

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



УТВЕРЖДАЮ  
Декан РТФ

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

01.03.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

С.1.2.2 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	СОГЛАСОВАНО	Н.И. Сушенцов
(должность)	(кафедра)		(И.О. Фамилия)

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

(наименование кафедры)		
16.01.2023	протокол №	11
(дата)		
Заведующий кафедрой	СОГЛАСОВАНО	Н.И. Сушенцов
		(И.О. Фамилия)

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

СООТВЕТСТВУЕТ действующей ОП.

Заведующий кафедрой	СОГЛАСОВАНО	Р.Г. Хафизов
		(И.О. Фамилия)

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

СОГЛАСОВАНО	А.Н. Дедов
	(И.О. Фамилия)

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

Рабочая программа проверена и зарегистрирована в УМЦ 06.03.2023 г.

Специалист учебно-методического центра СОГЛАСОВАНО /И.Р. Валиева/

## 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	<b>знания:</b> Знает стадии проектирования типовых технологических процессов <b>умения:</b> <b>навыки:</b>
	ПК-1.2 Уметь разрабатывать техническое задание на проектирование	<b>знания:</b> <b>умения:</b> Умеет на базе типовых технологических процессов спроектировать технологический процесс в целом <b>навыки:</b>
	ПК-1.3 Владеет способами анализа состояния технической проблемы	<b>знания:</b> <b>умения:</b> <b>навыки:</b> 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 практик: Производственная практика. Научно-исследовательская работа (рассредоточенная) (ПК-1)

Изучаемая дисциплина является основой для продолжения формирования указанных компетенций в следующих дисциплинах: Электронные приборы сверхвысоких частот и квантовые приборы (ПК-1), Моделирование радиотехнических систем в LabView (ПК-1); практиках: Производственная практика. Научно-исследовательская работа (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
---------------------	------------------	-------------------------

<b>Введение. Использование современных достижений физики и химии в технологии производства ЭС: электронные, ионные, атомные, лазерные, фотонные пучки, плазма, плазмохимия</b>	<b>44</b>	ПК-1
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	
<b>Физико-химические основы поверхностных процессов. Закономерности и природа адгезии. Теории адгезии. Адгезионные структуры. Методы определения и модификации адгезии.</b>	<b>26</b>	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	
<b>Физико-химические основы зарождения и роста новой фазы в виде тонких пленок в технологических процессах</b>	<b>62</b>	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	
<b>Физико-химические и физические основы ионных, ионно-</b>	<b>64</b>	ПК-1

<b>плазменных, плазмо-химических методов нанесения и травления микроэлектронных структур</b>		
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	
<b>Физико-химические основы эпитаксиальных процессов</b>	<b>22</b>	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	
<b>Фотолитография</b>	<b>46</b>	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: дифференцированный зачет (БРК)	0	

## Раздел 5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины "Основы технологии микро- и наноэлектроники" 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 "Основы технологии микро- и наноэлектроники", 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 "Основы технологии микро- и наноэлектроники", оценочными и методическими материалами, заданиями и указаниями преподавателя. Самостоятельная работа может осуществляться в аудиторной и внеаудиторной формах. Эффективным средством

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 включает выполнение практических работ. Периодичность проведения, формы текущего контроля успеваемости, система оценивания хода освоения дисциплин представлены в рабочей программе. Формой промежуточной аттестации по дисциплине является дифференцированный зачёт (БРК).

## 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
<b>УЧЕБНЫЕ, УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ И НАУЧНЫЕ ИЗДАНИЯ</b>		
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-Руеда ; 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.	<a href="https://e.lanbook.com/book/87746">https://e.lanbook.com/book/87746</a>
5.	Берлин, Е. В. Получение тонких пленок реактивным магнетронным распылением [Электронный ресурс] : справочное пособие / Берлин Е. В., Сейдман Л. А. Москва: Техносфера, 2014. - 256 с. ISBN 978-5-94836-369-1.	<a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=73531">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=73531</a>
6.	Шилова, О. А. Золь-гель технология микро- и нанокompозитов [Электронный ресурс] / Шилова О. А. Санкт-Петербург: Лань, 2022. - 304 с. ISBN 978-5-8114-1417-8.	<a href="https://e.lanbook.com/book/211280">https://e.lanbook.com/book/211280</a>
7.	Нанотехнологии в электронике. Выпуск 2 [Текст]. Москва: Техносфера, 2013. - 688 с. ISBN 978-5-94836-353-0.	<a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=76156">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=76156</a>

## 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
1.	417 (III)	Проектор мультимедийный Hitachi CP-X 5 (1), Учебная лаборатория NanoEducator-8 Basic (1), Комплект учебной мебели (1)	Microsoft Windows Enterprise, Справочная правовая система "Консультант Плюс", Microsoft Office Standard, Агент Dr.Web, Комплект ГАРАНТ-Мастер, Microsoft Access, Microsoft Visio Professional, Microsoft Project Professional, Microsoft Visual Studio Enterprise, Комплект ПО для решения основных пользовательских задач
2.	419 (III)	Автоматизированная система контроля и управления установкой магнетронного распыления и дугового испарения для получения наноструктурированных плёнок (1), Автоматизированная технологическая установка магнетронного распыления для получения наноструктурированных пленок (1), Блок питания магнетрона "ELM-7.5/600S-R" (2), Монитор SAMSUNG 19" Ж/К (1), УСТАНОВКА ВАКУУМНОГО НАПЫЛЕНИЯ (1), УСТАНОВКА ИОННОГО ТРАВЛЕНИЯ (1), УСТАНОВКА УРМ-3 (1), ШКАФ ВЫТЯЖНОЙ (1), Комплект учебной мебели (1)	Microsoft Windows Enterprise, Справочная правовая система "Консультант Плюс", Microsoft Office Standard, Агент Dr.Web, Комплект ГАРАНТ-Мастер, Microsoft Access, Microsoft Visio Professional, Microsoft Project Professional, Microsoft Visual Studio Enterprise, Комплект ПО для решения основных пользовательских задач
3.	418 (III)	Весы электронные лабораторные AJH-420 CE ViBRA (1), Компрессор Tiger МК 245 24 л. (1), Мешалка магнитная MSH - 200-Set с подогревом, с цифр.упр., в комплекте (1), Плитка нагревательная цифровая HP-20D Set 18x18 см, 600Вт, керамич.покрытие в компл.со штативом. датчиком темп. (1), УСТАН ЗАДУБ ФОТОРЕЗ (1), Комплект учебной мебели (1)	Microsoft Windows Enterprise, Справочная правовая система "Консультант Плюс", Microsoft Office Standard, Агент Dr.Web, Комплект ГАРАНТ-Мастер, Microsoft Access, Microsoft Visio Professional, Microsoft Project Professional, Microsoft Visual Studio

			Enterprise, Комплект ПО для решения основных пользовательских задач
4.	420 (III)	ИЗМЕРИТЕЛЬ ФК2-12 (1), Многофункциональная ремонтная паяльная станция ASE-4313 (1), Многофункциональная ремонтная паяльная станция АТР-4302 (1), Комплект учебной мебели (1)	Microsoft Windows Enterprise, Справочная правовая система "Консультант Плюс", Microsoft Office Standard, Агент Dr.Web, Комплект ГАРАНТ-Мастер, Microsoft Access, Microsoft Visio Professional, Microsoft Project Professional, Microsoft Visual Studio Enterprise, Комплект ПО для решения основных пользовательских задач
5.	415 (III)	МИКРОСКОП БИОЛАР ФР (1), Ноутбук DELL 500 550 2.0 ГГц (1), Принтер струйный Canon PIXMA iP-4500 (1), Сканирующий зондовый микроскоп NTEGRA vita Basic (1), Универсальная нанолaborатория NTEGRA prima Basic (1), Комплект учебной мебели (1)	Microsoft Windows Enterprise, Справочная правовая система "Консультант Плюс", Microsoft Office Standard, Агент Dr.Web, Комплект ГАРАНТ-Мастер, Microsoft Access, Microsoft Visio Professional, Microsoft Project Professional, Microsoft Visual Studio Enterprise, Комплект ПО для решения основных пользовательских задач

## 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	удовлетворительно

	затруднения в выполнении практических заданий.	
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.

##### Вопрос 1

Атомная модель наилучшим образом описывает конденсацию материалов при ...

- 1) малых критических зародышах
- 2) больших критических зародышах
- 3) малых пересыщениях
- 4) высокой температуре

##### Вопрос 2

Капиллярная модель наилучшим образом описывает конденсацию материалов при ...

- 1) Низкой температуре
- 2) больших пересыщениях

3) больших критических зародышах

4) малых критических зародышах

### Вопрос 3

Пленки, получаемые магнетронным распылением, имеют

1) монокристаллическое строение

2) поликристаллическое строение

3) Волокнистое (текстурированное) поликристаллическое строение

4) аморфное строение

### Вопрос 4

Пленки, получаемые эпитаксией, имеют:

1) монокристаллическое строение

2) аморфное строение

3) волокнистое (текстурированное) поликристаллическое строение

4) поликристаллическое строение

### Вопрос 5

Способ, позволяющий получить пленки с наиболее совершенным поликристаллическим строением

1) диодное распыление

2) триодное распыление

3) магнетронное распыление

4) термическое испарение

Перечень вопросов для проведения промежуточной аттестации

1. 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.
2. Использование современных достижений физики и химии в технологии производства ЭС: электрон-ные, ионные, атомные, лазерные, фотонные пучки, плазма, плазмохимия.
3. **Физико-химические основы поверхностных процессов.** Термодинамика чистой поверхности. Поверхностное натяжение, поверхностное напряжение. Смачивание. Методы определения поверхностного натяжения. Поверх-ностно-активные вещества.
4. **Физико-химические основы поверхностных процессов.** Закономерности и природа адгезии.

Теории адгезии. Адгезионные структуры. Методы определения и модификации адгезии.

5. **Физико-химические основы поверхностных процессов.** Методы очистки поверхности.
6. **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 закритических зародышей. Силы связи атомов с поверхностью, поверхностная миграция адсорбированных частиц.
7. **Физико-химические основы зарождения и роста новой фазы в виде тонких пленок в технологических процессах.** Механизмы роста тонких пленок в вакууме.
8. **Физико-химические основы зарождения и роста новой фазы в виде тонких пленок в технологических процессах.** Кристаллическое строение тонких пленок. Методы исследования тонких пленок.
9. **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.
10. **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.