



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«МИРЭА – Российский технологический университет»

Общий факультет (Фрязино)

УТВЕРЖДАЮ

Директор филиала РТУ МИРЭА в г.
Фрязино

_____ Макарова Л.А.

«__» _____ 2020 г.

**Рабочая программа дисциплины (модуля)
Физика полупроводниковых приборов**

Читающее подразделение	базовая кафедра № 137 - электроники и микроэлектроники
Направление	11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
Направленность	Проектирование и технология электронных приборов и устройств
Квалификация	бакалавр
Форма обучения	очная
Общая трудоемкость	4 з.е.

Распределение часов дисциплины и форм промежуточной аттестации по семестрам

Семестр	Зачётные единицы	Распределение часов							Формы промежуточной аттестации
		Всего	Лекции	Лабораторные	Практические	Самостоятельная работа	Контактная работа в период практики и (или) аттестации	Контроль	
6	4	144	32	0	32	44	2,35	33,65	Экзамен

Программу составил(и):

канд. техн. наук, доцент, Веденеев Александр Александрович _____

Рабочая программа дисциплины

Физика полупроводниковых приборов

разработана в соответствии с ФГОС ВО:

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника (приказ Минобрнауки России от 19.09.2017 г. № 927)

составлена на основании учебного плана:

направление: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

направленность: «Проектирование и технология электронных приборов и устройств»

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

базовая кафедра № 137 - электроники и микроэлектроники

Протокол от 29.08.2020 № 1

Зав. кафедрой Борисов Александр Анатольевич _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2021-2022 учебном году на заседании кафедры

базовая кафедра № 137 - электроники и микроэлектроники

Протокол от _____ 2021 г. № ____

Зав. кафедрой _____
Подпись

Расшифровка подписи

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2022-2023 учебном году на заседании кафедры

базовая кафедра № 137 - электроники и микроэлектроники

Протокол от _____ 2022 г. № ____

Зав. кафедрой _____
Подпись

Расшифровка подписи

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2023-2024 учебном году на заседании кафедры

базовая кафедра № 137 - электроники и микроэлектроники

Протокол от _____ 2023 г. № ____

Зав. кафедрой _____
Подпись

Расшифровка подписи

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2024-2025 учебном году на заседании кафедры

базовая кафедра № 137 - электроники и микроэлектроники

Протокол от _____ 2024 г. № ____

Зав. кафедрой _____
Подпись

Расшифровка подписи

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Дисциплина «Физика полупроводниковых приборов» имеет своей целью способствовать формированию у обучающихся компетенций, предусмотренных данной рабочей программой в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника с учетом специфики направленности подготовки – «Проектирование и технология электронных приборов и устройств».

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Направление:	11.03.04 Электроника и наноэлектроника
Направленность:	Проектирование и технология электронных приборов и устройств
Блок:	Дисциплины (модули)
Часть:	Обязательная часть
Общая трудоемкость:	4 з.е. (144 акад. час.).

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

В результате освоения дисциплины обучающийся должен овладеть компетенциями:

УК-1 - Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач

ОПК-1 - Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности

ОПК-2 - Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

УК-1 : Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач

УК-1.1 : Осваивает методики поиска, сбора и обработки информации, актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности, метод системного анализа.

Знать:

- основные методики поиска и критического анализа и синтеза информации в области физики полупроводниковых приборов

Уметь:

- осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации
- осуществлять моделирование, анализ и экспериментальные исследования для решения проблем в профессиональной области
- осуществлять поиск литературы, критически используя научные базы данных, профессиональные стандарты и регламенты, нормы безопасности и другие источники информации

Владеть:

- навыками применения основных методик поиска и критического анализа и синтеза информации в области физики полупроводниковых приборов

УК-1.3 : Использует методики поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации, методику системного подхода для решения поставленных задач

Знать:

- методики поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации, методiku системного подхода для решения практических задач в области физики полупроводниковых приборов

Уметь:

- осуществлять поиск литературы, критически используя научные базы данных, профессиональные стандарты и регламенты, нормы безопасности и другие источники информации;

Владеть:

- навыками применения методик поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации, методик системного подхода для решения практических задач в области физики полупроводниковых приборов

ОПК-1 : Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности**ОПК-1.1 : Осваивает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы****Знать:**

- положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности

Уметь:

- использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности

Владеть:

- навыками использования положений, законов и методов естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности

ОПК-1.2 : Применяет физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера**Знать:**

- физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера в области физики полупроводниковых приборов

Уметь:

- использовать физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера в области физики полупроводниковых приборов

Владеть:

- навыками применения физических законов и математических методов для решения задач теоретического и прикладного характера в области физики полупроводниковых приборов

ОПК-2 : Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных**ОПК-2.1 : Находит и критически анализирует информацию, необходимую для решения поставленной задачи****Знать:**

- правила и методики проведения экспериментальных исследований и использования основных приемов обработки и представления полученных данных в области физики полупроводниковых приборов

Уметь:

- самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных в области физики полупроводниковых приборов

Владеть:

- навыками самостоятельного проведения экспериментальных исследований и использования основных приемов обработки и представления полученных данных в области физики полупроводниковых приборов

ОПК-2.2 : Рассматривает возможные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки

Знать:

- методики выбора различных решений практических задач в области физики полупроводниковых приборов, оценивая при этом их достоинства и недостатки

Уметь:

- использовать методики выбора различных решений практических задач в области физики полупроводниковых приборов, оценивая при этом их достоинства и недостатки

Владеть:

- навыками применения методик выбора различных решений практических задач в области физики полупроводниковых приборов, оценивая при этом их достоинства и недостатки

В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) ОБУЧАЮЩИЙСЯ ДОЛЖЕН

Знать:

- методики поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации, методику системного подхода для решения практических задач в области физики полупроводниковых приборов

- правила и методики проведения экспериментальных исследований и использования основных приемов обработки и представления полученных данных в области физики полупроводниковых приборов

- положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности

- физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера в области физики полупроводниковых приборов

- методики выбора различных решений практических задач в области физики полупроводниковых приборов, оценивая при этом их достоинства и недостатки

- основные методики поиска и критического анализа и синтеза информации в области физики полупроводниковых приборов

Уметь:

- самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных в области физики полупроводниковых приборов

- использовать методики выбора различных решений практических задач в области физики полупроводниковых приборов, оценивая при этом их достоинства и недостатки

- использовать физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера в области физики полупроводниковых приборов

- использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности

- осуществлять поиск литературы, критически используя научные базы данных, профессиональные стандарты и регламенты, нормы безопасности и другие источники информации

- осуществлять моделирование, анализ и экспериментальные исследования для решения проблем в профессиональной области

- осуществлять поиск литературы, критически используя научные базы данных, профессиональные стандарты и регламенты, нормы безопасности и другие источники информации;

- осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации

Владеть:

- навыками применения методик выбора различных решений практических задач в области физики полупроводниковых приборов, оценивая при этом их достоинства и недостатки
- навыками самостоятельного проведения экспериментальных исследований и использования основных приемов обработки и представления полученных данных в области физики полупроводниковых приборов
- навыками применения методик поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации, методик системного подхода для решения практических задач в области физики полупроводниковых приборов
- навыками использования положений, законов и методов естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности
- навыками применения основных методик поиска и критического анализа и синтеза информации в области физики полупроводниковых приборов
- навыками применения физических законов и математических методов для решения задач теоретического и прикладного характера в области физики полупроводниковых приборов

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

При проведении учебных занятий организация обеспечивает развитие у обучающихся навыков командной работы, межличностной коммуникации, принятия решений и лидерских качеств.

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Сем.	Часов	Компетенции
1. Элементарные представления о полупроводниках				
1.1	Полупроводниковые материалы. (Лек). Полупроводниковые материалы. Классификация веществ по удельной электрической проводимости. Модельные представления о механизме электропроводности собственных полупроводников. Модельные представления о механизме электропроводности примесных полупроводников. Концентрация и подвижность носителей заряда в полупроводниках.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
1.2	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на определение проводимости, удельного и слоевого сопротивления основных полупроводниковых материалов. Применение справочных и табличных данных.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
1.3	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач, согласно выданному варианту преподавателем на тему "определение проводимости, удельного и слоевого сопротивления основных полупроводниковых материалов".	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
1.4	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
2. Элементы зонной теории				
2.1	Уравнение Шредингера для кристаллов. (Лек). Уравнение Шредингера для кристаллов. Адиабатическое приближение. Одноэлектронное приближение. Приближение сильно связанных электронов. Энергетическая зона, число состояний электронов в зоне.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2

2.2	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на применение приближений зонной теории.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
2.3	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач, согласно выданному варианту преподавателем на тему "применение приближений зонной теории".	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
2.4	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
2.5	Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Заполнение энергетических уровней валентной зоны. (Лек). Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Заполнение энергетических уровней валентной зоны. Дисперсионное соотношение для электрона у дна и потолка энергетической зоны. Движение электронов в кристалле под действием внешнего электрического поля. Эффективная масса носителей заряда. Метод эффективной массы. Элементарная теория примесных состояний.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
2.6	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на применение приближений зонной теории.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
2.7	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач, согласно выданному варианту преподавателем на тему "применение приближений зонной теории".	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
2.8	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
3. Статистика электронов и дырок в полупроводниках				
3.1	Плотность квантовых состояний в зонах. (Лек). Плотность квантовых состояний в зонах. Функция распределения Ферми-Дирака. Степень заполнения примесных уровней. Эффективная масса плотности состояний.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
3.2	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на расчет основных параметров полупроводниковых материалов.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
3.3	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач, согласно выданному варианту преподавателем на тему "расчет основных параметров полупроводниковых материалов".	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
3.4	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2

3.5	Полупроводники. (Лек). Собственные полупроводники, влияние температуры на положение уровня Ферми и концентрации электронов и дырок. Примесные полупроводники. Концентрация электронов и дырок в зависимости от концентрации примеси и температуры для невырожденного полупроводника. Вырожденные полупроводники.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
3.6	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на расчет основных параметров полупроводниковых материалов.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
3.7	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач, согласно выданному варианту преподавателем на тему "расчет основных параметров полупроводниковых материалов".	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
3.8	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
4. Контактные явления				
4.1	Воздействие внешнего электрического поля на полупроводник. (Лек). Воздействие внешнего электрического поля на полупроводник. Работа выхода. Контакт металл – металл. Контактная разность потенциалов. Контакт металл – полупроводник. Выпрямление на контакте металл – полупроводник. Диодная теория выпрямления. Диффузионная теория выпрямления.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
4.2	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на определение свойств контактов металл-полупроводник, металл-металл.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
4.3	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач, согласно выданному варианту преподавателем на тему "определение свойств контактов металл-полупроводник, металл-металл".	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
4.4	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
4.5	Контакт электронного и дырочного полупроводников. (Лек). Контакт электронного и дырочного полупроводников (р-п переход). Выпрямление на р-п переходе. Вольт-амперная характеристика р-п-перехода Виды пробоев р-п-перехода. Ёмкость р-п-перехода.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
4.6	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на определение свойств р-п переходов.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2

4.7	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач,согласно выданному варианту преподавателем на тему "определение свойств р-п переходов".	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
4.8	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
5. Фотоэлектронные явления				
5.1	Внешний и внутренний фотоэффект. (Лек). Внешний и внутренний фотоэффект, фотопроводимость (возникновение и релаксация). Эффект Демблера. Воздействие света на объем однородного полупроводникового кристалла. Фотоэлектромагнитный эффект. Влияние света на контактные явления. Воздействие света на р-п переход и на контакт Шоттки.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
5.2	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на определение значений фотопроводимости и параметров разных типов контактов при воздействии света.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
5.3	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач,согласно выданному варианту преподавателем на тему "определение значений фотопроводимости и параметров разных типов контактов при воздействии света".	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
5.4	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6. Полупроводниковые приборы				
6.1	Типы полупроводниковых диодов. (Лек). Типы полупроводниковых диодов. Общие сведения о диодах Выпрямительные диоды. Импульсные диоды. Туннельные диоды. Обращенный диод. Диоды Шоттки. Варикапы. Стабилитроны. Стабисторы.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.2	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на расчет характеристик диодов разных типов.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.3	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач,согласно выданному варианту преподавателем на тему "расчет характеристик диодов разных типов".	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.4	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2

6.5	Применение полупроводниковых диодов. (Лек). Применение полупроводниковых диодов. Однофазная однополупериодная схема выпрямления. Двухполупериодная схема выпрямления со средней точкой. Однофазная мостовая схема. Параметрический стабилизатор напряжения.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.6	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на расчет простейших схем с диодами разных типов.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.7	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач, согласно выданному варианту преподавателем на тему "расчет простейших схем с диодами разных типов".	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.8	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.9	Биполярные транзисторы. (Лек). Биполярные транзисторы. Структура и основные режимы работы. Физические процессы в биполярном транзисторе. Схемы включения транзистора. Схема с общей базой. Схема с общим эмиттером. Схема с общим коллектором	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.10	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на расчет простейших схем с биполярными транзисторами.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.11	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.12	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач, согласно выданному варианту преподавателем на тему "расчет простейших схем с биполярными транзисторами".	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.13	Статические характеристики биполярного транзистора. (Лек). Статические характеристики биполярного транзистора. Статические характеристики для схемы с общей базой. Статические характеристики для схемы с общим эмиттером. Эквивалентные схемы транзистора. Транзистор как линейный четырехполюсник.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.14	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на расчет статических характеристик биполярных транзисторов.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.15	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач, согласно выданному варианту преподавателем на тему "расчет статических характеристик биполярных транзисторов".	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2

6.16	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.17	Режимы работы транзистора. (Лек). Режимы работы транзистора. Предельные режимы работы транзистора. Расчёт рабочего режима транзистора. Динамические характеристики транзистора. Режимы работы усилительных каскадов. Режим класса А. Режим класса В. Режим класса АВ. Режим класса С. Режим класса D.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.18	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на расчет режимов работы биполярных транзисторов.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.19	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач, согласно выданному варианту преподавателем на тему "расчет режимов работы биполярных транзисторов".	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.20	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.21	Полевые транзисторы. (Лек). Полевые транзисторы. Полевой транзистор с управляющим р-п-переходом. Схемы включения полевых транзисторов. Статические характеристики полевых транзисторов. Основные параметры полевых транзисторов. Полевые транзисторы с изолированным затвором. Полевой транзистор с изолированным затвором со встроенным каналом. Транзистор с индуцированным (инверсионным) каналом. Сравнение МДП- и биполярного транзистора. Комбинированные транзисторы.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.22	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на расчет простейших схем с полевыми транзисторами.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.23	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач, согласно выданному варианту преподавателем на тему "расчет простейших схем с полевыми транзисторами".	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.24	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.25	Тиристоры. Динисторы. Триодные тиристоры. (Лек). Тиристоры. Динисторы. Триодные тиристоры. Способы запираания тиристоров. Запираемые тиристоры. Симметричные тиристоры. Основные параметры тиристоров. Применение тиристоров.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2

6.26	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на расчет простейших схем с тиристорами.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.27	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач, согласно выданному варианту преподавателем на тему "расчет простейших схем с тиристорами".	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.28	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.29	Оптоэлектронные полупроводниковые приборы. (Лек). Оптоэлектронные полупроводниковые приборы. Фотоэлектрические приборы на основе внешнего фотоэффекта. Фотоэлементы. Фотоэлектронные умножители. Фотоэлектрические приборы на основе внутреннего фотоэффекта. Фоторезисторы. Фотодиоды. Фототранзисторы. Фототиристоры. Светодиоды. Оптоэлектронные устройства.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.30	Выполнение практических заданий (Пр). Решение задач на расчет простейших схем с оптоэлектронными полупроводниковыми приборами.	6	2	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.31	Выполнение домашнего задания (Ср). Решение задач, согласно выданному варианту преподавателем на тему "расчет простейших схем с оптоэлектронными полупроводниковыми приборами".	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
6.32	Подготовка к аудиторным занятиям (Ср). Изучение пройденного материала.	6	1,375	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
7. Промежуточная аттестация (экзамен)				
7.1	Подготовка к сдаче промежуточной аттестации (Экзамен).	6	33,65	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2
7.2	Контактная работа с преподавателем в период промежуточной аттестации (КрПА).	6	2,35	УК-1.1, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

5.1. Перечень компетенций

Перечень компетенций, на освоение которых направлено изучение дисциплины «Физика полупроводниковых приборов», с указанием результатов их формирования в процессе освоения образовательной программы, представлен в п.3 настоящей рабочей программы

5.2. Типовые контрольные вопросы и задания

1. Кто, когда и каким образом изготовил первый в мире p-n-переход? В каком приборе он

использовался?

2. В первой половине 20 века физики считали, что кремний следует относить к металлам. Проблема состояла в том, что долгое время не удавалось получать химические чистые образцы. Поясните, какой степени очистки от примесей характеризуется современная кремниевая пластина? Чему равна ее рыночная цена?

3. Какова роль Шокли в создании транзистора? Как был изготовлен первый транзистор? Кто получил патент на первый транзистор? Сравните конструкцию и технологию первого транзистора и плоскостного транзистора Шокли.

4. Почему планарный транзистор на левом рисунке 1 имел форму капли? Какой физический и конструктивный смысл имеют различные кольцевые области на рисунке? Из какого материала изготовлены кольца белого цвета? Сделайте разрез рисунка в глубину. Можно ли этот транзистор отнести к классу меза-транзисторов?

5. Кто и когда сделал самую первую интегральную схему? Кто получил первый патент на ИМС? Кто предложил первую промышленную технологию? Поясните особенности технологии изготовления интегральных схем, предложенной Килби и чем она отличалась от технологии Нойса? Какие транзисторы и способы их изоляции использовались в этих случаях? Как делалось электрическое соединение элементов в схему?

6. Когда и где в СССР была выпущена первая промышленная ИМС? Для чего она была предназначена? Какая элементная база в ней использовалась?

7. Современные микропроцессоры компании Intel содержат в себе несколько миллиардов транзисторов, все из которых находятся в рабочем состоянии (как будто все население Земли – абсолютно здоровое). Предположим, что вероятность изготовления одного отдельно взятого годного транзистора равна $p=0,9999999$. Тогда вероятность того, что в устройстве из N элементов все элементы будут в рабочем состоянии равна $q=p^N$. Легко вычислить, что при $N=10^9$ q примерно равен $0,00005$. Т.е. согласно вероятностным расчетам Интегральные Схемы не могут работать!!! Однако практика говорит об обратном. В чем же здесь дело?

8. Дайте пояснения о сути ИМС, изображенной на среднем рисунке 1. Сколько и какие транзисторы в ней использовались? Можете ли Вы восстановить функциональную схему, установив всю использованную элементную базу.

9. Группа Шокли в компании Bell lab. вела работы по разработке твердотельного усилителя на основе идеи полевого транзистора, предложенной Лилиенфельдом. Как Вы думаете, почему у них ничего не получилось?

10. Кто и когда получил первый патент на МОП-транзистор? Когда такой транзистор был реально изготовлен? В чем причина такого большого временного разрыва? Какого типа он был (n-канальный или p-канальный) и почему?

11. Дайте пояснения по правому рисунку 1: где у n-МОПТ области истока, стока и затвора? Где его канал и какая у него длина?

12. Поясните, чем современная технология изготовления транзисторов отличается от планарной? Опишите конструкцию FinFET транзистора. Почему компании Intel и AMD используют для этой конструкции различные подложки?

13. Что такое – закон Мура и почему коэффициент масштабирования (уменьшения геометрических размеров) современных МОПТ, используемый компанией Intel, равен $0,7$?

14. Можете ли Вы предсказать в соответствии с законом Мура, когда процесс масштабирования КМОП-структур достигнет допустимых физических пределов и какая элементная база, возможно, будет использована взамен этих структур?
15. Какие физические причины обусловили на первоначальном этапе создания полупроводниковой промышленности использование германия, который затем был заменен на кремний? Почему это случилось?
16. Какой диаметр кремниевых пластин, которые применяются на АО «НПП «Восток»»? Поясните, что означает маркировка пластин: КДБ-20 и КЭФ-7,5?
17. Какие главные технологические изобретения и открытия легли в основу планарной технологии? Кто их автор? Почему эта технология называется – планарной? В чем состоит вклад Ж.Эрни (Hoerni Jean) в развитии идей планарной технологии?
18. Назовите три основные технологические проблемы, которые необходимо было решить изобретателям интегральной схемы. Каким образом эти проблемы были решены? (См. статью в Википедии – Изобретение интегральной схемы)
19. На примере создания алюминиевой шины между двумя готовыми вскрытыми контактами поясните суть планарной технологии, последовательно перечислив все технологические операции, необходимые для этого.
20. Почему для современных ИМС, изготовленных по биполярной технологии, используются пластины с ориентацией (111), а для МОП-технологии - используют пластины с ориентацией (100)?
21. Почему первые МОП-приборы и схемы на их основе были электрически нестабильны (т.е. напряжение их включения – пороговое напряжение – варьировалось в широком диапазоне до 100В)? Каким технологическим способом удалось решить эту проблем и кому?
22. Поясните в рисунках суть самосовмещенной технологии изготовления МОП транзисторов;
23. Если доза ионного легирования (число внедренных в подложку ионов) задана в шт./см², то как эту величину перевести микроКулоны/см², которые традиционно используются инженерами в технологических картах ионного легирования. Например, пусть доза=6*10¹⁴ см⁻². Как записать эту величину в технологической карте?
24. Предположим, что из кремниевого слитка изготовили идеальный шар. Затем этот шар термически окислили. В результате шар стал светиться всеми цветами радуги. Можете ли Вы, без каких-либо расчетов, пояснить физическую причину данного эффекта?
25. Поясните технологию использования графиков Аррениуса при моделировании процесса термического окисления кремния; как при этом пользоваться полулогарифмическим графиком?
26. Поясните, с какой целью используется Bosch-процесс при изготовлении приборов и ИМС? Какие материалы можно с его помощью протравливать, применяя установку Oxford?
27. Почему в чистых комнатах для микроэлектронного производства для освещения используется желтый свет?
28. Поясните, как с помощью метода шарового шлифа можно определить глубину p-n-перехода? Чем этот метод отличается от метода косоугольного шлифа? Поясните, в каких физических системах единиц записаны уравнения и каким образом между

ними можно совершить корректный переход?

29. На основе уравнения Пуассона сформулируйте математическую модель в форме двухточечной краевой задачи, описывающей распределение электрического потенциала и напряженности поля от поверхности полупроводникового образца в глубину. Найдите аналитическое решение этой задачи и поясните физическую суть понятия «длина Дебая». Что поменяется в решении, если вместо полупроводникового материала использовать идеальный изолятор?

30. Опишите краевые задачи для уравнения Шредингера в случае, когда электрон «налетает» на треугольный барьер. Рассмотрите три пространственные области: перед барьером, внутри барьера, за барьером. Какой вид в этих областях будут иметь волновые функции электрона?

31. Может ли решение уравнения Шредингера зависеть от выбора системы координат? Для простейшей физической ситуации – электрон в глубокой потенциальной яме – рассмотрите два случая: а) начало системы координат расположено на левой стенке ямы; б) начало системы координат расположено ровно посередине ямы. Найдите первые четыре волновые функции для этих двух случаев и постройте их графики. Объясните результат. Какой случай показан на рис. 6.2?

5.3. Фонд оценочных материалов

Полный перечень оценочных материалов представлен в приложении 1.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

6.1. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование помещения	Перечень основного оборудования
Учебная аудитория для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающие тематические иллюстрации.
Помещение для самостоятельной работы обучающихся	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

6.2. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

1. Microsoft Windows. Договор №32009183466 от 02.07.2020 г.
2. Microsoft Office. Договор №32009183466 от 02.07.2020 г.

6.3. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

6.3.1. Основная литература

1. Волкова Е. В., Пузанов А. С., Оболенский С. В., Тарасова Е. А. Введение в физику полупроводниковых диодов и методы их проектирования с использованием высокопроизводительных вычислений [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Нижний Новгород: ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2020. - 78 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/144609>
2. Дорогой С. В. Физические основы электроники. Контакты металл–полупроводник [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие. - Новосибирск: НГТУ, 2019. - 50 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/152173>

3. Пасынков В. В., Чиркин Л. К. Полупроводниковые приборы [Электронный ресурс]:. - Санкт-Петербург: Лань, 2021. - 480 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/167773>
4. Штейнбрехер В. В. Полупроводниковые приборы [Электронный ресурс]:лабораторный практикум. - Тамбов: ТГУ им. Г.Р.Державина, 2019. - 90 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/156861>
5. Шалимова К. В. Физика полупроводников [Электронный ресурс]:. - Санкт-Петербург: Лань, 2021. - 384 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/167840>
6. Паршаков А. Н. Введение в квантовую физику [Электронный ресурс]:. - Санкт-Петербург: Лань, 2021. - 352 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/167772>
7. Старосельский В. И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники [Электронный ресурс]:Учебное пособие для вузов. - Москва: Юрайт, 2019. - 463 с – Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/425163>

6.4. РЕКОМЕНДУЕМЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ СОВРЕМЕННЫХ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. Научная электронная библиотека <http://www.elibrary.ru>
2. IEEE International Roadmap for Devices and Systems
<https://www.irds.ieee.org>
3. Электроника НТБ - научно-технический журнал
<http://www.electronics.ru>
4. Международный ресурс для поиска и обмена научными публикациями
<https://www.researchgate.net>
5. База данных Web of Science
<http://www.webofknowledge.com>

6.5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Самостоятельная работа студента направлена на подготовку к учебным занятиям и на развитие знаний, умений и навыков, предусмотренных программой дисциплины.

В соответствии с учебным планом дисциплина может предусматривать лекции, практические занятия и лабораторные работы, а также выполнение и защиту курсового проекта (работы). Успешное изучение дисциплины требует посещения всех видов занятий, выполнение заданий преподавателя и ознакомления с основной и дополнительной литературой. В зависимости от мероприятий, предусмотренных учебным планом и разделом 4, данной программы, студент выбирает методические указания для самостоятельной работы из приведённых ниже.

При подготовке к лекционным занятиям студентам необходимо: перед очередной лекцией необходимо просмотреть конспект материала предыдущей лекции. При затруднениях в восприятии материала следует обратиться к основным литературным источникам. Если разобраться в материале опять не удалось, то обратитесь к лектору (по графику его консультаций) или к преподавателю на практических занятиях.

Практические занятия завершают изучение наиболее важных тем учебной дисциплины. Они служат для закрепления изученного материала, развития умений и навыков подготовки докладов, сообщений, приобретения опыта устных публичных выступлений, ведения дискуссии, аргументации и защиты выдвигаемых положений, а также для контроля преподавателем степени подготовленности студентов по изучаемой дисциплине.

При подготовке к практическому занятию студенты имеют возможность воспользоваться консультациями преподавателя.

При подготовке к практическим занятиям студентам необходимо: приносить с собой рекомендованную преподавателем литературу к конкретному занятию; до очередного практического занятия по рекомендованным литературным источникам проработать теоретический материал, соответствующей темы занятия;

в начале занятий задать преподавателю вопросы по материалу, вызвавшему затруднения в его понимании и освоении при решении задач, заданных для самостоятельного решения; в ходе семинара давать конкретные, четкие ответы по существу вопросов; на занятии доводить каждую задачу до окончательного решения, демонстрировать понимание проведенных расчетов (анализов, ситуаций), в случае затруднений обращаться к преподавателю.

Студентам, пропустившим занятия (независимо от причин), не имеющим письменного решения задач или не подготовившихся к данному практическому занятию, рекомендуется не позже чем в 2-недельный срок явиться на консультацию к преподавателю и отчитаться по теме, изученную на занятии.

Методические указания, необходимые для изучения и прохождения дисциплины приведены в составе образовательной программы.

6.6. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБУЧЕНИЮ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ И ИНВАЛИДОВ

Освоение дисциплины обучающимися с ограниченными возможностями здоровья может быть организовано как совместно с другими обучающимися, так и в отдельных группах. Предполагаются специальные условия для получения образования обучающимися с ограниченными возможностями здоровья.

Профессорско-педагогический состав знакомится с психолого-физиологическими особенностями обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, индивидуальными программами реабилитации инвалидов (при наличии). При необходимости осуществляется дополнительная поддержка преподавания тьюторами, психологами, социальными работниками, прошедшими подготовку ассистентами.

В соответствии с методическими рекомендациями Минобрнауки РФ (утв. 8 апреля 2014 г. N АК-44/05вн) в курсе предполагается использовать социально-активные и рефлексивные методы обучения, технологии социокультурной реабилитации с целью оказания помощи в установлении полноценных межличностных отношений с другими студентами, создании комфортного психологического климата в студенческой группе. Подбор и разработка учебных материалов производятся с учетом предоставления материала в различных формах: аудиальной, визуальной, с использованием специальных технических средств и информационных систем.

Медиа материалы также следует использовать и адаптировать с учетом индивидуальных особенностей обучения лиц с ОВЗ.

Освоение дисциплины лицами с ОВЗ осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения (персонального и коллективного использования). Материально-техническое обеспечение предусматривает приспособление аудиторий к нуждам лиц с ОВЗ.

Форма проведения аттестации для студентов-инвалидов устанавливается с учетом индивидуальных психофизических особенностей. Для студентов с ОВЗ предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной или электронной форме (для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата);
- в печатной форме или электронной форме с увеличенным шрифтом и контрастностью (для лиц с нарушениями слуха, речи, зрения);
- методом чтения ассистентом задания вслух (для лиц с нарушениями зрения).

Студентам с инвалидностью увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких студентов предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге или набором ответов на компьютере (для лиц с нарушениями слуха, речи);
- выбором ответа из возможных вариантов с использованием услуг ассистента (для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата);
- устно (для лиц с нарушениями зрения, опорно-двигательного аппарата).

При необходимости для обучающихся с инвалидностью процедура оценивания

результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

