МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Утверждено

В составе образовательной программы
Учебно-методическим советом ВГТУ
21.02.2024 г протокол № 6

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Дисциплины

ОП.06 Физические основы полупроводников

Специальность: 11.02.13 Твердотельная электроника

Квалификация выпускника: техник

Нормативный срок обучения:1год 10 месяцев **на базе** среднего общего образования
Форма обучения: очная
Год начала подготовки: 2024

Программа обсуждена на заседании методического совета СПК
14.02.2024 года Протокол № 6
Председатель методического совета СПК _____ Сергеева С. И.

Программа одобрена на заседании педагогического совета СПК
16.02.2024 года Протокол № 5
Председатель педагогического совета СПК _____ Донцова Н.А.

2024

Программа дисциплины разработана на основе федерального государственного образовательного стандарта по специальности среднего профессионального образования 11.02.13 Твердотельная электроника,

утвержденного приказом Министерства просвещения Российской Федерации от 5 августа 2022 г. N 674.

Организация-разработчик: ВГТУ

Разработчики:
Денисов Дмитрий Александрович, преподаватель

СОДЕРЖАНИЕ

1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ 4
1.1 Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы 4
1.2 Требования к результатам освоения дисциплины 4
1.3 Количество часов на освоение программы дисциплины 4

2 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ 5
2.1 Объем дисциплины и виды учебной работы 5
2.2 Тематический план и содержание дисциплины 6

3 УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ 8
3.1 Требования к материально-техническому обеспечению 8
3.2 Перечень нормативных правовых документов, основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины 8
3.3 Перечень программного обеспечения, профессиональных баз данных, информационных справочных систем ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины 9
3.4 Особенности реализации дисциплины для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья 9

4 КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ 11

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

ОП.6 Физические основы полупроводников

1.1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы:

Дисциплина *ОП.6 Физические основы полупроводников* относится к Общеобразовательному циклу учебного плана и предусматривает изучение измерений параметров и характеристик типовых радиокомпонентов.

1.2 Требования к результатам освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины обучающийся должен **уметь:**

- У1 решать задачи по основным разделам физики полупроводников; использовать полученные знания для определения параметров и интерпретации физических свойств полупроводников;

- У2 методами построения математических и физических моделей типовых задач физики полупроводников.

В результате освоения дисциплины обучающийся **должен знать**:

- З1 основные понятия и законы физики полупроводников, а также используемые в физике полупроводников основополагающие модели и теории.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен **иметь практический опыт:**

- П1 в применении теоретических моделей для интерпретации экспериментальных данных по физическим свойствам полупроводников.

Изучение дисциплины направлено на формирование у обучающихся следующих общих и профессиональных компетенций:

- ОК 01. Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам;

- ОК 02. Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности;

- ПК 1.1. Разрабатывать технологический процесс изготовления изделий твердотельной электроники.

1.3. Количество часов на освоение программы дисциплины:

Максимальная учебная нагрузка – 38 часов, в том числе:

обязательная часть – 36 часов;

вариативная часть – 2 часов.

Объем практической подготовки - 18 часов.

2. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
2.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов	В том числе в форме практической подготовки
Объем работы обучающихся в академических часах (всего)	46	16
Объем работы обучающихся во взаимодействии с преподавателем (всего)	36	
в том числе:		
лекции	18	-
практические занятия	18	16
Самостоятельная работа обучающегося (всего) с обоснованием расчета времени, затрачиваемого на ее выполнение	2	-
в том числе:		
изучение учебного/теоретического материала (по конспектам лекций), изучение основной и дополнительной литературы	1	
подготовка к итоговой контрольной работе и промежуточной аттестации, которая проводится в форме диф.зачета	1	
Консультации	-	-
Промежуточная аттестация в форме	*8*	*8*
№ 4 семестр - экзамена	-	-

2.2. Тематический план и содержание дисциплины «Физические основы полупроводников»

Наименование разделов и тем	Содержание учебного материала, практические занятия, самостоятельная работа обучающихся	Объем часов	Формируемые знания и умения, практический опыт ОК, ПК
1	2	3	4
Тема 1 Основные свойства полупроводников	*Содержание учебного материала* Отличительные черты полупроводников. Примеры полупроводников. Строение некоторых полупроводниковых кристаллов. Представление о запрещенной зоне в полупроводниках. Примесные центры в полупроводниках. Представление о дырках. Электронная и дырочная проводимость. Электропроводность. Эффект Холла. Изменение сопротивления в магнитном поле. Термоэдс. Фотопроводимость.	*2*	*31,32*
Тема 2 Основы зонной теории кристаллических твердых тел	*Содержание учебного материала* Основные приближения зонной теории. Уравнение Шредингера для электронов в кристалле в одноэлектронном приближении. Теорема Блоха. Квазиимпульс и зона Бриллюэна. Понятие об энергетических зонах. Основные различия между металлами, полупроводниками и диэлектриками с точки зрения зонной теории. Метод сильно связанных электронов. Обсуждение особенностей электронного энергетического спектра на основе метода сильно связанных электронов	*2*	*31,32* *У3* *ОК1, ОК2, ПК1.1*
	Тематика практических занятий Метод слабо связанных (почти свободных) электронов. Обсуждение особенностей электронного энергетического спектра на основе метода слабо связанных электронов. Понятие об эффективной массе. Тензор обратных эффективных масс. Изоэнергетические поверхности. Многодолинные полупроводники. Примеры зонных структур полупроводников: зоны проводимости полупроводников $A^{III}B^{V}$, Si, Ge. Вырождение зон и гофрировка изоэнергетических поверхностей вблизи потолка валентной зоны. Прямозонные и непрямозонные полупроводники.	4 4	
	Самостоятельная работа обучающихся. Работа с лекционным материалом.	*0,5*	
Тема 3 Кристаллы во внешних полях. Неидеальные кристаллы	*Содержание учебного материала* Средняя скорость движения электрона в кристалле. Уравнение движения электрона в кристалле во внешних полях. Заполнение зон и введение дырочного описания. Метод эффективной массы. Картина плавного искривления энергетических зон. Мелкие уровни в гомеополярных кристаллах (водородоподобные примесные центры). Условия применимости водородоподобной модели	*2*	*31,32* *У3* *ОК1, ОК2, ПК1.1* *П1*
	Тематика практических занятий Применение метода эффективной массы для нахождения энергетического спектра полупроводниковых систем пониженной размерности. Энергетический спектр сверхрешеток. Классификация полупроводниковых сверхрешеток. Энергетический спектр мелких примесных состояний в полупроводниковых квантовых ямах.	4	
Тема 4	*Содержание учебного материала*	*2*	*31,32*

Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках	Плотность состояний и функция распределения электронов по квантовым состояниям. Концентрации электронов и дырок в зонах. Эффективные плотности состояний электронов и дырок в зонах. Невырожденный электронный (дырочный) газ. Вычисление положения уровня Ферми в собственном полупроводнике. Статистика заполнения примесных уровней. Уровень Ферми в полупроводнике с примесями одного типа.		*У1, У2* *ОК1, ОК2,* *ПК1.1,* *П1*
	Тематика практических занятий Статистика электронов и дырок в компенсированных полупроводниках. Многозарядные примесные центры. Плотность состояний в системах пониженной размерности. Вычисление положения уровня Ферми в 2 D-системах.	*6*	
	Самостоятельная работа обучающихся. Работа с лекционным материалом.	*0,5*	
Тема 5 Неравновесные электроны и дырки. Статистика рекомбинации электронов и дырок	*Содержание учебного материала*	*6*	*З1, З2*
	Возникновение неравновесных носителей заряда в полупроводниках. Оптическая генерация. Темпы генерации и рекомбинации; время жизни. Соотношения между временами релаксации энергии и импульса и временем жизни. Квазиравновесие и квазиуровни Ферми. Уравнение кинетики рекомбинации в пространственно однородных и неоднородных системах. Механизмы рекомбинации. Время жизни при межзонной рекомбинации. Рекомбинация через примеси и дефекты. Коэффициент захвата на локальные уровни. Центры прилипания и центры рекомбинации. Демаркационные уровни Времена жизни в случае рекомбинации через один глубокий примесный уровень. Статистика Шокли-Рида.		
Тема 6 Явления в контактах. p-n переход	*Содержание учебного материала*	*2*	*З1, З2*
	Потенциальные барьеры. Плотность тока. Соотношение Эйнштейна. Условия равновесия контактирующих тел. Контактная разность потенциалов. Длина экранирования. Истощенный контактный слой. Обогащенный контактный слой. Экранирование электрического поля в 2 D-системах. Выпрямление в контакте металл-полупроводник. p-n переход. Статическая вольтамперная характеристика p-n перехода. Туннельный эффект в p-n переходах. Туннельный диод. Биполярный транзистор.		
Тема 7 Основные представления физики неупорядоченных полупроводников	*Содержание учебного материала*		
	Определение неупорядоченной системы. Примеры неупорядоченных полупроводников. Общие особенности неупорядоченных систем. Случайный потенциал. Плотность состояний. Хвосты плотности состояний и локализация. Проводимость по локализованным состояниям, закон Мотта для прыжковой проводимости. Оптические переходы в неупорядоченных полупроводниках. Хвосты оптического поглощения (правило Урбаха).	*2*	*З1, З2*
	Самостоятельная работа обучающихся. Подготовка к итоговой контрольной работе и промежуточной аттестации	*1*	
	Всего:	46	

3. УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Требования к материально-техническому обеспечению

Реализация дисциплины требует наличия учебной аудитории для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Оборудование учебного кабинета:

Комплект учебной мебели:

- рабочее место преподавателя (стол, стул);
- рабочие места обучающихся (столы, стулья)

Помещение для самостоятельной работы

Комплект учебной мебели: рабочие места обучающихся (столы, стулья); Персональные компьютеры с установленным программным обеспечением, подключенные к сети Интернет, с доступом в электронно-библиотечные системы и электронную информационно-образовательную среду.

3.2. Перечень нормативных правовых документов, основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Нормативные правовые документы:

1. Приказ Министерства просвещения Российской Федерации от 5 августа 2022 г. N 674;
2. Приказ Министерства просвещения Российской Федерации от 17 декабря 2020 г. № 747 «О внесении изменений в федеральные государственные образовательные стандарты среднего профессионального образования»;
3. Приказ Минобрнауки России от 5 августа 2020 № 885 и Минпросвещения России от 5 августа 2020 № 390 «О практической подготовке обучающихся»;

Основные источники:

1. Г.Г. Зегря, В.И. Перель «Основы физики полупроводников», М.: Физматлит, 2009. http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68394.
2. В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников «Физика полупроводников», М.: Наука, 1990.
3. В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин «Основы наноэлектроники», Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004.

Дополнительные источники:

3. К. Зеегер «Физика полупроводников», М.: Мир, 1977. http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483414.
4. А.И. Ансельм «Введение в теорию полупроводников», М.: Наука, 1962. https://e.lanbook.com/book/212255.
5. Дж. Блекмор «Статистика электронов в полупроводниках», М.: Мир, 1964.

7. К.В. Шалимова «Физика полупроводников», М.: Энергоатомиздат, 1985.

3.3 Перечень программного обеспечения, профессиональных баз данных, информационных справочных систем ресурсов информационно- телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения

При осуществлении образовательного процесса студентами и преподавательским составом используются следующее программное обеспечение:

ОС Windows 7 Pro;
MS Office 2007;
Kaspersky Endpoint Security;
7-Zip;
Google Chrome;
PDF24 Creator;

При осуществлении образовательного процесса студентами и преподавательским составом используются следующие информационно справочные системы: электронная библиотечная система «Юрайт», Электронный каталог Научной библиотеки ВГТУ, Виртуальные справочные службы, Библиотеки, Англоязычные ресурсы и порталы, иные ИСС.

- https://www.biblio-online.ru/viewer/osnovy-elektroniki-433509
- http://electrolib/narod.ru/electronics.htm
- http://scsiexplorer.com.ua/
- http://www.isuct.ru/e-lib/node/178
- http://www.stf.mrsu.ru/toe/demo_versia/

3.4 Особенности реализации дисциплины для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями

При обучении лиц с ограниченными возможностями здоровья, предусматривается индивидуальный график обучения.

Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья обеспечены печатными и электронными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

Для осуществления процедур текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся, создаются фонды оценочных средств, адаптированные для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья и позволяющие оценить достижение ими запланированных в основной образовательной программе результатов обучения и уровень сформированности всех компетенций, заявленных в образовательной программе.

4. КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Контроль и оценка результатов освоения дисциплины осуществляется преподавателем в процессе проведения практических работ, тестирования, а также выполнения обучающимися индивидуальных заданий, исследований, самостоятельной работы.

Оценка качества освоения программы дисциплины включает текущий контроль успеваемости, промежуточную аттестацию по результатам освоения дисциплины.

Результаты обучения (умения, знания, практический опыт)	**Формы контроля результатов обучения**
В результате освоения дисциплины обучающийся **должен уметь:**	
- У1 решать задачи по основным разделам физики полупроводников; использовать полученные знания для определения параметров и интерпретации физических свойств полупроводников; **- У2** методами построения математических и физических моделей типовых задач физики полупроводников;	- оценка выполнения и результатов защиты практических работ; - оценка навыков составления измерительных схем в ходе выполнения практической работы; - наблюдение и оценка результатов работы на практических занятиях; - оценка за выполнение группового задания (работа в малых группах) по выбору средств измерения по справочным материалам для осуществления измерения параметров сигнала (цепей) в соответствии с заданием;
В результате освоения дисциплины обучающийся **должен знать:**	
- З1 основные понятия и законы физики полупроводников, а также используемые в физике полупроводников основополагающие модели и теории;	- дифференцированная оценка ответов на вопросы в ходе учетно-обобщающего (контрольно-учетного) занятия; - оценка за выполнение и защиты результатов практических работ; - наблюдение и оценка результатов работы на практических занятиях; - оценка за выполнение тестовых заданий по темам дисциплины; - дифференцированная оценка за выполнение домашнего задания по расчету погрешностей измерения.

	- оценка за выполнение и защиты результатов практических работ;
В результате освоения дисциплины обучающийся **должен иметь практический опыт:**	
- П1 в применении теоретических моделей для интерпретации экспериментальных данных по физическим свойствам полупроводников.	- дифференцированная оценка ответов на вопросы в ходе учетно-обобщающего (контрольно-учетного) занятия; - оценка за выполнение и защиты результатов практических работ;

Разработчики:

ФГБОУ ВО «ВГТУ», преподаватель _____ Д.А. Денисов

Руководитель образовательной программы

Преподаватель высшей
квалификационной категории _____ Р.Г. Анисимов

Эксперт

Доцент кафедры твердотельной
электроники _____ А.В. Костюченко

МП