

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

Кафедра № 6

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель направления

д.э.н., проф.

(должность, уч. степень, звание)

В.В. Окрепилов

(инициалы, фамилия)



(подпись)

«22» июня 2023 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Средства и методы измерений в микро и наноэлектронике»
(Наименование дисциплины)

Код направления подготовки/ специальности	27.05.02
Наименование направления подготовки/ специальности	Метрологическое обеспечение вооружения и военной техники
Наименование направленности	Метрологическое обеспечение космических средств
Форма обучения	очная

Санкт-Петербург– 2023


Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил (а)

<u>доц.,к.т.н.</u> (должность, уч. степень, звание)	 _____	22.06.23	<u>К.В. Епифанцев</u> (инициалы, фамилия)
---	--	----------	--

Программа одобрена на заседании кафедры № 6
«22» июня 2023 г, протокол № 14


Заведующий кафедрой № 6

<u>д.э.н.,проф.</u> (уч. степень, звание)	 _____	22.06.23	<u>В.В. Окрепилов</u> (инициалы, фамилия)
--	--	----------	--

Ответственный за ОП ВО 27.05.02(04)

<u>доц., к.т.н.</u> (должность, уч. степень, звание)	 _____	22.06.23	<u>Р.Н.Целмс</u> (инициалы, фамилия)
---	---	----------	---

Заместитель директора института ФПТИ по методической работе

<u>доц.,к.ф.-м.н.</u> (должность, уч. степень, звание)	 _____	22.06.23	<u>Ю.А. Новикова</u> (инициалы, фамилия)
---	--	----------	---

Аннотация

Дисциплина «Средства и методы измерений в микро и наноэлектронике» 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 метрологическим обеспечением средств измерений в микроэлектронике и наноиндустрии. Дисциплина описывает методы и методики исследования параметров и характеристик нанообъектов, подробно описаны средства измерений, применяемые в условиях крупносерийного микроэлектронного производства. В настоящее время используется определенный комплекс методов исследования микро и наноструктур, среди которых можно выделить основные группы методов: электронная микроскопия высокого разрешения; методы сканирующей электронной микроскопии; сканирующая туннельная микроскопия; рентгенодифракционные методы с использованием эффекта высокой светимости синхротронных источников; методы электронной спектроскопии для химического анализа.

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

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация в форме дифференцированного зачета. Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 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 метрологического обеспечения технологических процессов в наноиндустрии, связанных с прикладными исследованиями конструированием и практическим использованием материалов и веществ на атомном и молекулярном уровнях, а также средств, методов и методик исследования физических, физико-химических и геометрических параметров и характеристик твердотельных и молекулярных объектов. При этом ключевое внимание уделено изучению особенностей высокоразрешающих 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 работы по	ПК-3.3.1 знать основные понятия в сфере управления качеством ПК-3.3.2 знать документы по стандартизации

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

2. Место дисциплины в структуре ОП

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

- «Схемотехника»,
- «Физика»,
- «Инженерная и компьютерная графика»,
- «Математическое моделирование средств измерений»,
- «Цифровая метрология»,
- «Метрология. Общая теория измерений»

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

- «Производственная преддипломная практика»,
- «ГИА»

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, ЗЕ/ (час)	6/ 216	3/ 108	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),	34	17	17

(час)			
лабораторные работы (ЛР), (час)			
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)			
экзамен, (час)			
Самостоятельная работа , всего (час)	148	74	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. Общие сведения о микроэлектронике. Тема 1.1. Приборы и методы для контроля микроэлектроники Тема 1.2 Основные черты современной микроэлектроники	2	2			20
Раздел 2 Структура, свойства, методы получения и особенности применения наноструктур Тема 2.1 Физико-химические свойства наноструктур, особенности применения	2	2			20
Раздел 3. Общая характеристика методов исследований объектов микро и наноструктур Тема 3.1. Характеристика инструментов, измерительных приборов и систем. Тема 3.2. Атомно-силовой микроскоп Тема 3.3 Магнитно-силовой микроскоп	3	3			14
Раздел 4. Характеристика концепций молекулярных нанотехнологий Тема 4.1 Объекты молекулярных нанотехнологий, получение твердотельных наноструктур Тема 4.2. Особенности твердотельных наноструктур. Тема 4.3. Объекты наномолекулярной технологии	3	3			20
Итого в семестре:	17	17			74
Семестр 9					

Раздел 5. Основные гетерогенные процессы формирования наноструктурированных объектов Тема 5.1. Особенности гетерогенных процессов. Тема 5.2. Химические гетерогенные процессы. Тема 5.3 Свойства гетерогенных процессов	5	5			20
Раздел 6. Туннельный эффект и сканирующая туннельная микроскопия Тема 6.1 Физический смысл и практическое применение туннельного эффекта	4	4			20
Раздел 7. Основы механики и конструкций средств измерений наноструктурированных объектов Тема 7.1. Область применения наноструктурированных объектов Тема 7.2. Свойства острейшего зондового датчика. Тема 7.3. Технические характеристики датчика наноперемещений Тема 7.4. Назначение датчика силы и массы Тема 7.5. Назначение и сфера применения зондового датчика	4	4			14
Раздел 8. Безопасность нанотехнологий и проблемы окружающей среды Тема 8.1. Условия применения объектов нанотехнологий Тема 8.2 Характеристика наночастиц Тема 8.3. Методы снижения эффективности воздействия применения наночастиц Тема 8.4 Воздействие наночастиц на окружающую среду	3	3			20
Итого в семестре:	17	17			74
Итого	34	34	0	0	148

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
Раздел 1.	Тема 1.1. Приборы и методы для контроля микроэлектроники Метод лазерной микроинтерферометрии контроля качества монтажа и оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) кристаллов ИМС Тема 1.2 Основные черты современной микроэлектроники

	<p>Основные принципы и понятия микроэлектроники, классификация микросхем по функциональным и конструкторско-технологическим признакам, активные и пассивные элементы интегральных микросхем. Современные тенденции в развитии микроэлектроники, дается представление об интегральных микросхемах диапазона СВЧ, гетероструктурах в современной микроэлектронике.</p>
Раздел 2	<p>Тема 2.1 Физико-химические свойства наноструктур 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>
Раздел 3.	<p>Тема 3.1. Характеристика инструментов, измерительных приборов и систем. 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.</p> <p>Тема 3.2. Атомно-силовой микроскоп В атомно-силовом микроскопе электроника используется для измерения силы вводимой кончиком зонда при его движении вдоль поверхности исследуемого объекта.</p> <p>Тема 3.3 Магнитно-силовой микроскоп В магнитно-силовом микроскопе зонд, сканирующий поверхность, является магнитным, он позволяет почувствовать на поверхности локальную магнитную структуру. Зонд магнитно-силового микроскопа работает подобно считывающей головки винчестера или магнитофона. Сканирующие микроскопы позволили впервые увидеть объекты размером с атом.</p>
Раздел 4.	<p>Тема 4.1 Объекты молекулярных нанотехнологий, получение твердотельных наноструктур Молекулярная техника, производство и вычисления" имеет, несомненно, основополагающее значение. Сам термин нанотехнология стал популярен именно после выхода в свет знаменитой книги Э. Дрекслера "Машины творения" и последовавшей за этим дискуссии. Позже Дрекслер в своих научных работах стал использовать термин молекулярная нанотехнология (МНТ) для различения предлагаемых им</p>

	<p>решений.</p> <p>Тема 4.2. Особенности твердотельных наноструктур.</p> <p>Оценки параметров наномеханических устройств и машин - в своих работах Э. Дрекслер и его последователи оценивали параметры в основном механических устройств, которые они могли бы иметь при приближении размера компонент к молекулярному масштабу. Это обусловлено не тем, что они недооценивают важность электрических, оптических и т. д. эффектов, а тем, что механические конструкции гораздо проще и достовернее масштабируются. При этом осознаётся, что электрические и прочие эффекты могут дать значительные дополнительные возможности. Произведя соответствующее масштабирование Дрекслер получил следующие численные оценки:</p> <ul style="list-style-type: none"> - позиционирование реагирующих молекул с точностью ~ 0.1 нм; - механосинтез с производительностью $\sim 10^6$ опер/сек на устройство; - молекулярная сборка объекта массой 1 кг за $\sim 10^4$ сек; - работа наномеханического устройства с частотой $\sim 10^9$ Гц. <p>Тема 4.3. Объекты наномолекулярной технологии</p> <p>Были проведены исследования по вопросам возможного функционирования работы "устройства" аналогичного масштаба в живых организмах. В качестве примера целесообразно рассмотреть работу представителя живого организма АТФ-синтаза являющегося ферментом, преобразующим разность концентраций протонов по разные стороны мембраны в энергию, запасённую в молекулах аденозинтрифосфата (АТФ). Последнее используется практически всеми механизмами клетки в качестве универсального носителя энергии. АТФ-синтаза присутствует в "энергетических станциях" растительных и животных клеток - хлоропластах и митохондриях и представляет собой довольно сложную конструкцию из нескольких типов единиц - белковых молекул.</p>
Раздел 5.	<p>Тема 5.1. Особенности гетерогенных процессов.</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 5.2. Химические гетерогенные процессы.</p> <p>Многие гетерогенные процессы не связаны с химическими реакциями и основаны только на физико-химических явлениях. Химические гетерогенные процессы включают в качестве этапа химические реакции, которые идут в одной из фаз после перемещения туда реагентов или на поверхности раздела фаз. На гетерогенные равновесия</p>

	<p>вливают температура, давление, концентрации реагентов и продуктов реакции. Равновесие гетерогенных процессов определяется константой равновесия химических реакций, законом распределения компонентов между фазами и правилом фаз. Равновесные концентрации компонентов в соприкасающихся фазах определяются законом распределения вещества, который устанавливает постоянное соотношение между равновесными концентрациями вещества в двух фазах системы при определенной температуре. Гетерогенные процессы</p> <p>Тема 5.3 Свойства гетерогенных процессов</p> <p>Механизм гетерогенных процессов сложнее гомогенных, так как взаимодействию реагентов, находящихся в разных фазах, предшествует их доставка к поверхности раздела фаз и массообмен между фазами. Поэтому скорость гетерогенных некаталитических процессов, как правило, меньше скорости гомогенных процессов. Массообмен между фазами осуществляется с помощью диффузии и характеризуется коэффициентом массообмена где D — коэффициент диффузии, δ - толщина пограничного слоя. Для расчета β, который служит описательной характеристикой и для более сложных механизмов переноса, используют критериальные уравнения. $\beta = D / \delta$ в период протекания гетерогенного процесса.</p>
Раздел 6.	<p>Тема 6.1. Физический смысл туннельного эффекта</p> <p>Физический смысл туннельного эффекта заключается в прохождении через потенциальный барьер электрона (микрочастицы), энергия которой меньше, чем высота барьера. Строгое объяснение этого эффекта дает квантовая механика (исходя из неопределенности импульса микрочастицы в области барьера). Еще в XVII в. И. Ньютон сформулировал законы классической механики, что стало великим событием в истории физики.</p> <p>Тема 6.2. Практическое применение туннельного эффекта</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>Тема 6.3. В туннельном микроскопе измеряется величина электрического тока, проходящего между сканирующим зондом и поверхностью. В зависимости от того, как проводятся измерения, микроскоп можно использовать либо для проверки локальной геометрии (насколько поверхность локально выступает вперед), либо для измерения локальных характеристик электропроводности.</p>
Раздел 7.	<p>Тема 7.1. Область применения наноструктурированных объектов</p> <p>Большинство нанообъектов имеет углеродную основу.</p>

	<p>Долгие годы считалось, что углерод может образовывать только две аллотропные кристаллические структуры - алмаз и графит.</p> <p>Тема 7.2. Свойства острейного зондового датчика. 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).</p> <p>Тема 7.3. Технические характеристики датчика наноперемещений В качестве измерительных преобразователей в нанотехнологии используется датчик наноперемещений, представляющий собой совокупность механического элемента и транзистора. Механическим элементом является брусок (наноэлектромеханическая переключатель) 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.</p> <p>Тема 7.4. Назначение датчика силы и массы В датчике силы и массы в качестве первичного измерительного преобразователя использована однослойная углеродная нанотрубка диаметром 1 - 4 нм, расположенная между двумя золотыми электродами. Размеры канавки, через которую протянута нанотрубка: ширина 500 нм, длина 1,5 мкм. Большая упругость углеродной нанотрубки позволяет ей колебаться в широком диапазоне частот (от 3 до 200 МГц). Она может также работать в качестве транзистора, что позволяет определять частоту ее колебаний и смещение относительно положения покоя. Устройство работает в вакууме, поскольку на воздухе большое число молекул будет сталкиваться с нанотрубкой или даже абсорбироваться на ней. В зависимости от воздействия внешней силы на измерительный преобразователь он изменяет свое положение. Достигнутая чувствительность устройства позволяет измерять смещение в 0,5 нм.</p> <p>Тема 7.5. Назначение и сфера применения зондового датчика Промышленностью освоены в серийном производстве десятки видов конструкции кантилеверов. Они выпускаются с одной, двумя, тремя или четырьмя консолями. Консоль может быть в плане прямоугольной или треугольной, длинной или короткой, с покрытием или без покрытия. Радиус закругления иглы зонда - от 1 до 25 нм..</p>
Раздел 8.	<p>Тема 8.1. Условия применения объектов нанотехнологий Вопросы безопасности применения нанотехнологий и воздействие их на состояние окружающей среды естественно весьма актуальны, представляют интерес для ученых и специалистов, в настоящее время слабо изучены. Имеющийся в настоящее время опыт развития</p>

	<p>нанотехнологий показал, что они могут представлять опасность для человека и окружающей среды, причем опасность эта часто своевременно не выявляется. Примером тому могут быть изменение уровня радиации по сравнению с природным уровнем, повышенная токсичность подобная применению асбеста или средства ДДТ, или концентрация наночастиц в воздухе, когда нормируется весовая концентрация при определенном фоне.</p> <p>Тема 8.2 Характеристика наночастиц Наноматериалы в окружающей среде, сводка актуальных проблем: источники и стоки наночастиц, свободные и связанные искусственные наночастицы, взаимодействие наночастиц с природными материалами, наночастицы как загрязнители окружающей среды, перенос наночастиц в природных условиях, наночастицы как переносчики загрязнителей.</p> <p>Тема 8.3. Методы снижения эффективности воздействия применения наночастиц Для разработки регламентирующих документов по экологическим проблемам использования нанотехнологий и наноматериалов необходимы систематические исследования по оценке жизненного цикла наноматериалов, включая их разработку, производство, транспортировку, применение изделий, переработку и утилизацию: перед продвижением продукта на рынок необходимо оценить воздействие полного жизненного цикла наноматериалов на окружающую среду, здоровье и безопасность людей.</p> <p>Тема 8.4 Воздействие наночастиц на окружающую среду. Нанотехнологии могут оказывать как положительное, так и отрицательное воздействие на окружающую среду и здоровье населения, поэтому параллельно с созданием новых классов наноматериалов и изучением их свойства происходит формирование государственной политики в сфере нанотехнологий и стратегии их дальнейшего развития в мире в целом и в каждой отдельной стране в отдельности.</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	Исследование обратного резерфордского рассеяния	Практические занятия	4	4	1
2	Исследование методов Оже-электронной спектроскопии	Практические занятия	4	4	2

3	Расчет погрешностей вторичной ионной масс-спектрологии	Практические занятия	4	4	2
4	Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия и ее применение в полупроводниковой электронике	Практические занятия	4	4	1
Семестр 9					
5	Зондовые методы измерений удельного сопротивления ρ	Практические занятия	4	4	2
6	Применение физико-статистических моделей отказов	Практические занятия	4	4	1
7	Исследование метода ЭДС Холла	Практические занятия	4	4	3
8	Исследование метода Ван-дер-Пау	Практические занятия	2	4	3
9	Вольтфарадные характеристики барьера Шоттки	Практические занятия	4	4	3
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)	48	24	24

Курсовое проектирование (КП, КР)			
Расчетно-графические задания (РГЗ)			
Выполнение реферата (Р)			
Подготовка к текущему контролю успеваемости (ТКУ)	50	25	25
Домашнее задание (ДЗ)			
Контрольные работы заочников (КРЗ)			
Подготовка к промежуточной аттестации (ПА)	50	25	25
Всего:	148	74	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)
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://www.booktech.ru/books/nanotehnologii	Физические основы микро- и наноэлектроники, Дурнаков А.А., /учебное пособие/, УрФУ, 2020, - 252 с.	
https://znanium.com/catalog/product/1984948	Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий. Методы и применение : монография / под ред. У. Жу, Ж. Л. Уанга, Т. П. Каминской. - 4-е изд. - Москва : Лаборатория знаний, 2021. - 601 с. - ISBN 978-5-00101-142-2.	

	- Текст : электронный.	
https://znanium.com/catalog/product/1894131 (дата обращения: 22.08.2023). – Режим доступа: по подписке.	Филимонов, В. Е. Микроскопический анализ дисперсного состава порошков : учебное пособие / В. Е. Филимонов, А. В. Мороз. - Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2020. - 76 с. - ISBN 978-5-8158-2167-5. - Текст : электронный.	
https://fs.guap.ru/science/patents/2021612957.pdf	Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021612957 Дом качества «QFD»	

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/notechnologii	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 таблице 12.

Таблица 12 – Состав материально-технической базы

№ п/п	Наименование составной части материально-технической базы	Номер аудитории (при необходимости)
1	Лаборатория искусственного интеллекта и цифровых технологий в метрологии	13-13

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.

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	Характеристика сформированных компетенций
5-балльная шкала	
«отлично» «зачтено»	– 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»	– 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.

Оценка компетенции	Характеристика сформированных компетенций
5-балльная шкала	
«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	Опишите основные типы конструкций микроскопов	ПК-1.3.3
2	Опишите дифракцию и обратное пространство	ПК-1.3.3
3	Приведите примеры использования рентгеноструктурного анализа в технологии СБИС и дискретных полупроводниковых приборов	ПК-1.3.3
4	Проанализируйте основные методы рентгеновской дифрактометрии	ПК-3.У.5
5	Проанализируйте методы трехосной рентгеновской дифрактометрии	ПК-3.У.5
6	Проанализируйте некоторые результаты динамической теории рассеяния рентгеновских лучей для кристаллов с дефектами	ПК-3.У.5
7	Опишите, какими документами стандартизованы измерения в микроэлектронике?	ПК-3.3.2
8	Опишите основные цели 102 ФЗ	ПК-3.3.2
9	Проанализируйте структурный фактор и сателлитную структуру сверхрешеток	ПК-3.У.5
10	Проанализируйте общие характеристики сверхрешеток	ПК-3.У.5
11	Чем отличаются ГОСТ от ГОСТаР??	ПК-3.3.5
12	Что такое гармонизированный стандарт??	ПК-3.3.5
13	Опишите, как проводится исследование текстурированных образцов	ПК-1.3.3
14	Опишите, что есть определение полярности граней	ПК-1.3.3

	кристаллов при дифракции в области аномальной дисперсии рентгеновских лучей	
15	Опишите физические принципы определения концентрации компонент в кристаллах и эпитаксиальных слоях	ПК-1.3.3

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
1	Расскажите, какие составляющие микроскопа образуют оптическую часть: - зеркало, конденсор, диафрагма ирис - штатив, кремальера, тубус, револьвер, предметный столик, микровинт, зеркало - окуляр, макровинт, тубус, ирисовая диафрагма, штатив, предметный столик - окуляр, объектив.	ПК-3.У.5
2	Почему иммерсионная среда улучшает условия освещения объектов? Потому что – -имеет одинаковую плотность с предметным стеклом, препятствует двойному лучепреломлению при прохождении пучка света; - имеет разную плотность с предметным стеклом, способствует двойному лучепреломлению при прохождении пучка света; - имеет одинаковую плотность с предметным стеклом, способствует двойному лучепреломлению при прохождении пучка света; - имеет разную плотность с предметным стеклом, препятствует двойному лучепреломлению при прохождении пучка света	ПК-3.У.5
3	Расскажите, для чего используется вогнутая поверхность зеркала: - при отсутствии освещения - при сильном и равномерном освещении - при слабом освещении - при работе со специальным осветителем.	ПК-3.У.5
4	Проанализируйте, в чем заключается основные достоинства электронного микроскопа? -улучшены весовые и габаритные характеристики приборов, -возможностьцифрового 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.	ПК-1.3.3

5	<p>Проанализируйте, что такое разрешающая способность микроскопа?</p> <ul style="list-style-type: none"> - общее увеличение микроскопа - минимальное расстояние между двумя точками, видимыми отдельно в оптическую систему - удвоенное произведение степеней увеличения окуляра и объектива - общее уменьшение микроскопа 	ПК-1.3.3
6	<p>Установите 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 	ПК-1.3.3
7	<p>Проанализируйте, 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. 	ПК-3.У.5
8	<p>Проанализируйте, 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. 	ПК-3.У.5
9	<p>Проанализируйте, 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. 	ПК-3.У.5
10	<p>Проанализируйте, какая серия стандартов в настоящее время является основной для стандартов из области ИТ?</p> <ul style="list-style-type: none"> a. серия 25000; b. серия 9000; c. серия 14000; d. серия 16000. 	ПК-3.3.5
11	<p>Установите основной стандарт на микроскопы</p> <ul style="list-style-type: none"> a. 12207:1995; b. 56169:2014; c. 16326:1999; d. 90003:2004; e.15288:2002. 	ПК-3.3.5
12	<p>13. Установите аббревиатуру системы технологической</p>	ПК-3.3.5

документации:	
a. ЕСТД;	
b. ЕСПД;	
c. ЕСКД;	
d. ЕСТПП.	

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.

Структура предоставления лекционного материала:

- лекции согласно разделам (табл.3) и темам (табл.4).

Учебное пособие по освоению лекционного материала имеется в изданном виде

Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий. Методы и применение : монография / под ред. У. Жу, Ж. Л. Уанга, Т. П. Каминской. - 4-е изд. - Москва : Лаборатория знаний, 2021. - 601 с. - ISBN 978-5-00101-142-2.

11.2. Методические указания для обучающихся по прохождению практических занятий

Структура и форма отчета о практической работе

Отчет о выполненной работе должен содержать: титульный лист, основную часть, выводы по результатам исследований .

На титульном листе должны быть указаны: название дисциплины, название лабораторной работы, фамилия и инициалы преподавателя, фамилия и инициалы студента, номер его учебной группы и дата защиты работы.

Основная часть должна содержать задание, результаты экспериментально-практической работы, расчетно-аналитические материалы, листинг кода/скрин экрана.

Выводы по проделанной работе должны содержать основные результаты по работе.

Требования к оформлению отчета о практической работе

Титульный лист отчета должен соответствовать шаблону, приведенному в секторе нормативной документации ГУАП <https://guap.ru/standart/doc>

Оформление основной части отчета должно быть оформлено в соответствии с ГОСТ 7.32-2017. Требования приведены в секторе нормативной документации ГУАП <https://guap.ru/standart/doc>

При формировании списка источников студентам необходимо руководствоваться требованиями стандарта ГОСТ 7.0.100-2018. Примеры оформления списка источников приведены в секторе нормативной документации ГУАП. <https://guap.ru/standart/doc>

Структура и форма отчета о практической работе

Отчет о лабораторной работе должен содержать: титульный лист, основную часть, выводы по результатам исследований .

На титульном листе должны быть указаны: название дисциплины, название лабораторной работы, фамилия и инициалы преподавателя, фамилия и инициалы студента, номер его учебной группы и дата защиты работы.

Основная часть должна содержать задание, результаты экспериментально-практической работы, расчетно-аналитические материалы.

Выводы по проделанной работе должны содержать результаты экспериментов, проведенных студентами на стендах, их рефлексированные выводы по значимости эксперимента, анализу видов и последствий потенциальных погрешностей, которые могли влиять на «чистоту эксперимента». Также вывод должен содержать ответ на вопрос – какие основные наиболее сложные элементы методики им было необходимо выполнить и с чем данная сложность была связана.

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.

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).

1. Подготовка лекционного материала по темам, представленным в таблице 3, и по темам, отмеченных * в соответствии с литературой, представленной в таблице 9.

2. Подготовка к контрольным работам в соответствии с методическими указаниями
В течение семестры студенты

- защищают практические работы (9 шт);

- выполняют тестирования по материалам лекции в среде LMS.

Для текущего контроля успеваемости используются тесты, приведенные в таблице

18.

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.

В течение семестра студенты

- решают задания в формате тестирования;

- защищают практические работы (9 шт)

Для текущего контроля успеваемости необходимо представить не менее 1 протокола о работе после 4-х часов проведенных лабораторных работ. Также в качестве защиты работ может быть

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:

– 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».

Обязательно для заполнения преподавателем: указываются требования и методы проведения промежуточной аттестации.

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