

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



УТВЕРЖДАЮ
Декан РТФ

УТВЕРЖДАЮ /А.Н. Дедов/
(Ф.И.О. декана (директора института))

30.06.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

С.1.2.8 Основы технологии микро- и нанoeлектроники

(код и наименование дисциплины по учебному плану)

Направление подготовки
(специальность)

11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Квалификация выпускника

Специалист

(бакалавр/магистр/специалист)

Специализация

Радиолокационные системы и комплексы

Курс 3
Семестр 5

Распределение учебного времени

| | | |
|---|---------|-----------------------|
| Трудоемкость по учебному плану | 144 / 4 | часов/зачетных единиц |
| Лекции | 18 | часов |
| Лабораторные работы | - | часов |
| Практические занятия | 36 | часов |
| Иная контактная работа | - | часов |
| Всего контактной работы (без учета экз.) | 54 | часов |
| Контактная работа по экзамену | - | часов |
| Курсовой проект (работа) | - | семестр |
| Самостоятельная работа обучающихся (без учета экз.) | 90 | часов |
| Самостоятельная работа по подготовке к экзамену | - | часов |
| Экзамен | - | семестр |
| Зачет | - | семестр |
| БРК, ДЗ | 5 | семестр |

(год)

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО направления подготовки (специальности) 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Программу составили:

| | | |
|---|-----------|----------------|
| заведующий кафедрой с ученой степенью кандидата наук | КиПР | Н.И. Сушенцов |
| (должность) | (кафедра) | (И.О. Фамилия) |
| | (подпись) | |

РАССМОТРЕНА и ОДОБРЕНА на заседании кафедры, за которой закреплена дисциплина
Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

| | | |
|------------------------|------------|----|
| 11.05.2021 | протокол № | 21 |
| (дата) | | |
| (наименование кафедры) | | |

| | | |
|---------------------|-------------|----------------|
| Заведующий кафедрой | СОГЛАСОВАНО | Н.И. Сушенцов |
| | | (И.О. Фамилия) |

Рабочая программа СОГЛАСОВАНА с факультетом (институтом), выпускающей(ими)
кафедрой(ами).

СООТВЕТСТВУЕТ действующей ОП.

| | |
|---------------------|----------------|
| Заведующий кафедрой | А.А. Баев |
| | (И.О. Фамилия) |
| | (подпись) |

Председатель методической комиссии факультета (института), в который входит
выпускающая кафедра

| |
|----------------|
| А.Н. Дедов |
| (И.О. Фамилия) |
| (подпись) |

Эксперт(ы): Власов Никита Михайлович, заместитель главного конструктора АО
Марийский машиностроительный завод - заместитель начальника НТЦ «Коралл»

Рабочая программа проверена и зарегистрирована в УМЦ 01.07.2021 г.

Специалист учебно-методического центра СОГЛАСОВАНО /Т.А. Смирнова/

Раздел 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является достижение планируемых результатов обучения, соответствующих установленным в ОПОП индикаторам достижения компетенций:

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Результаты обучения |
|--|--|---|
| 1. ПК-1 Способен осуществлять анализ состояния научно-технической проблемы, определять цели и выполнять постановку задач проектирования | ПК-1.1 Знать стадии проектирования | знания: Знает стадии проектирования типовых технологических процессов умения: навыки: |
| | ПК-1.2 Уметь разрабатывать техническое задание на проектирование | знания: умения: Умеет на базе типовых технологических процессов спроектировать технологический процесс в целом навыки: Владеет способами разработки технического задания на проектирование |

Раздел 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений ОПОП.

Дисциплина является обязательной

Для продолжения формирования заявленных компетенций необходимы знания предшествующих дисциплин: Электронные приборы СВЧ и квантовые приборы (ПК-1)

Изучаемая дисциплина является основой для продолжения формирования указанных компетенций в следующих дисциплинах: Электронные приборы СВЧ и квантовые приборы (ПК-1)

Раздел 3. ОПИСАНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Для формирования заявленных компетенций используются методологические технологии, реализующие деятельностный, личностно-ориентированный, практико-ориентированный подходы.

Основными стратегическими технологиями являются: лекционные занятия, практические занятия

На достижение конкретных целей обучения направлены применяемые тактические технологии: классическая лекция

Раздел 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5 семестр

| Виды и темы занятий | Количество часов | Формируемые компетенции |
|--|------------------|-------------------------|
| Введение. Использование современных достижений физики | 44 | ПК-1 |

| | | |
|---|-----------|------|
| и химии в технологии производства ЭС: электронные, ионные, атомные, лазерные, фотонные пучки, плазма, плазмохимия | | |
| Лекция. Введение. Использование современных достижений физики и химии в технологии производства ЭС: электронные, ионные, атомные, лазерные, фотонные пучки, плазма, плазмохимия | 4 | |
| Практическое занятие. Введение. Использование современных достижений физики и химии в технологии производства ЭС: электронные, ионные, атомные, лазерные, фотонные пучки, плазма, плазмохимия | 4 | |
| Самостоятельная работа. Введение. Использование современных достижений физики и химии в технологии производства ЭС: электронные, ионные, атомные, лазерные, фотонные пучки, плазма, плазмохимия | 18 | |
| Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение Подготовка к защите отчета по практической работе | 18 | |
| Физико-химические основы поверхностных процессов. Закономерности и природа адгезии. Теории адгезии. Адгезионные структуры. Методы определения и модификации адгезии. | 26 | ПК-1 |
| Лекция. Физико-химические основы поверхностных процессов. Закономерности и природа адгезии. Теории адгезии. Адгезионные структуры. Методы определения и модификации адгезии. | 2 | |
| Практическое занятие. Физико-химические основы поверхностных процессов. Закономерности и природа адгезии. Теории адгезии. Адгезионные структуры. Методы определения и модификации адгезии. | 4 | |
| Самостоятельная работа. Физико-химические основы поверхностных процессов. Закономерности и природа адгезии. Теории адгезии. Адгезионные структуры. Методы определения и модификации адгезии. | 10 | |
| Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение Подготовка к защите отчета по практической работе | 10 | |
| Физико-химические основы зарождения и роста новой фазы в виде тонких пленок в технологических процессах | 62 | ПК-1 |
| Лекция. Физико-химические основы зарождения и роста новой фазы в виде тонких пленок в технологических процессах | 4 | |
| Практическое занятие. Физико-химические основы зарождения и роста новой фазы в виде тонких пленок в технологических процессах | 12 | |
| Самостоятельная работа. Физико-химические основы зарождения и роста новой фазы в виде тонких пленок в технологических процессах | 30 | |
| Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение Подготовка к защите отчета по практической работе | 16 | |
| Физико-химические и физические основы ионных, ионно-плазменных, плазмо-химических методов нанесения и | 64 | ПК-1 |

| | | |
|---|-----------|------|
| травления микроэлектронных структур | | |
| Лекция. Физико-химические и физические основы ионных, ионно-плазменных, плазмо-химических методов нанесения и травления микроэлектронных структур | 4 | |
| Практическое занятие. Физико-химические и физические основы ионных, ионно-плазменных, плазмо-химических методов нанесения и травления микроэлектронных структур | 12 | |
| Самостоятельная работа. Физико-химические и физические основы ионных, ионно-плазменных, плазмо-химических методов нанесения и травления микроэлектронных структур | 32 | |
| Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение | | |
| Подготовка к защите отчета по практической работе | 16 | |
| Физико-химические основы эпитаксиальных процессов | 22 | ПК-1 |
| Лекция. Физико-химические основы эпитаксиальных процессов | 2 | |
| Самостоятельная работа. Физико-химические основы эпитаксиальных процессов | 10 | |
| Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение | | |
| Подготовка к защите отчета по практической работе | 10 | |
| Фотолитография | 46 | ПК-1 |
| Лекция. Фотолитография | 2 | |
| Практическое занятие. Фотолитография | 4 | |
| Самостоятельная работа. Фотолитография | 20 | |
| Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение | | |
| Подготовка к защите отчета по практической работе | 20 | |
| Иная контактная работа: | 0 | |

Раздел 5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины [С.1.2.8 Основы технологии микро- и нанoeлектроники](#) рекомендуется начать с ознакомления с рабочей программой, ее структурой и содержанием разделов. Учебный материал структурирован, изучение дисциплины осуществляется в тематической последовательности.

Занятия лекционного типа дают систематизированные знания по дисциплине [С.1.2.8 Основы технологии микро- и нанoeлектроники](#), концентрируют внимание на наиболее сложных и важных вопросах. Во время лекционных занятий рекомендуется вести конспектирование учебного материала; обращать внимание на формулировки и категории, раскрывающие суть проблемы, явления или процесса; зафиксировать выводы и практические рекомендации.

Подготовка к **занятиям семинарского типа** включает ознакомление с планом **практического** занятия; работу с конспектом лекций, выполнение домашнего задания, работу с учебной и учебно-методической литературой, научными изданиями и электронными образовательными ресурсами, рекомендованными рабочей программой дисциплины.

Содержание **самостоятельной работы** определяется рабочей программой дисциплины [С.1.2.8 Основы технологии микро- и нанoeлектроники](#), оценочными и методическими материалами, заданиями и указаниями преподавателя. Самостоятельная работа может осуществляться в аудиторной и внеаудиторной формах. Эффективным

осуществления самостоятельной работы является электронная информационно-образовательная среда университета, которая обеспечивает доступ к образовательной программе, рабочей программе дисциплины, к электронным библиотечным системам, профессиональным базам данных и информационным справочным системам. Изучение дисциплины [С.1.2.8 Основы технологии микро- и наноэлектроники](#) включает выполнение практических работ. Периодичность проведения, формы текущего контроля успеваемости, система оценивания хода освоения дисциплин представлены в рабочей программе. Формой промежуточной аттестации по дисциплине [С.1.2.8 Основы технологии микро- и наноэлектроники](#) является **зачёт**.

Раздел 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Учебно-методическое обеспечение

| №№ п/п | Список используемой литературы | Количество экземпляров печатных изданий, имеющих в библиотеке, или электронный адрес издания (ресурса) в сети Интернет |
|---|---|--|
| УЧЕБНЫЕ, УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ И НАУЧНЫЕ ИЗДАНИЯ | | |
| 1. | Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий [Текст] : в 2 т. : [учеб. пособие] / под общ. ред. Ю. Н. Коркишко. - (Нанотехнологии). Т. 1 : Физико-химические основы технологии микроэлектроники / Ю. Д. Чистяков, Ю. П. Райнова, 2010. - 392 с. ISBN 978-5-9963-0335-9. Экземпляры: всего 49. | 49 |
| 2. | Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий [Текст] : в 2 т. : [учеб. пособие] / под общ. ред. Ю. Н. Коркишко. - (Нанотехнологии). Т. 2 : Технологические аспекты / [М. В. Акуленок и др.], 2011. - 252 с. ISBN 978-5-9963-0336-6. Экземпляры: всего 49. | 49 |
| 3. | Мартинес-Дуарт, Д. М. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники [Текст] : [учеб. и справ. пособие для студентов] / Дж. М. Мартинес-Дуарт, Р. Дж. Мартин-Палма, Ф. Агулло-Рueda ; пер. с англ. А. В. Хачояна ; под ред. Е. Б. Якимова. Изд. 2-е, доп. М.: Техносфера, 2009. - 367 с. ISBN 978-5-94836-209-0. Экземпляры: всего 15. | 15 |
| 4. | Нанотехнологии в электронике-3.1 [Электронный ресурс] . Москва: Техносфера, 2016 ISBN 978-5-94836-423-0. | https://e.lanbook.com/book/87746 |
| 5. | Нанотехнологии в электронике. Выпуск 2 [Текст]. Москва: Техносфера, 2013. - 688 с. ISBN 978-5-94836-353-0. | http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=76156 |
| ЭЛЕКТРОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ | | |
| 1. | Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU | http://elibrary.ru |
| 2. | Научная электронная библиотека «Киберленинка» | http://cyberleninka.ru |
| 3. | Издательство Springer (SpringerOpen) | https://www.springeropen.com |
| 4. | Издательство Elsevier | |

| | | |
|----|-----------------------------|---|
| | | https://www.sciencedirect.com/ |
| 5. | Издательство SpringerNature | https://www.nature.com/ |

6.2. Материально-техническая база и программное обеспечение

| №№ п/п | Аудитории для проведения учебных занятий, самостоятельной работы и проведения государственной итоговой аттестации | Перечень основного оборудования | Программное обеспечение |
|-----------|---|---------------------------------|-------------------------|
| | | | |

Раздел 7. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ/ ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Критерии оценивания индикаторов достижения компетенций направлены на:

- усвоение теоретического материала (объем знаний, глубина усвоения), предусмотренного рабочей программой;
- умение излагать материал (четкость, грамотность изложения материала, точность и полнота воспроизведения учебного материала);
- умение применять теоретические знания при решении практических заданий.

Шкала оценивания представлена ниже.

| Уровень сформированности элементов компетенции | Критерии оценивания | Шкала оценивания |
|--|---|-------------------|
| Пороговый уровень | Обучающийся имеет знания основного материала, проявляет умение логично его излагать, но может допускать неточности в изложении материала, недостаточно правильные формулировки, испытывает затруднения в выполнении практических заданий. | удовлетворительно |
| Продвинутый уровень | Обучающийся твердо знает программный материал, излагает его грамотно и по существу, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения | хорошо |
| Высокий уровень | Обучающийся глубоко и прочно усвоил программный материал, грамотно и логически стройно его излагает, дает исчерпывающие ответы на поставленные вопросы. В ответе тесно увязывается теория с практикой, при этом обучающийся не затрудняется с ответом при видоизменении задания, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, показывает знакомство с монографической литературой, периодическими изданиями, правильно обосновывает принятые решения, свободно владеет разносторонними навыками, приемами выполнения практических работ | отлично |

7.1. Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценивание хода освоения дисциплины

(модуля) и производится с применением технологии рейтингового контроля в соответствии с технологической картой дисциплины. Порядок составления технологической карты и алгоритм проведения процедуры оценивания видов деятельности обучающихся, направленных на освоение знаний, умений, навыков и/или опыта деятельности, по накопительной системе в баллах устанавливается положением о системе РИТМ в ФГБОУ ВО «ПГТУ»

7.2. Промежуточная аттестация обучающихся

Промежуточная аттестация обучающихся направлена на оценивание результатов обучения по дисциплине (модулю) и проводится с использованием фондов оценочных средств.

Примеры типовых контрольных заданий из базы фонда оценочных средств по образовательной программе.

1. Использование современных достижений физики и химии в технологии производства ЭС: электрон-ные, ионные, атомные, лазерные, фотонные пучки, плазма, плазмохимия.
2. **Физико-химические основы поверхностных процессов.**Закономерности и природа адгезии. Теории адгезии. Адгезионные структуры. Методы определения и модификации адгезии.
3. **Физико-химические основы поверхностных процессов.**Методы очистки поверхности.
4. **Физико-химические основы зарождения и роста новой фазы в виде тон-ких пленок в технологических процессах.** Термодинамика образования зародышей пленки. Критический радиус и крити-ческая энергия зародыша. Способы образования критических и закритических заро-дышей. Силы связи адатомов с поверхностью, поверхностная миграция адсорбированных частиц.
5. **Физико-химические основы зарождения и роста новой фазы в виде тон-ких пленок в технологических процессах.** Механизмы роста тонких пленок в вакууме.
6. **Физико-химические и физические основы ионных, ионно-плазменных, плазмохимических методов нанесения и травления микроэлектрон-ных структур.** Влияние давления газа и магнитного поля на процесс распыления. Магнетронное, реактивное, плазмо-дуговое распыление.
7. **Физико-химические основы эпитаксиальных процессов.** Молекулярно-лучевая эпитаксия. Механизм формирования гетероэпитаксиальных структур методом МЛЭ.
8. **Физико-химические закономерности образования диэлектрических пле-нок па поверхности кремния.** Кинетика роста окисных пленок на поверхности кремния. Механизм высокотем-пературного окисления кремния
9. **Физ-хим. основы нанесения толстых пленок.** Состав паст. Техспроцес изготовлениясеткографического трафарета. Процессы нанесения и термообработки толстых пленок.
10. **Закономерности и механизмы диффузии ионной имплантации примесей в полу-проводниковых материалах и структурах.** Термическая диффузия. Механизмы диффузии атомов в кристалле. Физическая природа диффузионного процесса. Коэффициент диффузии примеси в кристалле, ея зависимость от параметров решетки кристалла и от температуры. Диффузия из ограниченного и неограниченного источников. Двух стадийная диффузия в кремнии — загонка и раз-гонка.
11. **Закономерности и механизмы диффузии ионной имплантации примесей в полу-проводниковых материалах и структурах.** Метод введения примесей - ионная

имплантация. Распределение примесей и пробегов ионов при внедрении в аморфную мишень. Распределение пробегов ионов в монокристаллических подложках. Эффект каналирования. Аморфизация и рекристаллизация кремния после имплантации. Ионная имплантация с помощью многозарядных ионов. Преимущества и основные закономерности

Перечень вопросов для проведения промежуточной аттестации

12. Основные технологические группы процессов в производстве ЭС: нанесение и модификация материалов, удаление материалов и получение заданной конфигурации технологических структурных элементов микросхем, в том числе полупроводниковая технология, пленочная технология, микролитография, технология изготовления, сборки и монтажа конструктивно-технологических элементов ЭС.
13. Использование современных достижений физики и химии в технологии производства ЭС: электронные, ионные, атомные, лазерные, фотонные пучки, плазма, плазмохимия.
14. **Физико-химические основы поверхностных процессов.** Термодинамика чистой поверхности. Поверхностное натяжение, поверхностное напряжение. Смачивание. Методы определения поверхностного натяжения. Поверхностно-активные вещества.
15. **Физико-химические основы поверхностных процессов.** Закономерности и природа адгезии. Теории адгезии. Адгезионные структуры. Методы определения и модификации адгезии.
16. **Физико-химические основы поверхностных процессов.** Методы очистки поверхности.
17. **Физико-химические основы зарождения и роста новой фазы в виде тонких пленок в технологических процессах.** Термодинамика образования зародышей пленки. Критический радиус и критическая энергия зародыша. Способы образования критических и некритических зародышей. Силы связи атомов с поверхностью, поверхностная миграция адсорбированных частиц.
18. **Физико-химические основы зарождения и роста новой фазы в виде тонких пленок в технологических процессах.** Механизмы роста тонких пленок в вакууме.
19. **Физико-химические основы зарождения и роста новой фазы в виде тонких пленок в технологических процессах.** Кристаллическое строение тонких пленок. Методы исследования тонких пленок.
20. **Физико-химические основы термовакuumного испарения и осаждения материалов.** Технический вакуум. Степени вакуума. Методы получения и измерения различных степеней вакуума. Средняя длина свободного пути. Остаточная атмосфера и ее взаимодействие с потоком испаряемого вещества.
21. **Физико-химические основы термовакuumного испарения и осаждения материалов.** Испарение чистых металлов в вакууме. Механизм испарения. Понятие о равновесном давлении пара, насыщенном паре. Температура испарения, скорость испарения. Испарение сплавов и химических соединений.