

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 12.09.2021 20:36:55  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84

**Рабочая программа дисциплины**  
**ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ**

Направление подготовки

**18.03.01 Химическая технология**

Направленность образовательной программы

**Химическая технология неорганических веществ**

Профессиональный модуль

**Химическая технология материалов и изделий электроники и микроэлектроники**

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Разработчики		доцент А.А.Малков
		доцент Е.А.Соснов

Рабочая программа дисциплины «Химические основы нанотехнологий» обсуждена на заседании кафедры химической нанотехнологии и материалов электронной техники протокол от 02.12.2016 № 3

Заведующий кафедрой

А.А.Малыгин

Одобрено учебно-методической комиссией факультета химии веществ и материалов протокол от 2016 №

Председатель

С.Г.Изотова

СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки «Химическая технология» (неорганических веществ)		профессор А.А.Малыгин
Директор библиотеки		Т.Н.Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И.Богданова
Начальник УМУ		С.Н.Денисенко

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	04
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы.....	05
3. Объем дисциплины .....	06
4. Содержание дисциплины.....	07
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.....	07
4.2. Занятия лекционного типа.....	08
4.3. Занятия семинарского типа.....	13
4.3.1. Семинары, практические занятия .....	13
4.3.2. Лабораторные занятия.....	14
4.4. Самостоятельная работа.....	16
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	17
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.....	17
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.....	18
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	19
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.....	19
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.....	20
10.1. Информационные технологии.....	20
10.2. Программное обеспечение.....	20
10.3. Информационные справочные системы.....	20
11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	21
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.....	21
Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации....	22

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Для получения планируемых результатов освоения образовательной программы магистратуры обучающийся в соответствии с ФГОС ВО по направлению "Химическая технология" (18.03.01) (Утв. Приказом Минобрнауки России от 11.08.2016 № 1005) должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Коды компетенции	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
<b>ОПК-3</b>	Готовность использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные химические методы получения наночастиц, нитевидных и поверхностных наноструктур;</li> <li>- области применения наноматериалов.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формулировать круг практических задач, решаемых с помощью химической и туннельно-зондовой нанотехнологий;</li> <li>- работать с научно-технической литературой.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основами химических методов получения наночастиц и поверхностных наноструктур;</li> <li>- способами регулирования их физико-химических свойств.</li> </ul>
<b>ПК-18</b>	Готовность использовать знание свойств химических элементов, соединений и материалов на их основе для решения задач профессиональной деятельности	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- способы регулирования физико-химических свойств твердофазных наноматериалов различного генезиса;</li> <li>- возможности различных зондовых методов, их место в ряду физико-химических методов исследования функциональных наноматериалов.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- устанавливать корреляции между составом-строением-свойствами низкоразмерных слоистых твердофазных систем.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- оборудованием туннельно-зондовых нанотехнологий;</li> <li>- туннельно-зондовыми технологиями конструирования наноматериалов и наносистем.</li> </ul>
<b>ПК-19</b>	Готовность использовать знания основных физических теорий для решения возникающих физических задач, самостоятельного приобретения физических знаний, для понимания	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- физические принципы, лежащие в основе различных методов туннельно-зондовой микроскопии;</li> </ul>

Коды компетенции	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
	<p>принципов работы приборов и устройств, в том числе выходящих за пределы компетентности конкретного направления</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- методические особенности проведения исследований нанообъектов и наноматериалов различной химической природы и строения;</li> <li>- возможности туннельно-зондовой нанотехнологии по формированию наноразмерных структур элементной базы нанoeлектроники.</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить лабораторные исследования в области химической нанотехнологии;</li> <li>- проводить исследования наноразмерных материалов с использованием оборудования сканирующей зондовой микроскопии,</li> <li>- обрабатывать, анализировать и корректно интерпретировать полученные результаты с использованием современного программного обеспечения.</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- туннельно-зондовыми методами исследования наноматериалов;</li> <li>- математическим аппаратом обработки и анализа экспериментальных данных;</li> <li>- методами метрологической аттестации наноматериалов.</li> </ul>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к профессиональному модулю по выбору Б1.В.ДВ.03.03. «Химическая технология материалов и изделий электроники и нанoeлектроники», является обязательной (Б1.В.ДВ.03.03.01.) и изучается на 3 курсе обучения в 5 семестре.

Изучение дисциплины базируется на знаниях и умениях, полученных при изучении курсов "Общая и неорганическая химия", "Физика", "Математика", "Прикладная механика", "Материаловедение", "Информатика".

Компетенции, приобретенные в результате освоения дисциплины, будут использованы при выполнении и защите выпускной квалификационной работы, при решении научно-исследовательских, проектно-конструкторских, производственно-технологических задач.

### 3. Объем дисциплины

Вид учебной работы	Всего, академических часов
	Очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц / академических часов)	<b>8 / 288</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>150</b>
занятия лекционного типа	72
занятия семинарского типа, в т.ч.	72
семинары, практические занятия	18
лабораторные работы	54
курсовое проектирование (КР или КП)	-
КСР	6
другие виды контактной работы	-
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>102</b>
<b>Формы текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе)	-
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)	<b>зачет, экзамен (36)</b>

#### 4. Содержание дисциплины.

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, академ. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы		
1	Введение. Основные определения и понятия	2	2			ОПК-3
2	Структурно-химические последствия перехода вещества в твердое состояние	6	2		4	ОПК-3
3	Формирование остовно-функционального строения химической модели твердого вещества	6	2		6	ПК-18
4	Основные направления химических превращений твердых веществ	4			4	ПК-18
5	Особенности гомологии твердых веществ	2	2			ОПК-3
6	Реакции молекулярного наслаивания как химические превращения в гомологическом ряду твердых веществ.	4	2		3	ОПК-3
7	Химические основы синтеза наноструктур на поверхности твердофазных матриц методом молекулярного наслаивания.	6	2	12	18	ОПК-3
8	Химическая нанотехнология на принципах метода молекулярного наслаивания в твердофазном материаловедении	6	2	15	20	ПК-19
9	Классификация методов СЗМ	2			3	ОПК-3
10	Сканирующая туннельная микроскопия	4		3	4	ПК-19
11	Атомно-силовая микроскопия	14	2	9	14	ПК-19
12	Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия	2			12	ПК-19
13	Сканирующая ионная микроскопия	2				ПК-19
14	Методика проведения исследований методами СЗМ	2		12	6	ПК-18
15	Метрология измерений методами СЗМ	2	2			ПК-19
16	Формирование наноразмерных структур	6		3	8	ОПК-3
17	Внедрение СЗМ в технологические процессы	2				ПК-19

#### 4.2. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<p><b>Введение. Основные определения и понятия</b>            Предмет курса и его задачи. Определение нанотехнологии, наноматериала, их принципиальные отличия от макрообъектов, задачи нанотехнологии. Роль химии и химической технологии в области создания тонкопленочных и других видов материалов и изделий электронной техники. Некоторые исторические аспекты развития электронной и вакуумной техники. Роль российских ученых в создании новых видов технологий и оборудования. Основные тенденции в развитии технологии и оборудования в электронике и других областях материаловедения, роль химии поверхности, предпосылки появления нанoeлектроники, наноматериалов, химической нанотехнологии.</p>	2	Лекция-беседа
2	<p><b>Структурно-химические последствия перехода вещества в твердое состояние</b>            Особенности химических превращений твердых веществ и пути получения твердых веществ. Структурно-химические последствия перехода вещества в твердое состояние. Образование надмолекул, их количественные характеристики. Термодинамические условия образования первой надмолекулы. Дисперсные и макроскопические твердые тела. Влияние размера надмолекул на свойства твердого вещества. Химические методы получения наноматериалов.</p>	6	Лекция-беседа
3	<p><b>Формирование остовно-функционального строения химической модели твердого вещества и полинаправленность его химических превращений</b>            Взаимосвязь состава и химического строения твердого вещества. Формирование остовно-функционального строения химической модели твердого вещества. Обнаружение остова в структуре твердых веществ. Выделение остова из твердых веществ. Образование остова путем соединения SE. Размерность остова и координационное число (функциональность SE остова). Классификация структур надмолекулярных веществ. Молекулярные вещества. Атомные вещества. Атомно-молекулярные вещества. Особенности химического состава, строения и химического преобразования твердого вещества по мере увеличения степени полимеризации.</p>	6	Лекция-беседа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
4	<p><b>Основные направления химических превращений твердых веществ. Принцип стехиометрии твердых тел.</b></p> <p>Реакции функционалов и основные реакции твердого вещества. Радикалы на поверхности и структурно-химические последствия реакций радикалов. Функциональные ряды, их свойства и система функциональных превращений в гомологическом ряду твердых веществ. Факторы, провоцирующие представление о нестехиометричности твердых веществ.</p>	4	Лекция-беседа
5	<p><b>Особенности гомологии твердых веществ</b></p> <p>Нормальные гомологические ряды. Химические превращения в нормальном гомологическом ряду трехмерных (Ш) твердых веществ. Систематизация продуктов химических превращений в структурном гомологическом ряду твердых веществ. Взаимосвязь гомологических рядов твердых веществ.</p>	2	Лекция-беседа
6	<p><b>Реакции молекулярного наслаивания как химические превращения в гомологическом ряду твердых веществ.</b></p> <p>Формирование монослойных структурных единиц. Различные типы реакций МН. Состав и химическое строение продуктов реакций МН. Принципы матрицы и функционального соответствия. Структурно-химические особенности формирования монослоя. Концентрационный фактор. Классификация реакций МН. Стехиометрические отношения компонентов в продуктах МН.</p>	4	Лекция-беседа
7	<p><b>Химические основы синтеза наноструктур на поверхности твердофазных матриц методом молекулярного наслаивания.</b></p> <p>Принципы метода молекулярного наслаивания. Формирование многослойных и многозонных структур методом молекулярного наслаивания. Программирование состава и толщины зон с точностью в один монослой полиэдров. Релаксационные процессы в сверхтонких слоях. Перекрытие матричной и поверхностной релаксационных областей в первичном слое. Изменение координации структурообразующих атомов. Релаксационная модель в сверхтонких слоях.</p>	6	Лекция-беседа
8	<p><b>Химическая нанотехнология на принципах метода молекулярного наслаивания в твердофазном материаловедении.</b></p> <p>Размерно-структурные эффекты в продуктах молекулярного наслаивания. Эффект монослоя. Эффект перекрытия подложки. Эффект</p>	6	Лекция-беседа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	взаимного согласования структуры поверхности подложки и наращиваемого слоя. Эффект многокомпонентной системы. Специфические свойства сверхтонких слоев. Получение функциональной поверхности с заданной реакционной способностью. Регулирование физико-химических свойств поверхностных структур. Регулирование параметров пористой структуры твердого тела и его приповерхностного слоя. Термическая устойчивость тонкослойных систем. Аппаратурное оформление процессов, реализующих технологию МН на поверхности различных матриц.		
9	<b>Классификация методов СЗМ</b> Сравнительная характеристика методов микроскопического исследования материалов. Методы сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ): области применения, возможности и ограничения. Краткий обзор истории СЗМ. Устройство и принципы работы СЗМ.	2	Лекция-беседа
10	<b>Сканирующая туннельная микроскопия</b> Физические принципы работы сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). Устройство и принцип работы туннельного сенсора. Одномерная модель протекания туннельного тока. Плотность тока при различных напряжениях между образцом и зондом. Латеральное разрешение СТМ. Эффект последнего атома. СТМ-моды: режимы постоянного тока и постоянной высоты. Методики изготовления и особенности применения различных зондов СТМ. Возможности СТМ при исследовании материалов. Сканирующая туннельная спектроскопия (СТС). Вольт-амперная характеристика туннельного контакта. СТС работы выхода и плотности состояний на поверхности образца. СТС адсорбированных атомов и нанокластеров на поверхности, кулоновская блокада, резонансное туннелирование. V-модуляция, Z-модуляция.	4	Лекция-беседа
11	<b>Атомно-силовая микроскопия</b> Атомно-силовая микроскопия (АСМ) Устройство и физические основы работы сенсора АСМ. Кантилеверы. Взаимодействие АСМ зонда с поверхностью твердого тела на микроскопическом уровне. Методы изготовления и особенности применения различных видов АСМ-зондов. Расчет параметров зондов АСМ. Особенности конструкции СЗМ. Подвод зонда к образцу. Контроль позиционирования зонда относительно образца. Устройство,	14	Лекция-беседа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	<p>принципы работы и характеристики СЗМ сканеров. Характеристики пьезоэлектрических материалов. Нелинейность, гистерезис, ползучесть, дребезг, усталость. Методы линеаризации характеристик сканеров. Артефакты пьезокерамики и конструкции сканера. Конволюционные артефакты.</p> <p>Устройство и принципы работы системы обратной связи (ОС) СЗМ. Аналоговая и цифровая ОС. Теория PID регуляторов. Постоянные цепи ОС: пропорциональная, интегральная, дифференциальная. Виброустойчивость. Шумоизоляция. Математическая обработка и визуализация данных СЗМ. Выравнивание. Статистический анализ СЗМ данных. Параметры шероховатости. Цифровая фильтрация. Фурье-анализ. Фрактальный анализ.</p> <p>Контактная АСМ мода (Contact Mode). Режимы постоянной силы и постоянной высоты. Режим латеральной силы (Lateral Force Mode, LFM). Атомно-силовая акустическая микроскопия (Atomic Force Acooustic Microscopy, AFAM). Динамические контактные методики.</p> <p>Бесконтактная АСМ мода (Non-Contact Mode). Физические принципы работы зонда АСМ в бесконтактной моде. Линейная теория колебаний кантилевера. Добротность кантилевера. Режим периодического контакта (Tapping Mode). Режим фазового контраста (Phase Imaging Mode).</p> <p>Многопроходные моды. Статическая и динамическая магнитная силовая микроскопия (Magnetic Force Microscopy, MFM). Электросиловая микроскопия (Electric Force Microscopy, EFM). Сканирующая Кельвиновская микроскопия (Kelvin Mode Microscopy). Сканирующая емкостная микроскопия (Scanning Capacitance Microscopy, SCM). Сканирующая термическая микроскопия (Thermal Scanning Microscopy, TSM). Микроскопия сопротивления растекания (Spreading Resistance Microscopy).</p> <p>Локальная силовая спектроскопия. Капиллярные и адгезионные силы. Зависимость силы взаимодействия между зондом и поверхностью образца от расстояния. Измерение упругих и адгезионных свойств поверхности твердых тел. Локальное наноиндентирование.</p>		
12	<p><b>Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия</b></p> <p>Классическая, конфокальная и сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия</p>	2	Лекция-беседа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	(СБОМ). Теория дифракции света на субволновой апертуре. Распространение света в нестационарных оптических волноводах. Взаимодействие света с веществом. Конструкции и режимы работы СБОМ. Устройство и методы изготовления зондов СБОМ. Пьезоэлектрический сенсор сдвиговой силы (Tuning Fork Shear-Force Sensor)		
13	<p><b>Сканирующая ионная микроскопия</b></p> <p>Физические принципы метода сканирующей ионной микроскопии (СИМ). Методы изготовления нанопипеток. Чувствительность СИМ к топографическим объектам. Управление напором электролита Аналитические модели измерений. Модуляционные методики. Исследование мембранных материалов. Метод локальной фиксации потенциала биологических объектов (patch-clamp). Определение электрофизических и прочностных свойств материалов. Комбинированные методы исследования.</p>	2	Лекция-беседа
14	<p><b>Методика проведения исследований методами СЗМ</b></p> <p>Пробоподготовка наноразмерных и наноструктурированных материалов для СЗМ-исследований. СЗМ в различных средах (вакууме, газах, жидкостях). СЗМ в сверхвысоком вакууме. Влияние магнитных полей. СЗМ в жидкостной, электрохимической, газохимической ячейке. Применение СЗМ (СТМ, АСМ, СБОМ) для исследования твердотельных наноструктур, в материаловедении металлов, полупроводниковых, диэлектрических, пьезоэлектрических, полимерных материалов, в технологических исследованиях, химии, биологии.</p>	2	Лекция-беседа
15	<p><b>Метрология измерений методами СЗМ</b></p> <p>Правовое регулирование метрологической деятельности. Стандартизация в области нанотехнологий. Эталонные установки метрологической аттестации наноструктур. Меры нанометрового диапазона, калибровочные решетки, тестовые образцы. Методики поверки и калибровки зондовых микроскопов. Методика измерения эффективной шероховатости поверхности.</p>	2	Лекция-беседа
16	<p><b>Формирование наноразмерных структур</b></p> <p>Манипуляции атомами и молекулами. СЗМ-наноитография. Наночеканка и наногравировка. Полимеризация фото- и электронно-резистивных материалов. Анодно-окислительная, электронно-лучевая, термическая и перьевая наноитография. Локальная зарядка поверхности, глубина модифицирования.</p>	6	Лекция-беседа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	<p>Формирование наноразмерных структур с помощью проводящего зонда СЗМ в вакууме, жидких и газовых средах. Пластическая деформация подложки. Модифицирование среды между зондом и подложкой, массоперенос.</p> <p>Элементная база нанoeлектроники. Формирование квазиодномерных микроконтактов и микропроводников. Создание регулируемых элементов: резисторы, варисторы, транзисторы. Нанотехнологические устройства на базе СЗМ.</p>		
17	<p><b>Внедрение СЗМ в технологические процессы</b></p> <p>Тенденции развития технологии и оборудования СЗМ для исследования и производства наноструктурированных материалов и изделий нанoeлектроники. Кластеры нанолокальных технологий.</p>	2	Лекция-беседа

#### 4.3. Занятия семинарского типа.

##### 4.3.1. Семинары, практические занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<p><b>Определение нанотехнологии, наноматериала, их принципиальные отличия от макрообъектов, задачи нанотехнологии.</b></p> <p>Роль химии и химической технологии в области создания тонкопленочных и других видов материалов и изделий электронной техники.</p>	2	Групповая научная дискуссия
2	<p><b>Структурно-химические последствия перехода вещества в твердое состояние.</b></p> <p>Влияние размера надмолекул на свойства твердого вещества</p>	2	Разбор конкретных ситуаций
3	<p><b>Формирование остожно-функционального строения химической модели твердого вещества и полинаправленность его химических превращений.</b></p> <p>Химическая модель твердого вещества и использование её для описания химически превращений твердотельных матриц</p>	2	Разбор конкретных ситуаций
5	<p><b>Особенности гомологии твердых веществ</b></p> <p>Взаимосвязь гомологических рядов твердых веществ. Макромолекулярных превращений твердых веществ и синтез новых продуктов. Расчет маршрутов получения полифункциональных слоев на поверхности твердых тел.</p>	2	Расчетная работа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
6	<b>Реакции молекулярного наслаивания как химические превращения в гомологическом ряду твердых веществ.</b> Анализ различных типов реакций молекулярного наслаивания. Рассмотреть структурно-химические особенности формирования монослоя. Макромолекулярные превращения твердых веществ и синтез новых продуктов.	2	Групповая научная дискуссия
7	<b>Химические основы синтеза наноструктур на поверхности твердофазных матриц методом молекулярного наслаивания.</b> Регулирование физико-химических свойств поверхностных структур. Что такое эффект монослоя? Привести пример его проявления	2	Групповая научная дискуссия
8	<b>Химическая нанотехнология на принципах метода молекулярного наслаивания в твердофазном материаловедении.</b> Технологические принципы, лежащие в основе реализации молекулярного наслаивания при формировании многослойных и многозонных структур. Программирование состава и толщины отдельных зон нанопокровов. Температурный фактор в ходе синтеза методом МН. Тенденции развития технологии и оборудования в производстве материалов и изделий электронной техники.	2	Групповая научная дискуссия
11	<b>Атомно-силовая микроскопия</b> Расчет рабочих характеристик кантилеверов	2	Расчетная работа
15	<b>Метрология измерений методами СЗМ</b> Метрология измерений наноразмерных объектов	2	Групповая научная дискуссия

#### 4.3.2. Лабораторные занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Примечание
7	<b>Химические основы синтеза наноструктур на поверхности твердофазных матриц методом молекулярного наслаивания.</b> Контроль синтеза оксидных наноструктур на поверхности дисперсных материалов методом МН «in situ»	6	
	Синтез ванадийоксидных наноструктур на поверхности кремнезема	6	
8	<b>Химическая нанотехнология на принципах метода молекулярного наслаивания в твердофазном материаловедении</b> Регулирование адсорбционно-структурных характеристик твердофазных материалов	6	

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Примечание
	Регулировании фазового состава титаноксидных нанопокровов	3	
	Влияние температуры синтеза методом МН на координационное состояние титаноксидных наноструктур на различных твердотельных дисперсных матрицах.	3	
	Введение нанодобавок - замедлителей горения полимеров.	3	
10	<b>Сканирующая туннельная микроскопия</b> Изучение возможностей различных режимов СТМ	3	
11	<b>Атомно-силовая микроскопия</b> Подготовка прибора NanoEducator к работе. Изучение морфологии поверхности стандартного образца методами СЗМ.	3	
	Влияние формы острия зонда на изображение поверхности.	3	
	Изучение возможностей различных режимов АСМ	2	
	Анализ и обработка изображений, полученных при исследовании материалов методами АСМ.	1	
14	<b>Методика проведения исследований методами СЗМ</b> Исследование биологических объектов методом атомно-силовой микроскопии.	3	
	Лабораторные работы из списка: 1. АСМ исследование объектов электронной промышленности (кремниевые пластины с разным рельефом, CD и DVD диски). 2. Исследование морфологии поверхности кремниевой пластины на разных стадиях механической обработки. 3. Исследование волокнистых материалов до и после нанесения функциональных нанопокровов. 4. Визуализация поверхности полимерных пленок до и после химического модифицирования. 5. Исследование дисперсных наноматериалов методом атомно-силовой микроскопии. 6. Применение АСМ для оценки размеров каналов и исследования морфологии поверхности пористых материалов. 7. Исследование поверхности композиционного материала с диспергированным наполнителем.	9	
16	<b>Формирование наноразмерных структур</b> Зондовая нанолитография.	3	

#### 4.4. Самостоятельная работа обучающихся.

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
2	Проблемы индивидуализации веществ в твердом состоянии.	4	зачет
3	Факторы, провоцирующие представления о несоблюдении законов стехиометрии для твердых веществ.	6	зачет
4	Расчет маршрутов получения полифункциональных слоев на поверхности твердых тел.	4	зачет
6	Определение стехиометрических отношений компонентов в поверхностных сверхтонких слоях	3	зачет
7	Однородная и неоднородная поверхность. Виды функций теплоты адсорбции от степени заполнения поверхности.	6	зачет
	Влияние размера наночастиц и поверхностных наноструктур на физико-химические свойства.	12	зачет
8	Практическая реализация технологии МН-ALD	6	зачет
	Тенденции развития технологии и оборудования в производстве материалов и изделий электронной техники	8	зачет
	Применение наноматериалов в современной электронике при создании функциональных диэлектрических, полупроводниковых и проводящих нанопокровов (металлические пленки титана, меди, тантала, алюминия; нитриды и оксонитриды кремния, алюминия, галлия, титана, тантала; оксиды цинка, кремния, алюминия и др.).	6	зачет
9	Сравнительные возможности различных микроскопических методов (оптическая микроскопия, сканирующая и просвечивающая электронные микроскопии, сканирующая зондовая микроскопия)	3	зачет
10	Туннельный эффект в квазиклассическом приближении. Решение одномерной и трехмерной задач	4	зачет
11	Определение диссипативной энергии по данным атомно-силовой микроскопии в режиме фазового контраста.	6	зачет
	Исследование механических свойств материалов с помощью атомно-силовой микроскопии	4	зачет
	Количественный анализ изображений сканирующей зондовой микроскопии	4	зачет
12	Методы оптической микроскопии: классическая, конфокальная, ближнепольная. Физические основы, возможности и разрешающая способность	4	зачет
	Физические основы преодоления оптического дифракционного предела. Сканирующий ближнепольный оптический микроскоп	4	зачет
	Безапертурная сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия	4	зачет
14	Методики зондовой микроскопии для исследования нанопористых материалов	6	зачет
16	Физические основы литографии в различных режимах сканирующей зондовой микроскопии	8	зачет

## **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.**

1. Ежовский, Ю.К. Технология функциональных пленочных наноматериалов и наноструктур: учебное пособие./ Ю.К. Ежовский - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2013.- 92 с.
2. Захарова, Н.В. Метрологическое обеспечение измерений наноразмерных объектов: учебное пособие./ Н.В.Захарова, Е.А.Соснов - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2014.- 92 с. (ЭБ)
3. Исследование наноструктур с применением сканирующей зондовой микроскопии: учебное пособие./ К.Л.Васильева [и др.]. - СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2010.- 64 с. (ЭБ)
4. Малыгин, А.А. Свойства и применение функциональных наноматериалов: Текст лекций/ А.А. Малыгин, А.А. Малков - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2013.- 71 с.
5. Малыгин, А.А. Химическая сборка функциональных наноматериалов методом молекулярного наслаивания: конспект лекций / А.А.Малыгин- СПб: СПбГТИ(ТУ), 2012.- 74 с. (ЭБ).
6. Рентгеновские трубки: устройство применение, проблемы электрической прочности и нанотехнологические подходы ее повышения: учебное пособие./ Г.Л.Брусиловский [и др.]. - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2012.- 184 с. (ЭБ).
7. Соснов, Е.А. Исследование дисперсных наноматериалов методом атомно-силовой микроскопии: методические указания к лабораторной работе./ Е.А.Соснов, К.Л.Васильева, А.А.Малыгин - СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2011.- 26 с.
8. Соснов, Е.А. Исследование поверхности материалов методом атомно-силовой микроскопии: методические указания к лабораторной работе./ Е.А.Соснов - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2006.- 36 с.
9. Соснов, Е.А. Методы зондовой микроскопии. Сканирующая ионная микроскопия: учебное пособие./ Е.А.Соснов - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2015.- 52 с.

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте: <http://media.technolog.edu.ru>

## **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.**

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («зачтено») освоения предусмотренных элементов компетенций. Результаты дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций превышен (достигнут) пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе.

Промежуточная аттестация по дисциплине – в конце 5 семестра в виде зачета и экзамена (оба - в устной форме). Зачет предусматривает выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций по результатам выполнения практических и лабораторных работ. Экзамен включает 2 вопроса из различных тем пройденного материала и 1 задачу по интерпретации СЗМ-изображений. Время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин.

Результаты зачета включаются в приложение к диплому.

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1.

Примеры вопросов, предлагаемых на зачете:

1. Понятие о химической технологии наноматериалов, ее определение, задачи, решаемые с ее помощью.
2. Влияние размера надмолекул на свойства твердого вещества. Привести примеры.
3. Основные особенности остовно-функционального химического строения твердых веществ и полинаправленность их химических превращений.
4. Функциональные реакции и их классификация.
5. Основные принципы метода МН.

6. Технологические стадии осуществления одного цикла МН.
7. Основные этапы развития СЗМ.
8. Основы атомно-силовой микроскопии.
9. Многопроходные методики. Электрическая силовая микроскопия (ЭСМ), магнитно-силовая микроскопия (МСМ), метод зонда Кельвина.
10. Особенности исследования поверхности полимерных материалов методами СЗМ.
11. Методология качественной оценки силы адгезии нанопокрyтия к поверхности подложки с применением атомно-силового микроскопа.

**7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.**

**Основная литература.**

1. Беляков, А.В. Химические основы нанотехнологии твердофазных материалов различного назначения: учебное пособие/ А.В. Беляков, Е.В. Жариков, А.А. Малыгин. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2006.- 102 с.
2. Елисеев, А.А. Функциональные наноматериалы/ А.А. Елисеев, А.В. Лукашин; под ред. Ю.Д. Третьякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 452 с.
3. Захарова, Н.В. Метрологическое обеспечение измерений наноразмерных объектов: учебное пособие./ Н.В.Захарова, Е.А.Соснов - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2014.- 92 с. (ЭБ)
4. Малыгин, А.А. Свойства и применение функциональных наноматериалов: Текст лекций/ А.А. Малыгин, А.А. Малков - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2013.- 71 с. (ЭБ)
5. Малыгин, А.А. Химическая сборка функциональных наноматериалов методом молекулярного наслаивания: конспект лекций / А.А.Малыгин- СПб: СПбГТИ(ТУ), 2012.- 74 с. (ЭБ).
6. Рентгеновские трубки: устройство применение, проблемы электрической прочности и нанотехнологические подходы ее повышения: учебное пособие./ Г.Л.Брусиловский [и др.]. - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2012.- 184 с. (ЭБ).
7. Соснов, Е.А. Методы зондовой микроскопии. Сканирующая ионная микроскопия: учебное пособие./ Е.А. Соснов. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2015.- 52 с. (ЭБ)

**Дополнительная литература.**

1. Гусев, А.И. Наноматериалы. Наноструктуры. Нанотехнологии / А.И.Гусев.- М.: Физматлит, 2009.- 415 с.
2. Научные основы нанотехнологий и новые приборы: учебник – монография. Пер. с англ.: Научное издание / Р. Келсалл, А. Хэмли, М. Геогеган (ред.). - Долгопрудный: ИД «Интеллект», 2011. – 528 с.
3. Миронов, В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии / В.Л. Миронов.- М.: Техносфера, 2005.- 144 с.
4. Нанотехнологии в электронике/ Под ред. Ю.А.Чаплыгина.- М.: Техносфера, 2005. - 446 с.
5. Неволин, В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике / В.К.Неволин - М.: Техносфера, 2006.- 159 с.
6. Рамбиди, Н.Г. Физические и химические основы нанотехнологий/ Н.Г. Рамбиди, А.В. Березкин. - М.: Физматлит. 2009. – 456 с.
7. Соснов, Е.А. Исследование дисперсных наноматериалов методом атомно-силовой микроскопии: методические указания к лабораторной работе./ Е.А.Соснов, К.Л.Васильева, А.А.Малыгин - СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2011.- 26 с. (ЭБ)
8. Старостин, В.В. Материалы и методы нанотехнологии / В.В.Старостин.- М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015.- 434 с. (ЭБС)
9. Суздаев, И.П. Нанотехнология: Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов/ И.П. Суздаев.- Изд 2-е испр. – М.: Книжный дом «ЛИБРОМ», 2009. – 592 с.

**Вспомогательная литература.**

1. Алесковский, В.Б. Стехиометрия и синтез твердых соединений/ В.Б. Алесковский. - Л.: Наука, 1976.- 140 с.

2. Алесковский, В.Б. Химия твердых веществ: учебное пособие для вузов/ В.Б. Алесковский. - М.: Высшая школа, 1978 - 256 с.
3. Алесковский, В.Б. Курс химии надмолекулярных соединений: учебное пособие/ В.Б. Алесковский. - Л.: ЛГУ, 1990.- 284 с.
4. Алесковский, В.Б. Химия надмолекулярных соединений/ В.Б. Алесковский. - СПб.: СПбГУ, 1996.- 256 с.
5. Алесковский, В.Б. Химико-информационный синтез. Начатки теории. Методы: учебное пособие/ В.Б. Алесковский. - СПб.: Изд-во СПбУ, 1997. – 72с.
6. Алёхин, А.П. Физико-химические основы субмикронной технологии/ А.П. Алёхин – СПб: Изд-во С-Петербургского ун-та, 1999.- 200 с.
7. Алёхин, А.П. Основы субмикронной технологии/ А.П. Алёхин. - М.: МИФИ, 1996.- 245 с.
8. Кобаяси, Н. Введение в нанотехнологию/ Н. Кабаяси.- Пер. с японск. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007.- 134 с.
9. Кольцов, С.И. Состав и химическое строение твердых веществ: учебное пособие/ С.И. Кольцов. - Л.: ЛТИ им. Ленсовета, 1987. - 84 с.
10. Кольцов, С.И. Реакции молекулярного наслаивания: текст лекций/ С.И. Кольцов. - СПб.: СПбТИ, 1992.- 63 с.
11. Кузнецов, М.В. Современные методы исследования поверхности твердых тел/ М.В. Кузнецов.– Екатеринбург: Инст. хим. твердого тела УрО РАН, 2010.– 43 с.
12. Наноматериалы. Нанотехнология. Наносистемная техника. Мировые достижения за 2005г./ под ред. П.П. Мальцева. - М.: Техносфера, 2006.- 149 с.
13. Наноматериалы: свойства и перспективные приложения/ Отв. ред. А.Б. Ярославцев – М.: Научный мир, 2015.- 456 с.
14. Практикум по химии твердых веществ: учебное пособие; под ред. С.И. Кольцова [и др.]. - Л.: Изд. ЛГУ, 1985. - 224 с.
15. Пул, Ч. – мл. Нанотехнологии/ Ч. Пул, Ф.Оуэн. - М.: Техносфера, 2007.- 375 с.
16. Соснов, Е.А. Исследование поверхности материалов методом атомно-силовой микроскопии: методические указания к лабораторной работе./ Е.А.Соснов - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2006.- 36 с.
17. Физические методы исследования наноструктур и поверхности твердого тела: учебное пособие/ В.И. Троян, М.А. Пушкин, В.Д. Борман, В.Н. Тронин.- М.: МИФИ, 2008.- 260 с.
18. Шабанова, Н.А. Химия и технология нанодисперсных оксидов. Учебное пособие./ Н.А. Шабанова, В.В. Попов, П.Д. Саркисов. - М.: Академкнига, 2007.– 309 с.

**8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

1. Учебный план, РПД и учебно-методические материалы - [media.technolog.edu.ru](http://media.technolog.edu.ru)
2. ЭБ "Библиотех" СПбГТИ(ТУ) (доступ к сайту библиотеки);
3. Информационно-справочные поисковые системы и БД в сети Интернет;
4. [www.ntmdt.ru](http://www.ntmdt.ru)
5. [www.nanoscopy.org](http://www.nanoscopy.org)

**9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

Все виды занятий по дисциплине проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

1. СТО СПбГТИ(ТУ) 026-2016. Положение о бакалавриате./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2016.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2016.- 38 с.
2. СТП СПбГТИ 040-02. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.07.2002.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2002.- 7 с.
3. СТО СПбГТИ(ТУ) 018-2014. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2014.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2014.- 16 с.

4. СТО СПбГТИ(ТУ) 020-2011. Виды учебных занятий. Лабораторные работы. Общие требования к организации и проведению занятий./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.07.2011.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2011.- 21 с.

5. СТП СПбГТИ 048-2009. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2010.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2009.- 6 с.

6. СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. Порядок организации и проведения зачётов и экзаменов./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.06.2015. - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2015.- 45 с.

В ходе лекционных занятий магистранту необходимо готовить конспект лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Провести проверку терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь.

Аудиторная часть курса должна сопровождаться интенсивной самостоятельной работой магистрантов с рекомендованными преподавателями литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет по всем разделам дисциплины. Планирование времени для изучения дисциплины необходимо осуществлять на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо в рамках внеаудиторной самостоятельной работы регулярно дополнять сведениями из литературных источников, приведенных в разделе 7 настоящей программы. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, требующих запоминания и необходимых для освоения следующих разделов учебной дисциплины. Для расширения и углубления знаний по учебной дисциплине необходимо активно использовать информационные ресурсы сети Интернет.

Для работы на практических занятиях необходимы: проработка рабочей программы, уделив особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины, и конспектирование источников, а также изучение конспекта лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам и просмотр рекомендуемой литературы.

Промежуточная аттестация по дисциплине – в конце 5 семестра в виде зачета и экзамена (оба - в устной форме). Зачет предусматривает выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций по результатам выполнения практических и лабораторных работ. Экзамен включает 2 вопроса из различных тем пройденного материала и 1 задачу по интерпретации СЗМ-изображений. Время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин. Результаты зачета и экзамена включаются в приложение к диплому.

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

### 10.1. Информационные технологии.

Чтение лекций с использованием слайд-презентаций, видеоматериалов, виртуальных лабораторий и баз данных.

### 10.2. Программное обеспечение.

Представление лекционного материала:

ОС – не ниже MS Windows XP SP3

MS PowerPoint 97 и выше

### 10.3. Информационные справочные системы.

Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru>

Страница поддержки пользователей оборудования ИТ-МДТ <http://www.ntmdt.ru/spm-methodologies>

## **11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Реализация программы учебной дисциплины не предполагает наличия специализированного учебного кабинета при условии соответствия учебных кабинетов санитарным нормам, а его оборудования – изложенным ниже требованиям:

1. Учебная аудитория на 25 мест
2. Персональный компьютер.
3. Мультимедиа-проектор (разрешение не хуже 1024×758).
4. Стационарный или переносной проекционный экран.
5. Комплект презентаций и видеофильмов по дисциплине.

Практические занятия проводятся в учебном кабинете, отвечающем санитарным нормам, а его оборудование – следующим требованиям:

1. Учебная аудитория на 25 мест
2. Персональный компьютер.
3. Мультимедиа-проектор (разрешение не хуже 1024×758).
4. Стационарный или переносной проекционный экран.
5. Программное обеспечение для обработки экспериментальных данных.
6. Доступ по локальной сети к сайту библиотеки СПбГИ(ТУ) и сети Internet.

Лабораторные занятия проводятся на базе Учебно-исследовательской лаборатории нанотехнологий на базе СЗМ NanoEducator. Лаборатория должна быть обеспечена:

1. СЗМ NanoEducator (6 рабочих мест, объединенных в локальную сеть).
2. Рабочее место преподавателя с персональным компьютером.
3. Цветной лазерный принтер
4. Комплект лицензионного программного обеспечения для управления СЗМ.
5. Комплект калибровочных решеток для метрологической аттестации наноструктур.

Использование лицензионного ПО:

При представлении лекционного материала:

ОС – не ниже MS Windows XP SP3

MS PowerPoint 97 и выше

Программа любого производителя для просмотра файлов \*.swf

При проведении лабораторных и практических работ:

ОС – не ниже MacOS X 10.2 Jaguar

SPM NanoEducator control program – NanoEducator 1.6.1

ОС – не ниже MS Windows XP SP3

SPM Solver-P4 control program - DOS Control Program v.7.60

SPM Image Processing - Image Analysis 2.2.0

## **12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.**

Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, допущенные по медицинским показаниям к обучению по направлению подготовки 18.04.01 Химическая технология, изучают дисциплину в полном объеме. Учебный процесс осуществляется в соответствии с "Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья ФГБОУ ВПО СПбГИ(ТУ)", утвержденным ректором 28.08.2014.

**Фонд оценочных средств  
для проведения промежуточной аттестации по дисциплине  
«Химические основы нанотехнологий»**

**1. Перечень компетенций и этапов их формирования.**

<b>Компетенция</b>		
<b>Индекс</b>	<b>Формулировка</b>	<b>Этап формирования</b>
<b>ОПК-3</b>	Готовность использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире	промежуточный
<b>ПК-18</b>	Готовность использовать знание свойств химических элементов, соединений и материалов на их основе для решения задач профессиональной деятельности	промежуточный
<b>ПК-19</b>	Готовность использовать знания основных физических теорий для решения возникающих физических задач, самостоятельного приобретения физических знаний, для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе выходящих за пределы компетентности конкретного направления	промежуточный

**2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания.**

<b>Показатели оценки результатов освоения дисциплины</b>	<b>Планируемые результаты</b>	<b>Критерий оценивания</b>	<b>Компетенции</b>
Освоение раздела № 1	Знает роль химии и химической технологии в области создания тонкопленочных и других видов материалов и изделий электронной техники.	Правильные ответы на вопросы №№ 1, 2	ОПК-3
Освоение раздела № 2	Знает структурно-химические последствия перехода вещества в твердофазное состояние и влияние размера надмолекул на свойства твердого вещества.	Правильные ответы на вопросы №№ 3 -13	ОПК-3
Освоение раздела № 3	Знает химическую модель твердого вещества материалов и особенности химического состава, строения и химического преобразования твердого вещества по мере увеличения степени полимеризации; Умеет устанавливать взаимосвязь между составом и строением твердофазных материалов.	Правильные ответы на вопросы №№ 40-49	ПК-18

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
Освоение раздела № 4	Знает условия, при которых могут протекать два основных типа химических превращений, проходящих в твердых веществах. Умеет обосновать и составить алгоритм протекания различных типов превращений с твердофазными матрицами с участием функциональных групп или структурных единиц, составляющих остов	Правильные ответы на вопросы №№ 50-65	ПК-18
Освоение раздела № 5	Знает характер химических превращений, проходящих в гомологическом ряду твердофазных материалов. Умеет устанавливать взаимосвязь между гомологическими рядами твердых веществ.	Правильные ответы на вопросы №№ 14-19	ОПК-3
Освоение раздела № 6	Знает структурно-химические особенности формирования монослоя и классификацию реакций молекулярного наслаивания. Умеет определять стехиометрические отношения компонентов в продуктах МН.	Правильные ответы на вопросы №№ 20-26	ОПК-3
Освоение раздела № 7	Знает особенности формирования сверхтонких пленок на поверхности твердотельных матриц	Правильные ответы на вопросы №№ 27-30	ОПК-3
Освоение раздела № 8	Знает характер размерно-структурных эффектов, проявляемые в продуктах синтеза методом молекулярного наслаивания. Умеет осуществлять аппаратное оформление процессов, реализующих технологию МН на поверхности твердотельных матриц различной химической природы. Владеет навыками регулирования физико-химических свойств нанослоистой системы «ядро - оболочка».	Правильные ответы на вопросы №№ 69-74	ПК-19
Освоение раздела № 9	Знает основные физические принципы работы, возможности и ограничения различных методик СЗМ в исследовании характеристик и создании наноструктур и наноматериалов.	Правильные ответы на вопросы №№ 31-32	ОПК-3
Освоение раздела № 10	Знает физические принципы, лежащие в основе различных методов туннельно-зондовой микроскопии; особенности проведения и возможности сканирующей туннельной микроскопии	Правильные ответы на вопросы №№ 75-79	ПК-19

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
Освоение раздела № 11	Знает физические принципы, лежащие в основе различных методов туннельно-зондовой микроскопии; особенности проведения и возможности атомно-силовой микроскопии	Правильные ответы на вопросы №№ 80-95	ПК-19
Освоение раздела № 12	Знает физические принципы, лежащие в основе различных методов туннельно-зондовой микроскопии; особенности проведения и возможности сканирующей ближнепольной микроскопии	Правильные ответы на вопросы №№ 96-98	ПК-19
Освоение раздела № 13	Знает физические принципы, лежащие в основе различных методов туннельно-зондовой микроскопии; особенности проведения и возможности ионной микроскопии	Правильный ответ на вопрос № 99	ПК-19
Освоение раздела № 14	Знает методические особенности проведения исследований нанообъектов и наноматериалов различной химической природы и строения Умеет проводить исследования наноразмерных материалов с использованием оборудования сканирующей зондовой микроскопии, обрабатывать, анализировать и корректно интерпретировать полученные результаты с использованием современного программного обеспечения	Правильные ответы на вопросы №№ 66-68	ПК-18
Освоение раздела № 15	Знает особенности метрологических измерений в наноразмерной области; умеет проводить проверку работоспособности приборов СЗМ	Правильные ответы на вопросы №№ 100-101	ПК-19
Освоение раздела № 16	Знает возможности туннельно-зондовой нанотехнологии по формированию наноразмерных структур элементной базы наноэлектроники Умеет формулировать круг практических задач, которые можно решить с помощью туннельно-зондовой нанотехнологии	Правильные ответы на вопросы №№ 33-39	ОПК-3
Освоение раздела № 17	Знает источники поиска научнотехнической информации о новейших разработках и перспективах применения СЗМ в современном материаловедении и химической нанотехнологии	Правильный ответ на вопрос № 102	ПК-19

Успешность усвоения дисциплины характеризуется качественной оценкой на основании таблицы оценки сформированности компетенций, включающего совокупность критериев их освоения и выражается оценкой по пятибалльной шкале.

Качество освоения дисциплины	Уровень освоения дисциплины	Отметка в 5-балльной системе	Критерии
81-100 %	высокий	отлично	Теоретическое содержание дисциплины освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные рабочей программой дисциплины учебные задания выполнены.
66-80 %	средний	хорошо	Теоретическое содержание дисциплины освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные рабочей программой дисциплины учебные задания выполнены, некоторые виды заданий выполнены с ошибками
51-65 %	средний	удовлетворительно	Теоретическое содержание дисциплины освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных рабочей программой дисциплины учебных заданий выполнено, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.
0-50 %	ниже среднего	неудовлетворительно	Теоретическое содержание дисциплины освоено частично, необходимые практические навыки работы не сформированы, большинство предусмотренных рабочей программой дисциплины учебных заданий не выполнено, не может объяснить результаты лабораторных работ, при дополнительной самостоятельной работе над материалом курса возможно повышение качества выполнения учебных заданий

### 3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации.

#### а) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ОПК-3:

1. Понятие о химической технологии наноматериалов, ее определение, задачи, решаемые с помощью ее.
2. Задачи, решаемые с помощью современных нанотехнологий.
3. Пути получения твердых веществ и их особенности.
4. Структурно-химические последствия перехода вещества в твердое состояние. Признаки твердого вещества.
5. Твердое вещество, твердое тело, твердая фаза. Реальное твердое вещество.
6. Термодинамические условия образования первой надмолекулы.
7. Фактор стабильности и фактор дисперсности твердого тела.
8. Дисперсные и макроскопические твердые тела.
9. Влияние размера надмолекул на свойства твердого вещества.
10. Особенности состава и химического строения веществ в твердом состоянии.

11. «Нестехиометрические» соединения.
12. Полиатомность твердых веществ.
13. Проблема индивидуализации полиатомных веществ.
14. Особенности гомологии твердых веществ.
15. Нормальные гомологические ряды.
16. Химические превращения в нормальном гомологическом ряду трехмерных (Ш) твердых веществ.
17. Взаимосвязь продуктов функциональных превращений в нормальном гомологическом ряду (Ш) твердых веществ.
18. Корпускулярные гомологические ряды твердых веществ.
19. Функциональные превращения в нормальном и структурном гомологических рядах.
20. Реакции молекулярного наслаивания (МН) как химические превращения в гомологическом ряду твердых веществ.
21. Реакции конденсации в МН.
22. Реакции присоединения в МН.
23. Окислительно-восстановительные реакции МН.
24. Реакции молекулярного наслаивания многокомпонентных систем.
25. Синтез многокомпонентных монослоев.
26. Получение многозонных структур методом МН.
27. Основные принципы метода МН.
28. Структурно-химические особенности формирования монослоя.
29. Концентрационный фактор.
30. Классификация реакций молекулярного наслаивания.
31. Классификация и особенности методов сканирующей зондовой микроскопии. Место СЗМ в иерархии методов высокого разрешения.
32. Общее устройство и принципы работы сканирующего зондового микроскопа. Виды исполнения основных конструктивных элементов. Организация обратной связи.
33. Виды нанолитографии: их возможности и особенности применения.
34. Формирование наноразмерных структур с помощью проводящего зонда СЗМ: физические явления, влияние среды.
35. Пластическая деформация подложки с использованием СТМ (формирование рельефа, глубинная модификация, электродинамика).
36. Модифицирование среды между зондом и подложкой, массоперенос.
37. Формирование квазиодномерных микроконтактов и микропроводников.
38. Создание объектов наноэлектроники на углеродной основе.
39. Квантовые точки, одноэлектронные транзисторы: получение зондовыми методами, управление.

#### **б) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ПК-18:**

40. Взаимосвязь состава и химического строения и свойств твердого вещества.
41. Формирование остовно-функционального строения химической модели твердого вещества.
42. Основные особенности остовно-функционального химического строения твердых веществ и полинаправленность их химических превращений.
43. Выделение остова из твердых веществ.
44. Образование остова путем соединения СЕ.
45. Размерность остова и координационное число (функциональность СЕ остова).
46. Классификация структур надмолекулярных веществ.
47. Молекулярные вещества. Атомные вещества. Атомно-молекулярные вещества.
48. Особенности химического состава, строения и химического преобразования твердого вещества по мере увеличения степени полимеризации.
49. Особенности химического состава, строения и химического преобразования твердого вещества по мере увеличения степени полимеризации.

50. Основные направления химических превращений твердых веществ.
51. Функциональные реакции и их классификация.
52. Примеры реакций замещения функциональных групп.
53. Примеры окислительно-восстановительных реакции функциональных групп.
54. Образование поверхностных соединений включения.
55. Межфункциональные реакции.
56. Классификация аналогичных реакций.
57. Функциональные ряды твердых веществ.
58. Ряды аналогов твердых веществ.
59. Генетические ряды твердых веществ.
60. Изологические ряды твердых веществ.
61. Образование полифункциональных соединений в изологических и генетических рядах твердых веществ.
62. Макромолекулярные превращения твердых веществ и их классификация.
63. Основные ряды твердых веществ.
64. Систематика основных рядов твердых веществ.
65. Факторы, провоцирующие представления о несоблюдении законов стехиометрии для твердых веществ.
66. Пробоподготовка наноразмерных дисперсных и высокопористых материалов для СЗМ-исследований.
67. Влияние пробоподготовки и условий проведения эксперимента на чувствительность СЗМ.
68. Возможности и ограничения различных методик СЗМ в исследовании характеристик и создании наноструктур и наноматериалов.

**в) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ПК-19:**

69. Нанотехнология на принципах молекулярного наслаивания.
70. Технологические стадии осуществления одного цикла МН.
71. Технологические параметры при организации процесса МН.
72. Схема экспериментальной установки с реактором проточного типа и описание процесса синтеза оксидного покрытия.
73. Схема типовой вакуумной установки молекулярного наслаивания и описание процесса синтеза оксидного покрытия.
74. Схема типовой вакуумной установки молекулярного наслаивания и описание процесса синтеза оксидного покрытия.
75. Физические основы сканирующей туннельной микроскопии. Влияние формы туннельного барьера на туннельный ток.
76. Физические процессы в СТМ, влияние разности потенциалов "зонд-образец". Эффект последнего атома.
77. Режимы сканирования СТМ, их возможности, достоинства и недостатки.
78. Сканирующая туннельная спектроскопия. Вольт-амперные характеристики системы "зонд-образец".
79. Кулоновская блокада и резонансное туннелирование.
80. Физические принципы, лежащие в основе атомно-силовой микроскопии.
81. Зонды для АСМ: типы, конструктивные особенности, параметры, основные характеристики.
82. Влияние добротности на резонансные свойства зонда АСМ.
83. Взаимодействие зонда АСМ с поверхностью. Решение задачи Герца. Влияние контактных деформаций на результаты сканирования.
84. Влияние ван-дер-ваальсовых сил на взаимодействие "зонд-образец".
85. Адгезия. Модели адгезионного взаимодействия "зонд-образец".
86. Артефакты АСМ: причины, проявления, способы устранения.
87. Цели и виды математической обработки результатов сканирования.

88. Оценка шероховатости и текстуры исследуемой поверхности.
89. Контактные методики АСМ: достоинства, недостатки, особенности реализации. АСАМ, контактные модуляционные методики, электросиловая микроскопия.
90. Разрешающая способность АСМ в контактных режимах.
91. Физические явления, лежащие в основе бесконтактных методик АСМ.
92. Полуконтактный (прерывисто-контактный) метод АСМ: достоинства, недостатки, фазовый контраст.
93. Особенности осуществления и возможности многопроходных методик АСМ. Факторы, определяющие пространственное разрешение в многопроходных методиках.
94. Локальная силовая спектроскопия. Зависимость формы кривых от свойств исследуемого материала.
95. Определение локальной нанотвердости.
96. Классическая, конфокальная и сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия: разрешающая способность.
97. Взаимодействие света с веществом. Режимы СБОМ, разрешающая способность.
98. Зонды СБОМ: получение, особенности, недостатки.
99. Сканирующая ионная микроскопия: возможности, разрешающая способность, методики.
100. Метрология и стандартизация в нанотехнологиях.
101. Установки высокой точности, меры, калибровочные решетки, стандартные образцы.
102. Направления развития оборудования СЗМ.

К экзамену допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. Экзамен включает 2 вопроса из различных тем пройденного материала и 1 задачу по интерпретации СЗМ-изображений.

Время подготовки студента к устному ответу на вопросы - до 30 мин.

**4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

1. Положение о формах, периодичности и порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в СПбГТИ(ТУ) (Утв. Приказом ректора СПбГТИ(ТУ) от 12.12.2014 № 463).

2. СТО СПбГТИ(ТУ) 026-2016. Положение о бакалавриате./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2016.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2016.- 38 с.

3. СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. Порядок организации и проведения зачётов и экзаменов./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.06.2015. - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2015.- 45 с.