

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
"САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПИЛОТажЕСТВОЕНИЯ"

Кафедра № 6

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель образовательной программы

ДОН, А.Г.Н.

(подпись, инициал, фамилия)

Р.Н. Целев

(подпись, инициал, фамилия)

« 19 » февраля 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Средства и методы измерений в микро и нанотехнологиях»
(Инженерное образование)

Код направления подготовки/ специализации	27.05.02
Наименование направления подготовки/ специализации	Метрологическое обеспечение вооружения и военной техники
Наименование образовательности	Метрологическое обеспечение космических средств
Форма обучения	очная
Год выпуска	2025

Санкт-Петербург – 2025

Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил (а)

ДОН, А.Г.Н.

(подпись, инициал, фамилия)

19.02.2025

А.Г.Т.рубаев

(подпись, инициал, фамилия)

Программу одобрила на заседании кафедры № 6
«19» февраля 2025 г. протокол № 10-02/2025

Заседующий кафедрой № 6

А.С.О. д.руф.

(подпись, инициал, фамилия)

19.02.2025

В.В. Овчинников

(подпись, инициал, фамилия)

Заместитель директора института ФЭИ по методической работе

ДОН, А.Г.Н.

(подпись, инициал, фамилия)

19.02.2025

Н.Ю. Ефремов

(подпись, инициал, фамилия)

Аннотация

Дисциплина «Средства и методы измерений в микро и нанoeлектронике» входит в образовательную программу высшего образования – программу специалитета по направлению подготовки/ специальности 27.05.02 «Метрологическое обеспечение вооружения и военной техники» направленности «Метрологическое обеспечение космических средств». Дисциплина реализуется кафедрой «№6».

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

ПК-1 «Способен проводить анализ состояния метрологического обеспечения в подразделении метрологической службы организации»

ПК-3 «Способен осуществлять работы по выявлению и предотвращению несоответствий продукции предъявляемым требованиям»

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с применением средств и методов измерений в микро и нанoeлектронике, а также с исследованием их физических, физико-химических и геометрических параметров и характеристик твердотельных и молекулярных структур. Эти методы и средства диагностики широко входят в практику исследования и изучения нанобъектов, обладают высоким разрешением, поэтому реально позволяют проводить исследования нанобъектов на атомарном уровне, вплоть до визуализации самой структуры объектов.

.Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, самостоятельная работа обучающихся.

.Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация в форме дифференцированного зачета.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

Язык обучения по дисциплине «русский»

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

1.1. Цели преподавания дисциплины

Целью преподавания дисциплины является получение студентами необходимых знаний в сфере высоких технологий связанных с применением средств и методов измерений в микро и наноэлектронике, а также с исследованием их физических, физико-химических и геометрических параметров молекулярных структур прикладными исследованиями конструированием и практическим использованием материалов и веществ на атомном и молекулярном уровнях, а также средствах, методов и методик исследования физических, физико-химических и геометрических параметров и характеристик твердотельных и молекулярных объектов. При этом особое внимание уделено изучению средств и методов измерений, а также методов исследований молекулярных объектов, обеспечивающих получение наиболее полной информации об основных свойствах и характеристиках и протекающих в них процессах.

1.2. Дисциплина входит в состав части, формируемой участниками образовательных отношений, образовательной программы высшего образования (далее – ОП ВО).

1.3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП ВО.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен обладать следующими компетенциями или их частями. Компетенции и индикаторы их достижения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень компетенций и индикаторов их достижения

Категория (группа) компетенции	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Профессиональные компетенции	ПК-1 Способен проводить анализ состояния метрологического обеспечения в подразделении метрологической службы организации	ПК-1.3.1 знать нормативные и методические документы, регламентирующие работы по метрологическому обеспечению ПК-1.3.2 знать принципы нормирования точности измерения ПК-1.3.3 знать область применения методов измерения ПК-1.3.4 знать конструктивные особенности и принципы работы средств измерения, технологические возможности в области применения средств измерения ПК-1.У.2 уметь определять потребность подразделения метрологической службы в оборудовании ПК-1.У.3 уметь устанавливать оптимальные нормы точности измерений и достоверности контроля с учетом ошибок 1-го и 2-го рода. ПК-1.В.1 владеть навыками анализа состояния средств измерений, эталонов, поверочных схем, нормативных документов, регламентирующих работы по метрологическому обеспечению ПК-1.В.3 владеть навыками выявления и оценки погрешностей измерения и ошибок контроля.
Профессиональные компетенции	ПК-3 Способен осуществлять	ПК-3.3.1 знать основные понятия в сфере управления качеством

	работы по выявлению и предотвращению несоответствий продукции предъявляемым требованиям	ПК-3.3.2 знать документы по стандартизации и методические документы, регламентирующие вопросы управления качеством, вопросы делопроизводства, качества продукции, качества сырья, качества материалов. ПК-3.3.5 знать национальные, межгосударственные, международные стандарты и нормативно-правовые акты ПК-3.3.6 знать международные технические регламенты ПК-3.У.1 уметь применять методы анализа производственной деятельности ПК-3.У.2 уметь применять контрольные карты анализа параметров технологических процессов ПК-3.У.5 уметь применять инструменты контроля и управления качеством ПК-3.В.1 владеть навыками организации контроля, менеджмента качества технологической цепочки
--	---	--

2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина может базироваться на знаниях, ранее приобретенных обучающимися при изучении следующих дисциплин:

Дисциплина может базироваться на знаниях, ранее приобретенных обучающимися при изучении следующих дисциплин:

- физические основы измерений и эталоны единиц;
- методы и средства измерений, испытаний и контроля;
- основы информатизации измерений;
- основы электротехники и радиотехники;
- основы моделирование систем и процессов;
- прикладная и законодательная метрология;
- общая теория измерений

Знания, полученные при изучении материала данной дисциплины, имеют как самостоятельное значение, так и могут использоваться при изучении других дисциплин:

- - цифровые методы и средства измерений;
- - производственная практика;
- - производственная преддипломная практика.

Знания, полученные при изучении материала данной дисциплины, имеют как самостоятельное значение, так и могут использоваться при изучении других дисциплин:

Знания, полученные при изучении материала данной дисциплины, имеют как самостоятельное значение, так и могут использоваться при изучении других дисциплин:

- цифровые методы и средства измерений;
- производственная практика;
- производственная преддипломная практика.

3. Объем и трудоемкость дисциплины

Данные об общем объеме дисциплины, трудоемкости отдельных видов учебной работы по дисциплине (и распределение этой трудоемкости по семестрам) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Объем и трудоемкость дисциплины

Вид учебной работы	Всего	Трудоемкость по семестрам	
		№8	№9
1	2	3	4
Общая трудоемкость дисциплины, 3Э/ (час)	5/ 180	2/ 72	3/ 108
Из них часов практической подготовки	34	17	17
Аудиторные занятия, всего час.	68	34	34
в том числе:			
лекции (Л), (час)	34	17	17
практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)	34	17	17
лабораторные работы (ЛР), (час)			
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)			
экзамен, (час)			
Самостоятельная работа, всего (час)	112	38	74
Вид промежуточной аттестации: зачет, дифф. зачет, экзамен (Зачет, Дифф. зач, Экз.**)	Зачет, Дифф. Зач.	Зачет	Дифф. Зач.

Примечание: ** кандидатский экзамен

4. Содержание дисциплины

4.1. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и видам занятий.

Разделы, темы дисциплины и их трудоемкость приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Разделы, темы дисциплины, их трудоемкость

Разделы, темы дисциплины	Лекции (час)	ПЗ (СЗ) (час)	ЛР (час)	КП (час)	СРС (час)
Семестр 8					
Раздел 1.Общая характеристика средств и методов измерений применяемых в микро и нанoeлектронике.	2	2			10
1.1 Структура, свойства, особенности работы с микро- и наноструктурными объектами					
Раздел 2.Характеристика методов исследований объектов микро и наноструктур	4	4			8
Раздел 3 Методы исследований структурных и физико-химических свойств нанообъектов и систем	8	8			10
Раздел 4 Принципы построения технических средств измерений в нанодиапазоне	3				6
Итого в семестре:	17	17			38
Семестр 9					
Раздел 1 Туннельный эффект в радиоэлектронике, принцип работы туннельного сканирующего микроскопа	2	2			8
1.1. Методы исследований углеродных нанообъектов					
Раздел 2 Принципы построения технических средств исследования наноструктур	4	4			28

Раздел 3. Основы механики и конструкций средств измерений наноструктурированных объектов	8	8			30
Раздел 4. Вольтамперные характеристики низкоразмерных структур.	3	3			8
Итого в семестре	17	17			74

Практическая подготовка заключается в непосредственном выполнении обучающимися определенных трудовых функций, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

4.2. Содержание разделов и тем лекционных занятий.

Содержание разделов и тем лекционных занятий приведено в таблице 4.

Таблица 4 – Содержание разделов и тем лекционного цикла

Номер раздела	Название и содержание разделов и тем лекционных занятий
<p>Раздел 1</p> <p>Общая характеристика средств и методов измерений применяемых в микро и нанoeлектронике.</p> <p>1.1 Структура, свойства, особенности работы с микро- и наноструктурными объектами.</p>	<p>Тема 1.1 Исследование объектов нанотехнологий</p> <p>Современные методы исследования, применяемые в нанотехнологиях стали возможны, когда были разработаны и инструментально подтверждены основные идеи атомно-молекулярной теории и получены первые рентгеновские дифракционные изображения кристаллических структур. Важным событием в истории нанонки стало изобретение просвечивающей электронной микроскопии, позволяющей получить изображение наноразмерных структур, а также изобретение сканирующего туннельного микроскопа.</p> <p>Предметом нанотехнологий является новые объекты – наноструктуры, которые имеют субмикронный размер в одном из направлений, которые в свою очередь, нуждаются в классификации. В основу классификации положены структура, состав, а также их физико-химические свойства.</p> <p>Тема 1.2 Структура, свойства, методы получения и особенности применения наноструктур.</p> <p>В области высоких технологий широко используется классификация дисперсных систем по дисперсности, т.е. по размерам и удельной площади поверхности дисперсной фазы. В первом приближении дисперсные системы подразделяются на грубодисперсные и тонкодисперсные, так называемые коллоидные системы.</p> <p>Углеродные структуры - углерод является наиболее распространенным элементом в природе, он существует в твердой фазе и нескольких модификациях с различными физико-химическими свойствами: графит, алмаз, карбин, графен. Важнейшей особенностью углерода является способность образовывать цепочки $-C-C-C-$, которые природа использует для создания биологических полимеров, а человек для производства различных синтетических материалов.</p> <p>В конце прошлого столетия были открыты новые углеродные соединения, среди которых фуллерен, обладающий уникальными свойствами. Фуллерен имеет каркасную структуру, которая состоит из заплаток пяти- и шестиугольной формы. В 1990 г. был разработан метод получения фуллерена. В 1991 г. в продуктах электродугового испарения графита были обнаружены цилиндрические углеродные конструкции, получившие названия «нанотрубки». Нанотрубка представляет собой протяженные цилиндрические структуры диаметром от одного до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких сантиметров. По существу такая нанотрубка представляет собой одну молекулу, состоящую из миллиона атомов углерода. В общем случае, УНТ</p>

	обладают уникальными электрическими, механическими и химическими свойствами.
Раздел 2 .Характеристика методов исследований объектов микро и наноструктур	В конце прошлого столетия были открыты новые углеродные соединения, среди которых фуллерен, обладающий уникальными свойствами. Фуллерен имеет каркасную структуру, которая состоит из заплаток пяти- и шестиугольной формы. В 1990 г. был разработан метод получения фуллерена. В 1991 г. в продуктах электродугового испарения графита были обнаружены цилиндрические углеродные конструкции, получившие названия «нанотрубки». Нанотрубка представляет собой протяженные цилиндрические структуры диаметром от одного до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких сантиметров. По существу такая нанотрубка представляет собой одну молекулу, состоящую из миллиона атомов углерода. В общем случае, УНТ обладают уникальными электрическими, механическими и химическими свойствами.
Раздел 3 Методы исследований структурных и физико-химических свойств нанообъектов и систем	В области высоких технологий широко используется классификация дисперсных систем по дисперсности, т.е. по размерам и удельной площади поверхности дисперсной фазы. В первом приближении дисперсные системы подразделяются на грубодисперсные и тонкодисперсные, так называемые коллоидные системы. Углеродные структуры - углерод является наиболее распространенным элементом в природе, он существует в твердой фазе и нескольких модификациях с различными физико-химическими свойствами: графит, алмаз, карбин, графен. Важнейшей особенностью углерода является способность образовывать цепочки $-C-C-C-$, которые природа использует для создания биологических полимеров, а человек для производства различных синтетических материалов.
Раздел 4 Принципы построения технических средств измерений в нанодиапазоне	Тема 41. Инструменты исследований нанотехнологий Одними из первых инструментов, которые помогли инициировать идеи нанотехнологий, были так называемые сканирующие зонды. Все типы сканирующих зондов были разработаны в Цюрихе в начале 80-х годов. Сама идея очень проста: если, к примеру, провести пальцем по поверхности, то легко отличить бархат от стали или дерева. В данном эксперименте палец действует как структура измерения силы. Данная идея и положена в основу работы сканирующего микроскопа, одного из распространенных сканирующих зондов. Сканирующий зонд при измерении скользит по поверхности так же, как это делают пальцы. Зонд имеет наноскопический размер (часто всего один атом). При движении он может определять несколько различных свойств, каждое из которых соответствует иному измерению. Атомно-силовой микроскоп. В атомно-силовом микроскопе электроника используется для измерения силы вводимой кончиком зонда при его движении вдоль поверхности исследуемого объекта. Тема 2.2. Туннельный микроскоп. В туннельном микроскопе измеряется величина электрического тока, проходящего между сканирующим зондом и поверхностью. Туннельная микроскопия – это практически первый разработанный метод зондового сканирования, нашедшего широкое применение. . В магнитно-силовом микроскопе зонд, сканирующий поверхность, является магнитным, он позволяет почувствовать на поверхности локальную магнитную структуру. Зонд магнитно-силового микроскопа

	<p>работает подобно считывающей головки винчестера или магнитофона. Сканирующие микроскопы позволили впервые увидеть объекты размером с атом.</p>
<p>Раздел 1 (5) Раздел 1 Туннельный эффект в радиоэлектронике, принцип работы туннельного сканирующего микроскопа</p> <p>1.1. Методы исследований углеродных нанообъектов</p>	<p>Туннельный эффект – это прохождение через потенциальный барьер микрочастицы, энергия которой меньше, чем высота барьера. Строгое объяснение этого эффекта дает квантовая механика (исходя из неопределенности импульса микрочастицы в области барьера).</p> <p>Еще в XVII в. И. Ньютон сформулировал законы классической механики, что стало великим событием в истории физики. Однако область НТ относится к совершенно иному, микроскопическому миру, законы которого определяются механикой атомов и молекул.</p> <p>Например, считая электрон мячиком или шариком, мы можем иногда наблюдать странный эффект, при котором «мячик» пронзает стенку. Это необычное квантовое явление получило название туннельного эффекта и не имеет никаких аналогов в мире классической физики, однако оно является совершенно естественным и понятным в рамках квантовой механики атомов, развитой в начале XX в.</p> <p>Теоретически эффект был предсказан еще в 1928 г. известным физиком Г. Гаммовым, который ввел представление об этом эффекте для объяснения так называемого альфа-распада в ядерной физике. Данное явление наблюдается при сближении атомов и сводится к тому, что электроны в таком случае могут покидать свои оболочки, не обладая достаточной энергией.</p> <p>Это объясняется «волновой природой» электронов, а само название возникло из-за того, что, с точки зрения внешнего наблюдателя классической физики (и здравого смысла!), эффект выглядит совершенно непонятным и напоминает ситуацию, при которой электрон как бы находит в стене какой-то «туннель» и проскакивает через него (в качестве стены выступает электростатический потенциал ядра).</p> <p>Процесс носит случайный характер, но его вероятность может быть вычислена по законам квантовой механики совершенно точно (при этом электрон рассматривается одновременно и в качестве волны, и в качестве частицы). Именно волновые характеристики поведения электрона позволяют ему преодолевать энергетический барьер. При большом количестве таких электронов можно, естественно, говорить о туннельном токе.</p> <p>Туннельный эффект уже давно весьма эффективно используется в науке и технике. В частности, на нем основан принцип действия известных туннельных диодов и многих других полупроводниковых приборов. В настоящее время эффект широко применяется в сверхчувствительных записывающих головках магнитных дисков, сканирующих туннельных микроскопах, приборах ядерной физики и т.д.</p>

	<p>1 (5)Молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ). МЛЭ – технологический процесс эпитаксиального выращивания слоев, кристаллическая решетка которых повторяет решетку подложки. С помощью технологии МЛЭ выращивают гетероструктуры заданной толщины с моноатомногладкими гетерограницами и заданным профилем легирования. Следует отметить, что эпитаксия – это один из важнейших технологических процессов при создании микро- и наноструктур.</p>
	<p>Тема 3.1 Методы исследований и изучения физико-химических свойств нанообъектов и систем</p> <p>Под гетерогенными процессами понимают технологические процессы, происходящие на границе раздела фаз и формирующие гетерогенные системы. Гетерогенная система представляет собой термодинамическую систему, состоящую из различных по физическим и химическим свойствам частей или фаз, которые отделены друг от друга поверхностями раздела. Каждая из фаз при этом гомогенна и ее поведение подчиняется законам термодинамики.</p> <p>Тема 3.2. Формирование структур на основе коллоидных растворов</p> <p>Коллоидные растворы или золи представляют собой жидкие системы с частицами дисперсной фазы или мицеллами перемешивающимися свободно и независимо в процессе броуновского движения. Размер частиц лежит в пределах 10 – 100 нм, сами частицы могут располагаться относительно друг друга ближе, чем на диаметр частицы. Метод формирования упорядоченных наноструктур непосредственно из наночастиц, сформированных в коллоидных растворах, дает возможность в широких пределах варьировать размеры частиц, а также изменять электронные свойства частиц.</p> <p>Золь-гель-технология. Золь-гель-технология – представляет собой технологический процесс получения материалов, с определенными химическими и физико-химическими свойствами, включающий получение золя и перевод его в гель. В общем случае, золь-гель-технология на свойстве золя или коллоидного раствора и представляют собой структурированные системы с жидкой дисперсионной средой. Этим методом могут быть синтезированы нанокомпозиты на основе керамики гетерометаллического типа и др.</p>
<p>Раздел 2 (6) Принципы построения технических средств исследования наноструктур</p>	<p>Тема 2 (6) Современное развитие физики и технологии твердотельных наноструктур, проявляющееся в непрерывном переходе топологии элементов электронной техники от субмикронных к нанометровым размерам, потребовало разработку новых и совершенствование уже существующих средств и методов диагностики, а также создание образцов оборудования для анализа свойств и процессов в наносистемах. Сегодня существует огромное количество типов и видов средств диагностики. Для исследования наноструктур, получения наноразмерных систем и новых наноструктурных материалов с заданными свойствами, необходимо по-новому решать задачи</p>

	<p>исследования наноструктуру Для этого требуется изменение традиционных методов, а также создание и развитие совершенно новых средств и методов, процессов присущих объектам нанометрового масштаба.</p> <p>Тема 4.2. Методы электронной спектроскопии</p> <p>Для химического анализа фотоэлектронной микроскопии, фотолюминесценции, которые в настоящее время активно развиваются с перспективами существенного повышения разрешающей способности используемых средств. Известно, что человек способен разглядеть объекты размером приблизительно 0.1 мм. С точки зрения физиологии глаз это простая оптическая система. В 1873 г. было сформулировано правило оптических систем, согласно которому минимальные размеры различаемых деталей рассматриваемого объекта, не могут быть меньше, чем длина волны света (400 нм). Разрешающая способность оптических микроскопов составляет приблизительно 200 нм. Поэтому возникла необходимость в создании систем с более высокой разрешающей способностью, а следовательно с видеосистемами, используемых меньшие длин волн, что и привело к созданию электронных микроскопов.</p>
<p>Раздел 3 (7) . Основа механики и конструкций средств измерений наноструктурированных объектов</p>	<p>. Сегодня существует огромное количество типов и видов средств диагностики Для исследования наноструктур, получения наноразмерных систем и новых наноструктурных материалов с заданными свойствами, необходимо по-новому решать задачи исследования наноструктуру Для этого требуется изменение традиционных методов, а также создание и развитие совершенно новых средств и методов, процессов присущих объектам нанометрового масштаба.</p> <p>Одним из объектов нанометрологии является острый зондовый датчик, используемый в сканирующей зондовой микроскопии для исследования размеров и свойств поверхности нанообъектов. Датчик состоит из полупроводникового кристалла (чипа), гибкой консоли (собственно кантилевера) и твердотельного зонда (иглы). Обычно этот датчик называют кантилевером.</p> <p>Геометрически зонд представляет собой иглу конической или призматической формы с углом при вершине 20 - 25° и высотой около 10 мкм. Наиболее важная характеристика зонда - радиус закругления острия r, значение которого обычно не более 1 - 25 нм. Величина радиуса r влияет на размеры области предельно достижимого разрешения. Сложность изготовления зонда существенно увеличивается с уменьшением радиуса острия.</p> <p>Технические характеристики датчика наноперемещений</p> <p>В качестве измерительных преобразователей в нанотехнологии используется датчик наноперемещений, представляющий собой совокупность механического элемента и транзистора. Механическим элементом является брусок (наномеханическая перемычка) из арсенида галлия, закрепленный с обоих концов. Размеры бруска: длина 3 мкм, ширина 250 нм, толщина 200 нм. Детектор перемещения - одноэлектронный транзистор - расположен на расстоянии 250 нм от бруска. Транзистор электрически соединен с бруском через емкость. Внешнее напряжение, приложенное к бруску, заставляет его вибрировать. При перемещении бруска относительно детектора изменяется ток, протекающий через транзистор.</p> <p>Назначение датчика силы и массы</p>
<p>Раздел 4 (8) . Вольтамперные</p>	<p>Согласно проекту Технической спецификации ISO/DTS 12805 произведенные нанообъекты разделяют по признаку геометрической</p>

характеристики низкоразмерных структур.	<p>формы на три категории: частицы - объекты, имеющие три размера в наномасштабе; волокна - объекты, имеющие два размера в наномасштабе; пластины - объекты, имеющие один размер в наномасштабе.</p> <p>Большинство нанообъектов имеет углеродную основу. Долгие годы считалось, что углерод может образовывать только две аллотропные кристаллические структуры - алмаз и графит. Аллотропия - существование одного и того же химического элемента в несхожих формах. Однако в последние годы были обнаружены еще две аллотропные формы углерода, имеющие большую перспективу использования в нанотехнологиях.</p> <p>Тема 5.2 Назначение, свойства, острейного зондового датчика.</p> <p>Одним из объектов нанометрологии является острейный зондовый датчик, используемый в сканирующей зондовой микроскопии для исследования размеров и свойств поверхности нанообъектов. Датчик состоит из полупроводникового кристалла (чипа), гибкой консоли (собственно кантилевера) и твердотельного зонда (иглы). Обычно этот датчик называют кантилевером.</p> <p>Геометрически зонд представляет собой иглу конической или призматической формы с углом при вершине 20 - 25° и высотой около 10 мкм. Наиболее важная характеристика зонда - радиус закругления острия r, значение которого обычно не более 1 - 25 нм. Величина радиуса r влияет на размеры области предельно достижимого разрешения. Сложность изготовления зонда существенно увеличивается с уменьшением радиуса острия.</p>
--	---

4.3. Практические (семинарские) занятия

Темы практических занятий и их трудоемкость приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Практические занятия и их трудоемкость

№ п/п	Темы практических занятий	Формы практических занятий	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
Семестр 8					
1	Основные черты современных ИТ. Структурированность стандартов цифрового обмена данными алгоритмов	Анализ и оценка ресурсов, необходимых для управления информацией, ПО, необходимое для создания, хранения, управления, передачи и поиска информации	4	1	1
2	Основные черты современных ИТ. Структурированность стандартов цифрового обмена данными алгоритмов	Анализ и оценка ресурсов, необходимых для управления информацией, ПО, необходимое для создания, хранения, управления, передачи и поиска информации	4	3	2
3	Исследование поверхности методом атомно-силовой микроскопии	Обработка результатов исследования образца и анализ результатов измерений	4	3	3
4	Подготовка электронного микроскопа и функциональных блоков (узлов) к работе в основных рабочих режимах	Порядок и последовательность включения и выключения СЗМ мод. Solver PRO-M	5	4	5
Семестр 9					

1	Порядок проведения поверки туннельного и сканирующего микроскопов	Последовательность проведения поверки эл. микроскопа мод. Solver PRO-M	4	3	1 (5)
2	Особенности и разновидности современных ИТ. Нормативные документы цифрового обмена данными алгоритмов	Анализ и оценка ресурсов, необходимых для управления информацией, ПО, необходимое для создания, хранения, управления, передачи и поиска информации	4	4	2 (6)
3	Преимущества методов ом атомно-силовой микроскопии	Обработка результатов исследования образца и анализ результатов измерений	4	4	3 (7)
4	Последовательность операций при подготовке к работе ЭМ и базовых блоков (узлов) к работе в основных рабочих режимах	Порядок и последовательность включения и выключения СЗМ мод. Solver PRO-M	5	4	4 (8)
Всего			34		

4.4. Лабораторные занятия

Темы лабораторных занятий и их трудоемкость приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Лабораторные занятия и их трудоемкость

№ п/п	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
Учебным планом не предусмотрено				
Всего				

4.5. Курсовое проектирование/ выполнение курсовой работы

Учебным планом не предусмотрено

4.6. Самостоятельная работа обучающихся

Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость

Вид самостоятельной работы	Всего, час	Семестр 8, час	Семестр 9, час
1	2	3	4
Изучение теоретического материала дисциплины (ТО)	12	12	8
Подготовка к текущему контролю успеваемости (ТКУ)	8	8	28
Домашнее задание (ДЗ)	10	10	30
Подготовка к промежуточной аттестации (ПА)		8	8
Всего:	112	38	74

5. Перечень учебно-методического обеспечения
для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся указаны в
п.п. 7-11.

6. Перечень печатных и электронных учебных изданий
Перечень печатных и электронных учебных изданий приведен в таблице 8.
Таблица 8– Перечень печатных и электронных учебных изданий

Шифр/ URL адрес	Библиографическая ссылка	Количество экземпляров в библиотеке (кроме электронных экземпляров)
ISBN 978-5-9963-0028-4	Получение и исследование наноструктур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям /Евдокимов А.А. и др./; под ред. А.С. Сигова. – М.; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 146 .	
https://www.booktech.ru/books/nanotehnologii	Физические основы микро- и нанoeлектроники, Дурнаков А.А., /учебное пособие/, УрФУ, 2020, -252 с.	
https://obuchalka.org/knigi-po-nanotehnologiyam	Физические основы нанотехнологий и наноматериалы, Смирнов В.И. /учебное пособие/, Ульяновск, УлГТУ, 2017, 240 с.	
https://obuchalka.org/knigi-po-nanotehnologiyam	Базовые технологии микро- и нанoeлектроники: Воротынцев В.М., Скупов В.Д., -М, , Проспект, 2017, -519 с.	
https://obuchalka.org/knigi-po-nanotehnologiyam	Материалы и методы нанотехнологий, Старостин В.В. /учебное пособие/, -М, Бином, 2016, -431с.	
https://obuchalka.org/knigi-po-nanotehnologiyam	Наноматериалы: учебное пособие/, Д.И. Рыжонков, В.В. Лёвина, Э.Л. Дзидзигури, -М, Бином, 2017, -343 с.	
https://obuchalka.org/knigi-po-nanotehnologiyam	Вычислительные нанотехнологии, Попов А.М., /учебное пособие/, Кно-Рус, 2017, - 126 с.	
https://znanium.com/catalog/product/1032129 (дата обращения: 07.09.2021). – Режим доступа: по подписке.	Исаев, С.В. Интеллектуальные системы : учеб. пособие / С.В. Исаев, О.С. Исаева. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2017. - 120 с. - ISBN 978-5-7638-3781-0.	
https://znanium.com/catalog/product/1060845 (дата обращения: 07.09.2021). – Режим доступа: по подписке.	Одинцов, Б. Е. Модели и проблемы интеллектуальных систем : монография / Б.Е. Одинцов. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 219 с. — (Научная мысль). — DOI 10.12737/1060845. - ISBN 978-5-16- 015839-6.	
https://fs.guap.ru/science/patents/2021612957.pdf	Свид – во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2021612957 Дом качества «QFD» Правообладатель: ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (RU)	

	Автор: Чабаненко Александр Валерьевич (RU)	
--	---	--

7. Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

URL адрес	Наименование
http://science.guap.ru	Научная и инновационная деятельность ГУАП
http://www.consultant.ru	Справочно-правовая система «Консультант Плюс»
http://www.garant.ru	Информационно-правовой портал «ГАРАНТ»
http://list-of-lit.ru /nano/nnotechnologii	Список литературы по нанотехнологии

8. Перечень информационных технологий

8.1. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Перечень используемого программного обеспечения представлен в таблице 10.

Таблица 10– Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

8.2. Перечень информационно-справочных систем,используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Перечень используемых информационно-справочных систем представлен в таблице 11.

Таблица 11– Перечень информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

9. Материально-техническая база

Состав материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине, представлен в таблице12.

Таблица 12 – Состав материально-технической базы

№ п/п	Наименование составной части материально-технической базы	Номер аудитории (при необходимости)
1	Мультимедийная лекционная аудитория	13-13
2	Специализированная лаборатория «Лаборатория исследования нанообъектов»	Территория ФБУ «Тест - С.-Петербург»

10. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

10.1. Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Вид промежуточной аттестации	Перечень оценочных средств
Дифференцированный зачёт	Список вопросов; Тесты; Задачи.
Зачет	Список вопросов; Тесты; Задачи.

10.2. В качестве критериев оценки уровня сформированности (освоения) компетенций обучающимися применяется 5-балльная шкала оценки сформированности компетенций, которая приведена в таблице 14. В течение семестра может использоваться 100-балльная шкала модульно-рейтинговой системы Университета, правила использования которой, установлены соответствующим локальным нормативным актом ГУАП.

Таблица 14 –Критерии оценки уровня сформированности компетенций

Оценка компетенции 5-балльная шкала	Характеристика сформированных компетенций
«отлично» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> – обучающийся глубоко и всесторонне усвоил программный материал; – уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает; – опираясь на знания основной и дополнительной литературы, тесно привязывает усвоенные научные положения с практической деятельностью направления; – умело обосновывает и аргументирует выдвигаемые им идеи; – делает выводы и обобщения; – свободно владеет системой специализированных понятий.
«хорошо» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> – обучающийся твердо усвоил программный материал, грамотно и по существу излагает его, опираясь на знания основной литературы; – не допускает существенных неточностей; – увязывает усвоенные знания с практической деятельностью направления; – аргументирует научные положения; – делает выводы и обобщения; – владеет системой специализированных понятий.
«удовлетворительно» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> – обучающийся усвоил только основной программный материал, по существу излагает его, опираясь на знания только основной литературы; – допускает несущественные ошибки и неточности; – испытывает затруднения в практическом применении знаний направления; – слабо аргументирует научные положения; – затрудняется в формулировании выводов и обобщений; – частично владеет системой специализированных понятий.
«неудовлетворительно» «не зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> – обучающийся не усвоил значительной части программного материала; – допускает существенные ошибки и неточности при рассмотрении проблем в конкретном направлении; – испытывает трудности в практическом применении знаний; – не может аргументировать научные положения; – не формулирует выводов и обобщений.

10.3. Типовые контрольные задания или иные материалы.
Вопросы (задачи) для экзамена представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Вопросы (задачи) для экзамена

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для экзамена	Код индикатора
	Учебным планом не предусмотрено	

Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для зачета / дифф. зачета	Код индикатора
1	Основные особенности наноразмерных величин, их количественное значение.	ПК-1.3.1
2	Единицы измерения и наименования в области нанотехнологий	ПК-1.3.2
3	Линейные размеры особей животного мира и искусственных объектов в сравнительных значениях нанотехнологий	ПК-1.3.3
4	Основные события истории развития нанотехнологий в период с 400 г. до н.э. по 1959 г.	ПК-1.3.4
5	Основные события истории развития нанотехнологий в период с 1959 по н/в.	ПК-1.У.2
6	Разные подходы к научному определению термина «нанотехнология»	ПК-1.У.3
7	О работах Ж.И. Алферова в области нанотехнологий	ПК-1.В.1
8	Основные идеи Э. Дрекслера о роле нанотехнологий в развитии современного общества, изложенные в книге «Машины созидания»	ПК-1.В.3
9	Основные оценки ожидаемых параметров наномеханических устройств.	ПК-3.3.1
10	Характеристика и принцип работы наноустройства в живых организмах (на примере молекулы «АТФ Синтаза»).	ПК-3.3.2
11	Углерод в природе, в чем заключается его особая роль?	ПК-3.3.5
12	Простейшие конструкции приборов и узлов отдельных различных наноустройств	ПК-3.3.6
13	Возможные пути применения приборов и машин МНТ	ПК-3.У.1
14	Принципы самоорганизации, присущие наиболее распространенным объектам нанотехнологий	ПК-3.У.2
15	Принципы самосборки, присущие наиболее распространенным объектам нанотехнологий	ПК-3.У.5
16	Использование самоорганизации в НТ. Основные свойства самоорганизующихся систем	ПК-3.В.1
17	Наноматериалы, наименования, назначение, основные определения, какие объекты к ним относятся?	ПК-1.3.1
18	Основные типы наноматериалов, разделение по признакам измерений и размерности	ПК-1.3.2
19	Основы классификации и типы структур наноматериалов	ПК-1.3.3
20	Основные категории наноматериалов	ПК-1.3.4
21	Особенности свойств наноматериалов, направления их использования	ПК-1.У.2
22	Основные области применения объектов наноструктурных объектов	ПК-1.У.3
23	Краткая характеристика конструкционных, инструментальных и износостойких материалов	ПК-1.В.1
34	Использование наноматериалов в электронной технике	ПК-1.В.3

	Назначение, краткая характеристика электронного микроскопа	
25	Физический смысл свойств ЭМ: увеличение, разрешение, разрешающая способность.	ПК-3.3.1
26	Условия формирования и свойства электронного луча микроскопа	ПК-3.3.2
27	Физический смысл хроматической аберрации	ПК-3.3.5
28	В чем различие характеристик разрешения оптического и электронного микроскопов	ПК-3.3.6
29	Характеристика разрешающей способности ЭМ	ПК-3.У.1
30	Назначение и устройство и свойства источника электронов	ПК-3.У.2
31	Конструктивные особенности системы освещения ЭМ	ПК-3.У.5
32	Устройство системы коррекции астигматизма в ЭМ	ПК-3.В.1
33	Принцип работы и устройство системы изображения ЭМ	ПК-3.3.1
34	. Блок-схема и принцип работы микроскопа БСОМ	ПК-3.3.2
35	Блок-схема и принцип действия Оже-спектрометра	ПК-3.3.5
36	Фотоэлектронная рентгеновская спектроскопия, блок-схема, принцип действия	ПК-3.3.6
37	Фотоэлектронная рентгеновская спектроскопия, блок-схема, принцип действия	ПК-3.У.1
38	Принцип работы рамановской спектроскопии, блок-схемы процесса измерений.	ПК-3.У.2
39	Назначение принцип действия фотолюминесцентной спектроскопии	ПК-3.У.5
40	Информационные технологии в измерительных системах	ПК-3.В.1

Перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы

№ п/п	Примерный перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы
	Учебным планом не предусмотрено

Вопросы для проведения промежуточной аттестации в виде тестирования представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Примерный перечень вопросов для тестов

№ п/п	Примерный перечень вопросов для тестов	Код индикатора
	<p>1. Исследование микро- и наноструктур. .</p> <p>Начало вопроса: Какие методы диагностики наиболее распространены для исследования физических параметров и характеристик нанообъектов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - электронная микроскопия высокого разрешения; - отражательная электронная микроскопия; - микроскопия медленных электронов.; - оптическая микроскопия. <p>2. Важнейшие технологические достижения во второй половине двадцатого столетия.</p> <p>Начало вопроса: Что способствовало, в наибольшей степени, интенсивному развитию нанотехнологий в стране и за рубежом?</p> <p>Начало вопроса:</p>	

	<ul style="list-style-type: none"> - технология создания электровакуумных приборов; - создание микромодульных элементов; - создание интегральных печатных плат; - создание полупроводниковых элементов электронной техники. <p>3. Физическая сущность закона Гордона Мура. Начало вопроса: В чем заключается смысл эмпирического закона Мура?</p> <ul style="list-style-type: none"> - объяснят принцип получения черно-белого изображения кадра телевизора; - закон объясняет принцип функционирования оптоволоконного элемента; - предельные границы быстродействия компьютера; - предельное число размещения транзисторов на печатной плате компьютера. <p>4. Средства измерения для исследования наноструктур. Начало вопроса: В чем заключается основные достоинства электронного микроскопа?</p> <ul style="list-style-type: none"> - улучшены весовые и габаритные характеристики приборов, - возможность цифрового представления результатов анализа; - более совершенная, по сравнению с оптическим микроскопом, система получения изображения наблюдаемого объекта; - возможность получения более разнообразной информации об объекте; - пределы увеличения исследуемого объекта. <p>5. Основные параметры и характеристики микроскопов. Начало вопроса: Назовите предельные значения характеристики увеличения оптического микроскопа:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 100 раз; - 200 раз; - 400 раз; - 700 раз; - 1000 раз; - 1500 раз <p>6. Основные параметры и характеристики микроскопов. Начало вопроса: Предельные значения увеличения электронного микроскопа:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1000 раз; - 2000 раз; - 5000 раз; - 8000 раз; - 1млн. раз; - 2 млн. раз <p>7. Основные параметры и характеристики микроскопов. Начало вопроса: Чем определяется разрешающая способность оптического микроскопа:</p> <ul style="list-style-type: none"> - уровнем освещенности рабочей линзы; - величиной фокусного расстояния; - совершенством отклоняющей системы; - длиной волны света. <p>8. Основные параметры и характеристики микроскопов. Начало вопроса: Чем определяется разрешающая способность электронного микроскопа:</p> <ul style="list-style-type: none"> - конструкцией системы изображения микроскопа; - устройством электронной пушки, - системой считывания результатов обработки измерений; - расстоянием пролета электрона; - скоростью пролета электрона. <p>9. Преимущества электронного микроскопа. Начало вопроса: Чем объясняется высокая разрешающая способность электронного микроскопа:</p> <ul style="list-style-type: none"> - геометрическими размерами рабочей зоны; - использованием электронного потока вместо светового потока; - длиной волны электрона. <p>10. Основные параметры и характеристики электронных микроскопов. Начало вопроса: От чего зависит величина волны электронного потока в микроскопе:</p> <ul style="list-style-type: none"> - габариты рабочей зоны; - величиной напряжения на аноде; - конструкцией системы изображения микроскопа; 	
--	---	--

	<p>- архитектуры отклоняющей системы микроскопа</p> <p>11. Какая серия стандартов в настоящее время является основной для стандартов из области ИТ?</p> <p>a. серия 25000; b. серия 9000; c. серия 14000; d. серия 16000.</p> <p>12. Выделите два основных стандарта в области ИТ.</p> <p>a. 12207:1995; b. 19760:2003; c. 16326:1999; d. 90003:2004; e. 15288:2002.</p> <p>13. Назовите аббревиатуру международного союза электросвязи:</p> <p>a. IEEE; b. IEC; c. ITU;</p>	
--	--	--

Перечень тем контрольных работ по дисциплине обучающихся заочной формы обучения, представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Перечень контрольных работ

№ п/п	Перечень контрольных работ
	Не предусмотрено

10.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания индикаторов, характеризующих этапы формирования компетенций, содержатся в локальных нормативных актах ГУАП, регламентирующих порядок и процедуру проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ГУАП.

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

11.1. Методические указания для обучающихся по освоению лекционного материала.

Основное назначение лекционного материала – логически стройное, системное, глубокое и ясное изложение учебного материала. Назначение современной лекции в рамках дисциплины не в том, чтобы получить всю информацию по теме, а в освоении фундаментальных проблем дисциплины, методов научного познания, новейших достижений научной мысли. В учебном процессе лекция выполняет методологическую, организационную и информационную функции. Лекция раскрывает понятийный аппарат конкретной области знания, её проблемы, дает цельное представление о дисциплине, показывает взаимосвязь с другими дисциплинами.

Планируемые результаты при освоении обучающимися лекционного материала:

- получение современных, целостных, взаимосвязанных знаний, уровень которых определяется целевой установкой к каждой конкретной теме;
- получение опыта творческой работы совместно с преподавателем;
- развитие профессионально-деловых качеств, любви к предмету и самостоятельного творческого мышления.
- появление необходимого интереса, необходимого для самостоятельной работы;
- получение знаний о современном уровне развития науки и техники и о прогнозе их развития на ближайшие годы;

- научиться методически обрабатывать материал (выделять главные мысли и положения, приходить к конкретным выводам, повторять их в различных формулировках);

- получение точного понимания всех необходимых терминов и понятий.

Лекционный материал может сопровождаться демонстрацией слайдов и использованием раздаточного материала при проведении коротких дискуссий об особенностях применения отдельных тематик по дисциплине.

11.2. Методические указания для обучающихся по прохождению практических занятий *(если предусмотрено учебным планом по данной дисциплине)*

Практическое занятие является одной из основных форм организации учебного процесса, заключающаяся в выполнении обучающимися под руководством преподавателя комплекса учебных заданий с целью усвоения научно-теоретических основ учебной дисциплины, приобретения умений и навыков, опыта творческой деятельности.

Целью практического занятия для обучающегося является привитие обучающимся умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Планируемые результаты при освоении обучающимися практических занятий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний при решении конкретных задач;

- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;

- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;

- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;

- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

11.3. Методические указания для обучающихся по прохождению самостоятельной работы

В ходе выполнения самостоятельной работы, обучающийся выполняет работу по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Для обучающихся по заочной форме обучения, самостоятельная работа может включать в себя контрольную работу.

В процессе выполнения самостоятельной работы, у обучающегося формируется целесообразное планирование рабочего времени, которое позволяет им развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, помогает получить навыки повышения профессионального уровня.

Методическими материалами, направляющими самостоятельную работу обучающихся являются:

- учебно-методический материал по дисциплине;

- методические указания по выполнению контрольных работ (для обучающихся по заочной форме обучения).

11.4. Методические указания для обучающихся по прохождению текущего контроля успеваемости.

Текущий контроль успеваемости предусматривает контроль качества знаний обучающихся, осуществляемого в течение семестра с целью оценивания хода освоения дисциплины.

11.5. Методические указания для обучающихся по прохождению промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация обучающихся предусматривает оценивание промежуточных и окончательных результатов обучения по дисциплине. Она включает в себя:

- экзамен – форма оценки знаний, полученных обучающимся в процессе изучения всей дисциплины или ее части, навыков самостоятельной работы, способности применять их для решения практических задач. Экзамен, как правило, проводится в период экзаменационной сессии и завершается аттестационной оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

- зачет – это форма оценки знаний, полученных обучающимся в ходе изучения учебной дисциплины в целом или промежуточная (по окончании семестра) оценка знаний обучающимся по отдельным разделам дисциплины с аттестационной оценкой «зачтено» или «не зачтено».

- дифференцированный зачет – это форма оценки знаний, полученных обучающимся при изучении дисциплины, при выполнении курсовых проектов, курсовых работ, научно-исследовательских работ и прохождении практик с аттестационной оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Лист внесения изменений в рабочую программу дисциплины

Дата внесения изменений и дополнений. Подпись внесшего изменения	Содержание изменений и дополнений	Дата и № протокола заседания кафедры	Подпись зав. кафедрой