

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ЭЛЕМЕНТЫ И ПРИБОРЫ НАНОТЕХНОЛОГИИ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.06
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	3 семестр - 16 часов;
Практические занятия	3 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	3 семестр - 95,7 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа включая: Контрольная работа Расчетно-графическая работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	3 семестр - 0,3 часа;

Москва 2025

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
Сведения о владельце ЦЭП МЭИ		
Владелец	Михайлова И.А.	
Идентификатор	R6487a0ab-MikhailovaIA-f37cba00	

И.А. Михайлова

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
Сведения о владельце ЦЭП МЭИ		
Владелец	Макаров П.Г.	
Идентификатор	R9a51899a-MakarovPG-4f257daf	

П.Г. Макаров

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
Сведения о владельце ЦЭП МЭИ		
Владелец	Пузина Ю.Ю.	
Идентификатор	Re8be9a56-Puzina-4d2acad1	

Ю.Ю. Пузина

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение принципов действия, конструкций и материалов изделий электронной техники (ИЭТ) в нано- и микроисполнении.

Задачи дисциплины

- изучение особенностей конструкций, материалов и приборов нанотехнологий;
- обоснование выбора методов изготовления элементов и устройств нанотехнологий;
- изучение методов для исследований и контроля элементов и устройств нанотехнологий;
- приобретение навыков выполнения на этой основе инженерных расчетов для решения конкретных прикладных задач.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен анализировать и моделировать физические процессы в элементах энергетического оборудования	ИД-1 _{ПК-1} Имеет практические навыки применения измерительных приборов и техники эксперимента, навыки постобработки экспериментальных данных и способен провести анализ погрешностей определяемых величин	знать: - основные типы и элементы нано- и микроэлектронных устройств, устройств МСТ и НСТ. уметь: - выполнять научные исследования в области проектирования и создания ИЭТ и самостоятельно разбираться в методиках исследования элементов устройств и уметь применять их для решения поставленной задачи.
ПК-2 Способен применять расчетно-теоретические и экспериментальные методы исследования электромагнитных и теплофизических процессов в низкоразмерных устройствах и материалах	ИД-2 _{ПК-2} Знает особенности процессов в метрологических системах и системах диагностики наноразмерных материалов и устройств	знать: - основные методы получения и обработки элементов нано- и микроэлектронных устройств, устройств МСТ и НСТ. уметь: - применять измерительные приборы и техники эксперимента (электронная, атомно-силовая и оптическая микроскопии; методы силового нанотестинга) и осуществлять постобработку экспериментальных данных.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать электротехника и электроника
- знать квантовая и оптическая электроника
- знать материаловедение и технология конструкционных материалов

- знать процессы получения наночастиц и наноматериалов, нанотехнологии

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы											Содержание самостоятельной работы/ методические указания		
				Контактная работа						СР							
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль				
							КПР	ГК	ИККП	ТК							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		15		
1	Введение в микро- и nanoэлектронику, МСТ и НСТ	7	3	1	-	2	-	-	-	-	-	4	-			<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Введение в микро- и nanoэлектронику, МСТ и НСТ" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 11-17 [5], 11-17	
1.1	Введение в микро- и nanoэлектронику, МСТ и НСТ	7		1	-	2	-	-	-	-	-	4	-				
2	Интегральные схемы. Классификации, базовые технологии	11		1	-	2	-	-	-	-	-	8	-			<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Интегральные схемы. Классификации, базовые технологии" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 17-26 [5], 17-26	
2.1	Интегральные схемы. Классификации, базовые технологии	11		1	-	2	-	-	-	-	-	8	-				
3	Элементы и устройства микро- и nanoэлектроники	18		2	-	4	-	-	-	-	-	12	-			<u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы "Изучение основных свойств датчиков давления", а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Элементы и устройства микро- и nanoэлектроники" материалу. <u>Изучение материалов литературных источников:</u>	
3.1	Элементы и устройства микро- и nanoэлектроники	18		2	-	4	-	-	-	-	-	12	-				

														[1], 32-47 [2], 12-47 [5], 32-47
4	Элементы и устройства МСТ и НСТ. Сенсорные и актиоаторные устройства МСТ и НСТ	28		4	-	8	-	-	-	-	16	-	<u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы "Исследование датчиков температуры", а также изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Элементы и устройства МСТ и НСТ. Сенсорные и актиоаторные устройства МСТ и НСТ" материалу.	
4.1	Элементы и устройства МСТ и НСТ. Сенсорные и актиоаторные устройства МСТ и НСТ	28		4	-	8	-	-	-	-	16	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 32-47 [3], 37-52 [5], 32-47	
5	Материалы для устройств МСТ, НСТ, нано- и микроэлектроники	28		4	-	8	-	-	-	-	16	-	<u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы "Изучение основных параметров акселерометров", а также изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Материалы для устройств МСТ, НСТ, нано- и микроэлектроники" материалу.	
5.1	Материалы для устройств МСТ, НСТ, нано- и микроэлектроники	28		4	-	8	-	-	-	-	16	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 67-91 [2], 56-78 [5], 67-91	
6	Основные технологии устройств МСТ и НСТ	15		1	-	2	-	-	-	-	12	-	<u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы "Исследование параметров акустических сенсоров", а также изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Основные технологии устройств МСТ и НСТ" материалу.	
6.1	Основные технологии устройств МСТ и НСТ	15		1	-	2	-	-	-	-	12	-	<u>Изучение материалов литературных</u>	

													источников: [1], 91-127 [2], 92-134 [5], 91-127
7	Моделирование и проектирование	19		3	-	6	-	-	-	-	10	-	Самостоятельное изучение теоретического материала: Изучение дополнительного материала по разделу "Моделирование и проектирование" Изучение материалов литературных источников: [1], 167-191 [2], 156-178 [4], 154-166 [5], 167-191
7.1	Моделирование и проектирование	19		3	-	6	-	-	-	-	10	-	
	Зачет с оценкой	18.0		-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	Всего за семестр	144.0		16	-	32	-	-	-	0.3	78	17.7	
	Итого за семестр	144.0		16	-	32	-	-	-	0.3		95.7	

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПР – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Введение в микро- и наноэлектронику, МСТ и НСТ

1.1. Введение в микро- и наноэлектронику, МСТ и НСТ

Основные понятия и определения.

2. Интегральные схемы. Классификации, базовые технологии

2.1. Интегральные схемы. Классификации, базовые технологии

Понятие о полупроводниковых, гибридных интегральных схемах (ИС), устройствах МСТ и НСТ.

3. Элементы и устройства микро- и наноэлектроники

3.1. Элементы и устройства микро- и наноэлектроники

Аналоговые и цифровые СБИС. СВЧ ИС в микроэлектронном исполнении. Наноразмерные компоненты ИС.

4. Элементы и устройства МСТ и НСТ. Сенсорные и актиоаторные устройства МСТ и НСТ

4.1. Элементы и устройства МСТ и НСТ. Сенсорные и актиоаторные устройства МСТ и НСТ

Принципы действия. Наноразмерные исполнительные элементы. Наноразмерные исполнительные элементы сенсорных и актиоаторных устройств МСТ и НСТ, в том числе деформируемые и недеформируемые, композиционные слоистые, металлические, на основе сплавов.

5. Материалы для устройств МСТ, НСТ, нано- и микроэлектроники

5.1. Материалы для устройств МСТ, НСТ, нано- и микроэлектроники

Полупроводниковые, диэлектрические и металлические материалы. Резистивные сплавы. Слоистые композиционные материалы. Органические диэлектрики. Фоточувствительные композиции.

6. Основные технологии устройств МСТ и НСТ

6.1. Основные технологии устройств МСТ и НСТ

Технологии «сверху вниз» и «снизу вверх».

7. Моделирование и проектирование

7.1. Моделирование и проектирование

Постановка задачи моделирования. Выбор критериев оптимизации. Постановка граничных условий. Создание библиотек свойств модели. Интерпретация результатов моделирования.

3.3. Темы практических занятий

1. Изучение основных свойств датчиков давления;
2. Исследование датчиков температуры;

3. Изучение основных параметров акселерометров;
4. Исследование параметров акустических сенсоров;
5. Расчет основных свойств датчиков давления;
6. Расчет ошибок измерений датчиками температуры;
7. Расчет основных параметров акселерометров;
8. Расчет параметров акустических сенсоров.

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Введение в микро- и наноэлектронику, МСТ и НСТ"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Интегральные схемы. Классификации, базовые технологии"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Элементы и устройства микро- и наноэлектроники"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Элементы и устройства МСТ и НСТ. Сенсорные и актиоаторные устройства МСТ и НСТ"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Материалы для устройств МСТ, НСТ, нано- и микроэлектроники"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основные технологии устройств МСТ и НСТ"
7. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Моделирование и проектирование"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)							Оценочное средство (тип и наименование)	
		1	2	3	4	5	6	7		
Знать:										
основные типы и элементы нано- и микроэлектронных устройств, устройств МСТ и НСТ	ИД-1 _{ПК-1}	+							Контрольная работа/Типы и элементы устройств МСТ и НСТ	
основные методы получения и обработки элементов нано- и микроэлектронных устройств, устройств МСТ и НСТ	ИД-2 _{ПК-2}		+			+			Контрольная работа/Материалы для повышения надежности устройств МСТ и НСТ	
Уметь:										
выполнять научные исследования в области проектирования и создания ИЭТ и самостоятельно разбираться в методиках исследования элементов устройств и уметь применять их для решения поставленной задачи	ИД-1 _{ПК-1}				+			+	Расчетно-графическая работа/Методики испытаний ИЭТ, виды испытаний ИЭТ	
применять измерительные приборы и техники эксперимента (электронная, атомно-силовая и оптическая микроскопии; методы силового нанотестинга) и осуществлять постобработку экспериментальных данных	ИД-2 _{ПК-2}			+			+		Контрольная работа/Технология устройств МСТ и НСТ	

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

3 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Материалы для повышения надежности устройств МСТ и НСТ (Контрольная работа)
2. Методики испытаний ИЭТ, виды испытаний ИЭТ (Расчетно-графическая работа)
3. Технология устройств МСТ и НСТ (Контрольная работа)
4. Типы и элементы устройств МСТ и НСТ (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №3)

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Лозовский, В. Н. Нанотехнологии в электронике. Введение в специальность : [учебное пособие] / В. Н. Лозовский, С. В. Лозовский. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 332 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-3986-7.;
2. Варадан, В. ВЧ МЭМС и их применение : пер. с англ. / В. Варадан, К. Виной, К. Джозе. – М. : Техносфера, 2004. – 528 с. – (Мир электроники). – ISBN 5-948360-30-X.;
3. Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам : сборник статей / Сост. П. П. Мальцев. – М. : Техносфера, 2005. – 592 с. – (Мир электроники). – ISBN 5-948360-63-6.;
4. Рамбиди, Н. Г. Физические и химические основы нанотехнологий / Н. Г. Рамбиди, А. В. Березкин. – М. : Физматлит, 2009. – 456 с. – ISBN 978-5-9221-0988-8.;
5. Лозовский В. Н., Лозовский С. В. - "Нанотехнологии в электронике. Введение в специальность", (2-е изд., стер.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2019 - (332 с.) <https://e.lanbook.com/book/113943>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. Python.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red

3. **Научная электронная библиотека** - <https://elibrary.ru/>
4. **База данных Web of Science** - <http://webofscience.com/>
5. **База данных Scopus** - <http://www.scopus.com>
6. **Национальная электронная библиотека** - <https://rusneb.ru/>
7. **Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ)** - <http://elib.mpei.ru/login.php>
8. **Портал открытых данных Российской Федерации** - <https://data.gov.ru>
9. **База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ** - <https://rosmintrud.ru/opendata>
10. **База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ** - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
11. **База открытых данных Министерства экономического развития РФ** - <http://www.economy.gov.ru>
12. **База открытых данных Росфинмониторинга** - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
13. **Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ"** - <https://www.polpred.com>
14. **Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование»** - <https://openedu.ru>
15. **Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии** - <http://protect.gost.ru/>
16. **Открытая университетская информационная система «РОССИЯ»** - <https://uisrussia.msu.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	М-409/2, Аудитория каф. "НТ"	стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор
	М-422/4, Учебная лаборатория криофизики	стол, стул, мультимедийный проектор
	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	М-409/2, Аудитория каф. "НТ"	стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор
	М-422/4, Учебная лаборатория криофизики	стол, стул, мультимедийный проектор
	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	М-409/2, Аудитория каф. "НТ"	стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор
	М-422/4, Учебная лаборатория криофизики	стол, стул, мультимедийный проектор
	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор,

		доска маркерная
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Помещения для самостоятельной работы	М-411/1, Компьютерный класс	стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный
Помещения для консультирования	М-423/1, Аудитория каф. "НТ"	стул, стол письменный
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	М-407/1, Кладовая	стеллаж для хранения инвентаря, стеллаж для хранения книг, инвентарь специализированный

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Элементы и приборы нанотехнологии

(название дисциплины)

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Типы и элементы устройств МСТ и НСТ (Контрольная работа)
 КМ-2 Материалы для повышения надежности устройств МСТ и НСТ (Контрольная работа)
 КМ-3 Технология устройств МСТ и НСТ (Контрольная работа)
 КМ-4 Методики испытаний ИЭТ, виды испытаний ИЭТ (Расчетно-графическая работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	11	15
1	Введение в микро- и наноэлектронику, МСТ и НСТ					
1.1	Введение в микро- и наноэлектронику, МСТ и НСТ	+				
2	Интегральные схемы. Классификации, базовые технологии					
2.1	Интегральные схемы. Классификации, базовые технологии			+		
3	Элементы и устройства микро- и наноэлектроники					
3.1	Элементы и устройства микро- и наноэлектроники				+	
4	Элементы и устройства МСТ и НСТ. Сенсорные и актиоаторные устройства МСТ и НСТ					
4.1	Элементы и устройства МСТ и НСТ. Сенсорные и актиоаторные устройства МСТ и НСТ					+
5	Материалы для устройств МСТ, НСТ,nano- и микроэлектроники					
5.1	Материалы для устройств МСТ, НСТ, nano- и микроэлектроники			+		
6	Основные технологии устройств МСТ и НСТ					
6.1	Основные технологии устройств МСТ и НСТ				+	
7	Моделирование и проектирование					
7.1	Моделирование и проектирование					+
Вес КМ, %:		15	25	25	35	