

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Ястребов Олег Александрович  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 21.05.2025 10:18:30  
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):**

#### **ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАНОИНДУСТРИИ**

(наименование (профиль/специализация) ОП ВО)

**2025 г.**

## 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Технология изготовления устройств нано- и микросистемной техники» входит в программу магистратуры «Инженерно-физические технологии в наноиндустрии» 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<br>(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;<br>ПК-5.2 Умеет проводить исследования характеристик наноструктурированных покрытий с заданными свойствами;<br>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;<br>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;<br>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                                               | Технологии производства наноструктурных материалов; | Технологическая практика; Преддипломная практика; Методы формирования нанопленок; <i>Технологические аспекты изготовления оптоэлектронной компонентной базы**</i> ; <i>Лазерные технологии для наноиндустрии**</i> ;                                                              |
| ПК-8 | Способность разрабатывать новые технологические процессы производства микро- и наноразмерных электромеханических систем                           | Основы аддитивных технологий;                       | Технологическая практика; Преддипломная практика; Методы формирования нанопленок; <i>Технологические аспекты изготовления оптоэлектронной компонентной базы**</i> ; <i>Лазерные технологии для наноиндустрии**</i> ;                                                              |
| ПК-5 | Способность разрабатывать технологии изготовления наноструктурированных покрытий с заданными свойствами и проводить исследования их характеристик | Основы аддитивных технологий;                       | Методы формирования нанопленок; Методы исследования и диагностика нанообъектов и наносистем; <i>Технологические аспекты изготовления оптоэлектронной компонентной базы**</i> ; <i>Лазерные технологии для наноиндустрии**</i> ; Технологическая практика; 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                |                                                                                                                                                                         |                                                                                                                  |
| Для самостоятельной работы |                                                                                                                                                                         |                                                                                                                  |

\* - 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: Проспект, 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](http://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.*