

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Ястребов Олег Александрович  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 21.05.2026 16:33:14  
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 ПРОИЗВОДСТВА НАНОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**

(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):**

### **НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОПТО-, НАНО- И МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**

(наименование (профиль/специализация) ОП ВО)

**2026 г.**

## 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Технология производства наноэлектронных устройств» входит в программу магистратуры «Новые материалы и технологии опто-, нано- и микроэлектроники» 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 9 тем и направлена на изучение процессов производства наноэлектронных устройств.

Целью освоения дисциплины является получение знаний, умений, навыков и опыта деятельности в области технологических процессов производства наноэлектронных устройств; принципов действия технологического оборудования и режимов выполнения технологических операций.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Технология производства наноэлектронных устройств» 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	Способен 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	Способен разрабатывать современные технологические процессы изготовления наноэлектронных изделий	ПК-7.1 Знает основные современные технологические процессы изготовления наноэлектронных изделий; ПК-7.2 Владеет навыками разработки современных технологических процессов изготовления наноэлектронных изделий;
ПК-8	Способен 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 производства наноэлектронных устройств» 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 производства наноэлектронных устройств».

*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	Способен разрабатывать современные технологические процессы изготовления нанoeлектронных изделий	Материалы наноструктурных установок;	Технологическая практика; Преддипломная практика; Технология нанесения тонких пленок; <i>Технологии производства оптоэлектронной базы**;</i> <i>Технологии изготовления лазеров на основе наноструктур**;</i>
ПК-8	Способен разрабатывать новые технологические процессы производства микро- и наноразмерных электромеханических систем	Аддитивные технологии;	Технологическая практика; Преддипломная практика; Технология нанесения тонких пленок; <i>Технологии производства оптоэлектронной базы**;</i> <i>Технологии изготовления лазеров на основе наноструктур**;</i>
ПК-5	Способен разрабатывать технологии изготовления наноструктурированных покрытий с заданными свойствами и проводить исследования их характеристик	Аддитивные технологии;	Технология нанесения тонких пленок; <i>Технологии производства оптоэлектронной базы**;</i> <i>Технологии изготовления лазеров на основе наноструктур**;</i> Диагностические системы в нанотехнологиях; Технологическая практика; Преддипломная практика;

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

\*\* - элективные дисциплины /практики

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Технология производства наноэлектронных устройств» 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
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>ак.ч.</b>	<b>180</b>	<b>180</b>
	<b>зач.ед.</b>	<b>5</b>	<b>5</b>

## 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 нанoeлектроники	1.1	Общие понятия о технологиях производства Нанoeлектронных устройств	Типовой технологический процесс получения микро- и нанoeлектронных устройств. Особенности перехода к наноразмерным объектам. Квантово-размерные эффекты. Основные направления миниатюризации и перехода к нанoeлектронным приборам. Общие подходы при работе с нанобъектами.	ЛК
		1.2	Литографический процесс как базовый технологический процесс изготовления нанoeлектронных устройств	Литография. Общие понятия. Типовой литографический процесс. Проекционная и контактная литография. Лазерная литография. Особенности получения наноразмерных объектов. Электронно-лучевая сканирующая литография. ВУФ и рентгеновская литография.	ЛК, СЗ
Раздел 2	Базовые процессы производства устройств нанoeлектроники	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	Технологии формирования тонких пленок	Вакуумные методы формирования наноразмерных пленок. Классификация. Термическое распыление в вакууме. Ионное распыление в вакууме. Плазмохимические процессы. Атомно-слоевое осаждение.	ЛК, СЗ
		2.3	Технологии сухого травления	Вакуумные процессы травления. Физическое (ионное) травление. Плазмо-химическое травление. Бош-процесс.	ЛК, СЗ
		2.4	Технологии жидкостной обработки	Технологии подготовки и отмычки заготовок. Технологии нанесения фоторезиста. Технологии жидкостного травления.	ЛК
		2.5	Технологии сборки и корпусирования нанoeлектронных устройств	Технологии резки пластин на кристаллы. Технологии разварки выводов. Технологии защиты и корпусирования.	ЛК
Раздел 3	Методы диагностики при изготовлении устройств нанoeлектроники	3.1	Методы технологического контроля в нанoeлектронике	Общие подходы к организации производственного контроля в нанoeлектронике. Методы промежуточного контроля литографических процессов получения изделий нанoeлектроники. Методы тестирования полуфабрикатов и конечных изделий нанoeлектроники.	ЛК, СЗ
		3.2	Методы диагностики и исследования	Зондовые методы исследования наноразмерных объектов.	ЛК, СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
			устройств наноэлектроники	Спектрометрические методы исследования наноразмерных объектов. Электронные методы исследования наноразмерных объектов.	

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

5. Бунтов, Е. А. Современные устройства и элементы нанoeлектроники : 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](http://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 производства наноэлектронных устройств».

\* - 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.*