

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Ястребов Олег Александрович  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 31.05.2023 23:46:30  
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):**

Инженерно-физические технологии в наноиндустрии (совместно с Евразийским национальным университетом им. Л.Н. Гумилева)

(наименование (профиль/специализация) ОП ВО)

2023 г.

## 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Технология изготовления устройств нано- и микросистемной техники» является получение знаний, умений, навыков и опыта деятельности в области технологического технологических процессов планарной технологии; основных приемов формирования структур элементов интегральных схем; принципов действия технологического оборудования и режимов выполнения технологических операций. Теоретические, расчетные и практические положения дисциплины изучаются в процессе работы над лекционным курсом, при выполнении практических работ, и самостоятельной работе с учебной и технической литературой.

## 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 Б1 ОП ВО.

В рамках ОП ВО 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-5	Способность разрабатывать технологии изготовления наноструктурированных покрытий с заданными свойствами и проводить исследования их характеристик	Аддитивные технологии Технология нанесения тонких пленок Диагностические системы в нанотехнологиях	Технология производства нанoeлектронных устройств Технологии производства оптоэлектронной базы Технологии изготовления лазеров на основе наноструктур Технологическая практика Преддипломная практика Государственный экзамен Выпускная квалификационная работа
ПК-7	Способность разрабатывать современные технологические процессы изготовления нанoeлектронных изделий	Материалы наноструктурных установок Технология нанесения тонких пленок	Технология производства нанoeлектронных устройств Технологии производства оптоэлектронной базы Технологии изготовления лазеров на основе наноструктур Технологическая практика Преддипломная практика Государственный экзамен Выпускная квалификационная работа
ПК-8	Способность разрабатывать новые технологические процессы производства микро- и наноразмерных электромеханических систем	Аддитивные технологии Технология нанесения тонких пленок	Технология производства нанoeлектронных устройств Технологии производства оптоэлектронной базы Технологии изготовления лазеров на основе наноструктур Технологическая практика Преддипломная практика Государственный экзамен Выпускная квалификационная работа

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

#### 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 ОП ВО для **ОЧНОЙ** формы обучения

Вид учебной работы	ВСЕГО, ак.ч.	Семестр(-ы)			
		1	2	3	4
Контактная работа, ак.ч.	51		51		

Вид учебной работы	ВСЕГО, ак.ч.	Семестр(-ы)			
		1	2	3	4
Лекции (ЛК)	34		34		
Лабораторные работы (ЛР)	-		-		
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.	<b>180</b>		<b>180</b>	
	зач.ед.	<b>5</b>		<b>5</b>	

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)	Вид учебной работы*
Раздел 1. Понятие технологии микро- и нанoeлектронных схем	Тема 1.1. Основные технологические процессы. Планарная технология. Характеристика современной технологии ИМС	ЛК, СЗ
Раздел 2. Подготовка полупроводниковых подложек	Тема 2.1. Ориентирование кристаллов. Механическая обработка;	ЛК, СЗ
Раздел 3. Легирование полупроводниковых подложек	Тема 3.1. Диффузия примесей в полупроводник. Диффузия в потоке газа-носителя. Измерение параметров диффузионных слоев. Легирование полупроводников ионным внедрением. Радиационные эффекты в кремнии. Отжиг имплантированного кремния.	ЛК, СЗ
Раздел 4. Нанесение пленок на поверхность подложек	Тема 4.1. Эпитаксиальное наращивание кремния. Хлоридный и гидридный методы эпитаксии. Молекулярно-лучевая эпитаксия кремния. Термическое окисление кремния. Вакуумное напыление. Схема вакуумной установки. Ионно-плазменное напыление тонких плёнок. Магнетронные системы напыления. Химическое осаждение тонких плёнок из газовой фазы.	ЛК, СЗ
Раздел 5. Получение рисунка элементов интегральных схем	Тема 5.1. Ионно-плазменное травление. Фотолитография. Позитивные и негативные фоторезисты. Методы создания фотошаблонов. Электролитография. Особенности литографии нанометровых размеров.	ЛК, СЗ
Раздел 6. Типовой технологический процесс	Тема 6.1. Изоляция элементов в интегральных микросхемах. Изоляция p-n переходом. Изоляция диэлектрическими плёнками. Локальное окисление. Типовой технологический процесс изготовления изопланарной биполярной СБИС. Типовой технологический процесс изготовления n-канальных МОП СБИС. Металлизация ИС. Разводка на основе плёнок алюминия. Сборка интегральных микросхем. Методы присоединения кристаллов. Метод термокомпрессии, ультразвуковой сварки.	ЛК, СЗ

## 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.	
Компьютерный класс	Компьютерный класс для проведения занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная персональными компьютерами (в количестве ___ шт.), доской (экраном) и техническими средствами мультимедиа презентаций.	
Для самостоятельной работы обучающихся	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. K. Reinhardt, W. Kern. Handbook of silicon wafer cleaning technology. Thrid edition. 2018. – 773 p
3. Нано- и биокompозиты : 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. Нанoeлектроника: 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. Бунтов, Е. А. Современные устройства и элементы нанoeлектроники : учебно-методическое 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 978-5-9765-5036-0

(ФЛИНТА) ; ISBN 978-5-7996-3090-4 (Изд-во Урал. ун-та).

*Дополнительная литература:*

1. 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.
2. Курносков А.И.; Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем: учеб. пособие для вузов, А. И. Курносков, В. В. Юдин, М., Высш.школа, 1986.
3. Таиров Ю.М.; Пичугин И.Г. Технология полупроводниковых приборов : , И.Г. Пичугин; Учеб.пособие для вузов, М., Высш.школа, 1984.

*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](http://www.studentlibrary.ru)  
 - ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/>  
 - 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/>  
 - РИНЦ - национальная библиографическая база данных научного цитирования <https://elibrary.ru/authors.asp>

*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!**

## **8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Оценочные материалы и балльно-рейтинговая система\* оценивания уровня сформированности компетенций (части компетенций) по итогам освоения дисциплины «Технология изготовления устройств нано- и микросистемной техники» представлены в

Приложения к настоящей Рабочей программе дисциплины.

\* - ОМ и БРС формируются на основании требований соответствующего локального нормативного акта РУДН.

**РАЗРАБОТЧИКИ:**

**Старший преподаватель кафедры  
«Нанотехнологии и  
микросистемная техника»**

Должность, БУП



Подпись

**М.И. Махов**

Фамилия И.О.

**РУКОВОДИТЕЛЬ БУП:  
Заведующий кафедрой  
«Нанотехнологии и  
микросистемная техника»**

Наименование БУП



Подпись

**С.В. Попов**

Фамилия И.О.

**РУКОВОДИТЕЛЬ ОП ВО:  
Доцент кафедры «Нанотехнологии  
и микросистемная техника»**

Должность, БУП



Подпись

**С.В. Агасиева**

Фамилия И.О.