

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 26.09.2023 17:14:16  
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  
«20» сентября 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ**  
**В НАНОРАЗМЕРНОМ СОСТОЯНИИ**

Направление подготовки  
**22.04.01 Материаловедение и технологии материалов**

Направленность программы магистратуры

**Все направленности**

Квалификация

**Магистр**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **Химии веществ и материалов**

Кафедра **Химической нанотехнологии и материалов электронной техники**

Санкт-Петербург

2021

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

| Должность | Подпись | Ученое звание, фамилия, инициалы |
|-----------|---------|----------------------------------|
| Доцент    |         | доцент Е.А. Соснов               |

Рабочая программа дисциплины «Физико-химические методы исследования твердых веществ в наноразмерном состоянии» обсуждена на заседании кафедры химической нанотехнологии и материалов электронной техники

протокол от 22.06.2021 № 10

Заведующий кафедрой

профессор А.А. Малыгин

Одобрено учебно-методической комиссией факультета химии веществ и материалов

протокол от 16. 09. 2021 № 1

Председатель

доцент С.Г. Изотова

## СОГЛАСОВАНО

|   |  |                      |
|---|--|----------------------|
| Руководитель ООП<br>«Материаловедение и технологии<br>материалов» |  | доцент Н.В. Захарова |
| Директор библиотеки   |  | Т.Н. Старостенко     |
| Начальник методического отдела<br>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 .....  | 05 |
| 4. Содержание дисциплины .....   | 06 |
| 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.....  | 06 |
| 4.2. Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины ....   | 07 |
| 4.3. Занятия лекционного типа .....  | 07 |
| 4.4. Занятия семинарского типа.....  | 15 |
| 4.4.1. Семинары, практические занятия .....  | 15 |
| 4.4.2. Лабораторные занятия .....  | 16 |
| 4.5. Самостоятельная работа.....   | 18 |
| 5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....                                       | 20 |
| 6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации .....  | 21 |
| 7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины .....   | 22 |
| 8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.....   | 25 |
| 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины .....  | 25 |
| 10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине .....                         | 26 |
| 10.1. Информационные технологии .....  | 26 |
| 10.2. Программное обеспечение.....   | 26 |
| 10.3. Базы данных и информационные справочные системы .....  | 26 |
| 11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....                                | 26 |
| 12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья .....   | 26 |
| Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации .....  | 27 |

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

Для освоения образовательной программы магистратуры обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

| Код и наименование компетенции   | Код и наименование индикатора достижения компетенции   | Планируемые результаты обучения (дескрипторы)  |
|--|--|--|
| <p><b>ОПК-1</b><br/>Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области материаловедения и технологии материалов</p>   | <p><b>ОПК-1.1</b><br/>Решение производственных и исследовательских задач на основе знаний об особенностях строения и свойств материалов в наноразмерном состоянии.</p> | <p><b>Знать:</b> особенности строения и свойств твердых веществ в наноразмерном состоянии (ЗН-1).<br/><b>Уметь:</b> выбирать физико-химические методы анализа и соответствующее аналитическое оборудование, обеспечивающее решение производственных и/или исследовательских задач (У-1).<br/><b>Владеть:</b> базовыми методами анализа состава, строения вещества наноматериалов различной мерности, применяемых в электронной технике (Н-1)</p>   |
| <p><b>ОПК-4</b><br/>Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности</p>  | <p><b>ОПК-4.1</b><br/>Поиск и анализ информации об особенностях определения состава, строения и свойств материалов в наноразмерном состоянии</p>                       | <p><b>Знать:</b> физико-химические основы методов анализа, применяемых для исследования состава, строения и свойств наночастиц, наноразмерных покрытий и наноструктурированных материалов (ЗН-2)<br/><b>Уметь:</b> анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по особенностям методик проведения физико-химических исследований материалов в наноразмерном состоянии (У-2).<br/><b>Владеть:</b> навыками поиска и систематизации научно-технической информации (Н-2).</p>   |
| <p><b>ПК-6</b><br/>Способен организовать проведение анализа и анализировать структуру новых материалов, адаптировать методики исследования свойств материалов к потребностям производства и разрабатывать специальные методики</p> | <p><b>ПК-6.1</b><br/>Проведение физико-химических исследований наноструктурированных материалов и функциональных покрытий.</p>   | <p><b>Знать:</b> методы определения размерных характеристик, состава, структуры и функциональных параметров твердых веществ в наноразмерном состоянии (ЗН-3)<br/><b>Уметь:</b> выбирать исследования, обеспечивающие определение требуемых параметров наноматериалов с заданной чувствительностью и погрешностью измерений; адаптировать методики пробоотбора, пробоподготовки и проведения измерений к потребностям (У-3)<br/><b>Владеть:</b> навыками исследования наночастиц, поверхностных наноструктур, нанопокровтий, их размерных характеристик и физико-химических свойств (Н-3)</p> |

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина "Физико-химические методы исследования твердых веществ в наноразмерном состоянии" относится обязательным дисциплинам Блока 1 «Дисциплины» образовательной программы магистратуры (Б1.О.04) и изучается на первом году обучения в 1 и 2 семестрах.

Изучение дисциплины базируется на знаниях и умениях, полученных в ходе обучения по программам бакалавриата по направлению подготовки 22.03.01 при изучении курсов "Физика", "Физическая химия твердого тела и наноразмерных систем", "Химическая технология наноматериалов и наносистем", "Методы исследования наносистем и наноматериалов".

Полученные в результате освоения дисциплины "Физико-химические методы исследования твердых веществ в наноразмерном состоянии" знания, умения и навыки могут быть использованы магистрантами при выполнении магистерских диссертаций по тематике, связанной с разработкой и внедрением наукоемких процессов, материалов и технологий, созданием функциональных или конструкционных наноматериалов и разработкой нанотехнологических процессов.

## 3. Объем дисциплины

| Вид учебной работы  | Всего,<br>академических часов                          |
|---|--|
|   | Очная форма обучения                                   |
| <b>Общая трудоемкость дисциплины</b><br>(зачетных единиц / академических часов) | <b>11 / 396</b>  |
| <b>Контактная работа с преподавателем:</b>                                      | <b>214</b>   |
| занятия лекционного типа  | 68   |
| занятия семинарского типа, в т.ч.   | 154  |
| семинары, практические занятия (в том числе практическая подготовка)            | 34 (10)  |
| лабораторные работы (в том числе практическая подготовка)                       | 120 (111)  |
| курсовое проектирование (КР или КП)   | -  |
| КСР   | 10   |
| другие виды контактной работы   | -  |
| <b>Самостоятельная работа</b>   | <b>137</b>   |
| <b>Формы текущего контроля</b>  | -  |
| <b>Форма промежуточной аттестации</b>   | <b>зачет (1 семестр),<br/>экзамен (27) (2 семестр)</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 и принципы физико-химических методов исследования наносистем                  | 2                                    | 2                                       |                     | 4                                  | ОПК-1.1                 |
| 2                | Общие принципы анализа и обработки спектральных данных  | 6                                    |   |                     | 8                                  | ОПК-1.1                 |
| 3                | Колебательная спектроскопия: ИК и КР-спектроскопия  | 10                                   | 4                                       | 16                  | 6                                  | ПК-6.1                  |
| 4                | Спектроскопия в видимой и ближней ультрафиолетовой области спектра применительно к наноматериалам | 4                                    | 4                                       | 8                   | 12                                 | ПК-6.1                  |
| 5                | Рентгеновская и электронная спектроскопия наносистем  | 6                                    | 4                                       |                     | 16                                 | ПК-6.1                  |
| 6                | Анализ материалов методами дифракции рентгеновских лучей, нейтронов, электронов                   | 2                                    |   | 24                  | 10                                 | ПК-6.1                  |
| 7                | Исследование морфологии и топографии наносистем методами электронной микроскопии                  | 4                                    | 2                                       |                     | 20                                 | ПК-6.1                  |
| 8                | Термические и адсорбционные методы анализа наносистем   | 2                                    | 2                                       | 24                  | 8                                  | ПК-6.1                  |
| <b>1 семестр</b> |   | <b>36</b>                            | <b>18</b>                               | <b>72</b>           | <b>84</b>                          |                         |
| 9                | Измерения размерных характеристик наноматериалов  | 2                                    |   | 3                   | 8                                  | ОПК-4.1                 |
| 10               | Методы сканирующей зондовой микроскопии   | 24                                   | 14                                      | 39                  | 27                                 | ПК-6.1                  |
| 11               | Эллипсометрия наноразмерных пленок  | 6                                    | 2                                       | 6                   | 18                                 | ОПК-4.1                 |
| <b>2 семестр</b> |   | <b>32</b>                            | <b>16</b>                               | <b>48</b>           | <b>53</b>                          |                         |
| <b>ИТОГО</b>     |   | <b>68</b>                            | <b>34</b>                               | <b>120</b>          | <b>137</b>                         |                         |

#### 4.2 Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины

| № п/п | Код индикаторов достижения компетенции | Наименование раздела дисциплины  |
|-------|--|--|
| 1     | ОПК-1.1                                | Общая классификация и принципы физико-химических методов исследования наносистем<br>Общие принципы анализа и обработки спектральных данных   |
| 2     | ОПК-4.1                                | Измерения размерных характеристик наноматериалов<br>Эллипсометрия наноразмерных пленок   |
| 3     | ПК-6.1                                 | Колебательная спектроскопия: ИК и КР-спектроскопия<br>Спектроскопия в видимой и ближней ультрафиолетовой области спектра применительно к наноматериалам<br>Рентгеновская и электронная спектроскопия наносистем<br>Анализ материалов методами дифракции рентгеновских лучей, нейтронов, электронов<br>Исследование морфологии и топографии наносистем методами электронной микроскопии<br>Термические и адсорбционные методы анализа наносистем<br>Методы сканирующей зондовой микроскопии |

#### 4.3. Занятия лекционного типа

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия  | Объем, акад. часы | Инновационная форма |
|----------------------|---|-------------------|---------------------|
| 1                    | <b>Общая классификация и принципы физико-химических методов исследования наносистем</b><br>Классификация и общие характеристики физико-химических методов исследования твердых веществ. Спектроскопия и микроскопия. Классификация по природе возбуждающего воздействия и регистрируемых частиц. Шкала энергии электромагнитных волн.   | 2                 | Лекция-беседа       |
| 2                    | <b>Общие принципы анализа и обработки спектральных данных</b><br>Спектроскопия пропускания, отражения и рассеяния. Принципы регистрации спектральных данных. Спектрофотометрия, спектрометрия и фотометрия. Спектральное разрешение. Диспергирующие элементы и монохроматоры, спектральная развертка. Фурье-спектроскопия. Роль геометрии спектральных исследований. Нарушенное полное внутреннее отражение и спектроскопия НПВО и МНПВО. Спектроскопия диффузного отражения.<br>Форма спектров: непрерывные (континуальные), ступенчатые и линейчатые спектры и их математическая обработка. Естественное и аппаратное уширение. Аппаратная функция. Интегральная интенсивность. | 6                 | Лекция-беседа       |

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия  | Объем, акад. часы | Инновационная форма |
|----------------------|---|-------------------|---------------------|
|                      | <p>Базовая линия. Механизмы уширения спектральных линий и форма спектральных контуров (Лоренц, Гаусс, Фохт). Деконволюция перекрывающихся полос. Количественный анализ спектров поглощения электромагнитного излучения. Двухлучевая схема измерений.</p> <p>Пробоподготовка, ее специфика для наноструктурированных материалов. Средства обеспечения надежности и воспроизводимости результатов исследования. Поверка, калибровка и сертификация оборудования для физико-химических исследований. Стандартные образцы и спектральные эталоны.</p>   |                   |                     |
| 3                    | <p><b>Колебательная спектроскопия: ИК и КР-спектроскопия</b></p> <p>Теоретические основы колебательной спектроскопии: гармонический осциллятор, силовая константа, уровни колебательной энергии и фундаментальные колебательные переходы, нулевые колебания. Правила отбора.</p> <p>Физические причины ангармонизма. Ангармонический осциллятор Морзе: уровни колебательной энергии, коэффициент ангармонизма, фундаментальные и горячие переходы, обертоны.</p> <p>Колебательная спектроскопия многоатомных молекул. Классификация нормальных колебаний по форме и симметрии. Ангармонические эффекты в многоатомных молекулах, составные колебания.</p> <p>Роль симметрии в колебательной спектроскопии, колебательные термы, их классификация и обозначения по симметрии. Теория симметрии молекул. Операции и элементы симметрии. Нотации по Шенфлису и Герману-Могену. Точечные группы симметрии. Иерархия точечных групп.</p> <p>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.</p> <p>Колебания в кристаллах. Закон дисперсии. Оптические и акустические фононы, фононный спектр. Продольные и поперечные колебательные моды.</p> | 4                 | Лекция-беседа       |
|                      | <p>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»</p>  | 4                 | Лекция-беседа       |



| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия  | Объем, акад. часы | Инновационная форма |
|----------------------|---|-------------------|---------------------|
|                      | <p>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.</p> <p>ИК-спектроскопия диффузного отражения. Интегрирующая сфера. Методика регистрации. Количественные измерения. Функция Кубелки-Мунка. Реализация измерений in-situ.</p> <p>Фотоакустическая ИК-спектроскопия. Общие принципы. Устройство спектрометра. Области применения.</p> <p>Роль пробоподготовки для твердых веществ и наноматериалов. Форма и интерпретация спектров.</p>   |                   |                     |
|                      | Спектроскопия комбинационного рассеяния: физические принципы, стоксовы и анистоксовы механизмы эмиссии. Правила отбора. Пробоподготовка. 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. Взаимно дополнительный характер ИК- и КР-спектров.  | 2                 | Лекция-беседа       |
| 4                    | <p><b>Спектроскопия в видимой и ближней ультрафиолетовой области спектра применительно к наноматериалам</b></p> <p>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</p> <p>Спектроскопия в области видимого и ближнего УФ света молекулярных и координационных соединений. Метод МО ЛКАО и самосогласованное поле. Диаграммы молекулярных орбиталей. Молекулярные</p> | 4                 | Лекция-беседа       |

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия   | Объем, акад. часы | Инновационная форма |
|----------------------|--|-------------------|---------------------|
|                      | <p>термы. Адиабатическое приближение. Принцип Франка-Кондона. Стоксовы и антистоксовы смещения. Электронно-колебательное расщепление и вибронные спектры. Уширение полос, интегральная интенсивность полос поглощения и количественный анализ.</p> <p>Спектроскопия в области видимого и ближнего УФ света 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. Качественный и количественный анализ.</p> <p>Атомно-абсорбционная и атомно-эмиссионная спектроскопия. Правила отбора. Спектральные термы. Аппаратная реализация, схемы регистрации, пробоподготовка. Индуктивно-связанная плазма. Качественный и количественный анализ.</p> |                   |                     |
| 5                    | <p><b>Рентгеновская и электронная спектроскопия наносистем</b></p> <p>Механизмы взаимодействия рентгеновского излучения с веществом. Красная граница и сечение фотоэффекта, комптоновское рассеяние и образование электрон-позитронных пар. Обозначения электронных уровней в рентгеновской спектроскопии.</p> <p>Источники и детекторы рентгеновского излучения. Основные принципы действия и конструкции рентгеновской трубки. Спектр излучения рентгеновской трубки. Синхротронное излучение.</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.</p>                                      | 2                 | Лекция-беседа       |
|                      | <p>Широкополосная рентгеновская спектроскопия поглощения. Форма и интерпретация спектров рентгеновского поглощения. Элементный анализ.</p> <p>Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов и спектроскопия потенциала появления</p> <p>Спектроскопия тонкой структуры вблизи края рентгеновского поглощения (XANES). Природа пика предвозбуждения. Анализ степени окисления и координационного окружения атомов твердого тела.</p> <p>Спектроскопия растянутой тонкой структуры рентгеновского поглощения (EXAFS). Радиальная</p>  | 2                 | Лекция-беседа       |

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия  | Объем, акад. часы | Инновационная форма |
|----------------------|---|-------------------|---------------------|
|                      | <p>функция распределения. Анализ локальной структуры некристаллических твердых тел.</p> <p>Рентгеновская флуоресценция: физические принципы, способы возбуждения и регистрации, вероятность переходов, форма и интерпретация спектров.</p>  |                   |                     |
|                      | <p>Рентгенозондовый микроанализ: физические принципы, способы возбуждения и регистрации, поверхностная чувствительность и пространственное разрешение.</p> <p>Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС): физические принципы, источники рентгеновского излучения, форма спектров, элементная чувствительность, качественный и количественный элементный анализ. Анализ химического состояния и химические сдвиги, глубина анализа и поверхностная чувствительность, профиль распределения элементов по глубине, послойный анализ.</p> <p>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.</p> | 2                 | Лекция-беседа       |
| 6                    | <p><b>Анализ материалов методами дифракции 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. Рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализ. Исследование монокристаллов, порошков, некристаллических и частично-кристаллических твердых веществ. Порошковые рентгенограммы. Особенности дифракции нейтронов. Упругое и неупругое рассеяние нейтронов. Аппаратная реализация. Методы дифракции медленных, быстрых и быстрых отраженных электронов. Поверхностная чувствительность. Представления о симметрии двумерного кристалла. Исследование процессов реконструкции и релаксации поверхности.</p>                    | 2                 | Лекция-беседа       |
| 7                    | <p><b>Исследование морфологии и топографии наносистем методами электронной микроскопии</b></p> <p>Разновидности электронной микроскопии. Электронная микроскопия пропускания: физические принципы и аппаратное оформление, разрешающая способность. Пробоподготовка и требования к образцу.</p> <p>Сканирующая электронная микроскопия: основные принципы, аппаратная реализация, сочетание с рентгено-спектральным анализом, контраст в первичных и вторичных электронах, разрешающая способность.</p> <p>Низковакуумная сканирующая электронная микроскопия. Режим естественной среды. Катодолю-</p>  | 4                 | Лекция-беседа       |

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия  | Объем, акад. часы | Инновационная форма |
|----------------------|---|-------------------|---------------------|
|                      | минисценция. Режим наведённого тока. Оже-электронная спектроскопия. Просвечивающая электронная микроскопия.   |                   |                     |
| 8                    | <p><b>Термические и адсорбционные методы анализа наносистем</b></p> <p>Методы анализа на основе химических и термических воздействий. Дифференциально-термический анализ: основные принципы, аппаратная реализация, интерпретация результатов.</p> <p>Адсорбционные методы исследования: теоретические основы, аппаратная реализация, регистрация изотерм сорбции в газовых и жидких средах, измерение удельной поверхности и пористости, анализ кислотно-основных свойств поверхности твердых тел и наночастиц.</p>  | 2                 | Лекция-беседа       |
| 9                    | <p><b>Измерения размерных характеристик наноматериалов</b></p> <p>Классификация наноматериалов.</p> <p>Методы измерения размеров высокодисперсных наноматериалов. Дисперсный анализ по рассеянию оптического излучения, по дифракции лазерного излучения, по динамическому рассеиванию света, по дифференциальной электрической подвижности наночастиц, на основе диффузионной спектроскопии, сепарацией по массе.</p> <p>Методы определения размеров наночастиц и тонких пленок.</p>   | 2                 | Лекция-беседа       |
| 10                   | <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>  | 2                 | Лекция-беседа       |
|                      | <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> | 4                 | Лекция-беседа       |

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия  | Объем, акад. часы | Инновационная форма |
|----------------------|---|-------------------|---------------------|
|                      | <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> <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> | 10                | Лекция-беседа       |

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия   | Объем, акад. часы | Инновационная форма |
|----------------------|--|-------------------|---------------------|
|                      | Классическая, конфокальная и сканирующая ближне-полюсная 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.  | 2                 | Лекция-беседа       |
|                      | 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.   | 2                 | Лекция-беседа       |
|                      | 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.   | 2                 | Лекция-беседа       |
|                      | 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.   | 2                 | Лекция-беседа       |
| 11                   | <p><b>Эллипсометрия наноразмерных 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: графо-аналитический 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> | 6                 | Лекция-беседа       |

#### 4.4. Занятия семинарского типа

##### 4.4.1. Семинары, практические занятия

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия  | Объем, акад. часы |                                   | Инновационная форма  |
|----------------------|---|-------------------|-----------------------------------|--|
|                      |   | всего             | в т.ч. на практическую подготовку |  |
| 1                    | <b>Общая классификация и принципы физико-химических методов исследования наносистем</b><br>Аппаратная функция. Интегральная интенсивность. Базовая линия. Деконволюция перекрывающихся полос.   | 2                 |                                   | Групповая научная дискуссия                                  |
| 3                    | <b>Колебательная спектроскопия наносистем: ИК и КР-спектроскопия</b><br>Колебания многоатомных молекул: силовое поле, нормальные колебания, классификация по форме колебаний, ангармонические эффекты в многоатомных молекулах, составные колебания. Колебания в кристаллах: акустические и оптические фононы, фононный спектр.<br>Форма и интерпретация ИК-спектров.<br>Форма и интерпретация спектров КР  | 4                 |                                   | Разбор конкретных ситуаций                                   |
| 4                    | <b>Спектроскопия в видимой и ближней ультрафиолетовой области спектра применительно к наноматериалам</b><br>Квантово-механическое описание электронных переходов. Матричный элемент перехода. Связь матричного элемента с коэффициентами экстинкции, Эйнштейна и силой осциллятора. Атомная, молекулярная и твердотельная оптическая спектроскопия.<br>Теоретические основы оптической спектроскопии твердотельных объектов. Зонная структура. Запрещенная зона и край фундаментального поглощения. | 4                 |                                   | Разбор конкретных ситуаций                                   |
| 5                    | <b>Рентгеновская и электронная спектроскопия наносистем</b><br>Интерпретация спектров и получаемая информация Фотоэлектронная спектроскопия, Оже-спектроскопия, рентгенофлуоресцентный и рентгенозондовый анализ. Конструкция спектрометров: источники возбуждающего воздействия и детекторы, условия регистрации.  | 4                 |                                   | Разбор конкретных ситуаций                                   |
| 7                    | <b>Исследование морфологии и топографии наносистем методами электронной микроскопии</b><br>Сканирующая электронная микроскопия: основные принципы, аппаратная реализация, сочетание с рентгенозондовым анализом, контраст в первичных и вторичных электронах, разрешающая способность.  | 2                 |                                   | Компьютерное моделирование и практический анализ результатов |

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия  | Объем, акад. часы |                                   | Инновационная форма         |
|----------------------|---|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
|                      |   | всего             | в т.ч. на практическую подготовку |                             |
| 8                    | <b>Термические и адсорбционные методы анализа наносистем</b><br>Измерение удельной поверхности и пористости, анализ кислотно-основных свойств поверхности твердых тел и наночастиц. | 2                 | 2                                 | Разбор конкретных ситуаций  |
| 10                   | <b>Методы сканирующей зондовой микроскопии</b><br>Расчет рабочих характеристик кантилеверов   | 2                 |                                   | Расчетная работа            |
|                      | Возможности измерительных методик АСМ.  | 4                 |                                   | Разбор конкретных ситуаций  |
|                      | Артефакты АСМ и методы борьбы с ними  | 4                 | 4                                 | Разбор конкретных ситуаций  |
|                      | Тест-объекты для калибровки АСМ   | 2                 |                                   | Групповая научная дискуссия |
|                      | Определение шероховатости поверхности   | 2                 | 2                                 | Групповая научная дискуссия |
| 11                   | <b>Эллипсометрия наноразмерных пленок</b><br>Решение обратной задачи эллипсометрии в рамках однослойной модели  | 2                 | 2                                 | Расчетная работа            |

#### 4.4.2. Лабораторные занятия

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия  | Объем, акад. часы |                                   | Примечания |
|----------------------|---|-------------------|-----------------------------------|------------|
|                      |   | всего             | в т.ч. на практическую подготовку |            |
| 3                    | Техника и методика ИК-спектроскопии.  | 8                 | 8                                 |            |
|                      | Изучение оксидных наноструктур на поверхности полимерных материалов методом ИК-Фурье спектроскопии.                       | 8                 | 8                                 |            |
| 4                    | Определение состояния элементов в оксидных нанослоях на дисперсных твердофазных матрицах по спектрам диффузного отражения | 8                 | 8                                 |            |
| 6                    | Рентгенодифракционный анализ поликристаллических веществ  | 8                 | 8                                 |            |
|                      | Определение толщины пленки на подложке методом внешнего стандарта   | 8                 | 8                                 |            |
|                      | Определение параметров кристаллической решетки пленочного образца.  | 8                 | 8                                 |            |
| 8                    | Определение удельной поверхности методом низкотемпературной адсорбции азота.  | 8                 | 8                                 |            |



| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия  | Объем, акад. часы |                                   | Примечания |
|----------------------|---|-------------------|-----------------------------------|------------|
|                      |   | всего             | в т.ч. на практическую подготовку |            |
|                      | Техника и методика дифференциального термического анализа   | 8                 | 8                                 |            |
|                      | Определение кислотно-основных характеристик поверхности твердых веществ.                                      | 8                 | 8                                 |            |
| 9                    | Определение толщины тонких пленок интерференционным методом.  | 3                 | 3                                 |            |
| 10                   | Изучение возможностей различных режимов СТМ   | 3                 |                                   |            |
|                      | 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   | 6                 | 6                                 |            |
|                      | 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                 | 3                                 |            |
|                      | Визуализация поверхности полимерных пленок до и после химического модифицирования.                            | 3                 | 3                                 |            |
|                      | Исследование дисперсных наноматериалов методом атомно-силовой микроскопии.                                    | 3                 | 3                                 |            |
|                      | Применение АСМ для оценки размеров каналов и исследования морфологии поверхности пористых материалов.         | 3                 | 3                                 |            |
|                      | Исследование поверхности композиционного материала с диспергированным наполнителем.                           | 3                 | 3                                 |            |
| 11                   | Измерение толщин и оптических постоянных тонких плёнок диэлектриков   | 6                 | 6                                 |            |

#### 4.5. Самостоятельная работа обучающихся

| № раздела дисциплины | Перечень вопросов для самостоятельного изучения  | Объем, акад. часы | Форма контроля |
|----------------------|--|-------------------|----------------|
| 1                    | <b>Общая классификация и принципы физико-химических методов исследования наносистем</b><br>Пробоподготовка, ее специфика для наноструктурированных материалов. Поверка, калибровка и сертификация оборудования для физико-химических исследований.   | 4                 | зачет          |
| 2                    | <b>Общие принципы анализа и обработки спектральных данных</b><br>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. | 8                 | зачет          |
| 3                    | <b>Колебательная спектроскопия наносистем: ИК и КР-спектроскопия</b><br>Роль симметрии в колебательной спектроскопии, колебательные термы, их классификация и обозначения по симметрии.  | 6                 | зачет          |
| 4                    | <b>Спектроскопия в видимой и ближней ультрафиолетовой области спектра применительно к наноматериалам</b><br>Механизмы электронных переходов. Интенсивность поглощения. Правила отбора. Кристаллическое поле. Корреляционные диаграммы.   | 6                 | зачет          |
|                      | Эмиссионная оптическая спектроскопия, люминесценция, флуоресценция и фосфоресценция  | 6                 | зачет          |
| 5                    | <b>Рентгеновская и электронная спектроскопия наносистем</b><br>Источники и детекторы рентгеновского излучения. Форма и интерпретация Оже-спектров. Области применения рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии  | 6                 | зачет          |
|                      | Аналитические возможности Оже-спектроскопии для анализа профилей распределения элементов по глубине и контроля состава поверхности материалов электронной техники  | 6                 | зачет          |
|                      | Анализ строения некристаллических твердых материалов методом спектроскопии EXAFS   | 4                 | зачет          |
| 6                    | <b>Анализ материалов методами дифракции рентгеновских лучей, нейтронов, электронов</b><br>Сравнительный анализ возможностей и областей применения дифракционных методов анализа структуры кристаллических твердых тел  | 6                 | зачет          |

| № раздела дисциплины | Перечень вопросов для самостоятельного изучения  | Объем, акад. часы | Форма контроля |
|----------------------|--|-------------------|----------------|
|                      | Области применения синхротронного излучения для физико-химического анализа твердых тел   | 4                 | зачет          |
| 7                    | <b>Исследование морфологии и топографии наносистем методами электронной микроскопии</b><br>Использование Оже-спектроскопии для исследования морфологии наносистем в рамках сканирующей электронной микроскопии.  | 6                 | зачет          |
|                      | Аналитические возможности и особенности пробоподготовки просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения   | 6                 | зачет          |
|                      | Электронно-зондовый анализ морфологии и состава поверхности твердых тел  | 4                 | зачет          |
|                      | Методы анализа процессов релаксации и реконструкции поверхности монокристаллов   | 4                 | зачет          |
| 8                    | <b>Термические и адсорбционные методы анализа наносистем</b><br>Адсорбционные методы исследования наноструктурированных материалов.  | 8                 | зачет          |
| 9                    | <b>Измерения размерных характеристик наноматериалов</b><br>Метрология линейных измерений в нанометровой области. Особенности метрологии дисперсных наноматериалов. Метрология физико-химических свойств наноматериалов и наносистем  | 8                 | устный опрос   |
| 10                   | <b>Методы сканирующей зондовой микроскопии</b><br>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. | 5                 | устный опрос   |
|                      | 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                 | устный опрос   |
|                      | Особенности конструкции СЗМ. Подвод зонда к образцу. Контроль позиционирования зонда относительно образца.   | 4                 | устный опрос   |
|                      | Технологии получения и контроль характеристик высокоразрешающих зондов   | 4                 | устный опрос   |

| № раздела дисциплины | Перечень вопросов для самостоятельного изучения  | Объем, акад. часы | Форма контроля |
|----------------------|--|-------------------|----------------|
|                      | 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). | 6                 | устный опрос   |
|                      | Методические особенности исследований свойств материалов различной размерности: 0D, 1D, 2D, 3D методами СЗМ.   | 4                 | устный опрос   |
| 11                   | Эллипсометрия наноразмерных пленок Поляризованный свет и характер взаимодействия его с твердым веществом. Планарные модели объектов измерений в эллипсометрии.   | 8                 | устный опрос   |
|                      | Решение основного уравнения эллипсометрии для объектов с идеальной зеркальной границей раздела сред.<br>Решение основного уравнения эллипсометрии для прямой и обратной задач эллипсометрии  | 10                | устный опрос   |

##### 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. Малков, А.А. Определение удельной поверхности твердых тел на анализаторе «СОРБОМЕТР–2.0»: методические указания к лабораторной работе / А.А. Малков, А.Ю. Шевкина.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2009. – 27 с.
11. Соснов, Е.А. Исследование поверхности материалов методом атомно-силовой микроскопии: методические указания к лабораторной работе./ Е.А.Соснов - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2006.- 36 с.
12. 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)
13. Соснов, Е.А. Методы зондовой микроскопии. Сканирующая ионная микроскопия: учебное пособие./ Е.А.Соснов - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2015.- 52 с. (ЭБ)
14. Трифонов, С.А. Исследование твердофазных материалов методом дифференциального термического анализа. Метод. указания / С.А. Трифонов - СПб.: СПбГТИ (ТУ). 2006. – 15 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 1 семестра в виде зачета в устной форме, а в конце 2 семестра - в виде экзамена в устной форме. К сдаче зачета и экзамена допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. Зачет предусматривают выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и включает 2 вопроса из различных тем пройденного материала. Время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин. Экзамен также предусматривают выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и включает 3 вопроса из различных тем пройденного материала. Время подготовки студента к устному ответу - до 40 мин.

Результаты зачета и экзамена включаются в приложение к диплому.

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1.

Примеры вопросов, предлагаемых на зачете и экзамене:

1. Классификация и общие характеристики физико-химических методов исследования твердых веществ. Спектроскопия и микроскопия. Возбуждающие воздействия и регистрируемые частицы. Шкала энергии электромагнитных волн.
2. Источники и детекторы рентгеновского излучения. Основные принципы действия и конструкции рентгеновской трубки. Спектр излучения рентгеновской трубки. Синхротронное излучение.
3. Электронная микроскопия пропускания. Физические принципы и аппаратное оформление. Пробоподготовка и требования к образцу. Области применения.
4. Рентгеновская флуоресценция: физические принципы, способы возбуждения и регистрации, вероятность переходов, форма и интерпретация спектров.
5. Общее устройство и принципы работы сканирующего зондового микроскопа. Виды исполнения основных конструктивных элементов. Организация обратной связи.
6. 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; Министерства 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. 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.

13. 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.
14. Малков, А.А. Определение удельной поверхности твердых тел на анализаторе «СОРБОМЕТР–2.0»: методические указания к лабораторной работе / А.А.Малков, А.Ю. Шевкина; 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. – 28 с.
15. Миронов, В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии / В.Л.Миронов. - Москва: Техносфера, 2005. - 144 с. - ISBN 5-94836-034-2
16. Неволин, В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике / В.К.Неволин. - Москва: Техносфера, 2006. - 159 с. - ISBN 5-94836-098-9
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. 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
21. 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. 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.
2. 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.

3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
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; 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.
8. 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.
9. 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; ЭБС «Лань»

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

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

1. СТО СПбГТИ(ТУ) 039-2013. Магистратура. Общие требования./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2013.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2013.- 25 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; 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 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 1 семестра в виде зачета в устной форме (включает 2 вопроса из различных тем пройденного материала), а в конце 2 семестра - в виде экзамена в устной форме (включает 3 вопроса из различных тем пройденного материала). Результаты зачета и 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;
- взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС.

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

Представление лекционного материала и проведение практических занятий:

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 10 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.

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

1. Учебная аудитория на 10 и более мест
2. Персональный компьютер.
3. Мультимедиа-проектор (разрешение не хуже 1024×758).
4. Стационарный или переносной проекционный экран.

## **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 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов, 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  
"Физико-химические методы исследования твердых веществ  
в наноразмерном состоянии"**

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

| <b>Индекс компетенции</b> | <b>Содержание</b>   | <b>Этап формирования</b> |
|---------------------------|---|--------------------------|
| <b>ОПК-1</b>              | Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области материаловедения и технологии материалов  | промежуточный            |
| <b>ОПК-4</b>              | Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности   | промежуточный            |
| <b>ПК-6</b>               | Способен организовать проведение анализа и анализировать структуру новых материалов, адаптировать методики исследования свойств материалов к потребностям производства и разрабатывать специальные методики | промежуточный            |

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

### 2.1. Зачет (1 семестр)

| Код и наименование индикатора достижения компетенции   | Показатели сформированности (дескрипторы)  | Критерий оценивания                 | Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)   |   |
|--|--|-------------------------------------|--|---|
|  |  |                                     | «не зачтено»   | «зачтено»   |
| <b>ОПК-1.1</b><br>Решение производственных и исследовательских задач на основе знаний об особенностях строения и свойств материалов в наноразмерном состоянии. | Знает особенности строения и свойств твердых веществ в наноразмерном состоянии (ЗН-1).   | Ответы на вопросы №№ 1-6 к зачету   | Не знает особенности строения и свойств твердых веществ в наноразмерном состоянии  | Знает особенности строения и свойств твердых веществ в наноразмерном состоянии  |
|  | Умеет выбирать физико-химические методы анализа и соответствующее аналитическое оборудование, обеспечивающее решение производственных и/или исследовательских задач (У-1). | Ответы на вопросы №№ 7-9 к зачету   | Не умеет выбирать физико-химические методы анализа и соответствующее аналитическое оборудование, обеспечивающее решение производственных и/или исследовательских задач | Умеет выбирать физико-химические методы анализа и соответствующее аналитическое оборудование, обеспечивающее решение производственных и/или исследовательских задач |
|  | Владеет базовыми методами анализа состава, строения вещества наноматериалов различной мерности, применяемых в электронной технике (Н-1)                                    | Ответы на вопросы №№ 10-11 к зачету | Не владеет базовыми методами анализа состава, строения вещества наноматериалов различной мерности, применяемых в электронной технике                                   | Владеет базовыми методами анализа состава, строения вещества наноматериалов различной мерности, применяемых в электронной технике                                   |
| <b>ПК-6.1</b><br>Проведение физико-химических исследований наноструктурированных материалов и функциональных покрытий.   | Знает методы определения размерных характеристик, состава, структуры и функциональных параметров твердых веществ в наноразмерном состоянии (ЗН-3)                          | Ответы на вопросы №№ 12-27 к зачету | Не знает методы определения размерных характеристик, состава, структуры и функциональных параметров твердых веществ в наноразмерном состоянии                          | Знает методы определения размерных характеристик, состава, структуры и функциональных параметров твердых веществ в наноразмерном состоянии                          |

| Код и наименование индикатора достижения компетенции | Показатели сформированности (дескрипторы)   | Критерий оценивания                 | Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)   |   |
|--|---|-------------------------------------|--|---|
|  |   |                                     | «не зачтено»   | «зачтено»   |
|  | Умеет выбирать исследования, обеспечивающие определение требуемых параметров наноматериалов с заданной чувствительностью и погрешностью измерений; адаптировать методики пробоотбора, пробоподготовки и проведения измерений к потребностям (У-3) | Ответы на вопросы №№ 28-38 к зачету | Не умеет выбирать исследования, обеспечивающие определение требуемых параметров наноматериалов с заданной чувствительностью и погрешностью измерений; адаптировать методики пробоотбора, пробоподготовки и проведения измерений к потребностям | Умеет выбирать исследования, обеспечивающие определение требуемых параметров наноматериалов с заданной чувствительностью и погрешностью измерений; адаптировать методики пробоотбора, пробоподготовки и проведения измерений к потребностям |
|  | Владеет навыками исследования наночастиц, поверхностных наноструктур, нанопокровов, их размерных характеристик и физико-химических свойств (Н-3)  | Ответы на вопросы №№ 39-44 к зачету | Не владеет навыками исследования наночастиц, поверхностных наноструктур, нанопокровов, их размерных характеристик и физико-химических свойств  | Владеет навыками исследования наночастиц, поверхностных наноструктур, нанопокровов, их размерных характеристик и физико-химических свойств  |

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ (ТУ): промежуточная аттестация по окончании 1 семестра проводится в форме **зачета**. Критерии оценивания – «**зачтено**», «**не зачтено**» приведены в таблице 2.1.

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

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

## 2.2. Экзамен (2 семестр)

| Код и наименование индикатора достижения компетенции   | Показатели сформированности (дескрипторы)  | Критерий оценивания                   | Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)  |  |  |
|--|--|---------------------------------------|---|--|--|
|  |  |                                       | «удовлетворительно» (пороговый)   | «хорошо» (средний)   | «отлично» (высокий)  |
| <b>ОПК-1.1</b><br>Решение производственных и исследовательских задач на основе знаний об особенностях строения и свойств материалов в наноразмерном состоянии. | Знает особенности строения и свойств твердых веществ в наноразмерном состоянии (ЗН-1).   | Ответы на вопросы №№ 1-6 к экзамену   | Имеет представления об особенностях строения и свойств твердых веществ в наноразмерном состоянии  | Знает особенности строения и свойств твердых веществ в наноразмерном состоянии                 | Знает возможности различных методов по выявлению особенностей строения и свойств твердых веществ в наноразмерном состоянии |
|  | Умеет выбирать физико-химические методы анализа и соответствующее аналитическое оборудование, обеспечивающее решение производственных и/или исследовательских задач (У-1). | Ответы на вопросы №№ 7-9 к экзамену   | Имеет слабые представления о возможностях физико-химических методов анализа и технических особенностях соответствующего аналитического оборудования | Умеет выбирать физико-химические методы анализа и соответствующее аналитическое оборудование   | Умеет использовать различные физико-химические методы анализа и соответствующее аналитическое оборудование                 |
|  | Владеет базовыми методами анализа состава, строения вещества наноматериалов различной мерности, применяемых в электронной технике (Н-1)                                    | Ответы на вопросы №№ 10-11 к экзамену | Имеет слабые представления о методах анализа состава, строения вещества наноматериалов различной мерности, применяемых в электронной технике        | Владеет базовыми методами анализа состава, строения вещества наноматериалов различной мерности | Знает возможности и владеет современными методами анализа состава, строения вещества наноматериалов различной мерности     |

| Код и наименование индикатора достижения компетенции   | Показатели сформированности (дескрипторы)   | Критерий оценивания                   | Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)  |  |   |
|--|---|---------------------------------------|---|--|---|
|  |   |                                       | «удовлетворительно» (пороговый)   | «хорошо» (средний)   | «отлично» (высокий)   |
| <b>ОПК-4.1</b><br>Поиск и анализ информации об особенностях определения состава, строения и свойств материалов в наноразмерном состоянии | Знает физико-химические основы методов анализа, применяемых для исследования состава, строения и свойств наночастиц, наноразмерных покрытий и наноструктурированных материалов (ЗН-2) | Ответы на вопросы №№ 12-13 к экзамену | Имеет представление о физико-химических методах анализа, применяемых для исследования состава, строения и свойств наночастиц, наноразмерных покрытий и наноструктурированных материалов | Знает физико-химические основы методов анализа, применяемых для исследования состава, строения и свойств наночастиц, наноразмерных покрытий и наноструктурированных материалов | Знает особенности использования физико-химических методов анализа, применяемых для исследования состава, строения и свойств наночастиц, наноразмерных покрытий и наноструктурированных материалов |
|  | Умеет анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по особенностям методик проведения физико-химических исследований материалов в наноразмерном состоянии (У-2).   | Ответы на вопросы №№ 14-17 к экзамену | Имеет представление об анализе и систематизации научно-технической информации об особенностях методик проведения физико-химических исследований материалов в наноразмерном состоянии    | Умеет анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по особенностям методик проведения физико-химических исследований материалов в наноразмерном состоянии   | Самостоятельно осуществляет анализ и систематизацию научно-технической информации по особенностям методик проведения физико-химических исследований материалов в наноразмерном состоянии          |
|  | Владеет навыками поиска и систематизации научно-технической информации (Н-2).   | Ответы на вопросы № 18 к экзамену     | Имеет представление об организации поиска научно-технической информации   | Владеет навыками поиска и систематизации научно-технической информации   | Самостоятельно осуществляет поиск и систематизацию научно-технической информации  |

| Код и наименование индикатора достижения компетенции   | Показатели сформированности (дескрипторы)   | Критерий оценивания                   | Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)  |  |  |
|--|---|---------------------------------------|---|--|--|
|  |   |                                       | «удовлетворительно» (пороговый)   | «хорошо» (средний)   | «отлично» (высокий)  |
| <b>ПК-6.1</b><br>Проведение физико-химических исследований наноструктурированных материалов и функциональных покрытий. | Знает методы определения размерных характеристик, состава, структуры и функциональных параметров твердых веществ в наноразмерном состоянии (ЗН-3)   | Ответы на вопросы №№ 19-44 к экзамену | Имеет представление о существовании методов определения размерных характеристик, состава, структуры и функциональных параметров твердых веществ в наноразмерном состоянии                             | Знает методы определения размерных характеристик, состава, структуры и функциональных параметров твердых веществ в наноразмерном состоянии   | Владеет методами определения размерных характеристик, состава, структуры и функциональных параметров твердых веществ в наноразмерном состоянии   |
|  | Умеет выбирать исследования, обеспечивающие определение требуемых параметров наноматериалов с заданной чувствительностью и погрешностью измерений; адаптировать методики пробоотбора, пробоподготовки и проведения измерений к потребностям (У-3) | Ответы на вопросы №№ 45-63 к экзамену | Имеет представление о методах исследования и режимах пробоподготовки материалов, обеспечивающих определение требуемых параметров наноматериалов с заданной чувствительностью и погрешностью измерений | Умеет выбирать исследования, обеспечивающие определение требуемых параметров наноматериалов с заданной чувствительностью и погрешностью измерений; адаптировать методики пробоотбора, пробоподготовки и проведения измерений | Самостоятельно способен подобрать и адаптировать под поставленную задачу методы исследования, обеспечивающие определение требуемых параметров наноматериалов с заданной чувствительностью и погрешностью измерений |



| Код и наименование индикатора достижения компетенции | Показатели сформированности (дескрипторы)  | Критерий оценивания                   | Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)   |  |   |
|--|--|---------------------------------------|--|--|---|
|  |  |                                       | «удовлетворительно» (пороговый)  | «хорошо» (средний)   | «отлично» (высокий)   |
|  | Владеет навыками исследования наночастиц, поверхностных наноструктур, нанопокровов, их размерных характеристик и физико-химических свойств (Н-3) | Ответы на вопросы №№ 64-71 к экзамену | Имеет представление о существовании методов исследования размерных характеристик и физико-химических свойств наночастиц, поверхностных наноструктур и нанопокровов | Владеет навыками исследования наночастиц, поверхностных наноструктур, нанопокровов, их размерных характеристик и физико-химических свойств | Способен подобрать метод и провести исследование наночастиц, поверхностных наноструктур, нанопокровов, их размерных характеристик и физико-химических свойств |

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ (ТУ): промежуточная аттестация проводится в форме **экзамена**. Критерии оценивания – «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично» приведены в таблице 2.2.

Оценка «не удовлетворительно» 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

#### Вопросы для подготовки к зачету:

##### а) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ОПК-1

1. Классификация и общие характеристики физико-химических методов исследования твердых веществ. Спектроскопия и микроскопия. Возбуждающие воздействия и регистрируемые частицы. Шкала энергии электромагнитных волн.
2. Колебательная спектроскопия двухатомных молекул. Гармонический осциллятор, силовая константа, уровни колебательной энергии и фундаментальные колебательные переходы. Нулевые колебания. Правила отбора.
3. Физические причины ангармонизма. Ангармонический осциллятор Морзе: уровни колебательной энергии, коэффициент ангармонизма, обертоны, горячие переходы.
4. Колебательная спектроскопия многоатомных молекул. Общее число нормальных колебаний молекул. Внутренние молекулярные координаты. Классификация нормальных колебаний по форме и симметрии. Роль симметрии при анализе структуры.
5. Теория симметрии. 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.
6. Колебания в кристаллах. Закон дисперсии. Оптические и акустические фононы. Продольные и поперечные колебательные моды.
7. Выбор и роль методики исследования. Пробоподготовка. Средства обеспечения надежности и воспроизводимости результатов исследования. Стандартные образцы и эталоны. Поверка и калибровка оборудования. Сертификация.
8. Принципы регистрации спектральных данных. Спектрофотометрия, спектрометрия и фотометрия. Спектральное разрешение. Диспергирующие элементы и монохроматоры, спектральная развертка. Фурье-спектроскопия.
9. Геометрия спектральных измерений. Спектроскопия пропускания, отражения и рассеяния. Нарушенное полное внутреннее отражение и спектроскопия НПВО и МНПВО. Спектроскопия диффузного отражения.
10. Форма спектров: непрерывные (континуальные), ступенчатые и линейчатые спектры. Уширение спектральных линий: механизмы уширения и форма спектральных контуров (Лоренц, Гаусс, Фохт).
11. Количественная обработка спектров. Аппаратная функция. Интегральная интенсивность. Базовая линия. Деконволюция перекрывающихся полос. Количественный анализ спектров поглощения электромагнитного излучения. Двухлучевая схема измерений

##### б) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-6

12. 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.
14. Области применения. ИК-спектроскопия НПВО и МНПВО. Теоретические основы. Оптические элементы НПВО. Критический угол. Методика регистрации спектров порошкообразных и пленочных материалов. Области применения.

15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. Спектроскопия в области видимого и ближнего УФ света твердотельных 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.
19. 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.
20. 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.
21. Спектроскопия тонкой структуры вблизи края рентгеновского поглощения (XANES). Природа пика предвозбуждения. Анализ степени окисления и координационного окружения атомов твердого тела.
22. Спектроскопия растянутой тонкой структуры рентгеновского поглощения (EXAFS). Радиальная функция распределения. Анализ локальной структуры некристаллических твердых тел.
23. Рентгеновская флуоресценция: физические принципы, способы возбуждения и регистрации, вероятность переходов, форма и интерпретация спектров.
24. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС): физические принципы, источники рентгеновского излучения, форма спектров, элементная чувствительность, качественный и количественный элементный анализ.
25. 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.
26. Дифракция рентгеновских лучей. Основные принципы. Закон Вульфа-Брэгга. Атомный фактор рассеяния. Аппаратная реализация и области применения.
27. Основные элементы микроскопии. Общие характеристики: увеличение, разрешающая способность, контраст. Числовая апертура. Темнопольные и светлопольные изображения. Оптическая микроскопия. Области применения.
28. 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.

29. ИК-спектроскопия диффузного отражения. Интегрирующая сфера. Методика регистрации. Количественные измерения. Функция Кубелки-Мунка. Реализация измерений in-situ.
30. Фотоакустическая ИК-спектроскопия. Общие принципы. Устройство спектрометра. Области применения.
31. Спектроскопия поглощения в области видимого и ближнего УФ света: Механизмы электронных переходов. Интенсивность поглощения. Правила отбора.
32. Спектроскопия поглощения в области видимого и ближнего УФ света: Источники излучения и детекторы. Принципиальные схемы измерения. Спектроскопия пропускания, отражения и диффузного отражения. Спектроскопия нарушенного полного внутреннего отражения.
33. Источники и детекторы рентгеновского излучения. Основные принципы действия и конструкции рентгеновской трубки. Спектр излучения рентгеновской трубки. Синхротронное излучение.
34. Рентгено-зондовый микроанализ: физические принципы, способы возбуждения и регистрации, поверхностная чувствительность и пространственное разрешение.
35. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС): анализ химического состояния и химические сдвиги, глубина анализа и поверхностная чувствительность, профиль распределения элементов по глубине, послойный анализ.
36. Дифракция рентгеновских лучей. Рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализ. Исследование монокристаллов, порошков, некристаллических и частично-кристаллических твердых веществ. Порошковые рентгенограммы.
37. Сканирующая электронная микроскопия. Физические принципы и аппаратное оформление. Области применения
38. Дифференциально-термические методы анализа. Основные принципы. Конструкция дериватографа. Условия регистрации.
39. Атомно-абсорбционная и атомно-эмиссионная спектроскопия. Правила отбора. Спектральные термы Аппаратная реализация. Качественный и количественный анализ.
40. Широкополосная рентгеновская спектроскопия поглощения. Форма и интерпретация спектров рентгеновского поглощения. Элементный анализ
41. Электронная микроскопия пропускания. Физические принципы и аппаратное оформление. Пробоподготовка и требования к образцу. Области применения.
42. Дифференциально-термические методы анализа. Интерпретация и обработка регистрируемых данных. Анализ термических превращений и фазовых переходов.
43. Анализ кислотно-основных центров поверхности методом адсорбции индикаторов. Основные принципы. Методика измерений. Интерпретация результатов. Оценка концентрации Бренстедовских и Льюисовских кислотных центров.
44. Характеристики дисперсных и пористых материалов. Анализ удельной поверхности методом низкотемпературной адсорбции газов. Основные принципы и аппаратная реализация.

#### **Вопросы для подготовки к экзамену:**

##### **в) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ОПК-1**

1. Классификация и общие характеристики физико-химических методов исследования твердых веществ. Спектроскопия и микроскопия. Возбуждающие воздействия и регистрируемые частицы. Шкала энергии электромагнитных волн.
2. Колебательная спектроскопия двухатомных молекул. Гармонический осциллятор, силовая константа, уровни колебательной энергии и фундаментальные колебательные переходы. Нулевые колебания. Правила отбора.
3. Физические причины ангармонизма. Ангармонический осциллятор Морзе: уровни колебательной энергии, коэффициент ангармонизма, обертоны, горячие переходы.

4. Колебательная спектроскопия многоатомных молекул. Общее число нормальных колебаний молекул. Внутренние молекулярные координаты. Классификация нормальных колебаний по форме и симметрии. Роль симметрии при анализе структуры.
5. Теория симметрии. 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.
6. Колебания в кристаллах. Закон дисперсии. Оптические и акустические фононы. Продольные и поперечные колебательные моды.
7. Выбор и роль методики исследования. Пробоподготовка. Средства обеспечения надежности и воспроизводимости результатов исследования. Стандартные образцы и эталоны. Поверка и калибровка оборудования. Сертификация.
8. Принципы регистрации спектральных данных. Спектрофотометрия, спектрометрия и фотометрия. Спектральное разрешение. Диспергирующие элементы и монохроматоры, спектральная развертка. Фурье-спектроскопия.
9. Геометрия спектральных измерений. Спектроскопия пропускания, отражения и рассеяния. Нарушенное полное внутреннее отражение и спектроскопия НПВО и МНПВО. Спектроскопия диффузного отражения.
10. Форма спектров: непрерывные (континуальные), ступенчатые и линейчатые спектры. Уширение спектральных линий: механизмы уширения и форма спектральных контуров (Лоренц, Гаусс, Фохт).
11. Количественная обработка спектров. Аппаратная функция. Интегральная интенсивность. Базовая линия. Деконволюция перекрывающихся полос. Количественный анализ спектров поглощения электромагнитного излучения. Двухлучевая схема измерений

**г) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ОПК-4**

12. Плоская электромагнитная волна, её распространение в среде. Отражение и преломление света на границе раздела непоглощающих сред. Основное уравнение эллипсометрии.
13. Прямая и обратная задачи. Однородная полубесконечная среда. Однослойная модель, многослойная модель и оптически неоднородный слой. Учет рельефа поверхности и размытия межфазных границ.
14. Методы измерения размеров высокодисперсных наноматериалов. Дисперсный анализ по рассеянию оптического излучения, по дифракции лазерного излучения, по динамическому рассеиванию света, по дифференциальной электрической подвижности наночастиц, на основе диффузионной спектроскопии, сепарацией по массе.
15. Методы определения размеров наночастиц и тонких пленок (малоугловая рентгеновская дифракция, интерферометрия, зондовая микроскопия)
16. Методы решения обратной задачи эллипсометрии: графо-аналитический метод, численное решение обратной задачи. Многотолщинные измерения. Итерационный метод. Решение обратной задачи для неоднородных слоев.
17. Методы измерения эллипсометрических параметров. Оптические схемы и конструкционные особенности эллипсометров.
18. Высокоточные установки измерения наночастиц в газовой и жидкой средах, применяемые в них технологии измерения и оборудование.

**д) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-6**

19. 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»

20. ИК-спектроскопия зеркального отражения. Теоретические основы явления отражения, формулы Френеля. Отражение с поглощением. Показатели преломления и поглощения, коэффициент отражения. Роль поляризации ИК-излучения.
21. Области применения. ИК-спектроскопия НПВО и МНПВО. Теоретические основы. Оптические элементы НПВО. Критический угол. Методика регистрации спектров порошкообразных и пленочных материалов. Области применения.
22. 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.
23. 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.
24. 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.
25. Спектроскопия в области видимого и ближнего УФ света твердотельных 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.
26. 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.
27. 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.
28. Спектроскопия тонкой структуры вблизи края рентгеновского поглощения (XANES). Природа пика предвозбуждения. Анализ степени окисления и координационного окружения атомов твердого тела.
29. Спектроскопия растянутой тонкой структуры рентгеновского поглощения (EXAFS). Радиальная функция распределения. Анализ локальной структуры некристаллических твердых тел.
30. Рентгеновская флуоресценция: физические принципы, способы возбуждения и регистрации, вероятность переходов, форма и интерпретация спектров.
31. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС): физические принципы, источники рентгеновского излучения, форма спектров, элементная чувствительность, качественный и количественный элементный анализ.
32. 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.
33. Дифракция рентгеновских лучей. Основные принципы. Закон Вульфа-Брэгга. Атомный фактор рассеяния. Аппаратная реализация и области применения.
34. Основные элементы микроскопии. Общие характеристики: увеличение, разрешающая способность, контраст. Числовая апертура. Темнопольные и светлопольные изображения. Оптическая микроскопия. Области применения.

35. Общее устройство и принципы работы сканирующего зондового микроскопа. Виды исполнения основных конструктивных элементов. Организация обратной связи.
36. Физические основы сканирующей туннельной микроскопии. Влияние формы туннельного барьера на туннельный ток. Физические процессы в СТМ, влияние разности потенциалов "зонд-образец". Эффект последнего атома.
37. Физические принципы, лежащие в основе атомно-силовой микроскопии. Зонды для АСМ: типы, конструктивные особенности, параметры, основные характеристики. Влияние добротности на резонансные свойства зонда АСМ.
38. 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".
- 39.Arteфакты АСМ: причины, проявления, способы устранения.
40. Цели и виды математической обработки результатов сканирования.
41. Оценка шероховатости и текстуры исследуемой поверхности.
42. Физические явления, лежащие в основе бесконтактных методик АСМ.
43. Зонды СБОМ: получение, особенности, недостатки.
44. Метрология и стандартизация в нанотехнологиях.
45. 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.
46. ИК-спектроскопия диффузного отражения. Интегрирующая сфера. Методика регистрации. Количественные измерения. Функция Кубелки-Мунка. Реализация измерений in-situ.
47. Фотоакустическая ИК-спектроскопия. Общие принципы. Устройство спектрометра. Области применения.
48. Спектроскопия поглощения в области видимого и ближнего УФ света: Механизмы электронных переходов. Интенсивность поглощения. Правила отбора.
49. Спектроскопия поглощения в области видимого и ближнего УФ света: Источники излучения и детекторы. Принципиальные схемы измерения. Спектроскопия пропускания, отражения и диффузного отражения. Спектроскопия нарушенного полного внутреннего отражения.
50. Источники и детекторы рентгеновского излучения. Основные принципы действия и конструкции рентгеновской трубки. Спектр излучения рентгеновской трубки. Синхротронное излучение.
51. Рентгено-зондовый микроанализ: физические принципы, способы возбуждения и регистрации, поверхностная чувствительность и пространственное разрешение.
52. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС): анализ химического состояния и химические сдвиги, глубина анализа и поверхностная чувствительность, профиль распределения элементов по глубине, послойный анализ.
53. Дифракция рентгеновских лучей. Рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализ. Исследование монокристаллов, порошков, некристаллических и частично-кристаллических твердых веществ. Порошковые рентгенограммы.
54. Сканирующая электронная микроскопия. Физические принципы и аппаратное оформление. Области применения
55. Дифференциально-термические методы анализа. Основные принципы. Конструкция дериватографа. Условия регистрации.
56. Классификация и особенности методов сканирующей зондовой микроскопии. Место СЗМ в иерархии методов высокого разрешения.
57. Режимы сканирования СТМ, их возможности, достоинства и недостатки. Сканирующая туннельная спектроскопия. Вольт-амперные характеристики системы "зонд-образец". 7. Кулоновская блокада и резонансное туннелирование.
58. Контактные методики АСМ: достоинства, недостатки, особенности реализации. АСАМ, контактные модуляционные методики, электросиловая микроскопия. Разрешающая способность АСМ в контактных режимах.

59. Полуконтактный (прерывисто-контактный) метод АСМ: достоинства, недостатки, фазовый контраст.
60. Особенности осуществления и возможности многопроходных методик АСМ. Факторы, определяющие пространственное разрешение в многопроходных методиках.
61. Локальная силовая спектроскопия. Зависимость формы кривых от свойств исследуемого материала. Определение локальной нанотвердости.
62. Взаимодействие света с веществом. Режимы сканирующей ближнепольной оптической микроскопии, разрешающая способность.
63. Сканирующая ионная микроскопия: возможности, разрешающая способность, методики.
64. Атомно-абсорбционная и атомно-эмиссионная спектроскопия. Правила отбора. Спектральные термы. Аппаратная реализация. Качественный и количественный анализ.
65. Широкополосная рентгеновская спектроскопия поглощения. Форма и интерпретация спектров рентгеновского поглощения. Элементный анализ
66. Электронная микроскопия пропускания. Физические принципы и аппаратное оформление. Пробоподготовка и требования к образцу. Области применения.
67. Дифференциально-термические методы анализа. Интерпретация и обработка регистрируемых данных. Анализ термических превращений и фазовых переходов.
68. Анализ кислотно-основных центров поверхности методом адсорбции индикаторов. Основные принципы. Методика измерений. Интерпретация результатов. Оценка концентрации Бренстедовских и Льюисовских кислотных центров.
69. Характеристики дисперсных и пористых материалов. Анализ удельной поверхности методом низкотемпературной адсорбции газов. Основные принципы и аппаратная реализация.
70. Влияние пробоподготовки и условий проведения эксперимента на чувствительность СЗМ.
71. Установки высокой точности, меры, калибровочные решетки, стандартные образцы.

К зачету и экзамену допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. Зачет включает 2 вопроса из различных тем пройденного материала. Время подготовки студента к устному ответу на вопросы - до 30 мин.

При сдаче экзамена, студент получает билет с тремя вопросами из перечня, приведенного выше. Время подготовки студента к устному ответу на вопросы - до 40 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 039-2013. Магистратура. Общие требования./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2013.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2013.- 25 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.