

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 21.09.2023 14:50:40

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)

# Высоковакуумное оборудование в наноэлектронике

Закреплена за подразделением

Кафедра технологии материалов электроники

Направление подготовки

11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Технологии микро- и наноэлектроники

Квалификация

**Магистр**

Форма обучения

**очная**

Общая трудоемкость

**5 ЗЕТ**

Часов по учебному плану

180

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 3

аудиторные занятия

34

самостоятельная работа

110

часов на контроль

36

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	3 (2.1)		Итого	
	19			
Неделя	УП	РП	УП	РП
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Лабораторные	17	17	17	17
Итого ауд.	34	34	34	34
Контактная работа	34	34	34	34
Сам. работа	110	110	110	110
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	180	180	180	180

Программу составил(и):

*ктн, Доцент, Сергиенко Андрей Алексеевич; ктн, Доцент, Курочка Александр Сергеевич*

Рабочая программа

**Высоковакуумное оборудование в нанoeлектронике**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» по направлению подготовки 11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (приказ от 05.03.2020 г. № 95 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, 11.04.04-МЭН-23-3.plx Технологии микро- и нанoeлектроники, утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, Технологии микро- и нанoeлектроники, 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 Костишин В.Г.

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	Цель – подготовить выпускников к научно-исследовательской деятельности, связанной с изучением физических явлений и закономерностей в условиях высокого вакуума, методов и оборудования для получения и обеспечения высокого вакуума в технологических процессах, методов измерения высокого вакуума.
-----	--

**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	Компьютерные технологии в научных исследованиях	
2.1.2	Метрология, стандартизация и сертификация наноструктур	
2.1.3	Молекулярно-пучковая и МОС-гидридная технологии	
2.1.4	Научно-исследовательская практика	
2.1.5	Неразрушающие методы контроля процессов формирования гетерокомпозиций	
2.1.6	Радиационно-технологические процессы в электронике	
2.1.7	Термодинамика и микротехнология многокомпонентных гетероструктур	
2.1.8	Электроника органических полупроводников (материалы, технологии, приборы)	
2.1.9	Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники	
2.1.10	История и методология науки и техники в области электроники	
2.1.11	Конструирование светоизлучающих устройств	
2.1.12	Конструирование фотопреобразователей	
2.1.13	Методы математического моделирования	
2.1.14	Современные методы диагностики и исследования наногетероструктур	
2.1.15	Физика квантоворазмерных полупроводниковых гетерокомпозиций	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
2.2.1	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.2	Преддипломная практика	

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

<b>ПК-3: Способность проводить экспериментальные работы и осваивать новые технологические процессы</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-3-31 современные методы анализа зависимости свойств полупроводниковых гетерокомпозиций от их фазового и стехиометрического состава, поведения примесей и структурных дефектов	
<b>ПК-1: Способность разрабатывать технологические процессы и внедрение их в производство</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-1-33 базовые технологические процессы и маршруты нанoeлектроники	
<b>ПК-2: Способность оптимизировать параметры технологических операций</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-2-32 базовые технологические процессы и маршруты нанoeлектроники	
ПК-2-31 технический английский язык	
<b>УК-1: Способен осуществлять критический анализ новых и сложных инженерных объектов, процессов и систем в междисциплинарном контексте, проблемных ситуаций на основе системного подхода, выбрать и применить наиболее подходящие и актуальные методы из существующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов или новых и инновационных методов, выработать стратегию действий</b>	
<b>Знать:</b>	
УК-1-31 основы управления производством	
<b>ПК-1: Способность разрабатывать технологические процессы и внедрение их в производство</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-1-31 технический английский язык	
ПК-1-32 основы физики наноразмерных пленок	

<b>ПК-3: Способность проводить экспериментальные работы и осваивать новые технологические процессы</b>								
<b>Уметь:</b>								
ПК-3-У1 определять экономическую целесообразность внедрений новых технологий и процессов								
<b>ПК-2: Способность оптимизировать параметры технологических операций</b>								
<b>Уметь:</b>								
ПК-2-У2 работать на технологическом оборудовании (выполнять все действия, которые делает оператор)								
ПК-2-У5 разрабатывать элементарную базу изделия (операционные, маршрутные и контрольные карты)								
ПК-2-У4 разрабатывать операционные карты								
ПК-2-У3 разрабатывать технологические рецепты для технологического оборудования								
<b>ПК-1: Способность разрабатывать технологические процессы и внедрение их в производство</b>								
<b>Уметь:</b>								
ПК-1-У2 измерять электрофизические параметры формируемых слоёв и изделий								
<b>ОПК-1: Сспособен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора, применять в профессиональной деятельности глубокие знания фундаментальных наук, знания в междисциплинарных областях</b>								
<b>Уметь:</b>								
ОПК-1-У1 Решать стандартные задачи профессиональной деятельности и обосновывать применение необходимого метода получения высокого вакуума								
<b>ПК-1: Способность разрабатывать технологические процессы и внедрение их в производство</b>								
<b>Уметь:</b>								
ПК-1-У1 разрабатывать технологические маршруты изготовления приборов и устройств электроники и нанoeлектроники								
<b>ПК-2: Способность оптимизировать параметры технологических операций</b>								
<b>Уметь:</b>								
ПК-2-У1 стандартные испытания и технический контроль изделий электронной техники								
<b>ПК-1: Способность разрабатывать технологические процессы и внедрение их в производство</b>								
<b>Уметь:</b>								
ПК-1-У3 проводить анализ и определять причины отклонения параметров								
<b>ПК-3: Способность проводить экспериментальные работы и осваивать новые технологические процессы</b>								
<b>Владеть:</b>								
ПК-3-В1 разработка новых технологических процессов								
ПК-3-В2 обоснование экономической целесообразности их внедрения								
<b>ПК-2: Способность оптимизировать параметры технологических операций</b>								
<b>Владеть:</b>								
ПК-2-В1 расчет режимов выполнения технологических операций								
<b>ПК-1: Способность разрабатывать технологические процессы и внедрение их в производство</b>								
<b>Владеть:</b>								
ПК-1-В1 методы проектирования технологических процессов электроники и нанoeлектроники								
<b>ПК-2: Способность оптимизировать параметры технологических операций</b>								
<b>Владеть:</b>								
ПК-2-В3 корректировка технологических режимов по результатам тестирования (при необходимости)								
ПК-2-В2 тестирование экспериментального образца изделия								

#### 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. Физические явления в газах в условиях высокого вакуума</b>							
1.1	Вязкость, теплопроводность, диффузия и температурное равновесие в условиях высокого вакуума. Молекулярный режим течения газа. Проводимость трубопроводов при высоком вакууме. /Лек/	3	4	УК-1-31 ПК-1-32 ПК-2-32	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1			
1.2	Определение времени откачки высоковакуумного диффузионного насоса /Лаб/	3	4	ОПК-1-У1 ПК-1-У3 ПК-2-У1 ПК-2-В1 ПК-2-В3 ПК-3-У1 ПК-3-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1			
1.3	Физические явления в газах в условиях высокого вакуума /Ср/	3	26	УК-1-31 ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-2-31 ПК-2-32	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1			
	<b>Раздел 2. Техника получения высокого вакуума</b>							
2.1	Методы получения высокого вакуума. Типы высоковакуумных насосов и ловушек. /Лек/	3	4	УК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-33 ПК-2-32	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1			
2.2	Определение времени откачки высоковакуумного диффузионного насоса /Лаб/	3	4	ОПК-1-У1 ПК-1-У1 ПК-1-У3 ПК-1-В1 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-В1 ПК-2-В2 ПК-2-В3 ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-3-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1			
2.3	Техника получения высокого вакуума. Тестовые вопросы и задания. /Ср/	3	28	УК-1-31 ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-33 ПК-2-31 ПК-2-32	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1			
	<b>Раздел 3. Методы измерения давлений и течения в условиях высокого вакуума</b>							
3.1	Методы измерения общих давлений. Типы высоковакуумных преобразователей. Методы и приборы для измерения парциальных давлений в условиях высокого вакуума. Методы течения. /Лек/	3	4	УК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-33 ПК-2-32 ПК-3-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1			
3.2	Расчет молекулярных потоков в вакуумных системах методом угловых коэффициентов /Лаб/	3	4	ОПК-1-У1 ПК-1-У1 ПК-1-У2 ПК-1-У3 ПК-1-В1 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-У3 ПК-2-В1 ПК-2-В2 ПК-2-В3 ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-3-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1			

3.3	Методы измерения давлений и течения в условиях высокого вакуума. Контрольная работа. /Ср/	3	28	УК-1-31 ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-33 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-3-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1			
<b>Раздел 4. Требования, предъявляемые к высоковакуумным системам. Типы высоковакуумных систем</b>								
4.1	Требования, предъявляемые к высоковакуумным системам. Типы высоковакуумных систем. /Лек/	3	5	УК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-33 ПК-2-32 ПК-3-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1			
4.2	Математическое моделирование течения газа в высоком вакууме /Лаб/	3	5	ОПК-1-У1 ПК-1-У1 ПК-1-У2 ПК-1-У3 ПК-1-В1 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-У5 ПК-2-В1 ПК-2-В2 ПК-2-В3 ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-3-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1			
4.3	Требования, предъявляемые к высоковакуумным системам. Типы высоковакуумных систем. Реферат. /Ср/	3	28	УК-1-31 ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-33 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-3-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1			

## 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	Контрольные вопросы для защиты Лабораторной работы №1	УК-1-31;ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-33;ПК-2-31;ПК-2-32	<p>Чем определяется максимальная теоретическая быстрота откачки вакуумных насосов и как она зависит от давления газа?</p> <p>Почему все газы и пары в вакуумной технике рассматриваются как идеальные?</p> <p>Почему коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности газов при высоком вакууме зависят от давления?</p> <p>Какие наиболее эффективные способы передачи тепла в областях низкого и высокого вакуума?</p> <p>Как зависит коэффициент диффузии газов от давления в областях низкого и высокого вакуума?</p> <p>Как при различных степенях вакуума изменяется равновесное давление по длине вакуумной системы, имеющей участки с различной температурой?</p> <p>В чем состоит физический смысл понятия проводимости элемента вакуумной системы, какова зависимость проводимости от давления при различных режимах течения газа?</p> <p>Как характер распределения давления по длине трубопровода зависит от режима течения газа?</p> <p>Как определить оптимальное значение коэффициента использования вакуумных насосов?</p> <p>Какие единицы измерения давления применяются в вакуумной технике?</p> <p>Чем определяется максимальная теоретическая быстрота откачки вакуумных насосов и как она зависит от давления газа?</p>

КМ2	Контрольные вопросы для защиты Лабораторной работы №2	УК-1-31;ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-33;ПК-2-31;ПК-2-32;ПК-3-31	<p>В чем состоит физический смысл понятий давления и температуры газа?</p> <p>Чем определяется максимальная теоретическая быстрота откачки вакуумных насосов и как она зависит от давления газа?</p> <p>Почему все газы и пары в вакуумной технике рассматриваются как идеальные?</p> <p>Какие единицы измерения давления применяются в вакуумной технике?</p> <p>В чем различие между основными степенями вакуума?</p> <p>В чем заключается принцип действия молекулярных насосов?</p> <p>Как влияет род откачиваемого газа на быстроту действия турбомолекулярного насоса?</p> <p>В чем состоит различие между эжекторными и диффузионными пароструйными насосами?</p> <p>Для чего применяются фракционирующие устройства в пароструйных насосах?</p> <p>Чем вызвана зависимость чувствительности от рода газа у электронных и магнитных преобразователей?</p> <p>В чем состоит различие между статическими и динамическими газоанализаторами?</p>
КМ3	Контрольные вопросы для защиты Лабораторной работы №3	УК-1-31;ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-33;ПК-2-31;ПК-2-32;ПК-3-31	<p>В чем состоит физический смысл понятий давления и температуры газа?</p> <p>Чем определяется максимальная теоретическая быстрота откачки вакуумных насосов и как она зависит от давления газа?</p> <p>Почему все газы и пары в вакуумной технике рассматриваются как идеальные?</p> <p>Какие единицы измерения давления применяются в вакуумной технике?</p> <p>В чем различие между основными степенями вакуума?</p> <p>Почему тепловые манометры не используются для измерения высокого вакуума?</p> <p>Каковы причины различия чувствительностей схем электронного преобразователя с внешним и внутренним коллектором?</p> <p>Что является причиной возникновения фоновых токов в электронном преобразователе?</p> <p>Какие существуют пути повышения чувствительности электронных преобразователей?</p> <p>Как уменьшить время зажигания магнитного преобразователя?</p> <p>Как происходит разделение ионов по массам в квадрупольном газоанализаторе?</p> <p>Почему ионизационные газоанализаторы не могут работать при давлениях 1-105 Па?</p>

КМ4	Тест	УК-1-31;ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-33;ПК-2-31;ПК-2-32;ПК-3-31	<p>Средняя длина свободного пути молекул газа вдвое превышает диаметр сосуда. Какова степень разрежения в сосуде?  Низкий вакуум;  Средний вакуум;  Высокий вакуум. (X)</p> <p>Какова зависимость коэффициента динамической вязкости от давления в области высокого вакуума?  Прямо пропорциональная; (X)  Обратно пропорциональная;  Не зависит.</p> <p>При каком давлении газа теплопроводность газа не зависит от его давления?  Низком;  Высоком. (X)</p> <p>Укажите интервал давлений, в наилучшей степени соответствующий рабочему диапазону давлений турбомолекулярного насоса:  <math>10^5 - 10^{-5}</math> Па;  <math>10^{-1} - 10^{-7}</math> Па; (X)  <math>10^{-4} - 10^{-11}</math> Па.</p> <p>В основе откачивающего действия адсорбционных насосов лежит следующее:  Поглощение газа твердыми телами с развитой поверхностью; (X)  Поглощение газа титановой пленкой;  Конденсация газов и паров.</p> <p>Назовите процесс, лежащий в основе откачивающего действия испарительного геттерного насоса:  Диффузия;  Сорбция; (X)  Конденсация.</p> <p>Укажите диапазон работы титанового испарительного геттерного насоса:  <math>10^5 - 10^{-2}</math> Па;  <math>1 - 10^{-5}</math> Па;  <math>10^{-4} - 10^{-7}</math> Па; (X)  <math>10^{-6} - 10^{-10}</math> Па.</p> <p>Откачивающее действие ионно-геттерного насоса основано на сочетании следующих явлений:  Диффузии и растворении газов в твердых телах;  Поглощении газов пленкой и их ионизации; (X)  Конденсации и сообщении молекулам дополнительной направленной скорости.</p> <p>Лучшая откачка в ионно-геттерных насосах орбитронного типа достигается:  За счет лучшей герметизации насоса;  За счет удлинения траектории электронов;  За счет охлаждения корпуса водой. (X)</p> <p>Какие явления лежат в основе откачивающего действия магнитных электроразрядных насосов?  Хемосорбция и растворение газов; (X)  Адсорбция и конденсация;  Диффузия и вязкостный захват.</p> <p>Назовите материал, используемый для изготовления катода магнитного электроразрядного насоса:  Медь;  Нержавеющая сталь;  Вольфрам;  Титан; (X)  Алюминий.</p> <p>Какое давление может быть достигнуто при откачке сосуда магнитным электроразрядным насосом?  <math>10^{-2}</math> Па;  <math>10^{-9}</math> Па; (X)  <math>10^{-5}</math> Па.</p> <p>При каком максимальном давлении допускается включение магнитного электроразрядного насоса?  104;  <math>10^{-2}</math>; (X)</p>
-----	------	---	--



		<p>10-4.</p> <p>Какие из приведенных жидкостей относятся к криогенным?      Переохлажденная вода;      Жидкий водород; (X)      Жидкий метан;      Жидкий гелий; (X)      Жидкая двуокись углерода.</p> <p>С помощью какого насоса можно достичь самого высокого вакуума?      Диффузионного;      Магнитного электроразрядного; (X)      Криогенного; (X)      Адсорбционного;      Ионно-геттерного.</p> <p>На каком принципе основана работа ионизационного манометра?      На зависимости ионного тока от приложенного напряжения;      На зависимости ионного тока от электронного тока;      На зависимости ионного тока от давления газа. (X)</p> <p>Что является источником фототока при работе ионизационного манометра в области сверхвысокого вакуума?      Газовыделение из стенок баллона;      Космические лучи;      Рентгеновское излучение. (X)</p> <p>Укажите диапазоны давления, в которых можно проводить измерения магнитным электроразрядным манометром:      105 – 10-7;      104 – 10-12;      102 – 10-11. (X)</p> <p>Какой манометр применяют в манометрическом методе течеискания в условиях высокого вакуума?      Тепловой;      Ионизационный. (X)</p> <p>Как изменится показание ионизационного манометра в манометрическом методе течеискания, если в него через течь попадут пары ацетона?      Увеличится; (X)      Уменьшится;      Не изменится.</p> <p>Какова предельная чувствительность масс-спектрометрического течеискателя?      10-5 мЗПа/с;      10-2 мЗПа/с;      10-14 мЗПа/с. (X)</p> <p>Какие вакуумные системы обеспечивают более высокий вакуум?      Прогреваемые; (X)      Непрогреваемые.</p> <p>Из какого материала изготавливают рабочую камеру высоковакуумных установок для нанесения тонких пленок?      Из нержавеющей стали; (X)      Из титана;      Из меди.</p> <p>Назовите общий признак турбомолекулярного, геттерно-ионного, магнитного электроразрядного насосов:      Отсутствует нагреватель;      Отсутствуют подвижные части;      Насосы являются «безмасляными» средствами откачки. (X)</p> <p>Для уплотнения электрического вакуумного ввода в высоковакуумной системе применяют:      Металл; (X)      Резину;      Фторопласт.</p> <p>Укажите температуру обезгаживания высоковакуумной коммутационной аппаратуры:      600 – 1000 К; (X)      300 – 500 К;      1000 – 2000 К.</p> <p>Укажите основной материал для уплотнителей в высоковакуумных системах:</p>
--	--	---

			<p>Медь; (X)          Нержавеющая сталь;          Индий;          Резина;          Тефлон.</p> <p>Какой ввод движения в откачиваемый сосуд обеспечивает сохранение более высокого вакуума?          С контактным уплотнительным элементом;          С неподвижным уплотнительным элементом. (X)</p>
КМ5	Задачи и вопросы для контрольной работы №1	УК-1-31;ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-33;ПК-2-31;ПК-2-32;ПК-3-31	<p>Расстояние между нагретой и холодной поверхностями 10мм, давление воздуха 105 Па. Как изменится коэффициент теплопроводности воздуха, если давление снизится до <math>5 \cdot 10^4</math> Па. Как изменится коэффициент теплопроводности газа между поверхностями, указанными в предыдущей задаче, если давление газа повысится от <math>1,333 \cdot 10^{-2}</math> до <math>4 \cdot 10^{-2}</math> Па.</p> <p>Определить разрешающую способность омегатрона в области 44 массового числа (<math>CO_2</math>), если известно, что для <math>M=20</math> разрешающая способность прибора равна 20.</p> <p>Испытуемый сосуд заполнен смесью хладона с воздухом с концентрацией фреона 0,5. Чему равна минимально определяемая течь, если давление смеси составляет <math>3 \cdot 10^5</math> Па.</p> <p>Рассчитать проводимость по воздуху электромагнитного клапана с размером проходного сечения ДУ-32 (<math>d_{вн} = 32</math> мм) и длиной 120 мм при среднем давлении 7,04 Па.</p> <p>Определить проводимость трубопровода по воздуху при 293 К диаметром <math>d = 40</math> мм = <math>4 \cdot 10^{-2}</math> м и длиной 1 м при давлениях на концах трубопровода <math>p_1 = 2003</math> Па и <math>p_2 = 2000</math> Па.</p> <p>Проверить согласование высоковакуумного насоса Н-250/2500 (<math>r_{наиб} = 13,3</math> Па) и механического вакуумного насоса 2НВР- 5Д, соединенных последовательно при наибольшем потоке поступающих в высоковакуумный насос газов, равном <math>2,82 \cdot 10^{-2}</math> м<sup>3</sup>Па/с. Электромагнитный клапан (ДУ-32; <math>l = 120</math> мм). Трубопровод (<math>d_{вн} = 32</math> мм; <math>l_{общ} = 80</math> см).</p> <p>Рассчитать вакуумную систему и определить типы низковакуумного и высоковакуумного насосов. Диаметр рабочей камеры составляет Д см, высота – Н см. Длина низковакуумного трубопровода – <math>l_1</math> м, количество изгибов – <math>i_1</math>, длина высоковакуумного трубопровода составляет <math>l_2</math> м, количество изгибов – <math>i_2</math>. Суммарное газовыделение со стенок рабочей камеры составляет значение - <math>Q'_{i}</math> м<sup>3</sup>Па/с, суммарное натекание - <math>Q'_{н}</math> м<sup>3</sup>Па/с. Рабочее давление Рост Па. Выбрать типы низковакуумного и высоковакуумного насосов, определить время откачки. Параметры Д, Н, <math>l_1</math>, <math>l_2</math>, <math>i_1</math>, <math>i_2</math>, <math>Q'_{i}</math>, <math>Q'_{н}</math>, Рост представлены в таблице для вариантов.</p>

КМ6	Реферат	УК-1-31;ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-33;ПК-2-31;ПК-2-32;ПК-3-31	Общие сведения о вакуумных насосах; Эжекторные насосы; Струйные насосы; Турбомолекулярные насосы; Адсорбционные насосы; Испарительные геттерные насосы; Электродуговые геттерные насосы; Ионно-геттерные насосы; Магнитные электроразрядные насосы; Конденсационные насосы; Криосорбционные насосы; Электронные ионизационные вакуумметры; Магнитные электроразрядные вакуумметры; Статистические масс-спектрометры с разделением ионов в магнитном поле; Времяпролетный масс-спектрометр (хронотрон); Квадрупольный и монополярный масс-спектрометры (электрические фильтры масс); Герметичность и методы течеискания вакуумных систем; Галогенный течеискатель; Масс-спектрометрический течеискатель; Принципы построения вакуумных систем; Коммутационная аппаратура; Конструкционные материалы; Режимы течения газов и проводимость вакуумных трубопроводов; Вакуумная система установки молекулярно-пучковой эпитаксии; Описание вакуумной системы установки Нанофаб.
<b>5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)</b>			
Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	Лабораторная работа №1	ПК-1-У1;ПК-1-У3;ПК-1-В1;ПК-2-У1;ПК-2-У2;ПК-2-В1;ПК-2-В2;ПК-2-В3;ПК-3-У1;ПК-3-В1;ПК-3-В2;ОПК-1-У1	Определение времени откачки высоковакуумного диффузионного насоса
P2	Лабораторная работа №2	ПК-1-У1;ПК-1-У2;ПК-1-У3;ПК-1-В1;ПК-2-У1;ПК-2-У2;ПК-2-У3;ПК-2-В1;ПК-2-В2;ПК-2-В3;ПК-3-У1;ПК-3-В1;ПК-3-В2;ОПК-1-У1	Расчет молекулярных потоков в вакуумных системах методом угловых коэффициентов
P3	Лабораторная работа №3	ПК-1-У1;ПК-1-У2;ПК-1-У3;ПК-1-В1;ПК-2-У1;ПК-2-У2;ПК-2-У3;ПК-2-У4;ПК-2-У5;ПК-2-В1;ПК-2-В2;ПК-2-В3;ПК-3-У1;ПК-3-В1;ПК-3-В2;ОПК-1-У1	Математическое моделирование течения газа в высоком вакууме

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

Экзамен сдается устно и состоит из задачи двух вопросов. Задача представляет собой типовую задачу.

Примерная формулировка вопросов на экзамене:

В чем состоит физический смысл понятий давления и температуры газа?

Чем определяется максимальная теоретическая быстрота откачки вакуумных насосов и как она зависит от давления газа?

Почему все газы и пары в вакуумной технике рассматриваются как идеальные?

Какие единицы измерения давления применяются в вакуумной технике?

Каково соотношение между наиболее вероятной, среднеарифметической и среднеквадратичной скоростями газовых молекул?

Как зависит средняя длина свободного пути молекул от давления газа?

В чем различие между основными степенями вакуума?

Почему коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности газов при высоком вакууме зависят от давления?

Какие наиболее эффективные способы передачи тепла в областях низкого и высокого вакуума?

Как зависит коэффициент диффузии газов от давления в областях низкого и высокого вакуума?

Как при различных степенях вакуума изменяется равновесное давление по длине вакуумной системы, имеющей участки с различной температурой?

В чем состоит физический смысл понятия проводимости элемента вакуумной системы, какова зависимость проводимости от давления при различных режимах течения газа?

В чем заключается принцип действия молекулярных насосов?

Как влияет род откачиваемого газа на быстроту действия турбомолекулярного насоса?

В чем состоит различие между эжекторными и диффузионными пароструйными насосами?

Для чего применяются фракционирующие устройства в пароструйных насосах?

Как увеличить быстроту действия магниторазрядных насосов при откачке инертных газов?

В чем заключается саморегулирование скорости распыления активного материала в ионно-сорбционных насосах?

Чем вызвано ухудшение характеристик криоконденсационного насоса по мере увеличения количества откачанного газа?

С чем связано наличие оптимальной скорости транспортирования адсорбента в криоадсорбционных насосах?

Почему тепловые манометры не используются для измерения высокого вакуума?

Каковы причины различия чувствительностей схем электронного преобразователя с внешним и внутренним коллектором?

Что является причиной возникновения фоновых токов в электронном преобразователе?

Какие существуют пути повышения чувствительности электронных преобразователей?

Как уменьшить время зажигания магнитного преобразователя?

Чем вызвана зависимость чувствительности от рода газа у электронных и магнитных преобразователей?

В чем состоит различие между статическими и динамическими газоанализаторами?

Какие способы развертки спектра применяются в магнитных масс-спектрометрах?

От чего зависит разрешающая способность омегафона?

Чем объяснить большое быстродействие хромотрона?

Как происходит разделение ионов по массам в квадрупольном газоанализаторе?

Почему ионизационные газоанализаторы не могут работать при давлениях 1-105 Па?

Чем определяется энергия вторичного электрона, образовавшегося при Оже-процессах?

Каким способом можно проверить герметичность неразборных объектов с внутренними полостями?

Как определить оптимальное значение коэффициента использования вакуумных насосов?

Как определить возможность запуска установки при различных скоростях натекания?

Как характер распределения давления по длине трубопровода зависит от режима течения газа?

В чем заключается сущность метода угловых коэффициентов?

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

По дисциплине предполагается следующая шкала оценок:

а) «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;

б) «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;

в) «удовлетворительно» – студент показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но уверенно исправляемыми после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике;

г) «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.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Рекомендуемая литература

#### 6.1.1. Основная литература

Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
---------------------	----------	------------	-------------------

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Соколов И. А.	Расчеты процессов полупроводниковой технологии: Учеб. пособие для вузов	Библиотека МИСиС	М.: Металлургия, 1994
Л1.2	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
Л1.3	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 - Metallurg. машины и оборудование	Библиотека МИСиС	М.: Руда и металлы, 2001

### 6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Панфилович К. Б., Бударин П. И., Садыков А. Х.	Физические основы вакуумной техники: учебное пособие	Электронная библиотека	Казань: Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2008
Л2.2	Хабляян М. Х., Саксаганский Г. Л., Бурмистров А. В.	Вакуумная техника: оборудование, проектирование, технологии, эксплуатация: учебное пособие	Электронная библиотека	Казань: Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2016

### 6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	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

### 6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Win Pro 10 32-bit/64-bit
П.2	ESET NOD32 Antivirus
П.3	Microsoft Office
П.4	LMS Canvas
П.5	MS Teams

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

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
К-433	Лаборатория	установки для напыления пленок УВН (4 шт.), вакуумный пост ВУП-5, установка для травления Плазма 600, микроинтерферометр МИИ-4, набор демонстрационного оборудования, в том числе: мультимедийный проектор, экран проекционный, 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, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus

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.
---------------------------------------	--

### 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

При конспектировании лекций в конспект следует заносить всё, что рекомендует преподаватель. Изучение и отработка прослушанных лекций без промедления значительно экономит время и способствует лучшему усвоению материала. Студентам рекомендуется с самого начала освоения данного курса работать с литературой и предлагаемыми заданиями в форме подготовки к очередному аудиторному занятию. При этом актуализируются имеющиеся знания, а также создается база для усвоения нового материала, возникают вопросы, ответы на которые студент получает в аудитории. При освоении данного курса студент должен пользоваться библиотекой вуза, а также электронными базами учебной литературы, в соответствии с настоящей программой