

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ИНГУШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ФИЗИКА

СОГЛАСОВАНО

Руководитель образовательной программы

_____/ Матиев А. Х.
от « 27 » 04 2026 г.

УТВЕРЖДАЮ

Декан физико-математического факультета

_____/ Мальсагов М.Х.
от « 28 » 04 2026 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ФАКУЛЬТАТИВНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ФТД.01 Полупроводниковая электроника

(индекс дисциплины по учебному плану, наименование дисциплины (модуля))

Направление подготовки (магистратура)

03.04.02. Физика

Направленность (профиль подготовки)

Физика полупроводников

Квалификация выпускника

магистр

Форма обучения - очная

Магас, 2026

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель учебного курса «Полупроводниковая электроника» – дать магистрантам базовые знания по основным разделам физики полупроводников и полупроводниковых приборов: об электронных свойствах полупроводников и основных физических явлениях в полупроводниках и полупроводниковых приборах, а также о технологии создания и физических принципах работы полупроводниковых приборов.

Для достижения поставленной цели выделяются следующие задачи курса:

1. Овладение феноменологическим и микроскопическим подходами к описанию свойств кристаллов полупроводников, диэлектриков и металлов.
2. Изучение круга транспортных явлений, используемых для исследования энергетического спектра кристаллов и процессов релаксации различных квазичастиц – электронов и дырок, поляронов, фононов, а также определения параметров полупроводников и полупроводниковых структур.
3. Ознакомление с физическими принципами работы приборов, основанных на электрофизических и транспортных явлениях в полупроводниках: полупроводниковых структурах, полупроводниковых приборах на их основе.

МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП МАГИСТРАТУРЫ

Дисциплина «Полупроводниковая электроника» входит в пакет факультативных дисциплин блока ФТД, формирующих фундаментальное образование магистров по направлению 03.04.02 Физика. Профиль «Физика полупроводников». В табл. 2.1 приведены названия предметов и разделов, которые необходимо усвоить для изучения дисциплины «Полупроводниковая электроника».

Требования к «входным» знаниям и уровню начальной подготовки обучающегося для успешного освоения дисциплины включают знание курсов:

- Механика
- Молекулярная физика
- Электричество и магнетизм
- Оптика
- Атомная физика
- Физика атомного ядра и элементарных частиц
- Общий физический практикум
- Основы аналоговой электроники
- Математический анализ
- Дифференциальные уравнения
- Основы цифровой электроники
- Радиоэлектроника

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «Полупроводниковая электроника»

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по данному направлению:

Таблица 3.1.			
Код компетенции	Наименование компетенции	Индикатор достижения компетенции (закрепленный за дисциплиной)	В результате освоения дисциплины обучающийся:

		плиной)	
ОПК-1	Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности	ОПК 1.1. Знает теорию и основные законы в области естественнонаучных дисциплин.	Знает: содержание процессов самоорганизации и самообразования, их особенностей и технологий реализации, исходя из целей совершенствования профессиональной деятельности; Умеет: планировать цели и устанавливать приоритеты при выборе способов принятия решений с учетом условий, средств, личностных самостоятельно строить процесс овладения информацией, отобранной и структурированной для выполнения профессиональной деятельности; Владеет: приемами саморегуляции эмоциональных и функциональных состояний при выполнении профессиональной деятельности; технологиями организации процесса самообразования; способами планирования, организации, самоконтроля и самооценки деятельности.
		ОПК 1.2. Умеет использовать естественнонаучные знания при объяснении экспериментов, решения профессиональных задач.	
		ОПК 1.3. Владеет основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности и работы в научных группах.	

продолжение Таблица 3.1.			
Код компетенции	Наименование компетенции	Индикатор достижения компетенции (закрепленный за дисциплиной)	В результате освоения дисциплины обучающийся:
ОПК-4	ОПК-4. Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности.	ОПК-4.1. Знает области применения результатов научных исследований в своей профессиональной деятельности. ОПК-4.2. Умеет определять способы внедрения результатов научных исследований. ОПК-4.3. Владеет методами описания результатов научных исследований для их внедрения.	Знать основные транспортные и электрофизические явления в полупроводниках и физические принципы работы полупроводниковых приборов, построенных на этих явлениях; основы экспериментальных методов исследования полупроводников и полупроводниковых микроструктур. Уметь объяснять микроскопические механизмы транспортных и электрофизических явлений в полупроводниках; отвечать на контрольные вопросы по курсу; решать задачи по физике полупроводников на уровне сложности задания.

4. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 4.1	
Виды учебной работы	Всего час/зач. ед.
Контактная работа (всего)	10

Лекции (Л)	4
Практические занятия (ПЗ)	6
Курсовая работа	
Самостоятельная работа (всего)	26
Подготовка к практическим занятиям	
Контроль самостоятельной работы	
Вид отчетности	зачет
Общая трудоёмкость	36/1

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 5.1					
РАЗДЕЛЫ (МОДУЛИ) ДИСЦИПЛИНЫ В СЕМЕСТРЕ		Лекции, (часы)	Практические занятия (ПЗ), час	СРС (часы)	Всего, час
1	Введение. Основные физические явления, лежащие в основе полупроводниковых приборов	1		2	
2	Контакты металл-полупроводник. Диод Шоттки	1	1	3	
3	p-n переход. Диод, стабилитрон		1	3	
4	Полевые транзисторы. МДП структуры. МДП транзистор (MOSFET, FinFET). High-κ диэлектрики	1		4	
5	Схемы на основе биполярных транзисторов		1	3	
6	Приборы на основе многослойных p-n переходов и другие приборы		1	4	
7	Интегральные схемы. Технология полупроводникового производства	1	1	3	
8	Полупроводниковые датчики (магнитное поле, давление, температура)		1	4	

5.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам)

Введение

Основные направления развития физики и техники полупроводников. Анализ развития рынка полупроводниковых приборов.

Основные физические явления, лежащие в основе полупроводниковых приборов

Кристаллическая структура. Энергетические зоны. Энергия Ферми. Квазичастицы. Носители заряда. Генерация и рекомбинация электронов и дырок. Собственные и примесные полупроводники. Примеси, донорные и акцепторные примеси. Компенсация. Уравнение электронейтральности, закон действующих масс, температурная зависимость энергии Ферми. Явления переноса. Диффузия. Дрейф в электрическом поле. Зависимость дрейфовой скорости от электрического поля и температуры, подвижность. Поверхностные состояния. Работа выхода.

Контакты металл-полупроводник. Диод Шоттки

Зонные диаграммы. Эффект Шоттки. Омический контакт. Режимы обеднения и обогащения. Процесс переноса заряда. Структуры приборов.

p-n переход. Диод, стабилитрон

Зонные диаграммы. Обеднённый слой и барьерная ёмкость. Явления пробоя. Вольт-амперные характеристики. Фотогенерация. Основы технологии. Фотодиод.

Полевые транзисторы. МДП структуры.

Принцип действия полевого транзистора. Основные характеристики приборов. Эквивалентные схемы полевого транзистора с управляющим переходом. Зонная диаграмма МДП структур. Ёмкость и эквивалентные схемы МДП структур

Приборы на основе многослойных p-n переходов и другие приборы

Тиристоры, основные характеристики. Диодный и триодный тиристоры. Полевые тиристоры. Симисторы. Варикапы. Pin диоды. Стабисторы (нормисторы). Варисторы.

Интегральные схемы. Технология полупроводникового производства

Составные транзисторы. Дифференциальный усилитель. Выходные каскады. Планарная технология. Трёхмерная технология.

Полупроводниковые датчики (магнитное поле, давление, температура)

Движение в магнитном поле. Эффект Холла. Датчики магнитного поля. Датчики давления. Датчики температуры.

Программа практических занятий

Основные физические явления, лежащие в основе полупроводниковых приборов

Уравнение электронейтральности, закон действующих масс, температурная зависимость энергии Ферми.

Контакты металл-полупроводник. Диод Шоттки

Зонные диаграммы контактов металл-полупроводник.

p-n переход. Диод, стабилитрон

Зонные диаграммы контактов p-полупроводник-p-полупроводник.

Полевые транзисторы. МДП структуры.

Зонная диаграмма МДП структур. Ёмкость и эквивалентные схемы МДП структур. Типы МДП транзисторов. Комплементарные МДП схемы. Технология МДП структур, масштабирование.

Биполярные транзисторы

Зонная диаграмма биполярных транзисторов. Выходные характеристики схем на биполярных транзисторах: с общей базой, с общим коллектором, с общим эмиттером.

Схемы на основе биполярных транзисторов

Выходные характеристики составных биполярных и полевых транзисторов.

Приборы на основе многослойных p-n переходов и другие приборы

C-V характеристики варикапов. Профили легирования и профили срезов различных исполнений варикапов.

Интегральные схемы. Технология полупроводникового производства

Масштабирование полупроводниковых микросхем, области применений Low-k и High-k диэлектриков.

Полупроводниковые датчики (магнитное поле, давление, температура)

Топология, реализация и применение датчиков магнитного поля, давления и температуры.

5.2. Лекционные занятия

Таблица 5.1		
№ п/п	Номер лекции	Наименование раздела и темы дисциплины

1	2	3
1	1	Введение. Основные физические явления, лежащие в основе полупроводниковых приборов
2	2	Контакты металл-полупроводник. Диод Шоттки
3	3	Полевые транзисторы. МДП структуры. МДП транзистор (MOSFET, FinFET). High-к диэлектрик
4	4	Интегральные схемы. Технология полупроводникового производства

5.3. Практические занятия

№	Часы	Наименование тем
1	1	Контакты металл-полупроводник. Диод Шоттки
2	1	p-n переход. Диод, стабилитрон
3	1	Схемы на основе биполярных транзисторов
4	1	Приборы на основе многослойных p-n переходов и другие приборы
5	1	Интегральные схемы. Технология полупроводникового производства
6	1	Полупроводниковые датчики (магнитное поле, давление, температура)

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

Перечень тем, выносимый для самостоятельной работы представлен в таблице 7.1.

7.1. План самостоятельной работы студентов

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям	10
Подготовка к заданиям для самостоятельно-го решения	4
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	6
Подготовка к зачету	6

7.2. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Уровень освоения учебных дисциплин обучающимися определяется следующими оценками: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценки «отлично» заслуживает обучающийся, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умение свободно выполнять практические задания, предусмотренные программой, усвоивший основную литературу и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой.

Оценки «хорошо» заслуживает обучающийся, обнаруживший полное знание учебного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе практические задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе.

Оценки «удовлетворительно» заслуживает обучающийся, обнаруживший знания основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением практических заданий, предусмотренных программой, знакомых с основной литературой, рекомендованной программой.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой практических заданий.

Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Перечень контрольных вопросов

1. Какие основные полупроводниковые приборы используются в современной электронике? Какие у них общие свойства и различия.
2. Какой физический смысл у энергии Ферми в металлах, полупроводниках, диэлектриках?
3. Какие уравнения и методы используются для расчёта положения энергии Ферми?
4. Как электрическое поле проникает в металлы, диэлектрики, полупроводники?
5. Какие кинетические явления происходят в металлах, диэлектриках, полупроводниках при приложении внешнего электрического поля?
6. Что такое поверхность твёрдого тела? К каким явлениям приводит поверхность?
7. Что такое контактная разность потенциалов?
8. Нарисуйте зонную диаграмму контакта металл-полупроводник. Объясните принципы построения зонной диаграммы.
9. Чем отличаются диффузия и инжекция зарядов?
10. Объясните вольт-амперную характеристику диода Шоттки, приведите область применения диода Шоттки.
11. Нарисуйте зонную диаграмму p-n перехода. Объясните принципы построения зонной диаграммы.
12. Объясните вольт-амперную характеристику p-n перехода.
13. Что такое обратный ток (ток насыщения) p-n перехода и как он зависит от температуры?
14. Приведите область применения p-n перехода.

- 15 В чём заключается явление пробоя p-n перехода. Какое практическое значение теплового и электрического пробоя?
- 16 Перечислите основные параметры стабилитрона.
17. Как устроен полевой транзистор? Каков принцип его работы?
- 18 В чём заключается ключевое отличие МДП транзистора от полевого транзистора?
- 19 Какие режимы работы МДП транзистора вы знаете? Какие параметры МДП транзистора описывают их?
20. Нарисуйте и опишите зонные диаграммы МПД структур и транзисторов.
21. Нарисуйте и опишите зонные диаграммы биполярных транзисторов (p-n-p и n-p-n).
22. Какие явления лежат в основе работы биполярного транзистора? Какие характеристики описывают работу биполярного транзистора?

Перечень задач для самостоятельного решения

1. Определить температурную зависимость уровня Ферми в монокристаллическом кремнии без легирующих примесей. Как она изменится при легировании кремния фосфором с концентрацией $N_d = 10^{14} \text{ см}^{-3}$? При легировании бором с концентрацией $N_a = 10^{18} \text{ см}^{-3}$? При легировании одновременно фосфором и бором с концентрациями $N_d = N_a = 10^{16} \text{ см}^{-3}$? Приветствуются как аналитические (численные) методы решения, так и графические.
2. Построить зависимость подвижности от электрического поля для Si и GaAs в широком диапазоне электрических полей (0–10 МВ/см) при температурах $T = 300, 350, 400 \text{ К}$ (каким тепловым режимам и требованиям к работе полупроводниковых приборов соответствуют эти температуры?). Нанести численные метки на оси. Сравните с соответствующими зависимостями для диэлектриков с подвижностью свободных носителей заряда $\mu = 0,1, 1, 10 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.
3. Нарисовать в масштабе зонную диаграмму контакта Si/Au для монокристаллических материалов. Определить зависимость ширины ОПЗ от приложенного смещения. Определить зависимость ёмкости контакта от приложенного смещения. Сравнить с контактами Si/Al, Si/SiO₂/Au, Si/SiO₂/Al.
4. Определить профиль легирования обратно смещённого p-n перехода (варикапа), для которого зависимость резонансной частоты (в совокупности с внешней индуктивностью) линейная от приложенного напряжения $f \sim V$. Для упрощения принять, что площадь варикапа не зависит от координаты. Как измениться профиль легирования при переменной площади?
5. Оценить изменение приложенного напряжения (при сохранении значения электрического поля), протекающего тока, рассеиваемой мощности, времени переключения, производительность прибора при уменьшении линейных размеров МДП транзистора в N раз. Как предотвратить туннельные токи утечек через подзатворный диэлектрик при переходе к следующей проектной норме (масштабировании в 0,7 раз)? При какой проектной норме этот вопрос становится актуальным?
6. Оценить время характеристики материалов (энергетические барьеры на границах разделов, толщины слоёв), используемых для хранения информации в энергонезависимых приборах памяти, к которым предъявляются следующие требования: а) хранения информации в течение 10 лет при температуре 85°C; б) хранения информации в течение 10 лет при температуре 125°C. Какие материалы удовлетворяют этим характеристикам?

Перечень вопросов на зачет

1. Опишите основные технологические циклы производства биполярных транзисторов.
2. Назовите основные составляющие тока в биполярном транзисторе. Опишите вольт-амперные характеристики.
3. Как связаны токи эмиттера, базы и коллектора?
4. Опишите принцип работы и характеристики схемы с ОБ.
5. Опишите принцип работы и характеристики схемы с ОК. 6. Опишите принцип работы и характеристики схемы с ОЭ.
7. Опишите принцип работы и характеристики тиристора.
8. Что такое диодный тиристор? Чем он отличается от триодного? От полевого?
9. Опишите движение электрона в полупроводнике, помещённого во внешнее магнитное поле.
10. Опишите принцип работы датчиков магнитного поля. Область применения.
11. Опишите принцип работы датчиков давления. Область применения.
12. Опишите принцип работы датчиков температуры. Область применения.
13. Опишите физические явления, лежащие в основе флэш памяти.
14. Какие физические явления и процессы ограничивают быстродействие и ресурс элементов флэш памяти? Какие технологические приёмы позволяют обойти эти ограничения?
15. Какие перспективные виды энергонезависимой памяти вы знаете? Какие физические явления лежат в их основе?
16. Какие полупроводниковые приборы могут быть использованы как ключи? В каких режимах?
17. Как устроен логический инвертор? Как он работает? Объясните его функцию.

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

а) Основная литература

1. Ансельм, Андрей Иванович. Введение в теорию полупроводников: [Учеб. пособие для физ. спец. вузов] / А.И. Ансельм 2-е изд., доп. и перераб. М.: Наука, 1978. 615 с.: ил. (33 экз.)
2. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1977. – 672 с. (8 экз.)
3. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов: В 2 кн. / С.М. Зи; Пер. с англ. В.А. Гергеля, В.В. Ракитина. Под ред. Р.А. Суриса. – 2-е изд. – М.: Мир, 1984. – 455 с. (2 экз.)
4. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. М.: Лаб. Базовых Знаний, 2001. – 488 с., ISBN 5-93208-045-0 (1 экз.)

Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

5. Т.С. Шамирзаев. Твердотельная электроника: история, современное состояние и перспективы развития: Учебное пособие. URL: http://www.phys.nsu.ru/files/0/kafti/Tverdotelnaya_elektronika_Shamirzaev_T_S_FF_NGU_2011_91s.pdf
6. Квон З.Д., Попов Л.К. Электроны и дырки в тонких слоях полупроводников: учебное пособие. Ч. 1., Новосибирск: НГУ, 2010, 122с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

Название ресурса	Ссылка/доступ
Электронная библиотека онлайн «Единое окно к образовательным ресурсам»	http://window.edu.ru
«Образовательный ресурс России»	http://school-collection.edu.ru
Федеральный образовательный портал: учреждения, программы, стандарты, ВУЗы, тесты ЕГЭ, ГИА	http://www.edu.ru
Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов (ФЦИОР)	http://fcior.edu.ru
Русская виртуальная библиотека	http://rvb.ru
Еженедельник науки и образования Юга России «Академия»	http://old.rsue.ru/Academy/Archives/Index.htm
Научная электронная библиотека «e-Library»	http://elibrary.ru/defaultx.asp
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru
Электронно-справочная система документов в сфере образования «Информо»	http://www.informio.ru
Информационно-правовая система «Гарант»	Сетевая версия, доступна со всех компьютеров в корпоративной сети ИнГГУ
Электронно-библиотечная система «Юрайт»	https://www.biblio-online.ru
1. электронная библиотечная система «Лань» и др.	http://e.lanbook.ru –
А.Х. Матиев Материалы электронной техники. Курс лекций	2. Учебное пособие. Магас. - 2024. 133 с.

3. Программное обеспечение

1. Microsoft Windows 7, Windows 8, Windows 8.1, Windows 10
2. Microsoft Windows server 2003, 2008, 2012, 2016
3. Microsoft Office 2007, 2010, 2016

4. Информационно-правовая система «Гарант» Сетевая версия, доступна со всех компьютеров в корпоративной сети ИнГГУ
5. Справочно-правовая система «Гарант»
6. Операционная система Microsoft Windows XP Professional.
7. Пакет прикладных программ Microsoft Office 2003 Professional.
8. Программный продукт «Антивирус Касперского».
9. Программный продукт FineReader 7.0 Professional Edition.
10. Программный продукт MATLAB 6.

Материально-техническое обеспечение

386132, Республика Ингушетия, г.о. город Назрань, г.Назрань, тер. Гамурзиевский административный округ, ул. Магистральная, д. 39«а» Ауд. №303. Площадь 71.6 м²	Аудитория № 303. Специализированная учебная мебель для обучающихся и преподавателя; технические средства обучения (компьютерная техника, доска, мультимедийное оборудование: интерактивная доска, проектор); доступ к информационно-телекоммуникационной сети Интернет; учебно-методические материалы.
386132, Республика Ингушетия, г.о. город Назрань, г.Назрань, тер. Гамурзиевский административный округ, ул. Магистральная, д. 39«а» Ауд. №116. Площадь 36,2м²	Для самостоятельной работы обучающихся. Аудитория № 116: рабочие места для обучающихся, технические средства обучения (ноутбук, доска), доступ к сети Интернет, учебно-методические материалы, электронные образовательные ресурсы.

Рабочая программа дисциплины «Материалы электронной техники» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (магистратура) 03.04.02. Физика. Направленность (*профиль подготовки Физика полупроводников*), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «07» 08 2021 г. № 914.

Программу составил: профессор кафедры «Физика» Матиев А.Х.

Программа одобрена на заседании кафедры «Физика»
Протокол № 11 от «27» апреля 2026 года.

Программа одобрена Учебно-методической комиссией физико-математического факультета
Протокол № 6 от «28» апреля 2026 года.

Сведения о переутверждении программы на очередной учебный год и регистрации изменений

Учебный год	Решение кафедры (№ протокола, дата)	Внесенные изменения	Подпись зав. кафедрой
2026-2027г.	№ 11 от «27» апреля 2026 года.	Фонд оценочных средств указан как приложение. Прописаны индикаторы достижение компетенции (Знать, уметь, владеть)	