

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 21.09.2023 17:35:32

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»**

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

# Оборудование микро- и нанотехнологий

Закреплена за подразделением

Кафедра технологии материалов электроники

Направление подготовки

28.03.01 НАНОТЕХНОЛОГИИ И МИКРОСИСТЕМНАЯ ТЕХНИКА

Профиль

Квалификация **Бакалавр**

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **4 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 144

в том числе:

аудиторные занятия 51

самостоятельная работа 57

часов на контроль 36

Формы контроля в семестрах:

экзамен 7

курсовая работа 7

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	7 (4.1)		Итого	
	Неделя 18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Лабораторные	17	17	17	17
Практические	17	17	17	17
Итого ауд.	51	51	51	51
Контактная работа	51	51	51	51
Сам. работа	57	57	57	57
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

*к.тн, доцент, Муратов Дмитрий Геннадьевич*

Рабочая программа

**Оборудование микро- и нанотехнологий**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» по направлению подготовки 28.03.01 НАНОТЕХНОЛОГИИ И МИКРОСИСТЕМНАЯ ТЕХНИКА (приказ от 02.04.2021 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, 28.03.01-БНМТ-23.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра технологии материалов электроники**

Протокол от 18.06.2020 г., №10

Руководитель подразделения д.ф.-м.н, профессор Костишин Владимир Григорьевич

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	– научить конструктивным основам создания и методам совершенствования оборудования для производства материалов электронной техники.
1.2	- научить выделять и обосновывать конструктивные параметры оборудования для процессов получения новых материалов, в т.ч. материалов микро- и нанoeлектроники;
1.3	- научить использовать результаты математического моделирования процессов получения материалов электроники и программные продукты для расчета технологических и конструктивных параметров процессов и проектирования оборудования.

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.02
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Материаловедение наноструктурированных материалов	
2.1.2	Материалы и элементы микро- и наносенсорки	
2.1.3	Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем	
2.1.4	Физика диэлектриков	
2.1.5	Физика конденсированного состояния	
2.1.6	Физика магнитных явлений	
2.1.7	Физика полупроводников и основы твердотельной электроники	
2.1.8	Безопасность жизнедеятельности	
2.1.9	Метрология, стандартизация и технические измерения технологии материалов электроники	
2.1.10	Общее материаловедение	
2.1.11	Статистическая физика	
2.1.12	Физические свойства кристаллов	
2.1.13	Электроника	
2.1.14	Математическая статистика и анализ данных	
2.1.15	Методы математической физики	
2.1.16	Основы квантовой механики	
2.1.17	Практическая кристаллография	
2.1.18	Физика	
2.1.19	Физическая химия	
2.1.20	Электротехника	
2.1.21	Математика	
2.1.22	Органическая химия	
2.1.23	Информатика	
2.1.24	Химия	
2.1.25	Инженерная и компьютерная графика	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
2.2.1	Ионно-плазменная обработка материалов	
2.2.2	Магнитные измерения	
2.2.3	Моделирование и проектирование микро- и наносистем	
2.2.4	Основы спинтроники	
2.2.5	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.6	Технология производства ферритовых материалов и радиокерамики	
2.2.7	Физика взаимодействия частиц и излучений с веществом	
2.2.8	Химия наноматериалов и наносистем	

**3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ**

**ПК-3:** Способен обоснованно выбирать методы нанотехнологий с целью получения функциональных и конструкционных наноматериалов неорганической и органической природы для реализации устройств и систем нано- и микросистемной техники

**Знать:**

ПК-3-31 Конструктивные особенности различного технологического оборудования для производства материалов микро- и наноэлектроники, микросистемной техники.
<b>ПК-4: Способен разрабатывать на основе современных программных продуктов эффективные алгоритмы решения задач по созданию материалов микро- и наносистемной техники с заданным набором эксплуатационных характеристик, а также технологий их получения</b>
<b>Знать:</b>
ПК-4-31 Основы создания и методы совершенствования оборудования для производства материалов микро- и наноэлектроники, микросистемной техники.
ПК-4-32 Программные продукты для расчета и проектирования нового оборудования и совершенствования действующего.
<b>УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения</b>
<b>Знать:</b>
УК-2-31 Основные постулаты математического аппарата тепломассопереноса, гидродинамики, теории подобия и фазовых равновесий для расчетов конструктивных параметров процессов получения материалов микро- и наноэлектроники, микросистемной техники;
<b>УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, умение анализировать процессы и системы с использованием соответствующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов, применять системный подход для решения поставленных задач</b>
<b>Знать:</b>
УК-1-31 Основные физические и химические закономерности для анализа возможности применения их для решения задач разработки технологических аспектов создания материалов микро- и наносистемной техники.
<b>ПК-3: Способен обоснованно выбирать методы нанотехнологий с целью получения функциональных и конструкционных наноматериалов неорганической и органической природы для реализации устройств и систем нано- и микросистемной техники</b>
<b>Уметь:</b>
ПК-3-У1 Рассчитывать конструктивные и технологические параметры оборудования для процессов получения материалов микро- и наноэлектроники, микросистемной техники.
<b>УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, умение анализировать процессы и системы с использованием соответствующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов, применять системный подход для решения поставленных задач</b>
<b>Уметь:</b>
УК-1-У1 Применять знания и умения, полученные в базовых специализированных и (или) смежных дисциплинах, для решения задач, связанных с анализом технологических приемов и технологического оборудования, необходимого для созданию материалов микро- и наносистемной техники с заданным набором эксплуатационных характеристик
<b>УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения</b>
<b>Уметь:</b>
УК-2-У1 Производить анализ требований к конечному результату и выбор необходимого технологического оборудования и технологических процессов
<b>ПК-4: Способен разрабатывать на основе современных программных продуктов эффективные алгоритмы решения задач по созданию материалов микро- и наносистемной техники с заданным набором эксплуатационных характеристик, а также технологий их получения</b>
<b>Уметь:</b>
ПК-4-У1 Применять математические модели процессов и программные продукты для расчетов конструктивных параметров оборудования для получения материалов микро- и наносистемной техники с заданным набором эксплуатационных характеристик
<b>Владеть:</b>
ПК-4-В1 Навыками в области проектирования новых видов оборудования для процессов получения материалов электронной техники
<b>УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения</b>
<b>Владеть:</b>
УК-2-В1 Навыками анализа и решения задач, связанных с расчетом конструктивных параметров оборудования и процессов получения материалов микро- и наноэлектроники, микросистемной техники.

**УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, умение анализировать процессы и системы с использованием соответствующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов, применять системный подход для решения поставленных задач**

**Владеть:**

УК-1-В1 Навыками поиска необходимой специализированной информации в литературных источниках для решения поставленных задач

**ПК-3: Способен обоснованно выбирать методы нанотехнологий с целью получения функциональных и конструкционных наноматериалов неорганической и органической природы для реализации устройств и систем нано- и микросистемной техники**

**Владеть:**

ПК-3-В1 Навыками конструирования аппаратурного оформления процессов получения материалов микро- и нанoeлектроники, микросистемной техники.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	<b>Раздел 1. Особенности и структурные элементы оборудования для производства материалов микро- и нанoeлектроники. Термическое оборудование. Виды нагрева.</b>							
1.1	Термическое оборудование. Виды нагрева. /Лек/	7	2	УК-1-31 УК-2-31 ПК-3-31 ПК-4-31	Л1.3 Л1.4 Л1.6Л2.2 Л2.4 Л2.8 Э2			
1.2	Текущий контроль в виде письменного опроса по теме лекции. Решение задач по расчету систем нагрева. /Пр/	7	2	УК-1-31 УК-1-У1 УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-В1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.3 Л1.4 Л1.6Л2.2 Л2.4 Л2.8Л3.2		КМ3,КМ4	Р5
1.3	Лабораторная работа №1. Определение характеристик нагревателя резистивного типа. /Лаб/	7	4	УК-1-31 УК-1-У1 УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-В1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-4-В1	Л1.3 Л1.4 Л1.6Л2.2 Л2.8	Методические указания по выполнению работы будут предоставлены на кафедре.	КМ1	Р1
1.4	Подготовка к лабораторной работе. Подготовка к защите лабораторной работы. /Ср/	7	5	УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1 УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-В1 ПК-3-У1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1	Л1.3 Л1.4 Л1.6Л2.2 Л2.8	Список дополнительной литературы для самостоятельного освоения в приложении.		
	<b>Раздел 2. Оборудование для вакуумного напыления. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Расчет и проектирование геометрии реактора.</b>							
2.1	Средства создания вакуума /Лек/	7	2	УК-1-31 УК-2-31 ПК-3-31 ПК-4-31	Л1.1 Л1.1 Л1.3 Л1.4Л2.5 Л2.8			

2.2	Текущий контроль в виде письменного опроса по теме лекции. Методика расчета вакуумной системы. Пример решения задачи по расчету вакуумной системы. /Пр/	7	2	УК-1-У1 УК-2-У1 УК-2-В1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.1 Л1.3 Л1.4Л2.5 Л2.8		КМ3,КМ4	Р5
2.3	Ознакомление с устройством масляного форвакуумного и турбомолекулярного насосов. Определение предельного вакуума и скорости откачки вакуумного насоса. /Лаб/	7	5	УК-2-В1 ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.3 Л1.4Л2.5 Л2.8Л3.6		КМ1	Р1
2.4	Подготовка к лабораторной работе. Подготовка к защите лабораторной работы. /Ср/	7	5	УК-1-В1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-4-31 ПК-4-У1	Л1.1 Л1.1 Л1.3 Л1.4Л2.5 Л2.8Л3.6	Список дополнительной литературы для самостоятельного освоения в приложении.		
2.5	Оборудование для вакуумного напыления. Молекулярно-лучевая эпитаксия. /Лек/	7	2	УК-1-31 УК-2-31 ПК-3-31 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.1 Л1.3 Л1.4 Л1.5Л2.5 Л2.6 Л2.11			
2.6	Текущий контроль в виде письменного опроса по теме лекции. Расчет и проектирование геометрии реактора для термического вакуумного напыления. /Пр/	7	2	УК-1-У1 УК-2-У1 ПК-3-У1 ПК-4-У1	Л1.3 Л1.4 Л1.5Л2.5 Л2.6Л3.3		КМ3,КМ4	Р5
2.7	Лабораторная работа №3. Оптимизация режима вакуум-термического напыления пленок (моделирование на ЭВМ). /Лаб/	7	4	УК-1-У1 УК-2-У1 УК-2-В1 ПК-3-В1 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.3 Л1.4 Л1.5Л2.5Л3.3 Л3.4		КМ1	Р1
2.8	Подготовка к лабораторной работе №3. Подготовка к защите лабораторной работы №3. /Ср/	7	5	УК-1-У1 УК-1-В1 УК-2-У1 УК-2-В1 ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.3 Л1.4 Л1.5Л2.5 Л2.6Л3.3 Л3.4	Список дополнительной литературы для самостоятельного освоения в приложении.		
	<b>Раздел 3. Оборудование для получения эпитаксиальных слоев полупроводников из газовой фазы. Расчет и проектирование реакторов</b>							
3.1	Оборудование для получения эпитаксиальных слоев полупроводников из газовой фазы /Лек/	7	4	УК-1-У1 ПК-3-31 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.3 Л1.4 Л1.5Л2.6 Л2.11			

3.2	Текущий контроль в виде письменного опроса по теме лекции. Расчет элементов конструкции реактора для эпитаксиального роста из газовой фазы. /Пр/	7	2	УК-2-У1 УК-2-В1 ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-4-В1	Л1.3 Л1.4 Л1.5Л2.1Л3.3		КМ3,КМ4	Р5
3.3	Подготовка доклада по тематике курса. Подготовка к защите лабораторных работ. /Ср/	7	6	УК-1-В1 УК-2-31 УК-2-В1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-4-32 ПК-4-В1	Л1.3 Л1.4 Л1.5Л2.6 Л2.1Л3.3	Список дополнительной литературы для самостоятельного освоения в приложении.		
<b>Раздел 4. Оборудование ионно-плазменных процессов</b>								
4.1	Оборудование для получения материалов, микро- и наноструктур с использованием ионно-плазменных процессов. /Лек/	7	4	УК-1-31 УК-2-У1 ПК-3-31 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.1 Л1.3 Л1.4 Л1.5Л2.6 Л2.10			
4.2	Расчет элементов конструкции оборудования для магнетронного напыления. Выступление с подготовленными докладами и их защита. /Пр/	7	2	УК-1-У1 УК-2-У1 УК-2-В1 ПК-3-У1 ПК-4-31 ПК-4-У1	Л1.1 Л1.3 Л1.4Л2.10Л3.1 Л3.7		КМ3,КМ4	Р5
4.3	Лабораторная работа №4. Оптимизация режимов и конструкционных элементов реактора для магнетронного напыления (моделирование на ЭВМ). /Лаб/	7	4	УК-2-У1 УК-2-В1 ПК-3-В1 ПК-4-У1 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.3 Л1.4Л2.10Л3.5		КМ1	Р1
4.4	Подготовка к защите выполненных лабораторных работ. Подготовка доклада с презентацией по тематике курса. /Ср/	7	6	УК-1-В1 УК-2-У1 УК-2-В1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-4-У1 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.3 Л1.4 Л1.5Л2.6 Л2.10 Л2.12Л3.5	Список дополнительной литературы для самостоятельного освоения в приложении.		Р3,Р6
<b>Раздел 5. Оборудование для получения углеродных наноматериалов (нанотрубок, фуллеренов, графена), а также металлоуглеродных нанокомпозитов</b>								
5.1	Разновидности оборудования для получения углеродных наноматериалов (нанотрубок, фуллеренов, графена). /Лек/	7	2	ПК-3-31 ПК-4-32	Л1.2Л2.1 Л2.6 Л2.7 Л2.9			

5.2	Текущий контроль в виде письменного опроса по теме лекции. Заслушивание подготовленных докладов. /Пр/	7	4	УК-1-У1 УК-1-В1 ПК-3-31	Л1.2Л2.1 Л2.6 Л2.7 Л2.9		КМ3,К М4	Р5
5.3	Подготовка докладов по тематике курса. /Ср/	7	6	УК-1-В1 ПК-3-31 ПК-3-В1	Л1.2Л2.1 Л2.6 Л2.7 Л2.9	Список дополнительной литературы для самостоятельного освоения в приложении.		
<b>Раздел 6. Основы теории подобия</b>								
6.1	Основы теории подобия с точки зрения применения в области процессов и технологий материалов микро- и нанoeлектроники /Лек/	7	1	УК-1-31 УК-1-У1 УК-2-31 ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-4-В1	Л1.3 Л1.4 Л1.5Л2.6 Э1			
6.2	Текущий контроль в виде письменного опроса по теме лекции. Применение элементов теории подобия для решения технологических задач. Выступление с докладом по тематике курса. /Пр/	7	3	УК-2-В1 ПК-3-У1 ПК-4-В1	Л1.3 Л1.4 Л1.5Л2.6Л3.3 Э1		КМ3,К М4	Р5
6.3	Подготовка доклада с презентацией. /Ср/	7	6	УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1 УК-2-31 УК-2-В1 ПК-4-В1	Л1.2Л2.1 Л2.7 Л2.9 Л2.10 Л2.11 Э1 Э3 Э4 Э5			
<b>Раздел 7. Курсовая работа</b>								
7.1	Выполнение курсовой работы по тематике курса. /Ср/	7	18	УК-1-У1 УК-1-В1 УК-2-У1 УК-2-В1 ПК-3-31 ПК-3-В1 ПК-4-31 ПК-4-В1	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6Л2.1 Л2.2 Л1.1 Л2.5 Л2.7 Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11Л3.2 Э3 Э4 Э5	Список дополнительной литературы для самостоятельного освоения в приложении.		

### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### 5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	Защита лабораторной работы	ПК-3-31;ПК-3-В1;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-В1;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-В1;УК-1-31;УК-1-У1	Согласно тематики лабораторной работы. Примерный вариант: - Области применения оборудования - Особенности функционирования - Оценка применимости того или иного оборудования для конкретного процесса



КМ2	Защита курсовой работы	ПК-3-31;ПК-3-У1;ПК-3-В1;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-У1;ПК-4-В1;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-В1;УК-1-31;УК-1-У1;УК-1-В1	<p>Список тем для курсовых работ:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Углеродные нанотрубки и наноструктуры - многофункциональный материал для эмиссионной электроники</li> <li>2. Методы и оборудование для контроля и управления температурным режимом технологических процессов.</li> <li>3. Применение спектральных методов анализа в микро- и нанoeлектронике</li> <li>4. Современные тенденции развития технологии в микро- и нанoeлектронике</li> <li>5. КР-спектроскопия – как эффективный метод анализа структуры углеродных материалов</li> <li>6. История развития технологии и оборудования для роста монокристаллов кремния</li> <li>7. Особенности технологии и оборудования для синтеза монокристаллов полупроводниковых соединений АПВВ</li> <li>8. Оборудование и процессы получения эпитаксиальных структур полупроводниковых соединений</li> <li>9. Жидкофазная эпитаксия полупроводниковых соединений. Особенности конструкции технологического оборудования</li> <li>10. Процессы и оборудование для синтеза углеродных нанотрубок</li> <li>11. Использование сверхглубокого вакуума в оборудовании нанoeлектроники</li> <li>12. Атомно-силовая микроскопия. Применение в микро- и нанoeлектронике.</li> <li>13. Электронная микроскопия как основной инструмент нанотехнологии.</li> <li>14. Микроскопия ближнего поля. Возможности применения в микро- и нанoeлектронике.</li> <li>15. Методы и оборудование для синтеза наночастиц магнитных металлов.</li> <li>16. Лазерная абляция как эффективный метод синтеза наночастиц.</li> <li>17. Сравнительный анализ методов получения эпитаксиальных гетероструктур.</li> <li>18. Разработка нового оборудования для производства материалов микро- и нанoeлектроники. От идеи процесса синтеза до реализации на производстве.</li> <li>19. Радиационно-термические методы синтеза материалов микро-и нанoeлектроники.</li> <li>20. Электронные пушки. Особенности конструкции. Методы управления электронным пучком. Применение.</li> <li>21. Применение ИК-нагрева в процессах и оборудовании микро-и нанoeлектроники.</li> <li>22. Использование плазмы в процессах микро-и нанoeлектроники. Оборудование. Возможности. Перспективы.</li> <li>23. Конструкционные материалы оборудования микро-и нанотехнологии. Технические требования. Области применения.</li> <li>24. Технология Ленгмюра-Блоджет и особенности оборудования.</li> <li>25. Технология и оборудование для синтеза одномерных нанообъектов.</li> <li>26. Литография. Виды, особенности, применяемое оборудование.</li> <li>27. Технология получения эпитаксиальных структур из газовой фазы. Особенности конструкции оборудования для CVD.</li> <li>28. Применение и возможности рентгеновских методов для исследования параметров микро- и наноструктур.</li> <li>29. Оборудование и методы контроля давления в</li> </ol>
КМ3	Презентация доклада и его защита	ПК-3-31;ПК-4-31;ПК-4-32;УК-2-У1;УК-2-В1;УК-1-У1;УК-1-В1;ПК-3-В1;ПК-4-В1	<p>Доклад оценивается по нескольким критериям:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- актуальность</li> <li>- новизна</li> <li>- степень раскрытия темы</li> <li>- ответы на вопросы по теме доклада</li> </ul>

КМ4	Текущий контроль в виде письменного опроса по теме прошедшей лекции	ПК-3-31;ПК-3-В1;ПК-4-31;ПК-4-В1;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-В1;УК-1-31;УК-1-У1;ПК-3-У1	Согласно тематики лекции. Примерная формулировка вопросов: - Можно ли использовать (такое-то) оборудование для (такого-то) процесса? Почему? - Почему используется тот или иной тип конструкции оборудования?
КМ5	Экзамен	ПК-3-31;ПК-3-В1;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-В1;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-В1;УК-1-31;УК-1-У1;УК-1-В1;ПК-3-У1;ПК-4-У1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Виды нагрева- классификация.</li> <li>2. Индуктивный нагрев. Принцип, конструкция оборудования. Области применения.</li> <li>3. Лучистый нагрев. Возможности. Достоинства и недостатки. Области применения.</li> <li>4. Электронно-лучевой нагрев. Принцип, особенности, области применения.</li> <li>5. Электростатические и магнетронные электронные пушки, виды, конструкция.</li> <li>6. Классификация вакуумных насосов.</li> <li>7. Виды и особенности конструкции механических вакуумных насосов.</li> <li>8. Насосы для создания глубокого вакуума. Виды. Принципы работы.</li> <li>9. Магниторазрядные и ионно-геттерные насосы.</li> <li>10. Криогенные насосы.</li> <li>11. Конструкционные материалы для сверхвысоковакуумных систем.</li> <li>12. Получения пленок в вакууме. Принцип. Особенности конструкции оборудования. Области применения.</li> <li>13. Молекулярно-лучевая эпитаксия: конструкция оборудования и материалы.</li> <li>14. Технические требования и основные элементы конструкций установок выращивания монокристаллов по методу Чохральского.</li> <li>15. Конструкция современных установок и реакционных камер для получения эпитаксиальных слоев полупроводников из парогазовой фазы.</li> <li>16. Конструкция современных установок и реакционных камер для получения эпитаксиальных слоев полупроводниковых соединений из парогазовой фазы.</li> <li>17. Жидкофазная эпитаксия. Особенности процесса. Основные конструкционные особенности. Области применения.</li> <li>18. Технологические требования к установкам для получения эпитаксиальных слоев.</li> <li>19. Ионно-плазменные процессы в микроэлектронике: виды и области применения.</li> <li>20. Магнетронное напыление. Принцип. Особенности конструкции оборудования. Области применения.</li> <li>21. Особенности конструкции оборудования для ион-плазменной обработки.</li> <li>22. Особенности конструкции оборудования для ион-лучевой обработки.</li> <li>23. Оборудование для получения углеродных нанотрубок.</li> <li>24. Классификация углеродных нано материалов.</li> <li>25. Оборудование и процессы для получения фуллеренов.</li> <li>26. Оборудование и процессы для получения углеродных нанотрубок.</li> <li>27. Процессы и особенности оборудования для получения фуллеренов.</li> <li>28. Основные методы получения металлоуглеродных нанокompозитов.</li> <li>29. Применение теории подобия для расчета процессов микро- и нанотехнологий.</li> <li>30. Применение программных продуктов для расчета оборудования и процессов микро- и нанотехнологий.</li> </ol>

**5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)**

Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
------------	-----------------	------------------------------------	-------------------

P1	Лабораторная работа	ПК-3-31;ПК-3-У1;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-У1;УК-2-У1;УК-2-В1;УК-1-У1;ПК-3-В1;ПК-4-В1	Изучение особенностей конструкции и функционирования оборудования микро- и нанотехнологий
P2	Курсовая работа по изучаемой дисциплине	ПК-3-31;ПК-3-У1;ПК-3-В1;ПК-4-В1;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-У1;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-В1;УК-1-У1;УК-1-В1;УК-1-31	Курсовая работа в виде реферата на предложенную тему. Требования: 20+ страниц, использование актуальной литературы, оформление согласно ГОСТ. Предполагает последующую защиту.
P3	Подготовка доклада с презентацией по тематике дисциплины	ПК-3-31;ПК-4-31;УК-2-У1;УК-2-В1;УК-1-У1;УК-1-В1;ПК-3-В1;ПК-4-В1	Предполагается подготовка презентации и устного доклада по тематике дисциплины. Продолжительность доклада ~ 10 мин. Темы доклада выбираются самостоятельно либо из списка тем курсовых работ (без пересечения с курсовой работой), либо согласуется с преподавателем.
P4	Письменный опрос по теме прошедшей лекции	ПК-3-31;ПК-4-31;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-В1;УК-1-31;УК-1-У1;ПК-4-В1	1-2 вопроса по тематике прошедшей лекции
P5	Решение задач по тематике текущего раздела дисциплины	ПК-3-31;ПК-3-У1;ПК-3-В1;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-У1;ПК-4-В1;УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-В1;УК-1-31;УК-1-У1	Решение типовых практических задач по тематике текущего раздела дисциплины
P6	Подготовка к выполнению либо защите лабораторной работы	ПК-3-31;ПК-4-31;ПК-4-32;УК-2-У1;УК-1-31;УК-1-У1;УК-1-В1;ПК-3-В1;ПК-4-В1	Ознакомление с тематикой лабораторной работы и порядком ее выполнения.

### 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

Пример экзаменационного билета:

1. Классификация вакуумных насосов
2. Молекулярно-лучевая эпитаксия: конструкция оборудования и материалы.
3. Вопрос по реферату

#### 5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

Для допуска к экзамену необходимо:

- выполнить и защитить все лабораторные работы;
- выполнить курсовую работу в формате реферата на предложенную и согласованную с преподавателем тему.

Экзаменационный билет содержит 2 вопроса по разным разделам курса и 1 вопрос по реферату.

Для оценивания уровня освоения материала по дисциплине используется следующая шкала оценок:

- «отлично» – студент показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, грамотно и логически стройно излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного теоретического материала, знает дополнительно рекомендованную литературу;
- «хорошо» – студент показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал;
- «удовлетворительно» – студент показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но уверенно справляемыми после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике;
- «неудовлетворительно» – студент допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные ответы на дополнительные и наводящие вопросы.

В течение семестра студенты могут подготовить устный доклад с презентацией по одной из тем, связанных с осваиваемым курсом. Каждый доклад дает +0,5 балла к экзаменационной оценке (суммарно не более 1-го балла).

Примерные темы курсовых работ (в форме реферата) и(или) докладов:

1. Углеродные нанотрубки и наноструктуры - многофункциональный материал для эмиссионной электроники
2. Применение спектральных методов анализа в микро- и нанoeлектронике
3. Современные тенденции развития технологии в микро- и нанoeлектронике
4. КР-спектроскопия – как эффективный метод анализа структуры углеродных материалов
5. История развития технологии и оборудования для роста монокристаллов кремния
6. Особенности технологии и оборудования для синтеза монокристаллов полупроводниковых соединений АПВВ
7. Оборудование и процессы получения эпитаксиальных структур полупроводниковых соединений
8. Жидкофазная эпитаксия полупроводниковых соединений. Особенности конструкции технологического оборудования
9. Процессы и оборудование для синтеза углеродных нанотрубок
10. Использование сверхглубокого вакуума в оборудовании нанoeлектроники
11. Атомно-силовая микроскопия. Применение в микро- и нанoeлектронике.
12. Электронная микроскопия как основной инструмент нанотехнологии.
13. Микроскопия ближнего поля. Возможности применения в микро- и нанoeлектронике.
14. Методы и оборудование для синтеза наночастиц магнитных металлов.
15. Лазерная абляция как эффективный метод синтеза наночастиц.
16. Сравнительный анализ методов получения эпитаксиальных гетероструктур.
17. Разработка нового оборудования для производства материалов микро- и нанoeлектроники. От идеи процесса синтеза до реализации на производстве.
18. Радиационно-термические методы синтеза материалов микро-и нанoeлектроники.
19. Электронные пушки. Особенности конструкции. Методы управления электронным пучком. Применение.
20. Применение ИК-нагрева в процессах и оборудовании микро-и нанoeлектроники.
21. Использование плазмы в процессах микро-и нанoeлектроники. Оборудование. Возможности. Перспективы.
22. Конструкционные материалы оборудования микро-и нанотехнологии. Технические требования. Области применения.
23. Технология Ленгмюра-Блоджет и особенности оборудования.
24. Технология и оборудование для синтеза одномерных нанобъектов.
25. Литография. Виды, особенности, применяемое оборудование.
26. Технология получения эпитаксиальных структур из газовой фазы. Особенности конструкции оборудования для CVD.
27. Применение и возможности рентгеновских методов для исследования параметров микро- и наноструктур.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Рекомендуемая литература

#### 6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Бурмистров А. В.	Бесконтактные вакуумные насосы: учебное пособие	Электронная библиотека	Казань: Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2010

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.2	Столяров Р. А., Буракова И. В., Бураков А. Е.	Нанюуглеродные функциональные материалы и покрытия: учебное электронное издание: учебное пособие	Электронная библиотека	Тамбов: Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), 2018
Л1.3	Кожитов Л. В., Зарапин А. Ю., Чиченев Н. А.	Технологическое вакуумное оборудование. В 2-х ч. Ч.2. Расчет и проектирование вакуумного технологического оборудования: Учебник для студ. напр.651600, спец. 170300	Библиотека МИСиС	М.: Руда и металлы, 2002
Л1.4	Кожитов Л. В., Зарапин А. Ю., Чиченев Н. А.	Технологическое вакуумное оборудование: В 2-х ч.: Ч.1.: Вакуумные системы технологического оборудования: Учебник для студ. напр. 651600 - Технол. машины и оборудование, спец. 170300 - Металлург. машины и оборудование	Библиотека МИСиС	М.: Руда и металлы, 2001
Л1.5	Крапухин В. В., Соколов И. А., Кузнецов Г. Д.	Технология материалов электронной техники: Теория процессов полупроводниковой технологии: Учебник для вузов	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 1995
Л1.6	Свенчанский А. Д., Жердев И. Т., Кручинин А. М., др., Свенчанский А. Д.	Электрические промышленные печи: Дуговые печи и установки специального нагрева: Учебник для вузов	Библиотека МИСиС	М.: Энергоиздат, 1981

#### 6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Дьячков П. Н.	Электронные свойства и применение нанотрубок: монография	Электронная библиотека	Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015
Л2.2	Лейканд М. С.	Вакуумные электрические печи (сопротивления и индукционные)	Библиотека МИСиС	М.: Энергия, 1968
Л2.3	Кудинов В. В., Бобров Г. В., Митин Б. С.	Нанесение покрытий напылением: Теория, технология и оборудование: Учебник для вузов	Библиотека МИСиС	М.: Metallургия, 1992
Л2.4	Диомидовский Д. А.	Печи цветной металлургии (конструкции, исследование, теория, расчет)	Библиотека МИСиС	М.: Metallургиздат, 1956
Л2.5	Никитин М. М.	Технология и оборудование вакуумного напыления	Библиотека МИСиС	М.: Metallургия, 1992
Л2.6	Кожитов Л. В., Косушкин В. Г., Крапухин В. В., Пархоменко Ю. Н.	Технология материалов микро- и наноэлектроники	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2007
Л2.7	Харрис П., Чернозатонский Л. А.	Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века: Пер. с англ.	Библиотека МИСиС	М.: Техносфера, 2003

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.8	Кожитов Л. В., Блинов И. Г.	Вакуумтермическое оборудование: Оборудование для выращивания монокристаллов полупроводников методом Чехральского: Курс лекций для студ. спец. 0643	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1980
Л2.9	Анциферов В. Н., Бездудный Ф. Ф., Белянчиков Л. Н., др., Карабасов Ю. С.	Новые материалы	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2002
Л2.10	Кузнецов Г. Д., Кушхов А. Р.	Ионно-плазменная обработка материалов: курс лекций	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2008
Л2.11	Курочка С. П., Сергиенко А. А.	Молекулярно-пучковая и МОС-гидридная технологии. Методы формирования наноструктурированных гетерокомпозиций: учеб. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2015
Л2.12	Пархоменко Ю. Н., Антипов В. В., Жуков Р. А., др.	Выращивание кристаллов. Выращивание кристаллических пленок методом магнетронного напыления: лаб. практикум	Библиотека МИСиС	М.: [МИСиС], 2017

### 6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Берлин Е. В., Сейдман Л. А.	Ионно-плазменные процессы в тонкопленочной технологии: справочник	Электронная библиотека	Москва: Техносфера, 2010
Л3.2	Казанцев Е. И.	Промышленные печи: справ. руководство для расчетов и проектирования : учеб. пособие для студ. металлург. спец. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Металлургия, 1975
Л3.3	Соколов И. А.	Технология материалов электронной техники: учеб. пособие для практ. занятий студ. спец. 20.02	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1990
Л3.4	Аленков В. В., Евсеев В. А., Ершова С. А., др., Кузнецов Т. Д.	Технология материалов электронной техники: Разд.: Микротехнология тонких пленок и твердотельных структур: Лаб. практикум для студ. направлений 550700, 551600, 553100 и спец. 200100, 200200	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1998
Л3.5	Никоненко В. А., Кузнецов Г. Д.	Математическое моделирование технологических процессов: Моделирование в среде MathCAD: Практикум для студ. спец. 550700 и 200100	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2001
Л3.6	Григорович С. Л., Кузнецов Г. Д., Курочка С. П., др., Кузнецов Г. Д.	Методики определения параметров вакуумных систем: Лаб. практикум для студ. спец. 200100 и направл. 550700	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2002
Л3.7	Кузнецов Г. Д., Курочка С. П., Кушхов А. Р., др.	Процессы микро- и нанотехнологии. Ионно-плазменные процессы: лаб. практикум	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2007

<b>6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»</b>		
Э1	Основы теории подобия. Решение задач. - <a href="https://studopedia.ru/3_188187_osnovi-teorii-podobiya.html">https://studopedia.ru/3_188187_osnovi-teorii-podobiya.html</a>	<a href="https://studopedia.ru/3_188187_osnovi-teorii-podobiya.html">https://studopedia.ru/3_188187_osnovi-teorii-podobiya.html</a>
Э2	ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ: Учебное пособие / Б.А.Сокунов, Л.С.Грובה. <a href="https://studfile.net/preview/1864305/">https://studfile.net/preview/1864305/</a>	<a href="https://studfile.net/preview/1864305/">https://studfile.net/preview/1864305/</a>
Э3	Научная электронная библиотека	<a href="http://elibrary.ru">elibrary.ru</a>
Э4	Межвузовская электронная библиотека ( <a href="https://icdlib.nspu.ru/">https://icdlib.nspu.ru/</a> )	<a href="https://icdlib.nspu.ru/">https://icdlib.nspu.ru/</a>
Э5	Нанометер - нанотехнологическое сообщество.	<a href="http://nanometer.ru">nanometer.ru</a>

### 6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Microsoft Office
П.2	MS Teams
П.3	MATCAD
П.4	Win Pro 10 32-bit/64-bit
П.5	ANSYS Academic Research CFD

### 6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

И.1	Научная электронная библиотека ( <a href="http://elibrary.ru">elibrary.ru</a> )
И.2	Nano ( <a href="https://nano.nature.com">https://nano.nature.com</a> )
И.3	Scopus ( <a href="http://www.scopus.com">www.scopus.com</a> )
И.4	Межвузовская электронная библиотека ( <a href="https://icdlib.nspu.ru/">https://icdlib.nspu.ru/</a> )
И.5	Нанометер - нанотехнологическое сообщество ( <a href="http://nanometer.ru">nanometer.ru</a> )
И.6	Программные продукты COMSOL ( <a href="https://www.comsol.ru/">https://www.comsol.ru/</a> )

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
Читальный зал электронных ресурсов		комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.
К-428	Учебная аудитория	4 лабораторные установки, установка для роста углеродных нанотрубок методом PECVD, печь ИК нагрева MILA-5000, в том числе: доска учебная, монитор, системный блок, комплект учебной мебели на 20 посадочных мест
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Любой корпус Учебная аудитория	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	доска, комплект учебной мебели на 30 посадочных мест

## 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Дисциплина относится к точным наукам и требует значительного объема самостоятельной работы. Отдельные учебные вопросы выносятся на самостоятельную проработку и контролируются посредством текущей аттестации. При этом организуются групповые и индивидуальные консультации.

Качественное освоение дисциплины возможно только при систематической самостоятельной работе, что поддерживается системой текущей аттестации. Выполнение заданий на самостоятельную работу проводится с широким использованием компьютерных программ, как для выполнения, так и для оформления работы. Расчетно-графические работы выполняются с помощью соответствующих компьютерных программ.

Чтение лекций по данной дисциплине проводится с использованием мультимедийных презентаций. Студентам предоставляется возможность копирования презентаций для самоподготовки и подготовки к итоговому контролю. Слайд-конспект курса лекций по адресу выкладывается в облачном хранилище «Яндекс-диск», к которому предоставляется доступ посредством ссылки.

Лабораторные работы проходят в три этапа. На этапе допуска, учащийся должен продемонстрировать подготовленность к выполнению лабораторной работы путем предоставления заполненного лабораторного журнала. На этапе выполнения, учащийся сначала проходит контроль по технике безопасности при выполнении работы, затем выполняет лабораторную работу согласно порядка ее выполнения, соблюдая технику безопасности. На этапе защиты, учащийся предоставляет лабораторный журнал с рассчитанными параметрами (величинами, зависимостями и т.п.), обосновывает результаты, полученные в ходе эксперимента, отвечает на контрольные вопросы преподавателя.