

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

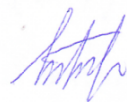
Трехгорный технологический институт–

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

(ТТИ НИЯУ МИФИ)

**КАФЕДРА
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ, КОНСТРУИРОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ
ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**



«25» _____ июня 2025 г.

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора

Т.В.Труфанова

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ»

Специальность: 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Специализация: Проектирование и технология радиоэлектронных систем и комплексов

Квалификация (степень) выпускника: инженер

Форма обучения: очная

Трехгорный
2025

1 ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цели дисциплины

Целями освоения дисциплины «Физические основы микро- и нанoeлектроники» являются формирование у студентов фундаментальных знаний о физических процессах в микро- и нанoeлектронных структурах, а также развитие практических навыков анализа и расчёта параметров полупроводниковых материалов и устройств для успешного применения в профессиональной деятельности.

1.2 Задачи дисциплины

Задачами изучения дисциплины являются: 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 нанoeлектроники» относится к обязательной части блока дисциплин учебного плана. Освоение обучающимися дисциплины опираются на знания, умения и навыки, приобретенные в результате освоения предшествующих дисциплин:

- материалы и компоненты электронных средств;
- электроника;
- физические основы функциональных устройств в радиоэлектронных средствах;
- физические эффекты в радиоэлектронике;
- интегральные устройства электроники.

Знания, умения и навыки, полученные при освоении дисциплины, являются необходимыми для освоения последующих дисциплин:

- проектирование и производство радиоэлектронных систем;

– технологические процессы производства радиоэлектронных систем;

а также при прохождении учебной, производственной практик и при выполнении выпускной квалификационной работы.

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

3.1 Компетенции студента, формируемые в результате освоения учебной дисциплины

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

– способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и применять соответствующий физико-математический аппарат для их формализации, анализа и принятия решения (ОПК-2);

– способен к логическому мышлению, обобщению, прогнозированию, постановке исследовательских задач и выбору путей и достижения, освоению работы на современном измерительном, диагностическом и технологическом оборудовании, используемом для решения различных научно-технических задач в области радиоэлектронной техники и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-3).

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

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

– современное состояние области профессиональной деятельности;

– методы решения задач анализа и расчета характеристик радиоэлектронных систем и устройств с применением современного измерительного, диагностического и технологического оборудования.

уметь:

- искать и представлять актуальную информацию о состоянии предметной области;

- подготавливать научные публикации на основе результатов исследований.

владеть:

- навыками работы за персональным компьютером, в том числе пакетами прикладных программ для разработки и представления документации;

- навыками использования методов решения различных научно-технических задач в области радиоэлектронной техники и информационно-коммуникационных технологий.

3.3 Воспитательная работа

Направление/ цели	Создание условий, обеспечивающих	Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин
Профессиональный модуль		
Профессиональное воспитание	- формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (B17)	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	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения

	решения (B18)	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 (B19)	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.
УГНС 11.00.00 «Электроника, радиотехника и системы связи»:	- формирование навыков коммуникации и командной работы при разработке электронных средств (B27); - формирование культуры безопасности при работе в электромонтажной и электрорадиомонтажной лаборатории (B28)	1. Использование воспитательного потенциала профильных дисциплин "Основы конструирования электронных средств", "Схемо- и системотехника электронных 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;

		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.
--	--	---

4 СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины в 8 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			
8 семестр									
1	Раздел 1	1-4	8	-	8	8	УО1-2	Т1-4	10
2	Раздел 2	5-9	10	-	10	10	УО2-7	КР1-9	15
3	Раздел 3	10-13	8	-	8	8	УО3-11	Т2-13	10
4	Раздел 4	14-18	10	-	10	10	ДЗ1-16	КР2-18	15
Итого			36		36	36			50
Зачет с оценкой									50
Итого за семестр									100

4.1 Содержание лекций

Раздел 1. Общая характеристика микро- и нанoeлектроники. Элементы квантовой механики.

Тема 1.1. Основные этапы развития электроники.

Тема 1.2. Определение и терминология микроэлектроники.

Тема 1.3. Основные направления развития электроники.

Тема 1.4. Волновые свойства микрочастиц.

Тема 1.5. Волновое уравнение Шредингера.

Тема 1.6. Применение уравнения Шредингера.

Раздел 2. Зонная теория твердых тел. Элементы физической статистики.

Тема 2.1. Обобществление электронов в кристалле.

Тема 2.2. Зонный характер энергетического спектра электронов в кристалле.

Тема 2.3. Заполнение зон электронами и электрические свойства твердых тел.

Тема 2.4. Понятие о дырках; примесные уровни в полупроводниках.

Тема 2.5. Способы описания состояния коллектива частиц.

Тема 2.6. Невырожденные и вырожденные коллективы частиц.

Тема 2.7. Классическая и квантовая статистики.

Тема 2.8. Функция распределения. Распределение электронов в металле при абсолютном нуле.

Тема 2.9. Влияние температуры на распределение Ферми-Дирака.

Тема 2.10. Снятие вырождения. Функция распределения для вырожденного газа бозонов.

Тема 2.11. Статистика носителей заряда в полупроводниках.

Тема 2.12. Положение уровня Ферми и концентрация свободных носителей заряда в собственных и примесных полупроводниках.

Раздел 3. Избыточные носители тока в полупроводниках. Контактные явления.

Электронные процессы на поверхности полупроводника.

Тема 3.1. Проводимость и подвижность носителей тока.

Тема 3.2. Механизмы рассеяния свободных носителей заряда.

Тема 3.3. Примесная проводимость полупроводников.

Тема 3.4. Диффузионный ток в полупроводниках.

Тема 3.5. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Время их жизни.

Тема 3.6. Полупроводниковые источники света и лазеры.

Тема 3.7. Уравнение непрерывности.

Тема 3.8. Диффузионная длина носителей.

Тема 3.9. Виды электрических контактов.

Тема 3.10. Контакт полупроводника с металлом. Выпрямление напряжения на контакте полупроводника с металлом.

Тема 3.11. Омический контакт.

Тема 3.12. Контакт двух полупроводников с различным типом проводимости.

Тема 3.13. Емкость перехода. Пробой р-п-перехода.

Тема 3.14. Туннельные и обращенные диоды.

Тема 3.15. Эффект Ганна.

Тема 3.16. Биполярный транзистор.

Тема 3.17. Идеальная и реальная поверхности полупроводника.

Тема 3.18. Быстрые и медленные поверхностные состояния.

Тема 3.19. Зонная модель поверхности полупроводника.

Тема 3.20. Эффект поля.

Тема 3.21. Вольт-фарадные характеристики МДП-структур.

Тема 3.22. Полупроводниковые приборы, работающие на основе поверхностных эффектов.

Раздел 4. Особенности физических процессов в наноразмерных структурах.

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

Тема 4.1. Изменение энергетического спектра носителей заряда в квантово-размерных структурах.

Тема 4.2. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов.

Тема 4.3. Структуры с двумерным электронным газом.

Тема 4.4. Структуры с одномерным электронным газом.

Тема 4.5. Структуры с нульмерным электронным газом.

Тема 4.6. Структуры с вертикальным переносом.

Тема 4.7. Легирование полупроводниковых материалов. Методы легирования полупроводников.

Тема 4.8. Физические основы процесса диффузии. Законы диффузии.

Тема 4.9. Физические основы метода ионного легирования. Распределение концентрации примесей в ионно-легированных слоях.

Тема 4.10. Физические основы процессов эпитаксии. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений.

Тема 4.11. Методы литографии. Нанотехнология.

4.2 Тематический план практических работ

1. Анализ изменения дебройлевской длины волны при изменении энергии частицы.
2. Расчёт длины волны молекул газа при заданной температуре.
3. Определение собственной концентрации электронов для германия и кремния при заданной температуре
4. Расчёт концентрации основных и неосновных носителей в примесных полупроводниках
5. Определение положения уровня Ферми и его отображение на энергетической диаграмме.
6. Построение энергетических зон для собственных и примесных полупроводников.
7. Анализ влияния температуры и концентрации примесей на положение уровня Ферми.
8. Расчёт удельной проводимости полупроводника с учётом концентрации и подвижности носителей.
9. Расчёт времени жизни носителей в зависимости от концентрации рекомбинационных центров.

4.3 Самостоятельная работа студентов

Самостоятельное изучение лекционного материала по темам:

- 1) концепция волны де Бройля и её физический смысл;
- 2) анализ стационарного и нестационарного уравнений Шрёдингера;
- 3) энергетические уровни частицы в прямоугольной потенциальной яме конечной глубины;
- 4) физическая природа туннельного эффекта;
- 5) определение понятия эффективной массы электрона и дырки;
- 6) связь эффективной массы с кривизной энергетических зон;

- 7) анализ ВАХ р-п-перехода (идеализированной и реальной);
- 8) механизмы рассеяния носителей заряда (на примесях, на фононах и т.д.);
- 9) влияние температуры и напряжения на туннельные токи;
- 10) перспективы применения туннельных структур в нанoeлектронике.

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 специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы», 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.

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

Фонд оценочных средств позволяет оценить знания, умения, навыки и уровень приобретенных компетенций. Фонд оценочных средств по дисциплине включает:

- 6.1 Комплект заданий для текущего контроля успеваемости.
- 6.2. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации.

7 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1 Основная литература

1. Доломатов, М. Ю. Физические основы нанoeлектроники: учебник для вузов / М. Ю. Доломатов, Р. З. Бахтизин, Т. И. Шарипов. – Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 173 с. – (Высшее образование). – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/588941>.

2. Асеев, А. Л. Полупроводники и нанотехнологии: учебник для вузов / А. Л. Асеев. – Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 152 с. – (Высшее образование). – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/568929>.

3. Комиссаров Ю. А. Основы электротехники, микроэлектроники и управления: учебник для вузов / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Д. П. Вент, Г. И. Бабокин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 601 с. – (Высшее образование). – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/587298>.

7.2 Дополнительная литература

1. Гуляев Ю. В. Основы конструирования и технологии производства радиоэлектронных средств. Интегральные схемы: учебник для вузов / под редакцией Ю. В. Гуляева. – Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 460 с. – (Высшее образование). – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/584044>.

2. Плотников, Г. С. Микроэлектроника: основы молекулярной электроники: учебник для вузов / Г. С. Плотников, В. Б. Зайцев. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 166 с. – (Высшее образование). – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/585474>.

8 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Кабинет электрических машин и аппаратов для проведения лекций и практических занятий:

Доступ к сети Интернет;

Комплект мультимедийного оборудования:

Проектор Epson;

Экран настенный;

Ноутбук Lenovo IdeaPad 570 15.6" с возможностью подключения к сети «Интернет» (обеспечен лицензионным и свободно распространяемым программным обеспечением, в том числе отечественного производства);

Комплект учебного оборудования «Основы электрических машин и электропривода» – 3 шт.;

Комплект учебного оборудования «Электрические аппараты» – 3 шт.;

Стол преподавателя;

Стул преподавателя;

Столы ученические – 12 шт.;

Стулья ученические – 24 шт.

Помещение для самостоятельной работы.

Библиотека ТТИ НИЯУ МИФИ, читальный зал с выходом в сеть Интернет и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде:

Персональный компьютер (обеспечен лицензионным и свободно распространяемым программным обеспечением, в том числе отечественного производства) – 10 шт.;

Проектор;

Экран;

Принтер;

Выставочные шкафы – 4 шт.,

Стол ученические – 12 шт.,

Стулья ученические – 24 шт.