

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**Трехгорный технологический институт –**  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**(ТТИ НИЯУ МИФИ)**

**УТВЕРЖДАЮ**  
Директор ТТИ НИЯУ МИФИ  
\_\_\_\_\_ Т.И. Улитина  
«31» августа 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ»**

**Направление подготовки:** 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

**Профиль подготовки:** Проектирование и технология радиоэлектронных средств

**Квалификация (степень) выпускника:** бакалавр

**Форма обучения:** очная

# **1 ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

## **1.1 Цели дисциплины**

Формирование знаний о физических принципах работы приборов микро и наноэлектроники.

## **1.2 Задачи дисциплины**

Изучение физики электронных процессов в твердом теле, принципов действия и устройства полупроводниковых приборов, являющихся основой современных интегральных микросхем, взаимосвязи физических закономерностей явлений и процессов в твердых телах с эксплуатационными характеристиками электронных приборов, приобретение практических навыков выбора полупроводниковых приборов для конкретных применений на основе их параметров и характеристик.

## **2 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО**

Дисциплина «Физические основы микро- и наноэлектроники» (Б1.Б.25) относится к обязательным дисциплинам базовой части.

## **3 КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ / ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ И КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА ПО ЗАВЕРШЕНИИ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **3.1 Профессиональные компетенции**

Изучение дисциплины «Физические основы микро- и наноэлектроники» направлено на формирование у студентов следующих компетенций:

**профессиональные (ПК):**

- способен подготавливать и тестировать компоненты радиоэлектронных средств (ПК-2.1);
- способен проводить контроль электрических параметров активной части схемы и трассировки коммутационных плат изделий (ПК-2.3);

### **3.2 Перечень результатов образования, формируемых дисциплиной, с указанием уровня их освоения**

В результате изучения дисциплины студент должен:

**знать:**

- принципы работы и устройство контрольно-измерительного оборудования, применяемого для контроля параметров компонентов радиоэлектронных средств, требования к хранению компонентов, технические требования пригодности компонентов, установленные производителем (поставщиком), требования законодательства Российской Федерации, технических регламентов, сводов, правил, стандартов в области испытания, технический английский язык в области микро- и наноэлектроники;
- функциональные характеристики изделия, установленные в технической документации, правила настройки и регулировки контрольно-измерительных инструментов и приборов для контроля параметров изделий.

**уметь:**

- работать на контрольно-измерительном оборудовании, применяемом для контроля параметров компонентов радиоэлектронных средств, выявлять брак компонентов по внешнему виду;
- выполнять методики измерения параметров активной части схемы с учетом электрических параметров корпуса и трассировки коммутационных плат изделий, формировать базу данных измерений параметров активной части схемы с учетом электрических параметров корпуса и трассировки коммутационных плат изделий.

**владеть:**

- навыками оформления отчетной документации о выполняемых работах, работы с базами данных и классификаторами контрольных нормативов;
- навыками статистической обработки измеренных параметров активной части схемы с учетом электрических параметров корпуса и трассировки коммутационных плат изделий.

### 3.3 Воспитательная работа

Направление/ цели	Создание условий, обеспечивающих	Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин
<b>Профессиональный модуль</b>		
<b>Профессиональное воспитание</b>	- формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия <b>(B17)</b>	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.
	- формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения <b>(B18)</b>	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 процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
	- формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка <b>(B19)</b>	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик "Основы научных исследований", «"Учебная практика (научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы)" для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик "Введение в специальность", "Основы научных

		исследований", "Учебная практика (научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы)" для: - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - 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.
	- формирование навыков коммуникации, командной работы и лидерства (B20); - формирование способности и стремления следовать в профессии нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения (B21); - формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (B22)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.
	- формирование культуры информационной безопасности (B23)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования базовых навыков информационной безопасности через изучение последствий халатного отношения к работе с информационными системами, базами данных (включая персональные данные), приемах и методах злоумышленников, потенциальном уроне пользователям.
	<b>УГНС 11.00.00 «Электроника, радиотехника и системы связи»:</b>	1. Использование воспитательного потенциала профильных дисциплин "Основы конструирования электронных средств", "Схемо- и системотехника электронных

	<p>- формирование навыков коммуникации и командной работы при разработке электронных средств (B27);</p> <p>- формирование культуры безопасности при работе в электромонтажной и электрорадиомонтажной лаборатории (B28)</p>	<p>средств", "Технология производства электронных средств", "Конструирование механизмов и несущих конструкций радиоэлектронных средств", "Конструирование деталей и узлов радиоэлектронных средств» для формирования профессиональной коммуникации, а также привития навыков командной работы за счет использования методов коллективных форм познавательной деятельности, командного выполнения учебных заданий по разработке электронных средств, курсовых работ/проектов и защиты их результатов;</p> <p>2. Использование воспитательного потенциала учебной практики и профильной дисциплины "Технология поверхностного монтажа" для формирования культуры безопасности при работе в электромонтажной и электрорадиомонтажной лаборатории через выполнение студентами практических заданий.</p>
--	---	---

#### 4 СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины в 7 семестре составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

№ п/п	Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Текущий контроль успеваемости (неделя, форма)	Аттестация раздела (неделя, форма)	Макс. балл за раздел*
			Лекции	Лаб. работы	Прак. работы	Самост. работа			
7 семестр									
1	Раздел 1	1-4	5	-	5	7	ЛР1	T1	10
2	Раздел 2	5-8	5	-	6	8	ЛР2	КР1	15
3	Раздел 3	9-12	5	-	5	7	ЛР3	T2	10
4	Раздел 4	13-14	5	-	6	8	T3	КР2	15
Итого			20		22	30			50
Экзамен			36						50
Итого за семестр									100

## 4.1 Содержание лекций

### 7 семестр

#### Раздел 1

##### 1. Общая характеристика микро- и наноэлектроники.

Основные этапы развития электроники; определение и терминология микроэлектроники; основные направления развития электроники.

##### 2. Элементы квантовой механики.

Волновые свойства микрочастиц; волновое уравнение Шредингера; применение уравнения Шредингера.

#### Раздел 2

##### 3. Зонная теория твердых тел.

Обобществление электронов в кристалле; зонный характер энергетического спектра электронов в кристалле; заполнение зон электронами и электрические свойства твердых тел; понятие о дырках; примесные уровни в полупроводниках.

##### 4. Элементы физической статистики.

Способы описания состояния коллектива частиц; невырожденные и вырожденные коллективы частиц; классическая и квантовая статистики; функция распределения; распределение электронов в металле при абсолютном нуле; влияние температуры на распределение Ферми-Дирака; снятие вырождения; функция распределения для вырожденного газа бозонов; статистика носителей заряда в полупроводниках; положение уровня Ферми и концентрация свободных носителей заряда в собственных и примесных полупроводниках.

#### Раздел 3

##### 5. Избыточные носители тока в полупроводниках.

Проводимость и подвижность носителей тока; механизмы рассеяния свободных носителей заряда; примесная проводимость полупроводников; диффузионный ток в полупроводниках; генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Время их жизни; полупроводниковые источники света и лазеры; уравнение непрерывности; диффузионная длина носителей.

## 6. Контактные явления.

Виды электрических контактов; контакт полупроводника с металлом; выпрямление напряжения на контакте полупроводника с металлом; омический контакт; контакт двух полупроводников с различным типом проводимости; емкость перехода; пробой p-n-перехода; туннельные и обращенные диоды; эффект Ганна; биполярный транзистор.

## 7. Электронные процессы на поверхности полупроводника.

Идеальная и реальная поверхности полупроводника; быстрые и медленные поверхностные состояния; зонная модель поверхности полупроводника; эффект поля; вольт-фарадные характеристики МДП-структур; полупроводниковые приборы, работающие на основе поверхностных эффектов.

## Раздел 4

### 8. Особенности физических процессов в наноразмерных структурах.

Изменение энергетического спектра носителей заряда в квантово-размерных структурах; условия наблюдения квантовых размерных эффектов; структуры с двумерным электронным газом; структуры с одномерным электронным газом; структуры с нульмерным электронным газом; структуры с вертикальным переносом.

### 9. Физические основы методов формирования объемных областей интегральных схем и их элементов.

Легирование полупроводниковых материалов; методы легирования полупроводников; физические основы процесса диффузии; законы диффузии; физические основы метода ионного легирования; распределение концентрации примесей в ионно-легированных слоях; физические основы процессов эпитаксии; молекулярно-лучевая эпитаксия; газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений; методы литографии; нанотехнология.

## 4.2 Тематический план лабораторных работ

### 6 семестр

1. Полупроводниковые диоды
2. Биполярный транзистор
3. Полевой транзистор



#### 4.2.1 Тематический план практических работ

##### 6 семестр

1. Элементы квантовой механики.
2. Элементы физики твердого тела.
3. Элементы квантовой статистики.
4. Избыточные носители тока в полупроводниках.
5. Электропроводность полупроводников.
6. Вольтамперные характеристики полупроводникового диода.
7. Барьерная емкость полупроводникового диода и электронная перестройка частоты колебательного.
8. Выпрямляющее действие электронно-дырочного перехода.
9. Вольтамперные и световые характеристики фотодиода.

#### 4.2.2 Самостоятельная работа студентов

##### 6 семестр

1. Изучение лекционного материала по теме: «Применение уравнения Шредингера: движение микрочастицы в потенциальной яме».
2. Изучение лекционного материала по теме: «Заполнение зон электронами и электрические свойства твердых тел».
3. Изучение лекционного материала по теме: «Положение уровня Ферми и концентрация свободных носителей заряда в собственных и примесных».
4. Изучение лекционного материала по теме: «Полупроводниковые источники света и лазеры».
5. Изучение лекционного материала по теме: «Биполярный транзистор».
6. Изучение лекционного материала по теме: «Зонная модель поверхности полупроводника».
7. Изучение лекционного материала по теме: «Условия наблюдения квантовых размерных эффектов».

8. Изучение лекционного материала по теме: «Физические основы процессов эпитаксии; молекулярно-лучевая эпитаксия; газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений».

## **5 ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

В соответствии с компетентностным подходом выпускник вуза должен не просто обладать определенной суммой знаний, а уметь при помощи этих знаний решать конкретные задачи производства.

Учитывая требования ОС НИЯУ МИФИ ВО по направлению подготовки 11.03.03 "Конструирование и технология электронных средств", реализация компетентностного подхода должна предусматривать широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Лекционные занятия проводятся в специализированной аудитории с применением мультимедийного проектора в виде учебной презентации. Учебные материалы предъявляются обучающимся для ознакомления и изучения, основные моменты лекционных занятий конспектируются. Отдельные темы предлагаются для самостоятельного изучения с обязательным составлением и контролем конспекта.

Практические занятия проводятся также с применением мультимедийного проектора с разбором типовых решений.

Лабораторные работы проводятся в специально оборудованной лаборатории на лабораторных установках бригадой студентов из 3-4 человек. Все лабораторные работы выполняются фронтально. За 2-3 дня до проведения лабораторных работ студентам выдается их описание для изучения, перед началом работ проводится тестирование студентов для проверки их готовности к выполнению лабораторных работ.

Текущий контроль знаний студентов по отдельным разделам и в целом по дисциплине проводится в форме компьютерного или бумажного тестирования, а также выполнением самостоятельных работ по решению задач.

**6 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ  
УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ  
ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ  
ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

**Перечень оценочных средств, используемых для текущей аттестации**

Код	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
<b>7 семестр</b>			
T1	Тест №1	Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося	Фонд тестовых заданий
T2	Тест №2		
T3	Тест №3		
KP1	Контрольная работа №1	Средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу	Комплект контрольных заданий по вариантам
KP2	Контрольная работа №2		
LP1	Лабораторная работа №1	Средства проверки умений и навыков применения на практике теоретических знаний	Методическое руководство
LP2	Лабораторная работа №2		
LP3	Лабораторная работа №3		

**Расшифровка компетенций через планируемые результаты обучения**

Связь между формируемыми компетенциями и планируемыми результатами обучения представлена в следующей таблице:

Код	Проектируемые результаты освоения дисциплины и индикаторы формирования компетенций			Средства и технологии оценки
	Знать (З)	Уметь (У)	Владеть (В)	
ПК-2.1	З1	У1	В1	7 семестр: Т1, Т2, Т3, КР, ЛР1, ЛР2, ЛР3
ПК-2.3	З2	У2	В2	7 семестр: Т1, Т2, Т3, КР, ЛР1, ЛР2, ЛР3

## Этапы формирования компетенций

Раздел	Темы занятий	Коды компетенций	Знания, умения и навыки	Виды аттестации		
				Текущий контроль – неделя	Аттестация раздела – неделя	Промежуточная аттестация
<b>7 семестр</b>						
Раздел 1	<p>1.Общая характеристика микро- и наноэлектроники. Основные этапы развития электроники; определение и терминология микроэлектроники; основные направления развития электроники.</p> <p>2. Элементы квантовой механики. Волновые свойства микрочастиц; волновое уравнение Шредингера; применение уравнения Шредингера.</p>	ПК-2.1, ПК-2.3	31, 32, У1, У2, В1, В2	ЛР1	Т1	экзамен
Раздел 2	<p>3. Зонная теория твердых тел. Обобществление электронов в кристалле; зонный характер энергетического спектра электронов в кристалле; заполнение зон электронами и электрические свойства твердых тел; понятие о дырках; примесные уровни в полупроводниках.</p> <p>4.Элементы физической статистики. Способы описания состояния коллектива частиц; невырожденные и вырожденные коллективы частиц; классическая и квантовая статистики; функция распределения;</p>	ПК-2.1, ПК-2.3	31, 32, У1, У2, В1, В2	ЛР2	КР1	

	<p>распределение электронов в металле при абсолютном нуле; влияние температуры на распределение Ферми-Дирака; снятие вырождения; функция распределения для вырожденного газа бозонов; статистика носителей заряда в полупроводниках; положение уровня Ферми и концентрация свободных носителей заряда в собственных и примесных полупроводниках.</p>					
Раздел 3	<p>5. Избыточные носители тока в полупроводниках. Проводимость и подвижность носителей тока; механизмы рассеяния свободных носителей заряда; примесная проводимость полупроводников; диффузионный ток в полупроводниках; генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Время их жизни; полупроводниковые источники света и лазеры; уравнение непрерывности; диффузионная длина носителей.</p> <p>6. Контактные явления. Виды электрических контактов; контакт полупроводника с металлом; выпрямление напряжения на контакте полупроводника с металлом; омический контакт; контакт двух полупроводников с различным типом проводимости; емкость</p>	ПК-2.1, ПК-2.3	31, 32, У1, У2, В1, В2	ЛР3	Т2	

	<p>перехода; пробой р-п-перехода; туннельные и обращенные диоды; эффект Ганна; биполярный транзистор.</p> <p>7.Электронные процессы на поверхности полупроводника. Идеальная и реальная поверхности полупроводника; быстрые и медленные поверхностные состояния; зонная модель поверхности полупроводника; эффект поля; вольт-фарадные характеристики МДП-структур; полупроводниковые приборы, работающие на основе поверхностных эффектов.</p>					
Раздел 4	<p>8.Особенности физических процессов в наноразмерных структурах. Изменение энергетического спектра носителей заряда в квантово-размерных структурах; условия наблюдения квантовых размерных эффектов; структуры с двумерным электронным газом; структуры с одномерным электронным газом; структуры с нульмерным электронным газом; структуры с вертикальным переносом.</p> <p>9. Физические основы методов формирования объемных областей интегральных схем и их элементов.</p> <p>Легирование</p>	ПК-2.1, ПК-2.3	31, 32, У1, У2, В1, В2	Т3	КР2	

	полупроводниковых материалов; методы легирования полупроводников; физические основы процесса диффузии; законы диффузии; физические основы метода ионного легирования; распределение концентрации примесей в ионно-легированных слоях; физические основы процессов эпитаксии; молекулярно-лучевая эпитаксия; газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений; методы литографии; нанотехнология.					
--	--	--	--	--	--	--

### Шкала оценки образовательных достижений

Код	Вид оценочного средства	Критерии	Балл	Макс. балл– мин. балл
Т1	Тестовое задание №1	выставляется студенту, если 90-100% тестовых вопросов выполнено правильно	5	5 – 3
		выставляется студенту, если 80-89% тестовых задач выполнено правильно	4	
		выставляется студенту, если 60-79% тестовых задач выполнено правильно	3	
		при ответе студента менее, чем на 60% вопросов тестовое задание не зачитывается и у студента образуется долг, который должен быть закрыт в течение семестра или на зачетной неделе	<3	
Т2	Тестовое задание №2	выставляется студенту, если 90-100% тестовых вопросов выполнено правильно	5	5 – 3
		выставляется студенту, если 80-89% тестовых задач выполнено правильно	4	
		выставляется студенту, если 60-79% тестовых задач выполнено правильно	3	
		при ответе студента менее, чем на 60% вопросов тестовое задание не зачитывается и у студента образуется долг, который должен быть закрыт в течение семестра или на зачетной неделе	<3	
Т3	Тестовое задание №3	выставляется студенту, если 90-100% тестовых вопросов выполнено правильно	5	5 – 3
		выставляется студенту, если 80-89% тестовых задач выполнено правильно	4	
		выставляется студенту, если 60-79% тестовых задач выполнено правильно	3	
		при ответе студента менее, чем на 60% вопросов	<3	

		тестовое задание не зачитывается и у студента образуется долг, который должен быть закрыт в течение семестра или на зачетной неделе		
КР1	Контрольная работа №1	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.	10	10 – 6
		выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.	9-8	
		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.	7-6	
		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.	<6	
КР2	Контрольная работа №2	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.	10	10 – 6
		выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.	9-8	
		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.	7-6	
		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.	<6	
Э	Экзамен	выставляется студенту при правильно написанном билете и при ответе на все дополнительные вопросы по курсу с незначительными неточностями, которые студент должен устранить в процессе беседы с преподавателем, в рамках которой он демонстрирует углубленное понимание предмета и владение ключевыми знаниями, умениями и навыками, предусмотренными данной дисциплиной		40-50



Э	Экзамен	выставляется студенту при правильно написанном билете и при ответе на часть дополнительных вопросов по курсу с демонстраций базовых знаний, умений и навыков, предусмотренных данной дисциплиной	35-39	<30 – 39
		выставляется студенту при написанных ответах на вопросы билета (допускается содержание некоторых неточностей) и демонстрации базовых знаний, умений и навыков по данной дисциплине	30-34	
		если студент не написал ответ хотя бы на один из вопросов билета и не может ответить на дополнительные компетентностно–ориентированные вопросы	<30	

### Шкала оценки лабораторных работ

5 баллов – все расчеты произведены верно, присутствуют нужные схемы и рисунки, указаны ключевые формулы, правильно сделан вывод, работа оформлена аккуратно;

4 балла - все расчеты произведены верно, присутствуют нужные схемы и рисунки, указаны ключевые формулы, сделан ошибочный вывод, работа оформлена аккуратно;

3 балла – работа оформлена небрежно, рисунки и схемы не отражают сути происходящих явлений, либо вообще отсутствуют, но при этом все расчеты произведены верно, указаны ключевые формулы, правильно сделан вывод;

2 балла – указаны нужные формулы, расчеты произведены верно, но вывод и изображения отсутствуют;

1 балл – нужные формулы указаны, но расчет произведен не правильно, вывод и рисунки либо отсутствуют, либо не верны.

5 баллов	Отлично	Тема освоена полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы.
4 балла	Хорошо	Теоретическое содержание темы освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно.
3 балла	Удовлетворительно	Теоретическое содержание темы освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы.

Меньше 3 баллов	Неудовлетворительно	Очень слабые знания, недостаточные для понимания темы, имеется большое количество основных ошибок и недочетов.
-----------------	---------------------	--

Итоговая оценка представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля и выставляется в соответствии с Положением о кредитно-модульной системе в соответствии со следующей шкалой:

Оценка по 5-балльной шкале	Сумма баллов за разделы	Оценка ECTS
5 – «отлично»	90-100	A
4 – «хорошо»	85-89	B
	75-84	C
	70-74	D
3 – «удовлетворительно»	65-69	E
	60-64	
2 – «неудовлетворительно»	Ниже 60	F

Расшифровка уровня знаний, соответствующего полученным баллам, дается в таблице указанной ниже

Оценка по 5-балльной шкале – оценка по ECTS	Сумма баллов за разделы	Требования к усвоению сформированности компетенций дисциплины
«отлично» – A	90 ÷ 100	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.
«хорошо» – D, C, B	70 ÷ 89	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
«удовлетворительно» – E, D	60 ÷ 69	Оценка «удовлетворительно» 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.
«неудовлетворительно» – F	менее 60	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.

## Вопросы к экзамену

1. Основные этапы развития электроники.
2. Определение и терминология микроэлектроники.
3. Основные направления развития электроники.
4. Волновые свойства микрочастиц.
5. Волновое уравнение Шредингера.
6. Применение уравнения Шредингера.
7. Обобществление электронов в кристалле.
8. Зонный характер энергетического спектра электронов в кристалле.
9. Заполнение зон электронами и электрические свойства твердых тел.
10. Примесная проводимость полупроводников.
11. Диффузионный ток в полупроводниках.
12. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Время их жизни.
13. Полупроводниковые источники света и лазеры.
14. Уравнение непрерывности.
15. Диффузионная длина носителей.
16. Виды электрических контактов.
17. Контакт полупроводника с металлом.
18. Выпрямление напряжения на контакте полупроводника с металлом.
19. Омический контакт.
20. Контакт двух полупроводников с различным типом проводимости.
21. Емкость перехода.
22. Пробой p-n-перехода.
23. Туннельные и обращенные диоды.
24. Эффект Ганна.
25. Биполярный транзистор.
26. Идеальная и реальная поверхности полупроводника.
27. Быстрые и медленные поверхностные состояния.
28. Зонная модель поверхности полупроводника.
29. Эффект поля.
30. Вольт-фарадные характеристики МДП-структур.

31. Полупроводниковые приборы, работающие на основе поверхностных эффектов.
32. Изменение энергетического спектра носителей заряда в квантово-размерных структурах.
33. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов.
34. Структуры с двумерным электронным газом.
35. Структуры с одномерным электронным газом.
36. Структуры с нульмерным электронным газом.
37. Структуры с вертикальным переносом.
38. Легирование полупроводниковых материалов.
39. Методы легирования полупроводников.
40. Физические основы процесса диффузии.
41. Законы диффузии.
42. Физические основы метода ионного легирования.
43. Распределение концентрации примесей в ионно-легированных слоях.
44. Физические основы процессов эпитаксии.
45. Молекулярно-лучевая эпитаксия.
46. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений.
47. Методы литографии.
48. Нанотехнология.

## **7 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **7.1 Основная литература**

1. Смирнов Ю. А. Физические основы электроники: учебное пособие [Электронный ресурс] / Ю. А. Смирнов, С. В. Соколов, Е. В. Титов. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 560 с. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система Лань [сайт]. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/168522>.
2. Смирнов Ю. А. Основы нано- и функциональной электроники: учебное пособие [Электронный ресурс] / Ю. А. Смирнов, С. В. Соколов, Е. В. Титов. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 320 с. — Текст: электронный // Электронно-

библиотечная система Лань [сайт]. — Режим доступа:  
<https://e.lanbook.com/book/168521>.

3. Щука А. А. Электроника в 4 ч. Часть 4. Функциональная электроника: учебник для вузов [Электронный ресурс] / А. А. Щука, А. С. Сигов; ответственный редактор А. С. Сигов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2022. — 183 с. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/490609>.

## 7.2 Дополнительная литература

1. Толмачёв В. В. Физические основы электроники [Электронный ресурс] / В. В. Толмачёв, Ф. В. Скрипник. — 2-е изд. — Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2019. — 496 с. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS [сайт]. — Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/92021.html>.

2. Щука А. А. Электроника в 4 ч. Часть 2. Микроэлектроника: учебник для вузов [Электронный ресурс] / А. А. Щука, А. С. Сигов; ответственный редактор А. С. Сигов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2022. — 326 с. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/490607>.

## 7.3 Интернет ресурсы

№	Наименование ресурса	Интернет-ссылка на ресурс
1	Электронная библиотечная система ЮРАЙТ	<a href="https://urait.ru/">https://urait.ru/</a>
2	Электронная библиотечная система «Лань» ООО "Издательство Лань"	<a href="http://e.lanbook.com">e.lanbook.com</a>
3	Электронная библиотечная система IPR BOOKS	<a href="https://www.iprbookshop.ru/">https://www.iprbookshop.ru/</a>
4	Электронная библиотечная система eLIBRARY ООО "РУНЭБ"	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>
5	Научные полнотекстовые ресурсы издательства Springer (архив) Springer Customer Service Center GmbH, обеспечение доступа ФГБУ "ГПНТБ России"	<a href="http://link.springer.com/">http://link.springer.com/</a>
6	Единое окно доступа к образовательным ресурсам	<a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>

7	StudFiles (Файловый архив студентов)	<a href="https://studfile.net/preview/960265/">https://studfile.net/preview/960265/</a>
8	Рынок микроэлектроники. Справочник по электронным компонентам.	<a href="http://www.gaw.ru/">http://www.gaw.ru/</a>
9	Автор Микушин А. В. All rights reserved.	<a href="https://digteh.ru/MCS51/MCS_51.php">https://digteh.ru/MCS51/MCS_51.php</a>
10	SCI-ARTICL Публикация научных статей	<a href="https://sci-article.ru/gryps.php?i=elektrotehnika">https://sci-article.ru/gryps.php?i=elektrotehnika</a>
11	Большая Энциклопедия Нефти и Газа	<a href="http://www.ngpedia.ru/id155581p1.html">http://www.ngpedia.ru/id155581p1.html</a>
12	ИСТИНА (Интеллектуальная Система Тематического Исследования НАукометрических данных)	<a href="https://istina.msu.ru/journals/96319/">https://istina.msu.ru/journals/96319/</a>
13	Международный научно-практический журнал «Программные продукты и системы»	<a href="http://www.swsys.ru/index.php?page=infotg&amp;id=57">http://www.swsys.ru/index.php?page=infotg&amp;id=57</a>
14	KMSOFT (Научные статьи)	<a href="http://kmssoft.ru/lc/C012">http://kmssoft.ru/lc/C012</a>

#### 7.4 Периодические издания

1. ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ – Режим доступа: [https://elibrary.ru/title\\_about\\_new.asp?id=7719](https://elibrary.ru/title_about_new.asp?id=7719) - Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU ЭБС.
2. КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ – Режим доступа: [https://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=28889](https://elibrary.ru/title_about.asp?id=28889) - Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU ЭБС.
3. ИНСТРУМЕНТ. ТЕХНОЛОГИЯ. ОБОРУДОВАНИЕ – Режим доступа: [https://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=9796](https://elibrary.ru/title_about.asp?id=9796) - Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU ЭБС.
4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – Режим доступа: [https://elibrary.ru/title\\_about\\_new.asp?id=8742](https://elibrary.ru/title_about_new.asp?id=8742) - Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU ЭБС.
5. РАДИОЭЛЕКТРОНИКА. НАНОСИСТЕМЫ. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ - Режим доступа: [https://www.elibrary.ru/title\\_about.asp?id=32094](https://www.elibrary.ru/title_about.asp?id=32094) – Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU ЭБС.
6. ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ – Режим доступа: [https://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=28006](https://elibrary.ru/title_about.asp?id=28006) - Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU ЭБС.

## **8 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

### **ДИСЦИПЛИНЫ**

Для проведения учебных занятий лекционного и семинарского типа, групповые и индивидуальные консультации, текущего контроля, промежуточной аттестации используются учебные аудитории, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения.

Учебные аудитории для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду вуза.

ТТИ НИЯУ МИФИ обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения.

Сведения о наличии оборудованных учебных кабинетов, объектов для проведения практических занятий представлены на официальном сайте ТТИ НИЯУ МИФИ: <http://tti-mephi.ru/ttimephi/sveden/objects>