

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Ястребов Олег Александрович
Должность: Ректор
Дата подписания: 21.05.2025 10:15:45
Уникальный программный ключ:
sa953a0120d891083f939673078ef1a989dae18a

**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)

2025 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 6 разделов и 16 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
Контактная работа, ак.ч.	51		51
Лекции (ЛК)	34		34
Лабораторные работы (ЛР)	0		0
Практические/семинарские занятия (СЗ)	17		17
Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч.	93		93
Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч.	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	Содержание раздела (темы)		Вид учебной работы*
Раздел 1	Типовая технология изготовления интегральных микросхем, нано и микроэлектронных устройств	1.1	Основные технологические процессы. Планарная технология. Характеристика современной технологии ИМС	ЛК
		1.2	Базовые материалы для микро и нанoeлектроники. Кремниевые монокристаллические пластины. Ориентирование кристаллов. Механическая обработка	ЛК
Раздел 2	Литографический процесс как базовый технологический процесс изготовления микро и нанoeлектронных устройств	2.1	Определение литографических процессов. Виды литографических процессов	ЛК, СЗ
		2.2	Основные параметры технологических процессов литографии. Предельные достижимые значения параметров топологии для различных литографических процессов	ЛК, СЗ
		2.3	Позитивные и негативные фоторезисты. Методы создания фотошаблонов. Особенности литографии нанометровых размеров	ЛК, СЗ
Раздел 3	Вакуумные технологические системы	3.1	Общее описание вакуумных технологических систем. Чистые помещения – назначение, конструкция, организация	ЛК, СЗ
		3.2	Методы получения вакуума. Форвакуумные, высоковакуумные и сверхвысоковакуумные насосы	ЛК, СЗ
		3.3	Построение модульных технологических систем. Системы технологического контроля	ЛК, СЗ
Раздел 4	Технологии формирования тонкопленочных слоев	4.1	Эпитаксиальное наращивание кремния. Хлоридный и гидридный методы эпитаксии. Молекулярно-лучевая эпитаксия кремния	ЛК, СЗ
		4.2	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)	ЛК, СЗ
		4.3	Физико-химические системы получения тонких пленок: CVD методы, атомно-слоевое осаждение, P-CVD методы	ЛК, СЗ
Раздел 5	Получение рисунка элементов интегральных схем	5.1	Ионно-плазменное травление. Виды, особенности процесса, технологические параметры	ЛК, СЗ
		5.2	Bosch-процесс. Виды, особенности процесса, технологические параметры	ЛК, СЗ
Раздел 6	Типовой технологический процесс	6.1	Классификация методов. Оптические методы исследования	ЛК, СЗ
		6.2	Зондовые методы исследования нано- и микроразмерных объектов	ЛК, СЗ
		6.3	Спектрометрические 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.	
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.	
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.	

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

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная 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. Нанотехнологии в электронике. Введение в специальность. Учебное пособие. Лозовский В.Н., Лозовский С. В.: Лань, 2025 г. ISBN: 978-5-507-47532-2
3. Физические основы нанотехнологий и наноматериалы. Учебное пособие. Смирнов В.И.: Инфра-Инженерия, 2023 г. ISBN: 978-5-9729-1246-9
4. K. Reinhardt, W. Kern. Handbook of silicon wafer cleaning technology. Thrid edition. 2018. – 773 p
5. Нано- и биоккомпозиты : 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
6. 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
7. 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. Смирнов В.И. Технология интегральных микросхем: Инфра-Инженерия, 2023 г., ISBN: 978-5-9729-1232-2
2. Корнеев В.А. Топологии интегральных микросхем и программы для ЭВМ:

Перспект, 2021 г., Учебное пособие; ISBN: 978-5-392-33754-5

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

4. 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

<http://lib.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 «Троицкий мост»

2. Базы данных и поисковые системы

- электронный фонд правовой и нормативно-технической документации

<http://docs.cntd.ru/>

- поисковая система Яндекс <https://www.yandex.ru/>

- поисковая система Google <https://www.google.ru/>

- реферативная база данных SCOPUS

<http://www.elsevierscience.ru/products/scopus/>

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.