</p> <p><b>Уметь:</b> корректно обосновать выбор технических средств для разработки и исследования микро- и нанoeлектронных приборов с учетом требований экологии.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками организации процессов</p>	Путем проведения лекционных занятий, лабораторных работ, применения новых образовательных технологий, организации самостоятельной работы.	Защита лабораторных работ, зачет.	<p><b>Пороговый:</b> Знает основные принципы организации процессов разработки и исследования микро- и нанoeлектронных приборов. Способен анализировать степень экологичности используемых процессов.</p> <p><b>Повышенный:</b> Владеет навыками организации процессов разработки и</p>

		разработки и исследования микро- и наноэлектронных приборов с учетом требований экологии.			исследования микро- и наноэлектронных приборов с учетом требований экологии.
ОПК-5	Способностью использовать правила техники безопасности производственной санитарии пожарной безопасности и нормы охраны труда	<b>Знать:</b> основные правила производственной техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда. <b>Уметь:</b> составлять инструкции по обеспечению безопасности разрабатываемых микро- и наноэлектронных приборов <b>Владеть:</b> навыками применения правил производственной техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности в области микро- и наноэлектроники.	Путем проведения лекционных занятий, лабораторных работ, применения новых образовательных технологий, организации самостоятельной работы.	Защита лабораторных работ, зачет.	<b>Пороговый:</b> Знает основные правила производственной техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда. <b>Повышенный:</b> Владеет навыками применения правил производственной техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности в области микро- и наноэлектроники.
Профессиональные компетенции:					
КОМПЕТЕНЦИИ		Перечень компонентов	Технологии формирования	Форма оценочного средства	Уровни освоения компетенции
ИНДЕКС	ФОРМУЛИРОВКА				

ПК-7	<p>способностью систематизировать и обобщать информацию по использованию и формированию ресурсов</p>	<p><b>Знать:</b> основные принципы сбора и анализа научно-технической и нормативной информации для обеспечения разработки и исследования микро- и нанoeлектронных приборов.</p> <p><b>Уметь:</b> проводить корректный анализ информации для обеспечения разработки и исследования микро- и нанoeлектронных приборов.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками применения методов поиска и анализа научно-технической и нормативной информации для обеспечения разработки и исследования микро- и нанoeлектронных приборов.</p>	<p>Путем проведения лекционных занятий, лабораторных работ, применения новых образовательных технологий, организации самостоятельной работы.</p>	<p>Защита лабораторных работ, зачет.</p>	<p><b>Пороговый:</b> Знает основные принципы сбора и анализа научно-технической и нормативной информации для обеспечения разработки и исследования микро- и нанoeлектронных приборов. Способен анализировать степень достоверности информации.</p> <p><b>Повышенный:</b> Владеет навыками применения методов поиска и анализа научно-технической и нормативной информации для обеспечения разработки и исследования микро- и нанoeлектронных приборов.</p>
------	--	---	--	--	--

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

### 1. ОБЪЕМ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Всего часов	Курс
		№ 5
		часов
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Контактная работа обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) (всего)	12	12
<b>В том числе:</b>		
<b>Лекции (Л)</b>	4	4
<b>Практические занятия (ПЗ), Семинары (С)</b>		
<b>Лабораторные работы (ЛР)</b>	8	8
Самостоятельная работа студента (всего)	60	60
<b>В том числе</b>		
<i>СРС в семестре:</i>	56	56
<b>Курсовая работа</b>	<b>КП</b>	
	<b>КР</b>	
<i>Другие виды СРС:</i>		
<b>Изучение литературы</b>	24	24
<b>Подготовка тематических обзоров</b>	16	16
<b>Подготовка к зачету</b>	4	4
<b>Подготовка к выполнению и защите лабораторных работ</b>	12	12
<i>СРС в период сессии</i>		
Вид промежуточной аттестации	<b>зачет (З),</b>	4
	<b>экзамен (Э)</b>	
<b>ИТОГО: Общая трудоемкость</b>	часов	<b>72</b>
	зач. ед.	<b>2</b>

## 2. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### 2.1. Содержание разделов учебной дисциплины

№ курса	№ раздела	Наименование раздела учебной дисциплины	Содержание раздела в дидактических единицах
1	2	3	4
5	1	Введение.	Основные задачи микроэлектроники. Основные понятия. Современные тенденции развития микроэлектроники. Наноразмерные структуры. Физические ограничения.
	2	Процессы в полупроводниках.	Классификация полупроводниковых материалов. Равновесные и неравновесные носители заряда. Генерация и рекомбинация. Уравнения кинетики рекомбинации. Времена жизни электронов и дырок. Механизмы рекомбинации. Дефекты с глубокими энергетическими уровнями. Статистика Шокли-Рида. Дрейфовая скорость. Подвижность носителей заряда. Температурная зависимость проводимости полупроводников. Фотопроводимость. Поглощение света. Спектральная зависимость коэффициента поглощения.
	3	Полупроводниковый p-n- переход	Протекание тока в диодах с p-n-переходом. Распределение электрического поля и потенциала в резких и плавных p-n-переходах, контактная разность потенциалов. Область пространственного заряда. Инжекция неосновных носителей заряда. Вольт-амперная характеристика тонкого p-n-перехода при низком уровне инжекции (модель Шокли). Влияние температуры. Вольт-амперная характеристика p-n-перехода в случае генерации и рекомбинации носителей в области пространственного заряда (модель Са-Нойса-Шокли) при прямом и обратном смещении. Вольт-амперная характеристика p-n-перехода при высоком уровне инжекции. Пробой p-n-перехода (лавинный, туннельный и тепловой). Переходные процессы в диоде с p-n-переходом. Емкость p-n-перехода. Барьерная и диффузионная емкость. Вольт-фарадная характеристика p-n-перехода. Различные виды полупроводниковых диодов с p-n- переходом.
	4	Контакт металл-полупроводник.	Барьер Шоттки и факторы, определяющие его высоту. Вольт-амперная характеристика барьера Шоттки (модель термоэлектронной эмиссии). Термополевая и полевая эмиссия. Емкость диода Шоттки. Быстродействие диодов Шоттки.
	5	Полупроводниковые гетероструктуры.	Определение. Классификация. Энергетическая диаграмма гетероперехода. Принципы подбора гетеропереходных пар. Факторы, влияющие на



		<p>величину разрыва зон. Основные модели гетероперехода. Емкость. Вольт-амперные характеристики. Односторонний характер инжекции в гетеропереходе. Двойная гетероструктура. Электролюминесценция. Излучательная и безызлучательная рекомбинация. Приборные применения: лавинный фотодиод, солнечные элементы, светоизлучающие диоды, полупроводниковые лазеры.</p>
6	МДП- структура.	<p>Общие представления об идеальной МДП-структуре. Зонные диаграммы. Принцип действия. Емкость МДП- структуры. Вольт-фарадные характеристики. Характеристики реальной МДП- структуры.</p>
7	Транзисторы	<p>Биполярный транзистор (характеристики, особенности работы). Полевой транзистор с управляющим р-п- переходом. Полевой транзистор с барьером Шоттки. Полевые транзисторы на основе МДП- структуры. Сравнение биполярных и полевых транзисторов.</p>
8	Основы нанoeлектроники.	<p>Квантово-размерный эффект. Физические ограничения. Квантовые ямы. Квантовые нити. Квантовые точки. Электрофизические и оптические характеристики. Возможные приборные применения.</p>

## 2.2. Разделы учебной дисциплины (модуля), виды учебной деятельности и формы контроля

№ курса	№ раздела	Наименование раздела учебной дисциплины	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов (в часах)					Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестрам)	
			Л	ЛР	СРС	зачет	всего		
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	
<b>5</b>	1	Введение.	1		6		7	Тематический обзор	
	2	Процессы в полупроводниках.	1	2	6		9	Тематический обзор, Защита лабораторных работ	
	3	Полупроводниковый р-п-переход	1	2	6		9	Тематический обзор, Защита лабораторных работ	
	4	Контакт металл-полупроводник.			4		4	Тематический обзор	
	5	Полупроводниковые гетероструктуры.			4		4	Тематический обзор	
	6	МДП- структура.			6		6	Тематический обзор	
	7	Транзисторы	1	4	14		19	Тематический обзор Защита лабораторных работ	
	8	Основы нанoeлектроники.			6		6	Тематический обзор	
		Подготовка к зачету (разделы дисциплины 1 – 8)			4		4		
		Зачет					4	4	<b>зачет</b>
		ИТОГО за 5 курс		<b>4</b>	<b>8</b>	<b>56</b>	<b>4</b>	<b>72</b>	
		ИТОГО		<b>4</b>	<b>8</b>	<b>56</b>	<b>4</b>	<b>72</b>	

## 2.4. Лабораторный практикум

№ курса	№ раздела	Наименование раздела учебной дисциплины (модуля)	Наименование лабораторных работ	Всего часов
1	2	3	4	5
5	1	Введение.		
	2	Процессы в полупроводниках.	1. Изучение фотопроводимости полупроводников.	2
	3	Полупроводниковый р-п-переход	2. Изучение механизмов транспорта носителей заряда в диоде с р-п-переходом.	2
	4	Контакт металл-полупроводник.		
	5	Полупроводниковые гетероструктуры.		
	6	МДП- структура.		
	7	Транзисторы	3. Изучение биполярного транзистора в схеме с общей базой. 4. Изучение биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером.	2 2
	8	Основы нанoeлектроники.		
			<b>ИТОГО в 5 курсе</b>	

## 2.5. Примерная тематика курсовых работ

Курсовые работы не предусмотрены учебным планом

### 3. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТА

#### 3.1. Виды СРС

№ курса	№ раздела	Наименование раздела учебной дисциплины (модуля)	Виды СРС	Всего часов
1	2	3	4	5
5	1.	Введение	1. Изучение и конспектирование основной литературы 2. Изучение и конспектирование дополнительной литературы 3. Написание тематического обзора.	2 2 2
	2.	Процессы в полупроводниках	1. Изучение и конспектирование основной и дополнительной литературы 2. Написание тематического обзора. 3. Подготовка к выполнению и защите лабораторной работы №1.	2 2 2
	3.	Полупроводниковый p-n- переход	1. Изучение и конспектирование основной и дополнительной литературы 2. Написание тематического обзора. 3. Подготовка к выполнению и защите лабораторной работы №2.	2 2 2
	4	Контакт металл-полупроводник	1. Изучение и конспектирование основной и дополнительной литературы 2. Написание тематического обзора.	2 2
	5	Полупроводниковые гетероструктуры	1. Изучение и конспектирование основной и дополнительной литературы 2. Написание тематического обзора.	2 2
	6	МДП- структура	1. Изучение и конспектирование основной литературы 2. Изучение и конспектирование дополнительной литературы 3. Написание тематического обзора.	2 2 2
	7	Транзисторы	1. Изучение и конспектирование основной литературы. 2. Изучение и конспектирование дополнительной литературы. 3. Написание тематического обзора 4. Подготовка к выполнению лабораторной работы №3. 5. Подготовка к защите лабораторной работы №3. 6. Подготовка к выполнению лабораторной работы №4. 7. Подготовка к защите лабораторной работы №4.	2 2 2 2 2 2 2

				2
8	Основы наноэлектроники	1. Изучение и конспектирование основной литературы 2. Изучение и конспектирование дополнительной литературы 3. Написание тематического обзора.		2
				2
				2
	Зачет	Изучение конспектов лекций по разделам 1–8.		4
<b>ИТОГО в 5 курсе</b>				56
<b>ИТОГО</b>				56

### 3.2. График работы студента

#### 4. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (см. *Фонд оценочных средств*)

4.1. Виды контроля и аттестации, формы оценочных средств

4.2. Рейтинговая система оценки знаний обучающихся по учебной дисциплине

*Рейтинговая система не используется.*

#### 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 5.1. Основная литература

№ п/п	Автор (ы), наименование, место издания и издательство, год	Используется при изучении разделов	Семестр	Количество экземпляров	
				В библиотеке	На кафедре
1	2	3	4	5	6
1.	Старосельский, В. И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники [Электронный ресурс]: учебник для академического бакалавриата / В. И. Старосельский. — Москва : Юрайт, 2016. — 463 с. — (Бакалавр. Академический курс). - Режим доступа: <a href="https://www.biblio-online.ru/book/9A79B4DF-8586-42B6-AF92-B7EB045ED169">https://www.biblio-online.ru/book/9A79B4DF-8586-42B6-AF92-B7EB045ED169</a> (дата обращения 01.12.2016)	1-8	8	ЭБС	
2.	Ансельм, А.И. Введение в теорию полупроводников [Электронный ресурс] : учеб. Пособие. — Санкт-петербург : Лань, 2016. — 624 с. — Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/71742">https://e.lanbook.com/book/71742</a> (дата обращения 01.21.2016)	1-3	8	ЭБС	
3.	Сорокин, В.С. Материалы и элементы электронной техники. Проводники, полупроводники, диэлектрики [Электронный ресурс] : учебник / В.С. Сорокин, Б.Л. Антипов, Н.П. Лазарева. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 448 с. — Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/67462">https://e.lanbook.com/book/67462</a>	1-4	8	ЭБС	

(дата обращения 01.12.2016)				
-----------------------------	--	--	--	--

## 5.2. Дополнительная литература

№ п/п	Автор (ы), наименование, место издания и издательство, год	Используется при изучении разделов	Се-мestr	Количество экземпляров	
				В библио-теке	На ка-федре
1	2	3	4	5	6
1.	Ишанин, Г.Г. Приемники оптического излучения [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.Г. Ишанин, В.П. Челибанов. — Санкт-Петербург : Лань, 2014. — 304 с. — Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/53675">https://e.lanbook.com/book/53675</a> (дата обращения 01.12.2016)	1-8	8	ЭБС	
2.	Данилин, А.А. Измерения в радиоэлектронике [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.А. Данилин, Н.С. Лавренко. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 408 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/89927">http://e.lanbook.com/book/89927</a> (дата обращения 01.12.2016)	2-8	8	2	
3.	Владимиров, Г.Г. Физика поверхности твердых тел [Электронный ресурс] : учеб. пособие. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 352 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/71707">http://e.lanbook.com/book/71707</a> (дата обращения 01.12.2016)	1-8	8	ЭБС	

## 5.3. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

1. eLIBRARY.RU [Электронный ресурс] : научная электронная библиотека. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>, свободный (дата обращения: 10.11.2016).
2. Единое окно доступа к образовательным ресурсам [Электронный ресурс] : федеральный портал. – Режим доступа: <http://window.edu.ru>, свободный (дата обращения: 15.10.2016).
3. Лань [Электронный ресурс] : электронная библиотека. – Доступ к полным текстам по паролю. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 01.03.2016).
4. Университетская библиотека ONLINE [Электронный ресурс] : электронная библиотека. – Доступ к полным текстам по паролю. – Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red) (дата обращения: 15.10.2016).



5. Юрайт [Электронный ресурс] : электронная библиотека. – Доступ к полным текстам по паролю. – Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru> (дата обращения: 20.04.2017).

#### **5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее – сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

1. NTD-MDT [Электронный ресурс] : официальный сайт ЗАО НТ-МДТ : описание методик применения сканирующей зондовой микроскопии. <http://www.ntmdt.ru/spm-principles> , свободный (дата обращения 15.10.2015)
2. Наножурнал [Электронный ресурс] : российский электронный журнал. – Режим доступа: [http://www.nanorf.ru/science.aspx?cat\\_id=394](http://www.nanorf.ru/science.aspx?cat_id=394) , свободный (дата обращения 15.10.2015)
3. Нанометр [Электронный ресурс] : сайт Нанотехнологического сообщества. – Режим доступа: [http://www.nanometer.ru/library\\_list.html](http://www.nanometer.ru/library_list.html), свободный (дата обращения 15.10.2015)
4. Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе Российской академии наук [Электронный ресурс] : сайт : электронные версии журналов «Физика и техника полупроводников», «Физика твердого тела», «Журнал технической физики». – Режим доступа: <http://www.ioffe.ru/index.php?row=12&subrow=0>, свободный (дата обращения 15.10.2015)

#### **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**6.1. Требования к аудиториям (помещениям, местам) для проведения занятий:** специализированные лекционные аудитории, оборудованные видеопроекционным оборудованием для презентаций, средствами звуковоспроизведения и экраном.

**6.2. Требования к оборудованию рабочих мест преподавателя и обучающихся:** видеопроектор, ноутбук, переносной экран, для проведения демонстраций и опытов, полный комплект физических установок и приборов.

#### **6.3. Требования к специализированному оборудованию:**

Специализированные установки согласно спискам оборудования предусмотренного для каждой лабораторной работы.

**6.4. Требования к программному обеспечению учебного процесса:** *отсутствуют.*

#### **7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (Заполняется только для стандарта ФГОС ВПО)**

## 8. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю.
Практические занятия	Не предусмотрены учебным планом.
Курсовая работа	Не предусмотрена учебным планом.
Лабораторная работа	Для выполнения лабораторных работ используются специализированные лабораторные установки. Методические указания по выполнению лабораторных работ и описания установок находятся в лаборатории на рабочих местах
Подготовка к зачету	При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и др.

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

1. Применение средств мультимедиа в образовательном процессе (презентации, видео);
2. Консультирование обучающихся посредством электронной почты.

## 10. Требования к программному обеспечению учебного процесса *отсутствуют.*

## 11. Иные сведения

№ семестра	№ раздела	Виды контроля и аттестации и (ВК, ТАт, ПрАт)*	Наименование раздела учебной дисциплины	Оценочные средства		
				Форма	Количество вопросов в задании	Количество независимых вариантов
1	2	3	4	5	6	7
8	1	ТАт	Введение	Защита тематического обзора	2	5
	2		Процессы в полупроводниках	Защита лабораторных	1	5

			работ		
<b>3</b>		Полупроводниковый р-п- переход	Защита лабораторных работ	1	5
<b>4</b>		Контакт металл-полупроводник	Защита тематического обзора	2	5
<b>5</b>		Полупроводниковые гетероструктуры	Защита лабораторных работ	1	5
<b>6</b>		МДП- структура	Защита лабораторных работ	1	5
<b>7</b>		Транзисторы	Защита лабораторных работ,	1	5
			Защита тематического обзора	2	5
<b>8</b>		Основы наноэлектроники	Защита лабораторных работ	1	5
<b>1-6</b>	ПрАт		Зачет	2	30

### Требования к оформлению курсовых работ.

Не предусмотрены учебным планом.

### Планы лекций (18 часов)

#### Лекция 1. Введение (2 часа).

Основные задачи микроэлектроники. Основные понятия. Современные тенденции развития микроэлектроники. Наноразмерные структуры. Физические ограничения.

#### Лекция 2. Процессы в полупроводниках (2 часа).

Классификация полупроводниковых материалов. Равновесные и неравновесные носители заряда. Генерация и рекомбинация. Уравнения кинетики рекомбинации. Времена жизни электронов и дырок. Механизмы рекомбинации. Дефекты с глубокими энергетическими уровнями. Статистика Шокли-Рида. Дрейфовая скорость. Подвижность носителей заряда. Температурная зависимость проводимости полупроводников. Фотопроводимость. Поглощение света. Спектральная зависимость коэффициента поглощения.

#### Лекция 3. Полупроводниковый р-п- переход (2 часа).

Протекание тока в диодах с р-п-переходом. Распределение электрического поля и потенциала в резких и плавных р-п-переходах, контактная разность потенциалов. Область пространственного заряда. Инжекция неосновных носителей заряда. Вольт-амперная характеристика тонкого р-п-перехода при низком уровне инжекции (модель Шокли). Влияние температуры. Вольт-амперная характеристика р-п-перехода в случае генерации и рекомбинации носителей в области пространственного заряда (модель Са-Нойса-Шокли) при прямом и обратном смещении. Вольт-амперная характеристика р-п-перехода при высоком уровне инжекции. Пробой р-п-перехода (лавинный, туннельный и тепловой). Переходные процессы в диоде с р-п-переходом. Емкость р-п-перехода. Барьерная и диффузионная

емкость. Вольт-фарадная характеристика р-п-перехода. Различные виды полупроводниковых диодов с р-п- переходом.

#### **Лекция 4. Контакт металл- полупроводник (2 часа).**

Барьер Шоттки и факторы, определяющие его высоту. Вольт-амперная характеристика барьера Шоттки (модель термоэлектронной эмиссии). Термополевая и полевая эмиссия. Емкость диода Шоттки. Быстродействие диодов Шоттки.

#### **Лекция 5. Полупроводниковые гетероструктуры (2 часа).**

Определение. Классификация. Энергетическая диаграмма гетероперехода. Принципы подбора гетеропереходных пар. Факторы, влияющие на величину разрыва зон. Основные модели гетероперехода. Емкость. Вольт- амперные характеристики. Односторонний характер инжекции в гетеропереходе. Двойная гетероструктура. Электролюминесценция. Излучательная и безызлучательная рекомбинация. Приборные применения: лавинный фотодиод, солнечные элементы, светоизлучающие диоды, полупроводниковые лазеры.

#### **Лекция 6. МДП- структура (2 часа).**

Общие представления об идеальной МДП- структуре. Зонные диаграммы. Принцип действия. Емкость МДП- структуры. Вольт-фарадные характеристики. Характеристики реальной МДП- структуры.

#### **Лекция 7. Транзисторы (4 часа).**

Биполярный транзистор (характеристики, особенности работы). Полевой транзистор с управляющим р-п- переходом. Полевой транзистор с барьером Шоттки. Полевые транзисторы на основе МДП- структуры. Сравнение биполярных и полевых транзисторов.

#### **Лекция 8. Основы нанoeлектроники (2 часа).**

Квантово-размерный эффект. Физические ограничения. Квантовые ямы. Квантовые нити. Квантовые точки. Электрофизические и оптические характеристики. Возможные приборные применения.

### **Планы практических занятий**

Не предусмотрены учебным планом.

### **Планы лабораторных работ (18 часов)**

1. Изучение фотопроводимости полупроводников (2 часа).
2. Изучение механизмов транспорта носителей заряда в диоде с р-п-переходом (2 часа).
3. Изучение вольт-фарадных характеристик диода с р-п- переходом (2 часа).
4. Изучение светоизлучающих диодов (2 часа).
5. Изучение вольт-фарадных характеристик МДП- структуры (2 часа).
6. Изучение биполярного транзистора в схеме с общей базой (2 часа).
7. Изучение биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером (2 часа).
8. Изучение полевого транзистора с изолированным затвором (2 часа).
9. Исследование поглощения света и фотолюминесценции пористого кремния (2 часа).

Для выполнения лабораторных работ используются специализированные лабораторные стенды.

## Приложение 1

### Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

#### *Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине (модулю) для промежуточного контроля успеваемости*

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)	Код контролируемой компетенции) или её части)	Наименование оценочного средства
1.	1. Введение 2. Процессы в полупроводниках 3. Полупроводниковый р-п- переход 4. Контакт металл- полупроводник 5. Полупроводниковые гетероструктуры 6. МДП- структура 7. Транзисторы 8. Основы нанoeлектроники	ОПК-4 ОПК-5 ПК-7	Зачет 8 семестр

## ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОБУЧЕНИЯ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Индекс компетенции	Содержание компетенции	Элементы компетенции	Индекс элемента
ОПК-4	Способностью обосновывать принятие технического решения при разработке проекта, выбирать технические средства и технологии, в том числе с учетом экологических последствий их применения	<b>знать</b>	
		<b>З1</b> основные принципы организации процессов разработки и исследования микро- и нанoeлектронных приборов	<b>ОПК4 З1</b>
		<b>уметь</b>	
		<b>У1</b> корректно обосновать выбор технических средств для разработки и исследования микро- и нанoeлектронных приборов с учетом требований экологии	<b>ОПК4 У1</b>
		<b>владеть</b>	
<b>В1</b> навыками организации процессов разработки и исследования микро- и нанoeлектронных приборов с учетом требований экологии	<b>ОПК4 В1</b>		
ОПК-5	Способностью использовать правила техники безопасности производственной санитарии пожарной безопасности и нормы охраны труда	<b>знать</b>	
		<b>З1</b> основные правила производственной техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда	<b>ОПК5 З1</b>
		<b>Уметь</b>	
		<b>У1</b> составлять инструкции по обеспечению безопасности разрабатываемых микро- и нанoeлектронных приборов	<b>ОПК5 У1</b>
		<b>владеть</b>	
<b>В1</b> навыками применения правил производственной техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности в области микро- и нанoeлектроники	<b>ОПК5 В1</b>		
ПК-7	способностью систематизировать и обобщать информацию по использованию и формированию ресурсов	<b>знать</b>	
		<b>З1</b> основные принципы сбора и анализа научно-технической и нормативной информации для обеспечения разработки и исследования микро- и	<b>ПК7 З1</b>

		нанoeлектронных приборов	
		<b>Уметь</b>	
		<b>У1</b> проводить корректный анализ информации для обеспечения разработки и исследования микро- и нанoeлектронных приборов	<b>ПК7 У1</b>
		<b>владеть</b>	
		<b>В1</b> навыками применения методов поиска и анализа научно-технической и нормативной информации для обеспечения разработки и исследования микро- и нанoeлектронных приборов	<b>ПК7 В1</b>

### КОМПЛЕКТ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ (лабораторные работы 5 курс)

№	*Содержание оценочного средства	Индекс оцениваемой компетенции и ее элементов
1	Какие типы проводимости полупроводников вам известны?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
2	Что такое основные и неосновные носители заряда?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
3	Сформулируйте определение электропроводности полупроводников.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
4	Охарактеризуйте режимы работы фотодиода.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
5	Объясните явление суперинжекции?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
6	В чем состоит преимущество двойных гетероструктур?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
7	Охарактеризуйте роль механизмов излучательной и безызлучательной рекомбинации.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
8	Объясните вид ВЧ ВФХ МДП- структуры.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1

9	Объясните вид НЧ ВФХ МДП- структуры.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
10	Как влияют заряды в диэлектрике на вид ВФХ МДП- структуры?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
11	Какие механизмы поглощения света в полупроводниках вам известны?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
12	Охарактеризуйте спектры поглощения света в квантово- размерных структурах.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
13	В чем состоит явление фотолюминесценции полупроводников?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
14	Каким образом можно определить плотность поверхностных состояний?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
15	Какое влияние оказывают поверхностные состояния на электрофизические свойства полупроводниковых приборов?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ППК7 31, У1, В1
16	Какие энергетические уровни считают глубокими?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
17	Уравнения кинетики рекомбинации. Времена жизни электронов и дырок.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
18	Вольт-амперная характеристика тонкого р-п-перехода при низком уровне инжекции (модель Шокли). Влияние температуры.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
19	Дрейфовая скорость. Подвижность носителей заряда и методы ее экспериментального определения.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
20	Охарактеризуйте режимы работы фотодиода.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1

### **КОМПЛЕКТ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ (ЗАЧЕТ 5 курс)**

<b>№</b>	<b>*Содержание оценочного средства</b>	<b>Индекс оцениваемой компетенции и ее элементов</b>
1	Какие материалы относятся к полупроводникам?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
2	Объясните возникновение фотопроводимости в полупроводниках.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1



3	Объясните процессы генерации и рекомбинации.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
4	Объясните физический смысл емкости р-n-перехода.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
5	Какие составляющие емкости диода с р-n-переходом вам известны?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
6	Какие характеристики полупроводниковой структуры могут быть получены из частотных характеристик?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
7	Какими характеристиками обладает идеальный фотопреобразователь?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
8	Охарактеризуйте режимы работы фотодиода.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ППК7 31, У1, В1
9	Объясните явление суперинжекции?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
10	В чем состоит преимущество двойных гетероструктур?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
11	Охарактеризуйте роль механизмов излучательной и безызлучательной рекомбинации.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
12	Объясните вид ВЧ ВФХ МДП- структуры.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ППК7 31, У1, В1
13	Объясните вид НЧ ВФХ МДП- структуры.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
14	Как влияют заряды в диэлектрике на вид ВФХ МДП- структуры?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
15	Какие механизмы поглощения света в полупроводниках вам известны?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
16	Охарактеризуйте спектры поглощения света в квантово- размерных структурах.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
17	В чем состоит явление фотолюминесценции полупроводников?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
18	Каким образом можно определить плотность поверхностных состояний?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
19	Какое влияние оказывают поверхностные состояния на электрофизические свойства полупроводниковых приборов?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1

20	Какие энергетические уровни считают глубокими?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
21	Уравнения кинетики рекомбинации. Времена жизни электронов и дырок.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
22	Вольт-амперная характеристика тонкого р-п-перехода при низком уровне инжекции (модель Шокли). Влияние температуры.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
23	Дрейфовая скорость. Подвижность носителей заряда и методы ее экспериментального определения.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
24	Какие типы квантово-размерных структур вам известны?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
25	В чем состоит принцип размерного квантования?	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
26	Механизмы фотолюминесценции квантово-размерных структур	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
27	Классификация полупроводниковых материалов.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
28	Рекомбинация в прямозонных и непрямозонных полупроводниках.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
29	Поглощение света. Спектральная зависимость коэффициента поглощения.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1
30	Основные задачи микроэлектроники.	ОПК4 31, У1, В1 ОПК5 31, У1, В1 ПК7 31, У1, В1

## ПОКАЗАТЕЛИ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ (Шкалы оценивания)

Результаты выполнения обучающимся заданий на зачете оцениваются по шкале «зачтено» - «не зачтено».

В основе оценивания лежат критерии порогового и повышенного уровня характеристик компетенций или их составляющих частей, формируемых на учебных занятиях по дисциплине «**Микро- и наноэлектроника и инновации**» (Таблица 2.5 рабочей программы дисциплины).

«Зачтено» – оценка соответствует повышенному и пороговому уровню и выставляется обучающемуся, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе

материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

«Не зачтено» - оценка выставляется обучающемуся, который не достигает порогового уровня, демонстрирует непонимание проблемы, не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы.