

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

ВВЕДЕНИЕ В МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

(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 «Введение в микро- и нанoeлектромеханические системы» входит в программу магистратуры «Инженерно-физические технологии в наноиндустрии» по направлению 28.04.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» и изучается в 1 семестре 1 курса. Дисциплину реализует Базовая кафедра «Нанотехнологии и микросистемная техника». Дисциплина состоит из 4 разделов и 42 тем и направлена на изучение основ микроэлектромеханических систем.

Целью освоения дисциплины является обучение знаниям по различным видам микроэлектромеханических систем (гидравлические, пьезоэлектрические, магнитные, термоэлектрические и т.д.), по их физике и технологии, по основным видам наносистемной техники (наномашины, нанороботы и др.) и умению моделировать указанные устройства.

2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Введение в микро- и нанoeлектромеханические системы» 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)
УК-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Применяет знания о своих ресурсах для успешного осуществления собственной деятельности; УК-6.2 Понимает важность совершенствования, планирования собственной деятельности и расстановки приоритетов; УК-6.3 Реализует намеченные цели собственной деятельности с учетом личностных возможностей, этапов карьерного роста, временной перспективы развития деятельности и требований рынка труда;
ОПК-1	Способен ставить и решать инженерные и научно-технические задачи в области нанотехнологий и микросистемной техники и новых междисциплинарных направлениях на основе естественнонаучных и математических моделей	ОПК-1.1 Знает основные законы, положения и методы в области естественных наук и математики; ОПК-1.2 Умеет выявлять естественно-научную сущность проблем в области нанотехнологий и микросистемной техники и новых междисциплинарных направлений, руководствуясь законами и методами естественных наук и математики; ОПК-1.3 Владеет инструментами анализа и решения инженерных и научно-технических задач в области нанотехнологий и микросистемной техники и новых междисциплинарных направлений;
ОПК-5	Способен использовать инструментарий формализации инженерных, научно-технических задач, прикладное программное обеспечение для моделирования и проектирования объектов, систем и процессов	ОПК-5.1 Знает основной инструментарий формализации инженерных, научно-технических задач, прикладное программное обеспечение для моделирования и проектирования объектов, систем и процессов; ОПК-5.2 Умеет использовать прикладное программное обеспечение для моделирования и проектирования объектов, систем и процессов нанотехнологий и микросистемной техники; ОПК-5.3 Владеет подходами для моделирования и проектирования объектов, систем и процессов нанотехнологий и микросистемной техники;

3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Введение в микро- и нанoeлектромеханические системы» относится к обязательной части 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 «Введение в микро- и нанoeлектромеханические системы».

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

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
УК-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки		Технологическая практика; Преддипломная практика;
ОПК-1	Способен ставить и решать инженерные и научно-технические задачи в области нанотехнологий и микросистемной техники и новых междисциплинарных направлениях на основе естественнонаучных и математических моделей		Основы применения нанотехнологий и микросистемной техники; Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы); Научно-исследовательская работа; Технологическая практика;
ОПК-5	Способен использовать инструментарий формализации инженерных, научно-технических задач, прикладное программное обеспечение для моделирования и проектирования объектов, систем и процессов		Технологии программирования в наноиндустрии; Mathematical Modeling of Nanoobjects and Nanostructures; Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы); Научно-исследовательская работа; Технологическая практика;

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

** - элективные дисциплины /практики

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Введение в микро- и нанoeлектромеханические системы» 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)
			1
Контактная работа, ак.ч.	54		54
Лекции (ЛК)	18		18
Лабораторные работы (ЛР)	0		0
Практические/семинарские занятия (СЗ)	36		36
Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч.	99		99
Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч.	27		27
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	Физические основы МЭМС	1.1	Масштабные преобразования	ЛК, СЗ
		1.2	Характеристические числа	ЛК, СЗ
Раздел 2	Технологии МЭМС	2.1	Термическое окисление	ЛК, СЗ
		2.2	Процесс химического осаждения из газовой фазы (CVD)	ЛК, СЗ
		2.3	Процесс химического осаждения из газовой фазы при низком давлении (LPCVD)	ЛК, СЗ
		2.4	Напыление	ЛК, СЗ
		2.5	Испарение	ЛК, СЗ
		2.6	Нанесение (формовка) слоев	ЛК, СЗ
		2.7	Электролитическое нанесение (формовка) слоев	ЛК, СЗ
		2.8	Анизотропное травление	ЛК, СЗ
		2.9	Травление в сосудах	ЛК, СЗ
		2.10	Плазменное травление	ЛК, СЗ
		2.11	Реактивное ионное травление	ЛК, СЗ
		2.12	Реактивное травление ионным пучком	ЛК, СЗ
		2.13	Травление распылением	ЛК, СЗ
		2.14	Травление ионным пучком	ЛК, СЗ
		2.15	Лазерная обработка	ЛК, СЗ
		2.16	Кремниевая объёмная микрообработка	ЛК, СЗ
		2.17	Кремниевая поверхностная микрообработка	ЛК, СЗ
		2.18	LIGA технология	ЛК, СЗ
		2.19	SIGA технология	ЛК, СЗ
		2.20	MUMPs (многопользовательская МЭМС технология)	ЛК, СЗ
Раздел 3	Актуаторы	3.1	Гидравлические актуаторы	ЛК, СЗ
		3.2	Тепловые (биметаллические) актуаторы	ЛК, СЗ
		3.3	Магнитные актуаторы	ЛК, СЗ
		3.4	Пьезоэлектрические актуаторы	ЛК, СЗ
		3.5	Электростатические актуаторы	ЛК, СЗ
		3.6	МЭМС-гироскопы	ЛК, СЗ
		3.7	Балочные (вибрационные) гироскопы	ЛК, СЗ
		3.8	Гироскоп-камертон	ЛК, СЗ
		3.9	Гироскопы по технологии imems	ЛК, СЗ
		3.10	Гироскопы с диском-вибратором	ЛК, СЗ
		3.11	Вращательные вибрационные микрогироскопы	ЛК, СЗ
		3.12	Волоконно-оптические гироскопы	ЛК, СЗ
		3.13	Радиочастотные МЭМС-ключи МЭМС-конденсаторы и индуктивности	ЛК, СЗ
		3.14	Антенные МЭМС	ЛК, СЗ
		3.15	МЭМС-генераторы	ЛК, СЗ
Раздел 4	НЭМС	4.1	Нанoeлектромеханические преобразователи	ЛК, СЗ
		4.2	Наномашины	ЛК, СЗ
		4.3	Биороботы	ЛК, СЗ
		4.4	Адресная доставка лекарств	ЛК, СЗ
		4.5	Адресная доставка индикаторов	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. Введение в физику нанотехнологии: методическое пособие по лабораторным и практическим работам / В. В. Беляев, Д. Н. Чаусов, А. Д. Курилов, М. Г. Бурданова, Н. В. Зверев. – Москва: Государственный университет просвещения, 2025. – 82 с. ISBN 978-5-7017-3461-4
2. Станкевич, Л. А. Интеллектуальные системы и технологии : учебник и практикум для вузов / Л. А. Станкевич. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2025. — 495 с.
3. Дмитриев, А. С. Введение в нанотеплофизику: монография / А. С. Дмитриев. — 2-е изд. — Москва: Лаборатория знаний, 2020. — 793 с. — (Нанотехнологии). - ISBN 978-5-00101-669-4
4. Бунтов, Е. А. Современные устройства и элементы наноэлектроники: 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)
5. Лозовский В. Н., Лозовский С. В. Нанотехнологии в электронике. Введение в специальность. Учебник для вузов. 2024. 332 с. ISBN 978-5-507-47532-2.
6. Мирошкин В. П., Гареев К. Г. Магнитные материалы и приборы. Учебное пособие для вузов. 2024. 80 с. ISBN 978-5-507-48499-7
7. Александрова О. А., Лебедев А. О., Мараева Е. В. Введение в технологию материалов микроэлектроники. В 3 частях. Часть 3. Эпитаксиальный рост. Учебник для вузов. 2023. 216 с. ISBN 978-5-507-45481-5.
8. Тимошина, Ю. А. Введение в нанотехнологии : учебное пособие / Ю. А.

Тимошина, Э. Ф. Вознесенский. - Казань: КНИТУ, 2019. - 88 с. - ISBN 978-5- 7882-2719-1
Дополнительная литература:

1. Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам. Сборник статей. Под редакцией Мальцева П.П. Москва: Техносфера, 2005. – 592 с.
<https://www.technosphaera.ru/lib/book/125?read=1>

2. Остертак Д. И. Микроэлектромеханика : учеб. пособие/ Д. И. Остертак. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. -120 с. - 60 экз. - ISBN 978-5-7782-2901-3.

3. Vasilyev V.Y. Ruthenium thin film growth kinetics under thermallyactivated pulsed chemical vapor deposition conditions. Chap. 3. / V.Y. Vasilyev // *Advances in Chemistry Research*. - New York: Nova Science Publishers, Inc., 2017. -Vol. 39. -P. 109-140. - ISBN 978-1- 53612-613-6

4. Кирчанов В.С. Наноматериалы и нанотехнологии: учебное пособие / В.С.Кирчанов; Пермский нац. исслед. политех. ун-т. – Пермь. Изд-во Перм. нац. иссл. политех. ун-та 2016- 193 с.

5. Гридчин А. В. Проектирование электронной компонентной базы в ANSYS WORKBENCH : учеб. пособие/ А. В. Гридчин, В . А. Колчужин , В. А. Гридчин. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. -83 с. -100 экз. - ISBN 978-5-7782-3138-2

6. Гайдук Ю. С., Савицкий А. А., Реутская О. Г., Таратын И. А. Полупроводниковые газовые датчики на основе композиции оксида вольфрама и оксида индия // Нано- и микросистемная техника. Том 20. № 4 С.232 (2018)

7. Бройко А. П., Алексеев Н. И., Каленов В. Е., Корляков А. В., Лагош А. В., Лучинин В. В., Хмельницкий И. К. ИПМК-актюатор: модель, расчет и анализ процессов // Нано- и микросистемная техника. Том 20. № 4 С.242 (2018)

8. Шалимов А. С., Тимошенков С. П., Головинский М. С., Долговых Л. И., Калугин В., Чжо Мье Аунг. Обеспечение работы и самокалибровки МЭМС инклинометра в условиях воздействия различных внешних воздействующих факторов // Нано- и микросистемная техника. Том 20. № 2 С.124 (2018)

9. Теоретическая инноватика : учебник и практикум для вузов / И. А. Брусакова [и др.] ; под редакцией И. А. Брусаковой. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 333
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 «Введение в микро- и нанозлектромеханические системы».

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

РАЗРАБОТЧИК:

Профессор

Должность, БУП

Подпись

Беляев Виктор

Васильевич

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.