

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



УТВЕРЖДАЮ
Декан РТФ

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

27.01.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

М.1.2.7 Устройства нанoeлектроники

(код и наименование дисциплины по учебному плану)

Направление подготовки
(специальность)

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Квалификация выпускника

Магистр

(бакалавр/магистр/специалист)

Программа магистратуры

Электронные и нанoeлектронные приборы и устройства

Курс 2
Семестр 4

Распределение учебного времени

Трудоемкость по учебному плану	180 / 5	часов/зачетных единиц
Лекции	12	часов
Лабораторные работы	-	часов
Практические занятия	24	часов
Иная контактная работа	-	часов
Всего контактной работы (без учета экз.)	36	часов
Контактная работа по экзамену	6	часов
Курсовой проект (работа)	-	семестр
Самостоятельная работа обучающихся (без учета экз.)	108	часов
Самостоятельная работа по подготовке к экзамену	30	часов
Экзамен	4	семестр
Зачет	-	семестр
БРК, ДЗ	-	семестр

(год)

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО направления подготовки (специальности) 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Программу составили:

доцент с ученой степенью кандидата наук	КиПР	СОГЛАСОВАНО	Д.Е. Шашин
(должность)	(кафедра)		(И.О. Фамилия)

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

(наименование кафедры)		
20.01.2025	протокол №	12
(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	Н.И. Сушенцов
		(И.О. Фамилия)

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

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

Эксперт(ы): Лапин Владимир Авангардович, директор ООО "НПФ Мета-Хром"

Рабочая программа проверена и зарегистрирована в УМЦ 04.02.2025 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-8 Способен проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований	ПК-8.1. Знает принципы подготовки технических заданий на современные электронные	знания: Знать принципы подготовки технических заданий на современные электронные устройства. умения: навыки:
	ПК-8.2. Умеет разрабатывать приборы и системы электронной техники.	знания: умения: Уметь разрабатывать приборы и системы электронной техники. навыки:
	ПК-8.3. Владеет навыками разработки рабочей топологии и плана технологии монтажа и сборки электронной компонентной базы изделий микро- и нанoeлектроники.	знания: умения: навыки: Владеть навыками разработки рабочей топологии и плана технологии монтажа и сборки электронной компонентной базы изделий микро- и нанoeлектроники.
2. ПК-9 Способен разрабатывать проектно-конструкторскую документацию в соответствии с методическими и нормативными требованиями	ПК-9.1. Знает нормативные требования к разработке проектно-конструкторской документации.	знания: Знать нормативные требования к разработке проектно-конструкторской документации. умения: навыки:
	ПК-9.2. Умеет использовать стандарты и нормативные требования при разработке документации.	знания: умения: Уметь использовать стандарты и нормативные требования при разработке документации. навыки:
	ПК-9.3. Владеет навыками выпуска документации для организации серийного выпуска изделий.	знания: умения: навыки: Владеть навыками выпуска документации для организации серийного выпуска изделий.

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: Робототехника (ПК-8), Фотоэлектрические тонкопленочные

преобразователи солнечной энергии (ПК-9)

Изучаемая дисциплина является основой для продолжения формирования указанных компетенций в следующих государственной итоговой аттестации в форме: Выполнение и защита выпускной квалификационной работы (ПК-8), Выполнение и защита выпускной квалификационной работы (ПК-9)

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: задания, классическая лекция

Раздел 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4 семестр

Виды и темы занятий	Количество часов	Формируемые компетенции
Современные устройства нанoeлектроники	144	ПК-8, ПК-9
Лекция. Введение. Эффекты квантовой физики, обеспечивающие реализацию наноматериалов и структур на их основе.	2	
Лекция. Технологии формирования нанобъектов	4	
Лекция. Принцип работы, схемы включения и статические характеристики биполярных нанотранзисторов	2	
Лекция. Инструменты, применяемые для изучения нанобъектов.	2	
Лекция. Примеры применения наноструктур и нанoeлектроники	2	
Практическое занятие. Расчет основных параметров термовакуумного напыления	4	
Практическое занятие. Расчет основных параметров магнетронного распыления	4	
Практическое занятие. Определение параметров режимов ионного легирования и профиля распределения внедренных ионов	4	
Практическое занятие. Расчет коэффициента распыления изотропной мишени ионами инертных газов	4	
Практическое занятие. Расчет основных параметров низкотемпературной плазмы	4	
Практическое занятие. Расчет диффузионного профиля легирующих примесей в кремнии при различных режимах диффузии	4	

Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение Самостоятельная работа студентов заключается в проработке лекционного материала и подготовке отчетов по практическим работам.	108
Иная контактная работа:	0
Подготовка к экзамену	30
Проведение экзамена	6

Раздел 5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины [М.1.2.7 Устройства 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 [М.1.2.7 Устройства 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 [М.1.2.7 Устройства наноэлектроники](#).

Содержание **самостоятельной работы** определяется рабочей программой дисциплины [М.1.2.7 Устройства 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 [М.1.2.7 Устройства наноэлектроники](#), к электронным библиотечным системам, профессиональным базам данных и информационным справочным системам. Изучение дисциплины [М.1.2.7 Устройства 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 [М.1.2.7 Устройства наноэлектроники](#) является **экзамен**.

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.	Шука, Александр Александрович. Наноэлектроника [Текст] : учебное пособие : по направлению подготовки	15

	"Прикладные математика и физика" / А. А. Щука; под редакцией А. С. Сигова. 4-е изд. Москва: Лаборатория знаний, 2019. - 342 с. ISBN 978-5-00101-156-9. Экземпляры: всего 15.	
2.	Шашин, Дмитрий Евгеньевич. Исследование параметров пассивных тонкопленочных элементов [Текст] : лабораторный практикум для студентов по направлениям подготовки 11.04.04 "Электроника и нанoeлектроника", 11.04.02 "Информационные технологии и системы связи", 21.10.00 "Конструирование и технологии электронных средств" / Д. Е. Шашин, Е. М. Цветкова, А. Г. Разина; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, ФГБОУ ВО "Поволжский государственный технологический университет". Йошкар-Ола: ПГТУ, 2021. - 61 с. ISBN 978-5-8158-2247-4. Экземпляры: всего	15 / https://portal.volgatech.net/books/Shashin_Issledovaniye_parametrov_passivnykh_tonkoplennoknykh_elementov_2021.pdf
3.	Шашин, Дмитрий Евгеньевич. Технологии изготовления и измерения оптических характеристик тонких пленок для применения в приборостроении [Текст] : лабораторный практикум по направлениям подготовки 11.04.04 "Электроника и нанoeлектроника", 12.03.01 "Приборостроение", 21.10.00 "Конструирование и технология электронных средств", 12.03.04 "Биотехнические системы и технологии", 11.04.01 "Радиотехника", 27.03.04 "Управление в технических системах" / Д. Е. Шашин; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, ФГБОУ ВО "Поволжский государственный технологический университет". Йошкар-Ола: ПГТУ, 2022. - 82 с. ISBN 978-5-8158-2289-4. Экземпляры: всего 7.	7 / https://portal.volgatech.net/books/Shashin_Tekhnologii_i_zgotovleniya_i_izmereniye_opticheskikh_kharakteristik_tonkikh_plenok_dlya_primene_niya_v_priborostroyenii_2022.pdf
4.	Шашин, Дмитрий Евгеньевич. Вакуумные тонкопленочные технологии в приборостроении [Текст] : лабораторный практикум по направлениям подготовки 11.04.04 "Электроника и нанoeлектроника", 12.03.01 "Приборостроение", 11.03.03 "Конструирование и технология электронных средств", 12.03.04 "Биотехнические системы и технологии", 11.04.01 "Радиотехника", 27.03.04 "Управление в технических системах" / Д. Е. Шашин; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, ФГБОУ ВО "Поволжский государственный технологический университет". Йошкар-Ола: ПГТУ, 2022. - 82 с. ISBN 978-5-8158-2314-3. Экземпляры: всего 5.	5 / https://portal.volgatech.net/books/Shashin_Vakuumnyye_tonkoplennoknyye_tekhnologii_v_priborostroyenii_2022.pdf
5.	Леухин, Владимир Николаевич. Материалы в конструкциях и технологии электронных средств [Текст] : учеб. пособие / В. Н. Леухин, Е. В. Михеева. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. - 163 с. ISBN 978-5-8158-0684-9. Экземпляры: всего 149.	149 / https://portal.volgatech.net/books/Leuxin,Mixeeva_-_kniga1.pdf
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПРАВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ		
1.	Справочно-правовая система Консультант+	http://www.consultant.ru
2.	Информационно-правовой портал Гарант	http://www.garant.ru
3.	Профессиональные справочные системы Техэксперт	http://www.cntd.ru

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.	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
2.	420а (III)	ИЗМЕРИТ ДОБРОТНОСТИ (1), ПРИБОР А2Х Х1-42 (1), Радиоизмерительный прибор - измеритель иммитанса Е7-20 (3), 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 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.

Вопросы к экзамену

1. Переход от микроэлектроники к наноэлектронике. Направления наноэлектроники. 2. МДП-транзистор: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. МОП-транзистор со слаболегированными LDD-областями: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. 3. КНИ-транзистор: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. TeraHertz-транзистор: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. 4. Технология формирования структур Si/SiGe и SiGe/Si. Модулированно-легированные транзисторы с затвором Шоттки на базе гетеропереходов

Si/Si_{0.7}Ge_{0.3} (MODFET-транзисторы): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Транзистор типа «кремний на чем»: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. 5. FinFET-транзистор: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Tri-Gate-транзистор: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Multi-Gate FinFET транзистор: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. 6. Полевой гетеротранзистор на основе AlGaAs-GaAs: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. HEMT транзистор на основе Al_{0.3}Ga_{0.7}As/GaAs: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Гетеропереходной полевой транзистор с затвором Шоттки на основе AlGaIn/GaN: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Полевой транзистор с затвором Шоттки на основе GaAs (MESFET): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. 7. МДП-транзистор с квантовыми точками Ge: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Модуляционно легированные транзисторы с квантовыми точками InAs на базе гетеропереходов GaAs/Al_{0.7}Ga_{0.3}As: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. 8. Биполярные транзисторы на гетеропереходах (HBT) на базе GaAs: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. 9. Полевой транзистор на основе нанотрубки компании Infineon Technologies AG: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Транзистор на Y-образной нанотрубке: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. 10. Графеновый транзистор на квантовой точке: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Полевой транзистор на основе графеновой ленты: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Графеновый транзистор с нанопроводником: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. 11. Кремниевый спиновый транзистор с ферромагнитными слоями Co₈₄Fe₁₆ и Ni₈₀Fe₂₀: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Спиновый полевой транзистор (транзистор Датта Даса): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. 12. Наноэлектромеханический транзистор (транзистор Блайка): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Баллистический транзистор с отклоняющим полем: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. 13. Одноэлектронный транзистор с квантовой точкой: структура, принцип работы, достоинства и недостатки. Стадии процесса одноэлектронного туннелирования. Кулоновская лестница: причина появления, вид, параметры структуры, влияющие на нее. 14. Кремниевый одноэлектронный транзистор с двумя затворами и одиночной квантовой точкой: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Квантово-точечный транзистор со спиликремниевым затвором: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Элемент памяти МДП-типа с ультракоротким каналом: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. 15. Полевой транзистор на органических полупроводниках с нижними верхним расположением затвора: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Тонкопленочный полевой транзистор на органических полупроводниках: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. 16. Органические светодиоды пассивно-матричные (Passive-Matrix OLED): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Органические светодиоды активно-матричные (Active-Matrix OLED): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Органические светодиоды фосфоресцентные (Phosphorescent OLED): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Органические светодиоды прозрачные (Transparent and Top emitting OLED): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Органические светодиоды гибкие (Flexible OLED): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Органические светодиоды расположенные вертикально в стопочку (Staked OLED): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

Перечень вопросов для проведения промежуточной аттестации

1. Суть закона Мура
2. Что такое корпускулярно-волновой дуализм?
3. Что такое «самосборка» применительно к нанотехнологии?
4. В чем суть теории Ван-дер-Ваальса? Пример их использования в природе?
5. Фуллерены. Основные свойства.
6. Углеродные трубки. Основные свойства.
7. Свойства наночастиц. Примеры.
8. Что такое «квант действия» по Планку?
9. Что такое наносистема?
10. Что такое кластер?
11. Основные свойства фуллеренов.
12. Основные свойства нанотрубок.
13. Способы получения наночастиц.
14. Что такое «электронная» оптика?
15. В чем и почему механическая память выгоднее современных электромагнитных систем?
16. Принцип работы гибридных механоэлектрических НЭМ-транзисторов.
17. Принцип работы гибридных механоэлектрических НЭМ-транзисторов.
18. Принцип работы сенсоров, наноактюаторов и наномоторов.