

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Сердитова Наталья Евгеньевна
Должность: проректор по образовательной деятельности
Дата подписания: 25.08.2025 16:35:17
Уникальный программный ключ:
6cb002877b2a1ea640fdebb0cc541e4e05322d13

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
ФГБОУ ВО «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Утверждаю:

Руководитель ООП

Е.В. Барабанова



«26» июня 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

Полупроводниковая электроника

Закреплена за кафедрой:	Общей физики
Направление подготовки:	03.03.03 Радиофизика
Направленность (профиль):	Материалы и устройства радиоэлектроники (беспилотные системы, программно-аппаратные комплексы, системы автоматизированного проектирования)
Квалификация:	Бакалавр
Форма обучения:	очная
Семестр:	7

Программу составил(и):

Тверь, 2025

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения дисциплины (модуля):

Получение знаний о физических принципах работы полупроводниковых устройств.

Задачи:

- получение знаний о полупроводниках и физических процессах протекающих в них;
- изучение теоретических основ функционирования полупроводниковых приборов;
- изучение основных методов радиофизических измерений
- обзор современных технологий изготовления полупроводниковых устройств

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.В

Требования к предварительной подготовке обучающегося:

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

Математический анализ

Дифференциальные уравнения

Основы цифровой электроники

Основы аналоговой электроники

Радиоэлектроника

Атомная физика

Оптика

Электричество и магнетизм

Механика

Молекулярная физика

Физика полупроводников и диэлектриков

Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

Дисциплина формирует базовые представления об основных полупроводниковых приборах и устройствах, физических принципах их работы.

Технологическая практика

Преддипломная практика

Программно-аппаратные комплексы

Распространение электромагнитных волн

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе:	
аудиторные занятия	52
самостоятельная работа	56

4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ПК-2.1: Использует техническую документацию при работе с радиоэлектронной аппаратурой при проведении научно-исследовательских и прикладных работ

ПК-2.2: Осуществляет работу с современными средствами измерения, применяемыми в эксперименте

ПК-4.1: Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований

5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля в семестрах:	
зачеты	7

6. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Язык преподавания: русский.

7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занят.	Наименование разделов и тем	Вид занятия	Семестр / Курс	Часов	Источники	Примечание
	Раздел 1. 1. Введение в дисциплину. Физическая электроника. Микроэлектроника. Исторический обзор. Этапы развития. Наноэлектроника. Перспективы.					
1.1	1. Введение в дисциплину	Лек	7	2		
1.2	1. Введение в дисциплину	Ср	7	4		
	Раздел 2. 2. Зонная структура полупроводников. Собственные и примесные полупроводники. Статистика носителей заряда. Равновесные и неравновесные носители зарядов. Модели структур полупроводников.					
2.1	2. Зонная структура полупроводников. Собственные и примесные полупроводники. Статистика носителей заряда. Равновесные и неравновесные носители зарядов. Модели структур полупроводников.	Лек	7	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6	
2.2	2. Зонная структура полупроводников. Собственные и примесные полупроводники. Статистика носителей заряда. Равновесные и неравновесные носители зарядов. Модели структур полупроводников.	Ср	7	6		

2.3	2. Зонная структура полупроводников. Собственные и примесные полупроводники. Статистика носителей заряда. Равновесные и неравновесные носители зарядов. Модели структур полупроводников.	Лаб	7	2		
	Раздел 3. 3. Неравновесные процессы в полупроводниках. Генерация и рекомбинация. Квазиуровни и квазипотенциалы Ферми. Явления переноса.					
3.1	3. Неравновесные процессы в полупроводниках.	Лек	7	2		
3.2	3. Неравновесные процессы в полупроводниках.	Ср	7	6		
	Раздел 4. 4. Контактные явления в полупроводниках. р-п переход. Контакт металл-полупроводник.					
4.1	4. Контактные явления в полупроводниках. р-п переход. Контакт металл-полупроводник.	Лек	7	2		
	Раздел 5. 5. Полупроводниковый диод. Смещенный переход. Математическая модель диода. Уравнение Шокли. Явление пробоя. Процессы переключения. Диоды Шотки. Гетеропереход. Диоды для оптоэлектроники					
5.1	5. Полупроводниковый диод.	Лек	7	4		
5.2	5. Полупроводниковый диод.	Лаб	7	6		
5.3	5. Полупроводниковый диод.	Ср	7	8		
	Раздел 6. 6. Физические принципы работы биполярного транзистора. Структура биполярного транзистора. Схемы включения транзистора. Параметры на постоянном токе. Параметры на переменном токе в режиме малого сигнала. Частотные свойства. Модель Эберса-Молла. Зарядовая модель. Основные принципы работы тиристора.					

6.1	6. Физические принципы работы биполярного транзистора	Лек	7	4		
6.2	6. Физические принципы работы биполярного транзистора	Лаб	7	12		
6.3	6. Физические принципы работы биполярного транзистора	Ср	7	6		
	Раздел 7. 7. Физические принципы работы полевого транзистора. МОП структура. Режимы обогащения, обеднения, инверсии. Поверхностный заряд в различных режимах. МОП-транзистор. ВАХ. Идеальный полевой транзистор с управляющим р-п переходом.					
7.1	7. Физические принципы работы полевого транзистора.	Лек	7	4		
7.2	7. Физические принципы работы полевого транзистора.	Лаб	7	6		
7.3	7. Физические принципы работы полевого транзистора.	Ср	7	8		
	Раздел 8. 8. Интегральные схемы. Классификация ИС, их достоинства и недостатки. Производственные процессы. Проектирование ИС. Изготовление ИС. Математический аппарат. Фильтры. Примеры					
8.1	8. Интегральные схемы.	Лек	7	4		
8.2	8. Интегральные схемы.	Ср	7	10		
	Раздел 9. 9. Интегральные схемы на основе МОП-технологий. Логика р, п-МОП. Логика КМОП. МОП-технологии в СБИС. Зарядовая связь.					
9.1	9. Интегральные схемы на основе МОП-технологий.	Лек	7	2		
9.2	9. Интегральные схемы на основе МОП-технологий.	Ср	7	8		

8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

Темы рефератов:

1. Спиновая электроника
2. Литографические процессы

3. Методы формирования диэлектрических пленок
4. Формирование наноструктур в технологии изготовления электронных устройств
5. Оптоэлектронные устройства.

8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

Задание:

1. Некоторая трехмерная решетка, имеющая форму куба со стороной L , содержит N атомов, каждый из которых имеет Z валентных электронов. Считается, что электроны свободно перемещаются под действием приложенного электрического поля. Выведите выражение для оценки радиуса сферы Ферми в обратном пространстве.

2. Основываясь на характеристиках кристаллической структуры типа алмаз, рассчитайте следующие параметры кремния:

1. число атомов, содержащихся в элементарной ячейке
2. Атомный радиус структуры
3. Число атомов в 1 куб. см.
4. Число атомов, приходящихся на ед. площади в кристаллических плоскостях (111) , (100) и (110) .

Способ аттестации: письменный

Критерии оценки:

Высокий уровень (3 балла) Умеет использовать известные решения дифференциального уравнения Шредингера. Умеет правильно и осмысленно использовать дифференциальное и интегральное исчисление. Умеет давать физическое объяснение полученному решению. Умеет рационально пользоваться математическим аппаратом.

Средний уровень (2 балла) Умеет использовать известные решения дифференциального уравнения Шредингера. Умеет правильно и осмысленно использовать дифференциальное и интегральное исчисление. Умеет давать физическое объяснение полученному решению.

Низкий уровень (1 балл) Умеет использовать известные решения дифференциального уравнения Шредингера. Умеет правильно использовать дифференциальное и интегральное исчисление. Умеет давать физическое объяснение полученному решению.

Задание:

1. Провести моделирование работы источника тока с заданными параметрами на транзисторе.

2. Исследование вольт-амперной и вольт-фарадной характеристик диода.

Способ аттестации: письменный

Критерии оценки:

Высокий уровень (3 балла) Умеет проводить электрические и радиофизические измерения. Умеет самостоятельно разработать методику простейших измерений. Умеет оценить погрешности. Умеет правильно интерпретировать результат. Умеет дать физическое объяснение результату.

Средний уровень (2 балла) Умеет проводить электрические и радиофизические измерения. Умеет оценить погрешности. Умеет правильно интерпретировать результат. Умеет дать физическое объяснение результату.

Низкий уровень (1 балл) Умеет проводить электрические и радиофизические измерения. Умеет оценить погрешности. Умеет правильно интерпретировать результат.

8.3. Требования к рейтинг-контролю

Форма проведения промежуточного контроля: студенты, освоившие программу

курса, могут получить оценку по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положению о рейтинговой системе обучения ТвГУ» (протокол №8 от 30 апреля 2020 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то экзамен сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.)

Изучение курса заканчивается зачетом.

На первый модуль отводится 30 баллов, которые распределяются следующим образом:

Контрольная – до 10 баллов;

Текущий контроль - до 20 баллов.

На второй модуль отводится 70 баллов, которые распределяются следующим образом:

Контрольная – до 10 баллов;

Текущий контроль - до 20 баллов.

Выполнение лабораторных работ – 30 баллов

2. Зачет проводится в день, определенный деканатом в рамках расписания учебного процесса.

3. Студенты, набравшие в течение семестра 40 баллов получают «зачет» без выполнения дополнительных заданий, выносимых на зачет.

4. На зачете предлагается ответить на вопросы по курсу

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

9.1. Рекомендуемая литература

9.1.1. Основная литература

Шифр	Литература
Л1.1	Шука, Сигов, Электроника в 4 ч. Часть 4. Функциональная электроника, Москва: Юрайт, 2024, ISBN: 978-5-534-01873-8, URL: https://urait.ru/bcode/537548
Л1.2	Шука, Сигов, Электроника в 4 ч. Часть 3. Квантовая и оптическая электроника, Москва: Юрайт, 2024, ISBN: 978-5-534-01870-7, URL: https://urait.ru/bcode/537547
Л1.3	Старосельский, Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники, Москва: Юрайт, 2022, ISBN: 978-5-9916-0808-4, URL: https://urait.ru/bcode/509181
Л1.4	Сидоренко, Махно, Шлома, Полупроводниковая электроника, Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета (ЮФУ), 2019, ISBN: , URL: https://znanium.com/catalog/document?id=357420
Л1.5	Дятлов Р. Н., Полупроводниковые устройства, Рязань: РГРТУ, 2023, ISBN: , URL: https://e.lanbook.com/book/380402
Л1.6	Пасынков В. В., Чиркин Л. К., Полупроводниковые приборы, Санкт-Петербург: Лань, 2023, ISBN: 978-5-507-45795-3, URL: https://e.lanbook.com/book/284045

9.3.1 Перечень программного обеспечения

1	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
2	Adobe Acrobat Reader
3	Google Chrome
4	WinDjView
5	OpenOffice
6	Mozilla Firefox
7	Notepad++
8	Cadence SPB/OrCAD
9	Mathcad 15 M010
10	MATLAB R2012b
11	Origin 8.1 Sr2

9.3.2 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (подписка на журналы)
2	ЭБС ТвГУ
3	ЭБС «Лань»
4	ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
5	ЭБС «ЮРАИТ»
6	ЭБС «ZNANIUM.COM»

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудит-я	Оборудование
3-215	комплект учебной мебели, компьютеры, генератор, измерительная станция, контролер, multifunctional плата, мультиметр, осциллограф, программный

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Список лабораторных занятий

1. Моделирование поведения носителей заряда в полупроводниках.

Распределение Ферми-Дирака.

2. Полупроводниковый диод. Выпрямители.

3. Эмиттерный повторитель

4. Усилитель на транзисторе

5. Источник тока на транзисторе

6. Изучение эффекта Эрли.

7. Частотные характеристики транзистора

– методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов:

1. Изучить рекомендуемую литературу.

2. Просмотреть задачи, разобранные на аудиторных занятиях.

3. Разобрать задачи, рекомендованные преподавателем для самостоятельного решения, используя, при необходимости, примеры решения аналогичных задач.

4. Обсудить проблемы, возникшие при выполнении лабораторных работ задач с преподавателем.

Требования к рейтинг-контролю. В течение семестра два раза (на модульных неделях) необходимо:

1) Сдать преподавателю решения домашних задач, полученных из указанных сборников задач

2) Выполнить и сдать преподавателю соответствующее количество лабораторных работ

3) ответить на теоретические вопросы.

Примеры вопросов:

1. Что такое полупроводники? Удельное сопротивление полупроводников. Температурный коэффициент сопротивления. Факторы, влияющие на удельное сопротивление. Вещества, относящиеся к полупроводникам. Параметры полупроводников.

2. Кристаллическая структура германия и кремния. Виды дефектов кристаллической решетки и их влияние на свойства полупроводников.

3. Свободные носители зарядов в полупроводниках. Процессы генерации и рекомбинации. Время жизни носителей зарядов. Полупроводники с собственной проводимостью. Полупроводники n-типа и p-типа.

4. Элементы зонной теории твердого тела. Сравнение зонных структур металлов, полупроводников и диэлектриков. Процессы, происходящие в металлах, полупроводниках и диэлектриках при энергетических воздействиях.

5. Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Функция Ферми-Дирака и ее смысл. Уровень Ферми. Зонная структура и функция Ферми-Дирака в полупроводниках с собственной проводимостью. Зависимость концентраций электронов и дырок от температуры в собственных и примесных полупроводниках.

6. Зонная структура и функция Ферми-Дирака в полупроводниках с примесной проводимостью и их кристаллическая структура. Донорные и акцепторные уровни. Энергия активации. Полуметаллы. Влияние температуры на положение уровня Ферми в примесных полупроводниках.

7. Закон действующих масс и принцип нейтральности.

8. Диффузия носителей зарядов. Зависимость концентрации инжектированных неосновных носителей зарядов от времени и от координаты. Время жизни носителей зарядов – τ . Диффузионная длина носителей зарядов – L .

9. Идеальный плоскостной p-n-переход в равновесном состоянии.

10. Идеальный плоскостной p-n-переход в неравновесном состоянии (прямое и обратное включение). Вольт-амперная характеристика идеального p-n-перехода. Понятие теплового тока.

11. Явление пробоя p-n перехода.

12. Выпрямительные диоды.

13. Высокочастотные диоды.

14. Импульсные диоды, диоды с накоплением заряда и диоды Шоттки.

15. Туннельные и обращенные диоды.

16. Стабилитроны.

17. Варикапы.

18. Биполярные p-n-p и p-n-p транзисторы. Схемы включения. Принцип действия.

19. Технологические разновидности биполярных транзисторов.

20. Полевые транзисторы.

– темы рефератов:

1. Спиновая электроника

2. Литографические процессы

3. Методы формирования диэлектрических пленок

4. Формирование наноструктур в технологии изготовления электронных устройств

5. Оптоэлектронные устройства.