

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Ястребов Олег Александрович
Должность: Ректор
Дата подписания: 21.05.2026 16:41:02
Уникальный программный ключ:
ca953a0120d891083f939673078ef1a989dae18a

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»**

Инженерная академия

(наименование основного учебного подразделения (ОУП)-разработчика ОП ВО)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВ НАНО- И МИКРОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ

(наименование дисциплины/модуля)

Рекомендована МССН для направления подготовки/специальности:

28.04.01 НАНОТЕХНОЛОГИИ И МИКРОСИСТЕМНАЯ ТЕХНИКА

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Освоение дисциплины ведется в рамках реализации основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОП ВО):

НАНОТЕХНОЛОГИИ

(наименование (профиль/специализация) ОП ВО)

2026 г.

1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Технология изготовления устройств нано- и микросистемной техники» входит в программу магистратуры «Нанотехнологии» по направлению 28.04.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» и изучается во 2 семестре 1 курса. Дисциплину реализует Базовая кафедра «Нанотехнологии и микросистемная техника». Дисциплина состоит из 3 разделов и 7 тем и направлена на изучение устройств нано- и микросистемной техники и принципов их изготовления.

Целью освоения дисциплины является получение знаний, умений, навыков и опыта деятельности в области технологических процессов планарной технологии; основных приемов формирования структур элементов интегральных схем; принципов действия технологического оборудования и режимов выполнения технологических операций.

2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Технология изготовления устройств нано- и микросистемной техники» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций (части компетенций):

Таблица 2.1. Перечень компетенций, формируемых у обучающихся при освоении дисциплины (результаты освоения дисциплины)

Шифр	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции (в рамках данной дисциплины)
ПК-5	Способность разрабатывать технологии изготовления наноструктурированных покрытий с заданными свойствами и проводить исследования их характеристик	ПК-5.1 Знает основные технологии изготовления наноструктурированных покрытий с заданными свойствами; ПК-5.2 Умеет проводить исследования характеристик наноструктурированных покрытий с заданными свойствами; ПК-5.3 Владеет методами разработки технологии изготовления наноструктурированных покрытий с заданными свойствами;
ПК-7	Способность разрабатывать современные технологические процессы изготовления нанoeлектронных изделий	ПК-7.1 Знает основные современные технологические процессы изготовления нанoeлектронных изделий; ПК-7.2 Владеет навыками разработки современных технологических процессов изготовления нанoeлектронных изделий;
ПК-8	Способность разрабатывать новые технологические процессы производства микро- и наноразмерных электромеханических систем	ПК-8.1 Знает основные современные технологические процессы производства микро- и наноразмерных электромеханических систем; ПК-8.2 Владеет навыками разработки новых технологических процессов производства микро- и наноразмерных электромеханических систем;

3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Технология изготовления устройств нано- и микросистемной техники» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы высшего образования.

В рамках образовательной программы высшего образования обучающиеся также осваивают другие дисциплины и/или практики, способствующие достижению запланированных результатов освоения дисциплины «Технология изготовления устройств нано- и микросистемной техники».

Таблица 3.1. Перечень компонентов ОП ВО, способствующих достижению запланированных результатов освоения дисциплины

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
ПК-7	Способность разрабатывать современные технологические процессы изготовления нанoeлектронных изделий	Материалы наноструктурных установок;	Строение и химические свойства наночастиц; <i>Синтез композиционных материалов методом 3D принтинга**</i> ; <i>Синтез композиционных материалов методом электроспиннинга**</i> ; Преддипломная практика;
ПК-8	Способность разрабатывать новые технологические процессы производства микро- и наноразмерных электромеханических систем	Аддитивные технологии;	Углеродные нанотрубки, фуллерены и гидрофобная сажа; <i>Синтез композиционных материалов методом 3D принтинга**</i> ; <i>Синтез композиционных материалов методом электроспиннинга**</i> ; Преддипломная практика;
ПК-5	Способность разрабатывать технологии изготовления наноструктурированных покрытий с заданными свойствами и проводить исследования их характеристик	Аддитивные технологии;	Углеродные нанотрубки, фуллерены и гидрофобная сажа; Преддипломная практика;

* - заполняется в соответствии с матрицей компетенций и СУП ОП ВО

** - элективные дисциплины /практики

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Технология изготовления устройств нано- и микросистемной техники» составляет «5» зачетных единиц.

Таблица 4.1. Виды учебной работы по периодам освоения образовательной программы высшего образования для очной формы обучения.

Вид учебной работы	ВСЕГО, ак.ч.		Семестр(-ы)
			2
<i>Контактная работа, ак.ч.</i>	51		51
Лекции (ЛК)	34		34
Лабораторные работы (ЛР)	0		0
Практические/семинарские занятия (СЗ)	17		17
<i>Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч.</i>	93		93
<i>Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч.</i>	36		36
Общая трудоемкость дисциплины	ак.ч.	180	180
	зач.ед.	5	5

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 5.1. Содержание дисциплины (модуля) по видам учебной работы

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
Раздел 1	Общие принципы технологии изготовления устройств нано- и микросистемной техники	1.1	Типовая технология изготовления интегральных микросхем, нано и микроэлектронных устройств	Основные технологические процессы. Планарная технология. Характеристика современной технологии ИМС. Базовые материалы для микро и наноэлектроники. Кремниевые монокристаллические пластины. Ориентирование кристаллов. Механическая обработка. Особенности перехода к наноразмерным объектам. Квантово-размерные эффекты. Основные направления миниатюризации и перехода к микроэлектронным приборам.	ЛК, СЗ
		1.2	Литографический процесс как базовый технологический процесс изготовления микро и микроэлектронных устройств	Определение литографических процессов. Виды литографических процессов. Основные параметры литографии. Предельные достижимые значения параметров топологии для различных литографических процессов. Позитивные и негативные фоторезисты. Методы создания фотошаблонов. Особенности литографии нанометровых размеров.	ЛК, СЗ
Раздел 2	Базовые процессы микроэлектронного производства	2.1	Вакуумные и иные технологические системы при производстве нано- и микроэлектронных изделий	Общее описание вакуумных технологических систем. Чистые помещения – назначение, конструкция, организация. Методы получения вакуума. Форвакуумные, высоковакуумные и сверхвысоковакуумные насосы. Построение модульных технологических системы. Системы технологического контроля.	ЛК, СЗ
		2.2	Методы формирования тонких пленок и легирования	Эпитаксиальное наращивание кремния. Хлоридный и гидридный методы эпитаксии. Молекулярно-лучевая эпитаксия кремния. Физические методы получения тонких пленок: термические методы испарения (термическое распыление, импульсное лазерное осаждение, электронно-лучевое распыление); методы физического распыления (катодное распыление, ионное распыление, магнетронное распыление). Физико-химические системы получения тонких пленок: CVD методы, атомно-слоевое осаждение, P-CVD методы.	ЛК, СЗ
		2.3	Методы и технологии удаление материала	Жидкостное химическое травление. Ионно-плазменное травление. Виды, особенности процесса, технологические параметры. Bosch-процесс. Виды, особенности процесса,	СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				технологические параметры.	
Раздел 3	Методы диагностики при изготовлении устройств микро- и нанoeлектроники	3.1	Методы технологического контроля в микроэлектронике	Общие подходы к организации производственного контроля в микроэлектронике. Методы контроля технологических процессов (вакуум, температуры, состав остаточной атмосферы и плазмы, и др.). Методы промежуточного контроля литографических процессов получения изделий микро- и нанoeлектроники. Методы тестирования полуфабрикатов и конечных микроэлектронных изделий.	ЛК, СЗ
		3.2	Методы диагностики и исследования продуктов микроэлектронного производства	Зондовые методы исследования нано- и микроразмерных объектов. Спектрометрические методы исследования нано- и микроразмерных объектов. Электронные методы исследования нано- и микроразмерных объектов.	ЛК, СЗ

* - заполняется только по **ОЧНОЙ** форме обучения: ЛК – лекции; ЛР – лабораторные работы; СЗ – практические/семинарские занятия.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 6.1. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Тип аудитории	Оснащение аудитории	Специализированное учебное/лабораторное оборудование, ПО и материалы для освоения дисциплины (при необходимости)
Лекционная	Аудитория для проведения занятий лекционного типа, оснащенная комплектом специализированной мебели; доской (экраном) и техническими средствами мультимедиа презентаций.	Нет
Семинарская	Аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная комплектом специализированной мебели и техническими средствами мультимедиа презентаций.	Нет
Для самостоятельной работы	Аудитория для самостоятельной работы обучающихся (может использоваться для проведения семинарских занятий и консультаций), оснащенная комплектом специализированной мебели и компьютерами с доступом в ЭИОС.	Нет

* - аудитория для самостоятельной работы обучающихся указывается **ОБЯЗАТЕЛЬНО!**

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. Смирнов В.И. Технология интегральных микросхем: Инфра-Инженерия, 2023 г., ISBN: 978-5-9729-1232-2

2. Нанотехнологии в электронике. Введение в специальность. Учебное пособие. Лозовский В.Н., Лозовский С. В.: Лань, 2025 г. ISBN: 978-5-507-47532-2

3. Корнеев В.А. Топологии интегральных микросхем и программы для ЭВМ: Проспект, 2021 г., Учебное пособие; ISBN: 978-5-392-33754-5

4. Рыбин Н. Б., Рыбина Н. В. Технология изделий микроэлектроники: учебное пособие: Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, 2023 г. – 160 с. – ISBN 978-5-7722-0389-7

5. Физические основы нанотехнологий и наноматериалы. Учебное пособие. Смирнов В.И.: Инфра-Инженерия, 2023 г. ISBN: 978-5-9729-1246-9

6. Бунтов, Е. А. Современные устройства и элементы наноэлектроники : учебнометодическое пособие / Е. А. Бунтов, А. С. Вохминцев, Т. В. Штанг. - 2-е изд., стер. - Москва : ФЛИНТА : Изд-во Урал. ун-та, 2022. - 132 с. - ISBN 978-5-9765-5036-06

Дополнительная литература:

1. Кондрашин А.А., Лямин А.Н., Слепцов В.В. Современные технологии изготовления трехмерных электронных устройств: Учеб. пособие. – М.: Техносфера,

2019.– 210 с

2. K. Reinhardt, W. Kern. Handbook of silicon wafer cleaning technology. Thrid edition. 2018. – 773 p

3. Нано- и биоконпозиты : монография / под ред. А. К.-Т. Лау, Ф. Хуссейн, Х. Лафди; пер. с англ. — 2-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 393 с. — (Нанотехнологии). — SBN 978-5-00101-727-1. - ISBN 978-5-00101-727-1

4. Наноэлектроника: теория и практика : учебник / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, А. Л. Данилюк, Е. А. Уткина. - 5-е изд. - Москва : Лаборатория знаний, 2020. - 369 с. - (Учебник для высшей школы). - ISBN 978-5-00101-732-5

5. Королев М.А., Крупкина Т.Ю., Путря М.Г. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем; Просвещение/Бином, 2012 г., SBN: 978-5-94774-585-6

6. Мочалкина О.Р.; Березин А.С. Технология и конструирование интегральных микросхем: Учеб. пособие для вузов, Березин А.С., Мочалкина О.Р., М., Радио и связь, 1992

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

1. ЭБС РУДН и сторонние ЭБС, к которым студенты университета имеют доступ на основании заключенных договоров

- Электронно-библиотечная система РУДН – ЭБС РУДН

<https://mega.rudn.ru/MegaPro/Web>

- ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <http://www.biblioclub.ru>

- ЭБС Юрайт <http://www.biblio-online.ru>

- ЭБС «Консультант студента» www.studentlibrary.ru

- ЭБС «Знаниум» <https://znanium.ru/>

2. Базы данных и поисковые системы

- Sage <https://journals.sagepub.com/>

- Springer Nature Link <https://link.springer.com/>

- Wiley Journal Database <https://onlinelibrary.wiley.com/>

- Научометрическая база данных Lens.org <https://www.lens.org>

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся при освоении дисциплины/модуля:*

1. Курс лекций по дисциплине «Технология изготовления устройств нано- и микросистемной техники».

* - все учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся размещаются в соответствии с действующим порядком на странице дисциплины **в ТУИС!**

РАЗРАБОТЧИК:

Доцент

Должность, БУП

Подпись

Макеев Мстислав

Олегович

Фамилия И.О.

РУКОВОДИТЕЛЬ БУП:

Заведующий кафедрой

Должность БУП

Подпись

Попов Сергей Викторович

Фамилия И.О.

РУКОВОДИТЕЛЬ ОП ВО:

Доцент

Должность, БУП

Подпись

Агасиева Светлана

Викторовна

Фамилия И.О.