

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 01.06.2022 13:11:35  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор по учебной  
и методической работе  
\_\_\_\_\_ Б.В.Пекаревский  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**  
Направление подготовки  
**18.03.01 Химическая технология**  
Направленность программы бакалавриата  
**Химическая технология материалов и изделий электроники и наноэлектроники**

Квалификация

**Бакалавр**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **Химии веществ и материалов**

Кафедра **Химической нанотехнологии и материалов электронной техники**

Санкт-Петербург

2020

**Б1.В.06**

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Доцент		доцент Е.А. Соснов
Доцент		Е.О. Дроздов

Рабочая программа дисциплины «Методы исследования твердотельных материалов» обсуждена на заседании кафедры химической нанотехнологии и материалов электронной техники

протокол от \_\_\_\_ . \_\_\_\_ .2020 № \_\_\_\_

Заведующий кафедрой ХНиМЭТ

профессор А.А. Малыгин

Одобрено учебно-методической комиссией факультета химии веществ и материалов

протокол от \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . 2020 № \_\_\_\_

Председатель

доцент С.Г. Изотова

## СОГЛАСОВАНО

Руководитель ООП «Химическая технология»		доцент М.В. Рутто
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.....	06
3. Объем дисциплины .....	06
4. Содержание дисциплины .....	07
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.....	07
4.2. Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины ....	07
4.3. Занятия лекционного типа .....	08
4.4. Занятия семинарского типа.....	12
4.4.1. Семинары, практические занятия .....	12
4.4.2. Лабораторные занятия .....	13
4.5. Самостоятельная работа.....	14
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	16
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации .....	16
7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины .....	17
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.....	20
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины .....	20
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине .....	21
10.1. Информационные технологии .....	21
10.2. Программное обеспечение.....	21
10.3. Базы данных и информационные справочные системы .....	21
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 освоения образовательной программы бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (описатели)
<p><b>ПК-3</b> Способен проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности</p>	<p><b>ПК-3.2</b> Способен осуществлять физико-химический анализ сырья, материалов и готовых изделий микроэлектроники</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные методы физико-химического анализа материалов, их физические принципы (ЗН-1).</li> <li>- набор характеристик, получаемых тем или иным методом (ЗН-2).</li> <li>- методические аспекты применения методов исследования (ЗН-3).</li> <li>- способы обработки результатов измерений и их интерпретации (ЗН-4).</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- осуществлять выбор оптимальных методов физико-химического анализа материалов (У-1).</li> <li>- практически применять спектральные методы анализа (У-2).</li> <li>- применять методы поиска химической информации, статистической обработки результатов измерений (У-3).</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами получения твердых веществ с заданными магнитными, электрическими, оптическими свойствами (Н-1).</li> <li>- методами пробоподготовки, регистрации, обработки и интерпретации результатов физико-химических методов анализа (Н-2).</li> <li>- компьютерными средствами обработки спектральных данных (Н-3).</li> </ul>
<p><b>ПК-4</b> Способен планировать и проводить физические и химические эксперименты, проводить обработку их результатов и оценивать погрешности, применять методы математического анализа и моделиро-</p>	<p><b>ПК-4.2</b> Способен осуществлять исследование и создание наноструктурированных материалов с использованием туннельно-зондовой нанотехнологии</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- физические принципы, лежащие в основе различных методов туннельно-зондовой микроскопии (ЗН-5).</li> <li>- методические особенности проведения исследований нанобъектов и наноматериалов различной химической природы и строения (ЗН-6).</li> <li>- возможности туннельно-зондовой нанотехнологии по формированию наноразмерных структур элементной базы нанoeлектроники (ЗН-7).</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить исследования наноразмерных материалов с использованием оборудования сканирующей зондовой микроскопии (У-4).</li> </ul>

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
вания, теоретического и экспериментального исследования		<p>- обрабатывать, анализировать и корректно интерпретировать полученные результаты с использованием современного программного обеспечения (У-5).</p> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- оборудованием туннельно-зондовых нанотехнологий (Н-4).</li> <li>- туннельно-зондовыми технологиями конструирования наноматериалов и наносистем (Н-5).</li> <li>- математическим аппаратом обработки и анализа экспериментальных данных (Н-6).</li> <li>- методами метрологической аттестации наноматериалов (Н-7).</li> </ul>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина "Методы исследования твердотельных материалов" относится к части Блока 1 образовательной программы бакалавриата, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.06) и изучается на 4 году обучения в 7 семестре.

Изучение дисциплины базируется на знаниях и умениях, полученных при изучении курсов математики, физики, общей и неорганической химии, физической химии, коллоидной химии, кристаллохимии и кристаллографии.

Полученные в процессе освоения дисциплины знания, умения и навыки могут быть использованы в научно-исследовательской работе студента бакалавриата, а также при выполнении ВКР по тематике, связанной с разработкой и инновационным внедрением наукоемких процессов, материалов и технологий, созданием наноматериалов и разработкой нанотехнологических процессов.

## 3. Объем дисциплины

Вид учебной работы	Всего, академических часов
	Очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц / академических часов)	<b>9 / 216</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>112</b>
занятия лекционного типа	54
занятия семинарского типа, в т.ч.	54
семинары, практические занятия (в том числе практическая подготовка)	—
лабораторные работы (в том числе практическая подготовка)	54 (27)
курсовое проектирование (КР или КП)	-
КСР	4
другие виды контактной работы	-
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>68</b>
<b>Формы текущего контроля</b>	-
<b>Форма промежуточной аттестации</b>	<b>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	Общая классификация физико-химических методов исследования. Общие принципы анализа и обработки спектральных данных	2			4	ПК-3
2	Колебательная спектроскопия: ИК и КР-спектроскопия	6		6	6	ПК-3
3	Спектроскопия в видимой и ближней ультрафиолетовой области спектра	4		6	8	ПК-3
4	Рентгеновская спектроскопия и дефектоскопия	6			8	ПК-3
5	Анализ материалов методами дифракции рентгеновских лучей, нейтронов, электронов	4		6	8	ПК-3
6	Исследование морфологии и топографии методами электронной микроскопии	4		3	8	ПК-3
7	Методы сканирующей зондовой микроскопии	24		27	18	ПК-4
8	Эллипсометрия тонких пленок	4		6	8	ПК-3
<b>ИТОГО</b>		<b>54</b>	<b>-</b>	<b>54</b>	<b>68</b>	

##### 4.2 Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины

№ п/п	Код индикаторов достижения компетенции	Наименование раздела дисциплины
1	ПК-3.2	Общая классификация физико-химических методов исследования. Общие принципы анализа и обработки спектральных данных Колебательная спектроскопия: ИК и КР-спектроскопия Спектроскопия в видимой и ближней ультрафиолетовой области спектра Рентгеновская спектроскопия и дефектоскопия Анализ материалов методами дифракции рентгеновских лучей, нейтронов, электронов Исследование морфологии и топографии методами электронной микроскопии Эллипсометрия тонких пленок
2	ПК-4.2	Методы сканирующей зондовой микроскопии

#### 4.3. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<p><b>Общая классификация физико-химических методов исследования. Общие принципы анализа и обработки спектральных данных</b></p> <p>Общие принципы физико-химических методов анализа. Классификация по природе возбуждающего воздействия и регистрируемых частиц. Абсорбция, эмиссия и рассеяние. Спектроскопия и спектрометрия. Роль геометрии спектральных исследований.</p> <p>Форма спектров и их математическая обработка. Естественное и аппаратное уширение. Аппаратная функция. Интегральная интенсивность. Базовая линия. Деконволюция перекрывающихся полос. Количественный анализ спектров поглощения электромагнитного излучения. Двухлучевая схема измерений. Количественный анализ оптическими методами.</p> <p>Пробоподготовка, ее специфика для наноструктурированных материалов. Поверка, калибровка и сертификация оборудования для физико-химических исследований. Стандартные образцы и спектральные эталоны.</p>	2	Лекция-беседа
2	<p><b>Колебательная спектроскопия: ИК и КР-спектроскопия</b></p> <p>Теоретические основы колебательной спектроскопии: гармонический осциллятор, силовая константа, правила отбора; Ангармонические эффекты, коэффициент ангармонизма, фундаментальные и горячие переходы, обертоны. Колебания многоатомных молекул: силовое поле, нормальные колебания, классификация по форме колебаний, ангармонические эффекты в многоатомных молекулах, составные колебания. Роль симметрии в колебательной спектроскопии, колебательные термы, их классификация и обозначения по симметрии. Колебания в кристаллах: акустические и оптические фононы, фононный спектр.</p> <p>Аппаратная реализация ИК-спектроскопии: источники и детекторы ИК-излучения, спектроскопия пропускания, зеркального отражения, НПВО и МНПВО, диффузного отражения, фотоакустическая. Роль пробоподготовки для твердых веществ и наноматериалов. Форма и интерпретация спектров.</p> <p>Спектроскопия комбинационного рассеяния: теоретические основы и аппаратная реализация, правила отбора, пробоподготовка. Форма и интерпретация спектров. Взаимно дополнительный характер ИК- и КР-спектров.</p>	6	Лекция-беседа
3	<p><b>Спектроскопия в видимой и ближней ультрафиолетовой области спектра</b></p> <p>Теоретические основы оптической спектроскопии. Элементы квантовой механики: уравнение Шредингера, волновая функция электронов, квантовые числа, метод ЛКАО, самосогласованное поле. Механизмы электронных</p>	4	Лекция-беседа



№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	<p>переходов. Интенсивность поглощения. Правила отбора. Квантово-механическое описание электронных переходов. Матричный элемент перехода. Связь матричного элемента с коэффициентами экстинкции, Эйнштейна и силой осциллятора. Атомная, молекулярная и твердотельная оптическая спектроскопия.</p> <p>Атомно-абсорбционная и атомно-эмиссионная спектроскопия. Аппаратная реализация. Индуктивно-связанная плазма.</p> <p>Оптическая спектроскопия молекулярных и координационных соединений. Молекулярный терм, роль точечной симметрии и правила отбора. Адиабатическое приближение. Принцип Франка-Кондона. Стоксовы и антистоксовы смещения в абсорбционных и эмиссионных спектрах. Электронно-колебательное расщепление и вибронные спектры. Уширение полос, интегральная интенсивность полос поглощения и количественный анализ. Специфика координационных соединений. Кристаллическое поле. Корреляционные диаграммы.</p> <p>Теоретические основы оптической спектроскопии твердотельных объектов: Обратная решетка, зона Бриллюэна. Статистика Ферми и плотность состояний. Зонная структура. Запрещенная зона и край фундаментального поглощения. Особенности методик исследования твердых тел, оптические эффекты, отражение, формулы Френеля, спектроскопия пропускания, зеркального и диффузного отражения. Эмиссионная оптическая спектроскопия, люминесценция, флуоресценция и фосфоресценция.</p> <p>Аппаратная реализация, схемы регистрации, пробоподготовка.</p>		
4	<p><b>Рентгеновская спектроскопия и дефектоскопия</b></p> <p>Общие принципы взаимодействия рентгеновского излучения с веществом. Красная граница и сечение фотоэффекта. Источники и детекторы рентгеновского излучения. Рентгеновская спектроскопия поглощения: широкополосная, спектроскопия тонкой и протяженной тонкой структуры края поглощения (XAS, XANES, EXAFS). Теоретические принципы и устройство спектрометров. Интерпретация спектров и получаемая информация.</p> <p>Механизмы релаксации фотоэффекта и семейство методов рентгеновской спектроскопии. Фотоэлектронная спектроскопия, Оже-спектроскопия, рентгенофлуоресцентный и рентгенозондовый анализ. Теоретические основы и принципы. Конструкция спектрометров: источники возбуждающего воздействия и детекторы, условия регистрации. Форма и интерпретация спектров. Области применения. Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов и спектроскопия потенциала появления.</p> <p>Рентгеновская и акустическая дефектоскопия.</p>	6	Лекция-беседа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
5	<p><b>Дифракционные методы: дифракция рентгеновских лучей, нейтронов, электронов</b></p> <p>Теоретические основы дифракционных методов анализа. Уравнение Вульфа-Брегга. Варианты аппаратной реализации методов дифракции рентгеновских лучей. Атомный фактор рассеяния. Рентгеноспектральный и рентгенофазовый анализ. Порошковые рентгенограммы. Особенности дифракции нейтронов. Упругое и неупругое рассеяние нейтронов. Аппаратная реализация.</p> <p>Методы дифракции медленных, быстрых и быстрых отраженных электронов. Поверхностная чувствительность. Представления о симметрии двумерного кристалла. Исследование процессов реконструкции и релаксации поверхности.</p>	4	Лекция-беседа
6	<p><b>Исследование морфологии и топографии методами электронной микроскопии</b></p> <p>Разновидности электронной микроскопии. Электронная микроскопия пропускания: основные принципы, аппаратная реализация, разрешающая способность, проблемы пробоподготовки.</p> <p>Сканирующая электронная микроскопия: основные принципы, аппаратная реализация, сочетание с рентгенозондовым анализом, контраст в первичных и вторичных электронах, разрешающая способность.</p>	4	Лекция-беседа
7	<p><b>Методы сканирующей зондовой микроскопии</b></p> <p>Сравнительная характеристика методов микроскопического исследования материалов. Методы сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ): области применения, возможности и ограничения.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>	24	Лекция-беседа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	<p>Особенности конструкции СЗМ. Подвод зонда к образцу. Контроль позиционирования зонда относительно образца. Устройство, принципы работы и характеристики СЗМ сканеров. Характеристики пьезоэлектрических материалов. Нелинейность, гистерезис, ползучесть, дрейбзг, 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 Acoustic 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> <p>Классическая, конфокальная и сканирующая ближне-польная оптическая микроскопия (СБОМ). Теория дифракции света на субволновой апертуре. Распространение света в нестационарных оптических волноводах. Взаимодействие света с веществом. Гигантское усиление комбинационного рассеяния. Конструкции и режимы работы СБОМ. Пьезоэлектрический сенсор сдвиговой силы (Tuning Fork Shear-Force Sensor). Устройство и методы изготовления зондов СБОМ.</p>		

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	<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> <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> <p>Метрология измерений методами СЗМ. 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>		
8	<p><b>Эллипсометрия тонких пленок</b></p> <p>Плоская электромагнитная волна, её распространение в среде. Отражение и преломление света на границе раздела непоглощающих сред. Основное уравнение эллипсометрии. Прямая и обратная задачи. Однородная полубесконечная среда. Однослойная модель, многослойная модель и оптически неоднородный слой. Учет рельефа поверхности и размытия межфазных границ.</p> <p>Методы решения обратной задачи эллипсометрии: графоаналитический метод, численное решение обратной задачи. Многотолщинные измерения. Итерационный метод. Решение обратной задачи для неоднородных слоев. Методы измерения эллипсометрических параметров. Оптические схемы и конструкционные особенности эллипсометров.</p>	4	Лекция-беседа

#### 4.4. Занятия семинарского типа

##### 4.4.1. Семинары, практические занятия

Учебным планом не предусмотрены.

#### 4.4.2. Лабораторные занятия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Примечания
		всего	в т.ч. на практическую подготовку	
2	Техника и методика ИК-спектроскопии.	3	3	
	Изучение оксидных наноструктур на поверхности полимерных материалов методом ИК-Фурье спектроскопии.	3	3	
3	Определение кислотно-основных характеристик поверхности твердых веществ.	3		
	Определение состояния элементов в оксидных нанослоях на дисперсных твердофазных матрицах по спектрам диффузного отражения	3	3	
5	Рентгенодифракционный анализ поликристаллических веществ	6	3	
6	Определение параметров кристаллической решетки пленочного образца.	3	3	
7	Подготовка прибора NanoEducator к работе. Изучение морфологии поверхности стандартного образца методами СЗМ.	3		
	Изучение возможностей различных режимов АСМ. Влияние формы острия зонда на изображение поверхности.	3		
	Анализ и обработка изображений, полученных при исследовании материалов методами АСМ.	3	3	
	АСМ исследование объектов электронной промышленности (кремниевые пластины с разным рельефом, CD и DVD диски).	3	3	
	Исследование морфологии поверхности кремниевой пластины на разных стадиях механической обработки.	3	3	
	Исследование волокнистых материалов до и после нанесения функциональных нанопокровов.	3		
	Визуализация поверхности полимерных пленок до и после химического модифицирования.	3		
	Исследование дисперсных наноматериалов методом атомно-силовой микроскопии.	3		
	Исследование поверхности композиционного материала с диспергированным наполнителем.	3	0	
8	Измерение толщин и оптических постоянных тонких плёнок диэлектриков	6	3	

#### 4.5. Самостоятельная работа обучающихся

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	<b>Общая классификация физико-химических методов исследования. Общие принципы анализа и обработки спектральных данных</b> Пробоподготовка, ее специфика для наноструктурированных материалов. Поверка, калибровка и сертификация оборудования для физико-химических исследований.	2	
	Форма спектров: непрерывные (континуальные), ступенчатые и линейчатые спектры и их математическая обработка. Естественное и аппаратное уширение. Аппаратная функция. Интегральная интенсивность. Базовая линия. Механизмы уширения спектральных линий и форма спектральных контуров (Лоренц, Гаусс, Фохт). Деконволюция перекрывающихся полос. Количественный анализ спектров поглощения электромагнитного излучения.	2	
2	<b>Колебательная спектроскопия: ИК и КР-спектроскопия</b> Роль симметрии в колебательной спектроскопии, колебательные термы, их классификация и обозначения по симметрии.	6	
3	<b>Спектроскопия в видимой и ближней ультрафиолетовой области спектра</b> Механизмы электронных переходов. Интенсивность поглощения. Правила отбора. Кристаллическое поле. Корреляционные диаграммы.	6	
	Эмиссионная оптическая спектроскопия, люминесценция, флуоресценция и фосфоресценция	2	
4	<b>Рентгеновская спектроскопия и дефектоскопия</b> Источники и детекторы рентгеновского излучения. Форма и интерпретация Оже-спектров. Области применения рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии	2	
	Аналитические возможности Оже-спектроскопии для анализа профилей распределения элементов по глубине и контроля состава поверхности материалов электронной техники	4	
	Анализ строения некристаллических твердых материалов методом спектроскопии EXAFS	2	
5	<b>Анализ материалов методами дифракции рентгеновских лучей, нейтронов, электронов</b> Сравнительный анализ возможностей и областей применения дифракционных методов анализа структуры кристаллических твердых тел	4	
	Области применения синхротронного излучения для физико-химического анализа твердых тел	4	
6	<b>Исследование морфологии и топографии методами электронной микроскопии</b> Электронно-зондовый анализ морфологии и состава поверхности твердых тел	2	

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
	Аналитические возможности Оже-спектроскопии для анализа профилей распределения элементов по глубине и контроля состава поверхности материалов электронной техники	2	
	Анализ строения некристаллических твердых материалов методом спектроскопии EXAFS	2	
	Аналитические возможности и особенности пробоподготовки просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения	2	
7	<b>Методы сканирующей зондовой микроскопии</b> Устройство, 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. Устройство и принципы работы системы обратной связи (ОС) СЗМ. Аналоговая и цифровая ОС. Теория PID регуляторов. Постоянные цепи ОС: пропорциональная, интегральная, дифференциальная. Виброустойчивость. Шумоизоляция.	4	
	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.	2	
	Особенности конструкции СЗМ. Подвод зонда к образцу. Контроль позиционирования зонда относительно образца.	2	
	Технологии получения и контроль характеристик высокоразрешающих зондов	2	
	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).	4	
	Методические особенности исследований свойств материалов различной размерности: 0D, 1D, 2D, 3D методами СЗМ.	4	
8	<b>Эллипсометрия тонких пленок</b> Поляризованный свет и характер взаимодействия его с твердым веществом. Планарные модели объектов измерений в эллипсометрии.	4	
	Решение основного уравнения эллипсометрии для объектов с идеальной зеркальной границей раздела сред. Решение основного уравнения эллипсометрии для прямой и обратной задач эллипсометрии	4	

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

1. Абызов, А.М. Рентгенодифракционный анализ поликристаллических веществ на мини-дифрактометре «Дифрей»: Учебное пособие./ А.М.Абызов. - СПб: СПбГТИ(ТУ), 2008.- 94 с.
2. Дубровенский, С.Д. Компьютерный анализ спектральных данных: методические указания к лабораторной работе / С.Д. Дубровенский.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2013.- 49 с. (ЭБ)
3. Ежовский, Ю.К. Технология и свойства тонкопленочных структур: Практикум / Ю.К.Ежовский, Н.В.Захарова.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2019.- 99 с. (ЭБ)
4. Захарова, Н.В. Изучение оксидных наноструктур на поверхности полимерных материалов методом ИК-Фурье спектроскопии: Методические указания к лабораторной работе / Н.В.Захарова, С.А.Трифонов, А.А.Малков.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2007.- 23 с.
5. Захарова, Н.В. Определение координационного состояния титана в оксидных наноструктурах на поверхности дисперсных твердофазных матриц по спектрам диффузного отражения: методические указания к лабораторной работе / Н.В.Захарова, М.Н.Цветкова - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2009.- 21 с.
6. Захарова, Н.В. Определение кислотно-основных характеристик поверхности твердых веществ: методические указания к лабораторной работе / Н.В.Захарова, М.Н.Цветкова, В.Г.Корсаков – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2011.- 15 с.
7. Захарова, Н.В. Метрологическое обеспечение измерений наноразмерных объектов: учебное пособие./ Н.В.Захарова, Е.А.Соснов - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2014.- 92 с. (ЭБ)
8. Захарова, Н.В. Техника и методика ИК-спектроскопии: Практикум. / Н.В.Захарова - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2016.- 28 с. (ЭБ)
9. Исследование наноструктур с применением сканирующей зондовой микроскопии: учебное пособие./ К.Л.Васильева, О.М.Ищенко, Е.А.Соснов, А.А.Малыгин - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2010.- 64 с. (ЭБ)
10. Соснов, Е.А. Исследование поверхности материалов методом атомно-силовой микроскопии: методические указания к лабораторной работе./ Е.А.Соснов - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2006.- 36 с.
11. 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)
12. Соснов, Е.А. Методы зондовой микроскопии. Сканирующая ионная микроскопия: учебное пособие./ Е.А.Соснов - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2015.- 52 с. (ЭБ)

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 («удовлетворительно») 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 7 семестра в виде экзамена в устной форме. Экзамен предусматривает проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и включает 2 вопроса из различных тем пройденного материала. Время подготовки студента к устному ответу — до 30 мин.

Результаты экзамена включаются в приложение к диплому.

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1.



Примеры вопросов, предлагаемых на экзамене:

1. Электронная микроскопия пропускания. Физические принципы и аппаратурное оформление. Пробоподготовка и требования к образцу. Области применения.
2. Колебания в кристаллах. Закон дисперсии. Оптические и акустические фононы. Продольные и поперечные колебательные моды.
3. Рентгеновская флуоресценция: физические принципы, способы возбуждения и регистрации, вероятность переходов, форма и интерпретация спектров.
4. Общее устройство и принципы работы сканирующего зондового микроскопа. Виды исполнения основных конструктивных элементов. Организация обратной связи.
5. Физические основы сканирующей туннельной микроскопии. Влияние формы туннельного барьера на туннельный ток.

## **7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины**

### **а) печатные издания:**

1. Абызов, А.М. Рентгенодифракционный анализ поликристаллических веществ на минидифрактометре «Дифрей»: учебное пособие / А.М.Абызов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2008. - 95 с.
2. Бёккер, Ю. Спектроскопия / Ю.Бёккер; пер. с нем. Л.Н.Казанцевой, под ред. А.А. Пупышева, М.В.Поляковой - Москва: Техносфера, 2009.- 527 с. - ISBN 978-5-94836-220-5
3. Грибов, Л.А. Колебания молекул / Л.А.Грибов.- Москва: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2009.- 542 с. - ISBN 978-5-397-00062-8
4. Дубровенский, С.Д. Компьютерный анализ спектральных данных./ С.Д.Дубровенский; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2013. - 49 с.
5. Ежовский, Ю.К. Технология и свойства тонкопленочных структур: Практикум / Ю.К.Ежовский, Н.В.Захарова; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2019. - 99 с.
6. Ельяшевич, М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия / М.А.Ельяшевич - Москва: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2011.- Ч.1 : Общие вопросы спектроскопии. - 5-е изд.- 2011.- 236 с. - ISBN 978-5-397-01833-3
7. Ельяшевич, М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия / М.А.Ельяшевич. - Москва: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2007-2009. Ч.2 : Атомная спектроскопия.- 5-е изд.- 2009.- 415 с. - ISBN 978-5-397-00110-6
8. Ельяшевич, М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия / М.А.Ельяшевич. - Москва: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2007-2009. Ч.3 : Молекулярная спектроскопия.- 5-е изд.- 2009.- 527 с. - ISBN 978-5-397-00055-0
9. Захарова, Н.В. Определение координационного состояния титана в оксидных наноструктурах на поверхности дисперсных твердофазных матриц по спектрам диффузного отражения: методические указания к лабораторной работе / Н.В.Захарова, М.Н.Цветкова, А.А.Малков; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. - Санкт-Петербург: СПбГТИ (ТУ), 2009. - 22 с.
10. Захарова, Н.В. Определение кислотно-основных характеристик поверхности твердых веществ: методические указания к лабораторной работе / Н.В.Захарова, М.Н.Цветкова, В.Г.Корсаков; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2011. – 16 с.

11. Захарова, Н.В. Техника и методика ИК-спектроскопии: Практикум / Н.В.Захарова; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2016. - 28 с.
12. Исследование наноструктур с применением сканирующей зондовой микроскопии: учебное пособие / К.Л.Васильева, О.М.Ищенко, Е.А.Соснов, А.А.Мальгин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2010. - 64 с.
13. Миронов, В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии / В.Л.Миронов. - Москва: Техносфера, 2005. - 144 с. - ISBN 5-94836-034-2
14. Неволин, В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике / В.К.Неволин. - Москва: Техносфера, 2006. - 159 с. - ISBN 5-94836-098-9
15. Пупышев, А.А. Атомно-абсорбционный спектральный анализ / А.А.Пупышев.- Москва : Техносфера, 2009. - 782 с. - ISBN 978-5-94836-231-1
16. Соснов, Е.А. Исследование поверхности материалов методом атомно-силовой микроскопии: методические указания к лабораторной работе / Е.А.Соснов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2006.- 36 с.
17. Соснов, Е.А., Исследование дисперсных наноматериалов методом атомно-силовой микроскопии: методические указания к лабораторной работе / Е.А.Соснов, К.Л.Васильева, А.А.Мальгин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2011. - 26 с.
18. Соснов, Е.А. Методы зондовой микроскопии. Сканирующая ионная микроскопия: учебное пособие / Е.А.Соснов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2015. - 52 с.
19. Суздаев, И.П. Нанотехнология: Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И.П.Суздаев. – Изд. 2-е испр. – Москва: Книжный дом «ЛИБРОМ», 2009. – 592 с. - ISBN 978-5-397-00217-2
20. Франк-Каменецкая, Г.Э. Методы атомной оптической спектроскопии : учебное пособие / Г.Э.Франк-Каменецкая, Д.В.Зарембо; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра аналитической химии. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2016.- 60 с.

#### **б) электронные издания:**

1. Андриевский, Р.А. Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы.- 4-е изд.- Москва Лаборатория знаний, 2020.- 255 с. - ISBN 978-5-00101-906-0 // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: по подписке.
2. Атомно-абсорбционный анализ: Учебное пособие / А.А. Ганеев [и др.]. - СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2011.- 304 с. - ISBN 978-5-8114-1117-7 // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: по подписке.
3. Дубровенский, С.Д. Компьютерный анализ спектральных данных./ С.Д.Дубровенский; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра

- химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2013. - 49 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
4. Ежовский, Ю.К. Технология и свойства тонкопленочных структур: Практикум / Ю.К.Ежовский, Н.В.Захарова; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2019. - 99 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
  5. Захарова, Н.В. Метрологическое обеспечение измерений наноразмерных объектов: учебное пособие / Н.В.Захарова, Е.А.Соснов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2014. - 92 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
  6. Захарова, Н.В. Техника и методика ИК-спектроскопии: Практикум / Н.В.Захарова; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2016. - 28 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
  7. Исследование наноструктур с применением сканирующей зондовой микроскопии: учебное пособие / К.Л.Васильева, О.М.Ищенко, Е.А.Соснов, А.А.Малыгин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2010. - 64 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
  8. Соснов, Е.А., Исследование дисперсных наноматериалов методом атомно-силовой микроскопии: методические указания к лабораторной работе / Е.А.Соснов, К.Л.Васильева, А.А.Малыгин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2011. - 26 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
  9. Соснов, Е.А. Методы зондовой микроскопии. Сканирующая ионная микроскопия: учебное пособие / Е.А.Соснов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2015. - 52 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
  10. Франк-Каменецкая, Г.Э. Методы атомной оптической спектроскопии : учебное пособие / Г.Э.Франк-Каменецкая, Д.В.Зарембо; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра аналитической химии. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2016.- 60 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

## **8. Перечень электронных образовательных ресурсов, 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. Электронная библиотека - <http://elibrary.ru>.
5. Программные пакеты GAMESS, Gaussian, MathCAD, QuantumExpresso

## **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) 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.
4. 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.
5. 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 студенту необходимо готовить конспект лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать 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 студентов 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 7 семестра в виде экзамена в устной форме (включает 2 вопроса из различных тем пройденного материала). Результаты экзамена включаются в приложение к диплому.

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

### **10.1. Информационные технологии.**

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

- чтение лекций с использованием слайд-презентаций, видеоматериалов, виртуальных лабораторий и баз данных;
- взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС.

### **10.2. Программное обеспечение.**

Представление лекционного материала

ОС – не ниже MS Windows XP SP3

MS PowerPoint 97 и выше

### **10.3. Базы данных и информационные справочные системы**

1. ЭБ "Библиотех" СПбГТИ(ТУ) (доступ к сайту библиотеки);
2. Информационно-справочные поисковые системы и БД в сети Интернет; ЭБС «Лань»
3. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru>

## **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 и более 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.

Лабораторные занятия проводятся на базе лабораторного комплекса кафедры.

## **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 18.03.01 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 СПбГТИ(ТУ)", утвержденным ректором 28.08.2014.

**Фонд оценочных средств  
для проведения промежуточной аттестации по дисциплине  
"Методы исследования твердотельных материалов"**

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

<b>Индекс компетенции</b>	<b>Содержание</b>	<b>Этап формирования</b>
<b>ПК-3</b>	Способен проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности	промежуточный
<b>ПК-4</b>	Способен планировать и проводить физические и химические эксперименты, проводить обработку их результатов и оценивать погрешности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	промежуточный

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

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
ПК-3.2 Способен осуществлять физико-химический анализ сырья, материалов и готовых изделий микроэлектроники	Знает основные методы физико-химического анализа материалов, их физические принципы (ЗН-1).	Правильные ответы на вопросы №№ 1-3 к экзамену	Приводит с ошибками и/или не в полной мере основные методы физико-химического анализа материалов, их физические принципы	Приводит с небольшими неточностями основные методы физико-химического анализа материалов, их физические принципы	Знает в полной мере основные методы физико-химического анализа материалов, их физические принципы
			Знает набор характеристик, получаемых тем или иным методом (ЗН-2).	Слабо ориентируется в наборе характеристик, получаемых тем или иным методом	Приводит с небольшими неточностями набор характеристик, получаемых тем или иным методом
	Знает методические аспекты применения методов исследования (ЗН-3).	Правильные ответы на вопросы №№ 9-15 к экзамену	Слабо ориентируется в методических аспектах применения методов исследования	Приводит с небольшими неточностями методические аспекты применения методов исследования	Знает в полной мере методические аспекты применения методов исследования
			Знает способы обработки результатов измерений и их интерпретации (ЗН-4).	Правильные ответы на вопросы №№ 16-18 к экзамену	Слабо ориентируется в способах обработки результатов измерений и их интерпретации
Умеет осуществлять выбор оптимальных методов физико-химического анализа материалов (У-1).		Правильные ответы на вопросы №№ 19-20 к экзамену	Путается при осуществлении выбора оптимальных методов физико-химического анализа материалов	Умеет с небольшими ошибками осуществлять выбор оптимальных методов физико-химического анализа материалов	Умеет точно и без ошибок осуществлять выбор оптимальных методов физико-химического анализа материалов

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	Умеет практически применять спектральные методы анализа (У-2).	Правильные ответы на вопросы №№ 21-22 к экзамену	Путается при применении спектральных методов анализа	Умеет с небольшими подсказками преподавателя практически применять спектральные методы анализа	Уверенно применяет спектральные методы анализа
	Умеет применять методы поиска химической информации, статистической обработки результатов измерений (У-3).	Правильные ответы на вопросы №№ 23-30 к экзамену	Путается при применении методов поиска химической информации, статистической обработке результатов измерений	Умеет с небольшими подсказками преподавателя применять методы поиска химической информации, статистической обработки результатов измерений	Уверенно применяет методы поиска химической информации, статистической обработки результатов измерений
	Владеет методами получения твердых веществ с заданными магнитными, электрическими, оптическими свойствами (Н-1).	Правильные ответы на вопросы №№ 31-32 к экзамену	Имеет слабые навыки владения методами получения твердых веществ с заданными магнитными, электрическими, оптическими свойствами	Владеет методами получения твердых веществ с заданными магнитными, электрическими, оптическими свойствами, но допускает незначительные ошибки	Уверенно владеет методами получения твердых веществ с заданными магнитными, электрическими, оптическими свойствами
	Владеет методиками пробоподготовки, регистрации и интерпретации результатов физико-химических методов анализа (Н-2).	Правильные ответы на вопросы №№ 33-35 к экзамену	Имеет слабые навыки владения методиками пробоподготовки, регистрации, обработки и интерпретации результатов физико-химических методов анализа	Владеет методиками пробоподготовки, регистрации, обработки и интерпретации результатов физико-химических методов анализа, но допускает незначительные ошибки	Уверенно владеет методиками пробоподготовки, регистрации, обработки и интерпретации результатов физико-химических методов анализа



Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
<b>ПК-4.2</b> Способен осуществлять исследование и создание наноструктурированных материалов с использованием туннельно-зондовой нанотехнологии	Владеет компьютерными средствами обработки спектральных данных (Н-3).	Правильные ответы на вопросы №№ 36-38 к экзамену	Имеет слабые навыки использования компьютерных средств обработки спектральных данных	Владеет компьютерными средствами обработки спектральных данных, но допускает незначительные ошибки	Уверенно владеет компьютерными средствами обработки спектральных данных
	Знает физические принципы, лежащие в основе различных методов туннельно-зондовой микроскопии (ЗН-5).	Правильные ответы на вопросы №№ 39-42 к экзамену	Приводит с ошибками и/или не в полной мере физические принципы, лежащие в основе различных методов туннельно-зондовой микроскопии	Приводит с незначительными неточностями физические принципы, лежащие в основе различных методов туннельно-зондовой микроскопии	Знает в полной мере физические принципы, лежащие в основе различных методов туннельно-зондовой микроскопии
	Знает методические особенности проведения исследований наноматериалов различной химической природы и строения (ЗН-6).	Правильные ответы на вопросы №№ 43-48 к экзамену	Слабо ориентируется в методических особенностях проведения исследований наноматериалов различной химической природы и строения	Приводит с незначительными неточностями методические особенности проведения исследований наноматериалов различной химической природы и строения	Знает в полной мере методические особенности проведения исследований наноматериалов различной химической природы и строения
	Знает возможности туннельно-зондовой нанотехнологии по формированию наноразмерных структур элементной базы нанoeлектроники (ЗН-7).	Правильные ответы на вопросы №№ 49-50 к экзамену	Слабо ориентируется в возможностях туннельно-зондовой нанотехнологии по формированию наноразмерных структур элементной базы нанoeлектроники	Приводит с незначительными неточностями туннельно-зондовой нанотехнологии по формированию наноразмерных структур элементной базы нанoeлектроники	Знает в полной мере возможности туннельно-зондовой нанотехнологии по формированию наноразмерных структур элементной базы нанoeлектроники

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	Умеет проводить исследование наноразмерных материалов с использованием сканирующей зондовой микроскопии (У-4).	Правильные ответы на вопрос № 51 к экзамену	Слабо ориентируется в проведении исследования наноразмерных материалов с использованием сканирующей зондовой микроскопии	Умеет проводить исследования наноразмерных материалов с использованием сканирующей зондовой микроскопии, однако допускает при этом незначительные ошибки	Умеет в полной мере и без ошибок проводить исследование наноразмерных материалов с использованием сканирующей зондовой микроскопии
	Умеет обрабатывать, анализировать и корректно интерпретировать полученные результаты с использованием современного программного обеспечения (У-5)	Правильные ответы на вопрос № 52 к экзамену	Путается при обработке, анализе и/или интерпретации результатов с использованием современного программного обеспечения	Умеет с небольшими подсказками преподавателя обрабатывать, анализировать и корректно интерпретировать полученные результаты с использованием современного программного обеспечения	Умеет самостоятельно обрабатывать, анализировать и корректно интерпретировать полученные результаты с использованием современного программного обеспечения
	Владеет оборудованием туннельно-зондовых нанотехнологий (Н-4)	Правильные ответы на вопросы №№ 53-55 к экзамену	Имеет слабые навыки владения оборудованием туннельно-зондовых нанотехнологий	Способен с небольшими подсказками преподавателя использовать оборудование туннельно-зондовых нанотехнологий	Уверенно владеет оборудованием туннельно-зондовых нанотехнологий

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	Владеет туннельно-зондовыми технологиями конструирования наноматериалов и наносистем (Н-5)	Правильные ответы на вопрос № 56 к экзамену	Имеет слабые навыки владения туннельно-зондовыми технологиями конструирования наноматериалов и наносистем	Способен с небольшими подсказками преподавателя использовать туннельно-зондовые технологии конструирования наноматериалов и наносистем	Уверенно владеет туннельно-зондовыми технологиями конструирования наноматериалов и наносистем
	Владеет математическим аппаратом обработки и анализа экспериментальных данных (Н-6)	Правильные ответы на вопросы №№ 57-58 к экзамену	Имеет слабые навыки использования математического аппарата обработки и анализа экспериментальных данных	Владеет математическим аппаратом обработки и анализа экспериментальных данных, однако допускает незначительные ошибки при его использовании	Уверенно владеет математическим аппаратом обработки и анализа экспериментальных данных
	Владеет методами метрологической аттестации наноматериалов (Н-7).	Правильные ответы на вопросы №№ 59-60 к экзамену	Демонстрирует слабое владение методами метрологической аттестации наноматериалов.	В целом владеет методами метрологической аттестации наноматериалов, однако допускает незначительные ошибки	Уверенно владеет методами метрологической аттестации наноматериалов

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ (ТУ): промежуточная аттестация проводится в форме **экзамена**. Критерии оценивания – «удовлетворительно», «хорошо», «отлично» приведены в таблице 2.

Оценка «отлично» ставится, если ответ студента отличается последовательностью, логикой изложения, учащийся демонстрирует глубину владения представленным материалом, ответы формулируются аргументировано, обосновывается собственная позиция в проблемных ситуациях.

Оценка «хорошо» ставится, если студент демонстрирует полное знание учебно-программного материала, показывает систематический характер знаний по дисциплине и способность к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности, при этом в ответе возможны погрешности, самостоятельно устранимые студентом.

Оценка «удовлетворительно» ставится, если студент демонстрирует знания основного учебно-программного материала в объеме, минимально необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, при этом допускает погрешности в ответе на экзамене, но обладает знаниями для их устранения под руководством преподавателя

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если ответ студента не передает содержание проблемы, не демонстрирует умение выделять главное, существенное, ответ носит краткий, неглубокий, поверхностный характер.

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

#### **а) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-3**

1. Классификация и общие характеристики физико-химических методов исследования твердых веществ. Спектроскопия и микроскопия. Возбуждающие воздействия и регистрируемые частицы. Шкала энергии электромагнитных волн.
2. Выбор и роль методики исследования. Пробоподготовка. Средства обеспечения надежности и воспроизводимости результатов исследования. Стандартные образцы и эталоны. Поверка и калибровка оборудования. Сертификация.
3. Плоская электромагнитная волна, её распространение в среде. Отражение и преломление света на границе раздела непоглощающих сред. Основное уравнение эллипсоидности.
4. Принципы регистрации спектральных данных. Спектрофотометрия, спектрометрия и фотометрия. Спектральное разрешение. Диспергирующие элементы и монохроматоры, спектральная развертка. Фурье-спектроскопия.
5. Геометрия спектральных измерений. Спектроскопия пропускания, отражения и рассеяния. Нарушенное полное внутреннее отражение и спектроскопия НПВО и МНПВО. Спектроскопия диффузного отражения.
6. Форма спектров: непрерывные (континуальные), ступенчатые и линейчатые спектры. Уширение спектральных линий: механизмы уширения и форма спектральных контуров (Лоренц, Гаусс, Фохт).
7. Количественная обработка спектров. Аппаратная функция. Интегральная интенсивность. Базовая линия. Деконволюция перекрывающихся полос. Количественный анализ спектров поглощения электромагнитного излучения. Двухлучевая схема измерений.
8. Прямая и обратная задачи. Однородная полубесконечная среда. Однослойная модель, многослойная модель и оптически неоднородный слой. Учет рельефа поверхности и размытия межфазных границ.
9. Колебательная спектроскопия двухатомных молекул. Гармонический осциллятор, силовая константа, уровни колебательной энергии и фундаментальные колебательные переходы. Нулевые колебания. Правила отбора. Физические причины ангармонизма. Ангармонический осциллятор Морзе: уровни колебательной энергии, коэффициент ангармонизма, обертоны, горячие переходы.

10. Колебательная спектроскопия многоатомных молекул. Общее число нормальных колебаний молекул. Внутренние молекулярные координаты. Классификация нормальных колебаний по форме и симметрии. Роль симметрии при анализе структуры молекул. Теория симметрии молекул. Операции и элементы симметрии. Нотации по Шенфлису и Герману-Могену. Точечные группы симметрии. Иерархия точечных групп. Гармоническое силовое поле, нормальные колебания, форма колебаний. Степень локализации. Характеристические колебания. Изотопный анализ. Влияние вращения на колебания молекул. Вращательно-колебательное расщепление в спектрах. Q,R,P ветви.
11. Колебания в кристаллах. Закон дисперсии. Оптические и акустические фононы. Продольные и поперечные колебательные моды.
12. Основные принципы устройства и действия ИК-спектрометров. Источники и детекторы ИК-излучения. Материалы для оптических элементов спектрометра и кювет. Дисперсионные и Фурье-ИК-спектрометры, их преимущества и недостатки. Инфракрасная спектроскопия пропускания. Интенсивность полос поглощения в спектрах и правила отбора. Пробоподготовка твердофазных материалов. Анализ состава и структуры объектов исследования. Характеристические колебания и функциональные группы. Метод «отпечатков пальцев»
13. ИК-спектроскопия зеркального отражения. Теоретические основы явления отражения, формулы Френеля. Отражение с поглощением. Показатели преломления и поглощения, коэффициент отражения. Роль поляризации ИК-излучения. Области применения. ИК-спектроскопия НПВО и МНПВО. Теоретические основы. Оптические элементы НПВО. Критический угол. Методика регистрации спектров порошкообразных и пленочных материалов. Области применения.
14. ИК-спектроскопия диффузного отражения. Интегрирующая сфера. Методика регистрации. Количественные измерения. Функция Кубелки-Мунка. Реализация измерений in-situ.
15. Фотоакустическая ИК-спектроскопия. Общие принципы. Устройство спектрометра. Области применения.
16. Спектроскопия комбинационного рассеяния: физические принципы, стоксовы и антистоксовы механизмы эмиссии. Правила отбора. Форма и интерпретация спектров. Устройство спектрометра, источники и детекторы излучения. Варианты регистрации. Количественное описание интенсивности полос комбинационного рассеяния. Тензор поляризуемости. Степень деполяризации. Угловые зависимости. Влияние длины волны возбуждающего излучения. Методические проблемы КР.
17. Спектроскопия поглощения в области видимого и ближнего УФ света: Механизмы электронных переходов. Интенсивность поглощения. Правила отбора. Квантово-механическое описание электронных переходов. Уравнение Шредингера для водородоподобного атома. Матричный элемент перехода. Количественные характеристики поглощения и связь между ними: матричный элемент, коэффициент экстинкции, коэффициенты Эйнштейна, сила осциллятора, интегральная интенсивность. Количественный анализ. Источники излучения и детекторы. Принципиальные схемы измерения. Спектроскопия пропускания, отражения и диффузного отражения. Спектроскопия нарушенного полного внутреннего отражения.
18. Методы решения обратной задачи эллипсометрии: графо-аналитический метод, численное решение обратной задачи. Многотолщинные измерения. Итерационный метод. Решение обратной задачи для неоднородных слоев.
19. Атомно-абсорбционная и атомно-эмиссионная спектроскопия. Правила отбора. Спектральные термы Аппаратная реализация. Качественный и количественный анализ.
20. Спектроскопия в области видимого и ближнего УФ света молекулярных и ионных объектов: Теоретические основы. Метод МО ЛКАО и самосогласованное поле. Диаграммы молекулярных орбиталей. Молекулярные термы. Адиабатическое приближение. Принцип Франка-Кондона. Стоксовы и антистоксовы смещения. Электронно-колебательное расщепление и вибронные спектры.

21. Спектроскопия в области видимого и ближнего УФ света твердых объектов: Теоретические основы. Обратная решетка, зона Бриллюэна. Статистика Ферми и плотность состояний. Зонная структура. Запрещенная зона и край фундаментального поглощения. Особенности методик исследования твердых тел (пропускание, отражение). Качественный и количественный анализ.
22. Эмиссионная спектроскопия в области видимого света. Механизмы электронных переходов. Интенсивность эмиссии и время затухания. Флуоресценция и фосфоресценция. Стоксовы и антистоксовы сдвиги в эмиссионных спектрах. Аппаратная реализация.
23. Широкополосная рентгеновская спектроскопия поглощения. Форма и интерпретация спектров рентгеновского поглощения. Элементный анализ
24. Спектроскопия тонкой структуры вблизи края рентгеновского поглощения (XANES). Природа пика предвозбуждения. Анализ степени окисления и координационного окружения атомов твердого тела.
25. Спектроскопия растянутой тонкой структуры рентгеновского поглощения (EXAFS). Радиальная функция распределения. Анализ локальной структуры некристаллических твердых тел.
26. Рентгеновская флуоресценция: физические принципы, способы возбуждения и регистрации, вероятность переходов, форма и интерпретация спектров.
27. Рентгено-зондовый микроанализ: физические принципы, способы возбуждения и регистрации, поверхностная чувствительность и пространственное разрешение.
28. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС): физические принципы, источники рентгеновского излучения, форма спектров, элементная чувствительность, качественный и количественный элементный анализ.
29. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС): анализ химического состояния и химические сдвиги, глубина анализа и поверхностная чувствительность, профиль распределения элементов по глубине, послойный анализ.
30. Оже-спектроскопия: механизмы релаксации дырок на внутренних оболочках по излучательному механизму и механизму Оже, форма спектров. глубина анализа и поверхностная чувствительность, качественный элементный анализ, пространственное разрешение.
31. Механизмы взаимодействия рентгеновского излучения с веществом. Границы фотоэффекта, комптоновского рассеяния и образования электрон-позитронных пар. Обозначения электронных уровней в рентгеновской спектроскопии. Вероятность и сечение фотоэффекта.
32. Источники и детекторы рентгеновского излучения. Основные принципы действия и конструкции рентгеновской трубки. Спектр излучения рентгеновской трубки. Синхротронное излучение.
33. Дифракция рентгеновских лучей. Основные принципы. Закон Вульфа-Брэгга. Атомный фактор рассеяния. Аппаратная реализация и области применения.
34. Дифракция рентгеновских лучей. Рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализ. Исследование монокристаллов, порошков, некристаллических и частично-кристаллических твердых веществ. Порошковые рентгенограммы.
35. Методы измерения эллипсометрических параметров. Оптические схемы и конструкционные особенности эллипсометров.
36. Основные элементы микроскопии. Общие характеристики: увеличение, разрешающая способность, контраст. Числовая апертура. Темнопольные и светлопольные изображения. Оптическая микроскопия. Области применения.
37. Электронная микроскопия пропускания. Физические принципы и аппаратное оформление. Пробоподготовка и требования к образцу. Области применения.
38. Сканирующая электронная микроскопия. Физические принципы и аппаратное оформление. Области применения

#### **б) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ПК-4:**

39. Физические основы сканирующей туннельной микроскопии. Влияние формы туннельного барьера на туннельный ток. Физические процессы в СТМ, влияние разности потенциалов "зонд-образец". Эффект последнего атома.
40. Физические принципы, лежащие в основе атомно-силовой микроскопии. Зонды для АСМ: типы, конструктивные особенности, параметры, основные характеристики. Влияние добротности на резонансные свойства зонда АСМ.
41. Взаимодействие зонда АСМ с поверхностью. Решение задачи Герца. Влияние контактных деформаций на результаты сканирования. Влияние ван-дер-ваальсовых сил на взаимодействие "зонд-образец". Модели адгезионного взаимодействия "зонд-образец".
42. Физические явления, лежащие в основе бесконтактных методик АСМ.
43. Режимы сканирования СТМ, их возможности, достоинства и недостатки. Сканирующая туннельная спектроскопия. Вольт-амперные характеристики системы "зонд-образец". Кулоновская блокада и резонансное туннелирование.
44. Контактные методики АСМ: достоинства, недостатки, особенности реализации. АСАМ, контактные модуляционные методики, электросиловая микроскопия. Разрешающая способность АСМ в контактных режимах.
45. Полуконтактный (прерывисто-контактный) метод АСМ: достоинства, недостатки, фазовый контраст.
46. Особенности осуществления и возможности многопроходных методик АСМ. Факторы, определяющие пространственное разрешение в многопроходных методиках.
47. Взаимодействие света с веществом. Режимы сканирующей ближнепольной оптической микроскопии, разрешающая способность.
48. Сканирующая ионная микроскопия: возможности, разрешающая способность, методики.
49. Локальная силовая спектроскопия. Зависимость формы кривых от свойств исследуемого материала. Определение локальной нанотвердости.
50. Возможности и ограничения различных методик СЗМ в исследовании характеристик и создании наноструктур и наноматериалов.
51. Пробоподготовка наноразмерных дисперсных и высокопористых материалов для СЗМ-исследований.
- 52.Arteфакты АСМ: причины, проявления, способы устранения.
53. Классификация и особенности методов сканирующей зондовой микроскопии. Место СЗМ в иерархии методов высокого разрешения.
54. Общее устройство и принципы работы сканирующего зондового микроскопа. Виды исполнения основных конструктивных элементов. Организация обратной связи.
55. Зонды СБОМ: получение, особенности, недостатки.
56. Влияние пробоподготовки и условий проведения эксперимента на чувствительность СЗМ.
57. Цели и виды математической обработки результатов сканирования.
58. Оценка шероховатости и текстуры исследуемой поверхности.
59. Метрология и стандартизация в нанотехнологиях.
60. Установки высокой точности, меры, калибровочные решетки, стандартные образцы.

К экзамену допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. При сдаче экзамена, студент получает 2 вопроса из перечня, приведенного выше.

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.