

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович
Должность: Проректор по учебной и методической работе
Дата подписания: 13.09.2023 17:26:30
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
« ____ » _____ 2021 г.

Рабочая программа дисциплины
СКАНИРУЮЩАЯ ЗОНДОВАЯ МИКРОСКОПИЯ
В ИССЛЕДОВАНИИ И СОЗДАНИИ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Направление подготовки
18.04.01 Химическая технология
Программа магистратуры
Химическая технология материалов и изделий электронной техники

Квалификация
Магистр
Форма обучения
Очная

Факультет **Химии веществ и материалов**
Кафедра **Химической нанотехнологии и материалов электронной техники**

Санкт-Петербург
2020

Б1.В.09

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

Рабочая программа дисциплины «Сканирующая зондовая микроскопия в исследовании и создании наноматериалов» обсуждена на заседании кафедры химической нанотехнологии и материалов электронной техники

протокол от ____ . ____ . 2020 № ____

Заведующий кафедрой ХНиМЭТ

профессор А.А. Малыгин

Одобрено учебно-методической комиссией факультета химии веществ и материалов

протокол от ____ . ____ . 2020 № ____

Председатель

доцент С.Г. Изотова

СОГЛАСОВАНО

Руководитель ООП «Химическая технология»		доцент М.В. Рутто
Директор библиотеки		Т.Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И. Богданова
Начальник УМУ		С.Н. Денисенко

СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	04
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы	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	06
4.3. Занятия лекционного типа.....	07
4.4. Занятия семинарского типа	09
4.4.1. Семинары, практические занятия	09
4.4.2. Лабораторные занятия.....	11
4.5. Самостоятельная работа.....	12
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	14
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.....	14
7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины.....	15
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.....	16
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.....	16
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.....	17
10.1. Информационные технологии	17
10.2. Программное обеспечение	17
10.3. Базы данных и информационные справочные системы.....	17
11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	18
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.....	18
Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.....	19

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>ПК-2 Способен применять навыки экспериментальных исследований и диагностики материалов электронной техники, анализа процессов их производства, обработки и модификации</p>	<p>ПК-2.4 Способность использовать современные приборы сканирующей зондовой микроскопии при анализе материалов и изделий электронной техники</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - возможности различных зондовых методов, их место в ряду физико-химических методов исследования функциональных материалов (ЗН-1). - методические особенности проведения исследований наноматериалов и наноматериалов различной химической природы и строения (ЗН-2). - возможности туннельно-зондовой нанотехнологии по формированию наноразмерных структур элементной базы нанoeлектроники (ЗН-3). <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - формулировать круг практических задач, которые можно решить с помощью туннельно-зондовой нанотехнологии (У-1). - проводить исследования наноразмерных материалов с использованием оборудования зондовой микроскопии, обрабатывать, анализировать и корректно интерпретировать полученные результаты с использованием современного программного обеспечения (У-2). <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - туннельно-зондовыми методами исследования наноматериалов (Н-1). - математическим аппаратом обработки и анализа экспериментальных данных зондовой микроскопии (Н-2). - туннельно-зондовыми технологиями конструирования наноматериалов и наносистем (Н-3). - методами метрологической аттестации наноматериалов (Н-4).

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина "Сканирующая зондовая микроскопия в исследовании и создании наноматериалов" относится к части Блока 1 «Дисциплины» образовательной программы магистратуры, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.09) и изучается на втором году обучения в 4 семестре.

Изучение дисциплины базируется на знаниях и умениях, полученных в ходе обучения по программам бакалавриата по направлению подготовки 18.03.01 при изучении курсов физики, физической химии твердого тела, методов исследования наносистем и наноматериалов, химической технологии наноматериалов и наносистем, метрологии, стандартизации и сертификации, а также дисциплины "Теоретические и экспериментальные методы исследования в химической технологии", читаемой в 1 семестре магистратуры.

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

3. Объем дисциплины

Вид учебной работы	Всего, академических часов
	Очная форма обучения
Общая трудоемкость дисциплины (зачетных единиц / академических часов)	3 / 108
Контактная работа с преподавателем:	58
занятия лекционного типа	18
занятия семинарского типа, в т.ч.	36
семинары, практические занятия (в том числе практическая подготовка)	18 (10)
лабораторные работы (в том числе практическая подготовка)	18 (12)
курсовое проектирование (КР или КП)	-
КСР	4
другие виды контактной работы	-
Самостоятельная работа	50
Формы текущего контроля	-
Форма промежуточной аттестации	зачет

4. Содержание дисциплины

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, акад. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы		
1	Введение, классификация методов СЗМ	1	2		6	ПК-2
2	Сканирующая туннельная микроскопия	4	2	2	6	ПК-2
3	Атомно-силовая микроскопия	8	4	6	14	ПК-2
4	Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия	1	1			ПК-2
5	Сканирующая ионная микроскопия	1	1			ПК-2
6	Метрология измерений методами СЗМ		2		6	ПК-2
7	Методика проведения исследований методами СЗМ		2	8	10	ПК-2
8	Формирование наноразмерных структур	3	4	2	6	ПК-2
9	Внедрение СЗМ в технологические процессы				2	ПК-2
ИТОГО		18	18	18	50	

4.2 Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины

№ п/п	Код индикаторов достижения компетенции	Наименование раздела дисциплины
1	ПК-2.4	Введение, классификация методов СЗМ Сканирующая туннельная микроскопия Атомно-силовая микроскопия Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия Сканирующая ионная микроскопия Метрология измерений методами СЗМ Методика проведения исследований методами СЗМ Формирование наноразмерных структур Внедрение СЗМ в технологические процессы

4.3. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	Введение, классификация методов СЗМ Сравнительная характеристика методов микроскопического исследования материалов. Методы сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ): области применения, возможности и ограничения.	1	Лекция-беседа
2	Сканирующая туннельная микроскопия Физические принципы работы сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). Устройство и принцип работы туннельного сенсора. Латеральное разрешение СТМ. Эффект последнего атома. СТМ-моды: режимы постоянного тока и постоянной высоты. Методика изготовления и особенности применения различных зондов СТМ. Возможности СТМ при исследовании материалов. Сканирующая туннельная спектроскопия (СТС). Вольт-амперная характеристика туннельного контакта. СТС работы выхода и плотности состояний на поверхности образца. СТС адсорбированных атомов и нанокластеров на поверхности, кулоновская блокада, резонансное туннелирование. V-модуляция, Z-модуляция.	4	Лекция-беседа
3	Атомно-силовая микроскопия 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. 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, дрейбег, 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. Математическая обработка и визуализация данных СЗМ. Выравнивание. Статистический анализ СЗМ данных. Параметры шероховатости. Цифровая фильтрация. Фурье-анализ. Фрактальный анализ. Контактная АСМ мода (Contact Mode). Режимы постоянной силы и постоянной высоты. Режим	8	Лекция-беседа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	<p>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>		
4	<p>Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия</p> <p>Классическая, конфокальная и сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия (СБОМ). Теория дифракции света на субволновой апертуре. Распространение света в нестационарных оптических волноводах. Взаимодействие света с веществом. Конструкции и режимы работы СБОМ. Устройство и методы изготовления зондов СБОМ. Пьезоэлектрический сенсор сдвиговой силы (Tuning Fork Shear-Force Sensor)</p>	1	Лекция-беседа
5	<p>Сканирующая ионная микроскопия</p> <p>Физические принципы метода сканирующей ионной микроскопии (СИМ). Методы изготовления нанопипеток. Чувствительность СИМ к топографическим объектам. Управление напором электролита Аналитические модели измерений. Модуляционные методики. Исследование мембранных материалов. Метод локальной фиксации потенциала биологических объектов (patch-clamp). Определение электрофизических и прочностных свойств материалов. Комбинированные методы исследования.</p>	1	Лекция-беседа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
8	<p>Формирование наноразмерных структур Манипуляции атомами и молекулами. СЗМ-наноитография. Наночеканка и наногравировка. Полимеризация фото- и электронно-резистивных материалов. Анодно-окислительная, электронно-лучевая, термическая и перьевая наноитография. Локальная зарядка поверхности, глубина модифицирования.</p> <p>Элементная база наноэлектроники. Формирование квазиодномерных микроконтактов и микропроводников. Создание регулируемых элементов: резисторы, варисторы, транзисторы. Нанотехнологические устройства на базе СЗМ.</p>	3	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	<p>Введение, классификация методов СЗМ Краткий обзор истории СЗМ. Устройство и принципы работы СЗМ.</p>	2		Групповая научная дискуссия
2	<p>Сканирующая туннельная микроскопия Одномерная модель протекания туннельного тока. Плотность тока при различных напряжениях между образцом и зондом.</p>	2		
3	<p>Атомно-силовая микроскопия Расчет параметров зондов АСМ. Математическая обработка и визуализация данных СЗМ. Выравнивание. Статистический анализ СЗМ данных. Параметры шероховатости. Цифровая фильтрация. Фурье-анализ. Фрактальный анализ.</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>	4	2	Компьютерное моделирование и практический анализ результатов
4	<p>Сканирующая ближнеполюсная оптическая микроскопия Устройство и методы изготовления зондов СБОМ.</p>	1		
5	<p>Сканирующая ионная микроскопия Физические принципы метода сканирующей ионной микроскопии (СИМ). Аналитические модели измерений. Изготовление нанопипеток. Методики проведения измерений. Комбинированные методы исследования.</p>	1		Разбор конкретных ситуаций

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в т.ч. на практическую подготовку	
6	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	2	
7	Методика проведения исследований методами СЗМ Пробоподготовка наноразмерных и наноструктурированных материалов для СЗМ-исследований. СЗМ в различных средах (вакууме, газах, жидкостях). Применение СЗМ (СТМ, АСМ, СБОМ) для исследования твердотельных наноструктур, в материаловедении металлов, полупроводниковых, диэлектрических, пьезоэлектрических, полимерных материалов, в технологических исследованиях, химии, биологии.	2	2	Разбор конкретных ситуаций
8	Формирование наноразмерных структур Манипуляции атомами и молекулами. СЗМ-наноитография. Наночеканка и наногравировка. Полимеризация фото- и электронно-резистивных материалов. Анодно-окислительная, электронно-лучевая, термическая и перьевая наноитография. Локальная зарядка поверхности, глубина модифицирования. Локальное переключение поляризации в сегнетоэлектриках. Формирование наноразмерных структур с помощью проводящего зонда СЗМ в вакууме, жидких и газовых средах. Пластическая деформация подложки. Модифицирование среды между зондом и подложкой, массоперенос.	4	4	

4.4.2. Лабораторные занятия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Примечания
		всего	в т.ч. на практическую подготовку	
2	Сканирующая туннельная микроскопия Изучение возможностей различных режимов СТМ	2		
3	Атомно-силовая микроскопия Подготовка прибора NanoEducator к работе. Изучение морфологии поверхности стандартного образца методами СЗМ.	2		
	Лабораторные работы из списка: 1. Влияние формы острия зонда на изображение поверхности. 2. Изучение возможностей различных режимов АСМ 3. Анализ и обработка изображений, полученных при исследовании материалов методами АСМ.	4	4	Выполняются 2 лабораторные работы по выбору преподавателя
7	Методика проведения исследований методами СЗМ Исследование биологических объектов методом атомно-силовой микроскопии.	2		
	Лабораторные работы из списка: 1. АСМ исследование объектов электронной промышленности (кремниевые пластины с разным рельефом, CD и DVD диски). 2. Исследование морфологии поверхности кремниевой пластины на разных стадиях механической обработки. 3. Исследование волокнистых материалов до и после нанесения функциональных нанопокровов. 4. Визуализация поверхности полимерных пленок до и после химического модифицирования. 5. Исследование дисперсных наноматериалов методом атомно-силовой микроскопии. 6. Применение АСМ для оценки размеров каналов и исследования морфологии поверхности пористых материалов. 7. Исследование поверхности композиционного материала с диспергированным наполнителем.	6	6	Выполняются 3 лабораторные работы по выбору преподавателя
8	Формирование наноразмерных структур Зондовая нанолитография.	2	2	

4.5. Самостоятельная работа обучающихся

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	Введение, классификация методов СЗМ Устройство, принципы работы и характеристики СЗМ сканеров. Характеристики пьезоэлектрических материалов. Нелинейность, гистерезис, ползучесть, дребезг, усталость. Методы линеаризации характеристик сканеров.Arteфакты 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.	6	зачет
2	Сканирующая туннельная микроскопия 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.	6	зачет
3	Атомно-силовая микроскопия Особенности конструкции СЗМ. Подвод зонда к образцу. Контроль позиционирования зонда относительно образца.	2	зачет
	Технологии получения и контроль характеристик высокоразрешающих зондов	2	зачет
	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).	10	зачет
6	Метрология измерений методами СЗМ Метрология линейных измерений в нанометровой области. Особенности метрологии дисперсных наноматериалов. Метрология физико-химических свойств наноматериалов и наносистем	6	зачет
7	Методика проведения исследований методами СЗМ Пробоподготовка наноразмерных и наноструктурированных материалов для СЗМ-исследований. СЗМ в различных средах (вакууме, газах, жидкостях).	10	зачет

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
	<p>СЗМ в сверхвысоком вакууме. Влияние магнитных полей. СЗМ в жидкостной, электрохимической, газохимической ячейке. Применение СЗМ (СТМ, АСМ, СБОМ) для исследования твердотельных наноструктур, в материаловедении металлов, полупроводниковых, диэлектрических, пьезоэлектрических, полимерных материалов, в технологических исследованиях, химии, биологии.</p> <p>Методические особенности исследований свойств материалов различной размерности: 0D, 1D, 2D, 3D методами СЗМ.</p>		
8	<p>Формирование наноразмерных структур Формирование наноразмерных структур с помощью проводящего зонда СЗМ в вакууме, жидких и газовых средах. Пластическая деформация подложки. Модифицирование среды между зондом и подложкой, массоперенос.</p> <p>Методики формирования наноразмерных электронных компонентов. Электрические характеристики элементов. Кулоновская блокада, резонансное туннелирование.</p>	6	зачет
9	<p>Внедрение СЗМ в технологические процессы Тенденции развития технологии и оборудования СЗМ для исследования и производства наноструктурированных материалов и изделий нанoeлектроники. Кластеры нанолокальных технологий. Внедрение СЗМ в технологические процессы производства микро- и нанoeлектроники</p>	2	зачет

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

1. Захарова, Н.В. Метрологическое обеспечение измерений наноразмерных объектов: учебное пособие / Н.В.Захарова, Е.А.Соснов. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2014. - 92 с. (ЭБ)
2. Исследование наноструктур с применением сканирующей зондовой микроскопии: учебное пособие / К.Л.Васильева, О.М.Ищенко, Е.А.Соснов, А.А.Малыгин. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2010. - 64 с. (ЭБ)
3. Соснов, Е.А. Исследование поверхности материалов методом атомно-силовой микроскопии: методические указания к лабораторной работе / Е.А.Соснов. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2006.- 36 с.
4. Соснов, Е.А., Исследование дисперсных наноматериалов методом атомно-силовой микроскопии: методические указания к лабораторной работе / Е.А.Соснов, К.Л.Васильева, А.А.Малыгин. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2011. - 26 с. (ЭБ)
5. Соснов, Е.А. Методы зондовой микроскопии. Сканирующая ионная микроскопия: учебное пособие / Е.А.Соснов. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2015. - 52 с. (ЭБ)

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

6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («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 4 семестра в виде зачета в устной форме. К сдаче зачета допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. Зачет предусматривают выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и включает 2 вопроса из различных тем пройденного материала и задачу по интерпретации СЗМ-изображений. Время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин.

Результаты зачета включаются в приложение к диплому.

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1.

Примеры вопросов, предлагаемых на зачете:

1. Физические основы сканирующей туннельной микроскопии. Влияние формы туннельного барьера на туннельный ток.
2. Влияние ван-дер-ваальсовых сил на взаимодействие "зонд-образец".
3. Особенности осуществления и возможности многопроходных методик АСМ. Факторы, определяющие пространственное разрешение в многопроходных методиках.
4. Установки высокой точности, меры, калибровочные решетки, стандартные образцы.
5. Формирование квазиодномерных микроконтактов и микропроводников.

7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины

а) печатные издания:

1. 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.
2. Исследование наноструктур с применением сканирующей зондовой микроскопии: учебное пособие / К.Л.Васильева, О.М.Ищенко, Е.А.Соснов, А.А.Мальгин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2010. - 64 с.
3. Миронов, В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии / В.Л.Миронов. - Москва: Техносфера, 2005. - 144 с. - ISBN 5-94836-034-2
4. Нанотехнологии в электронике / Под ред. Ю.А.Чаплыгина. - Москва: Техносфера, 2005. - 446 с. - ISBN 5-94836-059-8
5. Неволин, В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике / В.К.Неволин. - Москва: Техносфера, 2006. - 159 с. - ISBN 5-94836-098-9
6. 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.
7. Соснов, Е.А., Исследование дисперсных наноматериалов методом атомно-силовой микроскопии: методические указания к лабораторной работе / Е.А.Соснов, К.Л.Васильева, А.А.Мальгин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2011. - 26 с.
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.
9. Старостин, В.В. Материалы и методы нанотехнологии: Учебное пособие / В.В. Старостин; Под ред. Л.Н.Патрикеева. - Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008.- 431 с. - ISBN 978-5-94774-727-0

б) электронные издания:

1. 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.
2. Исследование наноструктур с применением сканирующей зондовой микроскопии: учебное пособие / К.Л.Васильева, О.М.Ищенко, Е.А.Соснов, А.А.Мальгин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2010. - 64 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

3. Нанoeлектроника. Теория и практика / В.Е.Борисенко, А.И.Воробьева, А.Л.Данилюк, Е.А.Уткина. - Москва: Лаборатория знаний, 2020. - 369 с. - ISBN 978-5-00101-732-5 // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: по подписке.
4. 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.
5. 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.
6. Шишкин, Г.Г. Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства: учебное пособие / Г.Г.Шишкин, И.М.Агеев. - Москва: Лаборатория знаний, 2020. - 411 с. - ISBN 978-5-00101-731-8 // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 15.12.2020). - Режим доступа: по подписке.

8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины

1. Учебный план, РПД и учебно-методические материалы - media.technolog.edu.ru
2. ЭБ "Библиотек" СПбГТИ(ТУ) (доступ к сайту библиотеки);
3. Информационно-справочные поисковые системы и БД в сети Интернет; ЭБС «Лань»
4. www.nt-mdt.ru
5. www.nanoscopus.org

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

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

1. СТО СПбГТИ(ТУ) 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; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Провести проверку терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь.

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

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

Промежуточная аттестация по дисциплине – в конце 4 семестра в виде зачета в устной форме (включает 2 вопроса из различных тем пройденного материала и задачу по интерпретации СЗМ-изображений). Результаты зачета 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

Проведение лабораторных работ:

ОС – не ниже MacOS X 10.2 Jaguar

SPM NanoEducator control program – NanoEducator 1.6.1

ОС – не ниже MS Windows XP SP3

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

SPM Image Processing - Image Analysis 2.2.0

10.3. Базы данных и информационные справочные системы

1. ЭБ "Библиотек" СПбГТИ(ТУ) (доступ к сайту библиотеки);
2. Информационно-справочные поисковые системы и БД в сети Интернет; ЭБС «Лань»
3. Страница поддержки пользователей оборудования НТ-МДТ <http://www.ntmdt.ru/spm-methodologies>

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

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

1. Учебная аудитория на 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 видеofilьмов 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 18.04.01 Химическая технология, изучают дисциплину в полном объеме. Учебный процесс осуществляется в соответствии с "Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья ФГБОУ ВПО СПбГТИ(ТУ)", утвержденным ректором 28.08.2014.

**Фонд оценочных средств
для проведения промежуточной аттестации по дисциплине
"Сканирующая зондовая микроскопия в исследовании и создании наноматериалов"**

1. Перечень компетенций и этапов их формирования.

Индекс компетенции	Содержание	Этап формирования
ПК-2	Способен применять навыки экспериментальных исследований и диагностики материалов электронной техники, анализа процессов их производства, обработки и модификации	промежуточный

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

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)	
			«не зачтено»	«зачтено»
ПК-2.4 Способность использовать современные приборы сканирующей зондовой микроскопии при анализе материалов и изделий электронной техники	Знает возможности различных зондовых методов, их место в ряду физико-химических методов исследования функциональных материалов (ЗН-1).	Ответы на вопросы №№ 1-15 к зачету	Не знает с возможностей различных зондовых методов, их место в ряду физико-химических методов исследования функциональных материалов	Знает возможности различных зондовых методов, их место в ряду физико-химических методов исследования функциональных материалов
	Знает методические особенности проведения исследований нанобъектов и наноматериалов различной химической природы и строения (ЗН-2).	Ответы на вопросы №№ 16-18 к зачету	Не знает методические особенности проведения исследований нанобъектов и наноматериалов различной химической природы и строения	Знает методические особенности проведения исследований нанобъектов и наноматериалов различной химической природы и строения
	Знает возможности туннельно-зондовой нанотехнологии по формированию наноразмерных структур элементной базы наноэлектроники (ЗН-3).	Ответы на вопросы №№ 19-24 к зачету	Не знает о возможности туннельно-зондовой нанотехнологии по формированию наноразмерных структур элементной базы наноэлектроники	Знает возможности туннельно-зондовой нанотехнологии по формированию наноразмерных структур элементной базы наноэлектроники
	Умеет формулировать круг практических задач, которые можно решить с помощью туннельно-зондовой нанотехнологии (У-1).	Ответы на вопросы №№ 25-28 к зачету	Не умеет формулировать круг практических задач, которые можно решить с помощью туннельно-зондовой нанотехнологии	Умеет формулировать круг практических задач, которые можно решить с помощью туннельно-зондовой нанотехнологии

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)	
			«не зачтено»	«зачтено»
	Умеет проводить исследования наноразмерных материалов с использованием зондовой микроскопии, обрабатывать, анализировать и корректно интерпретировать полученные результаты с использованием современного программного обеспечения (У-2).	Ответы на вопросы №№ 29-31 к зачету и задача	Не умеет проводить исследования наноразмерных материалов с использованием зондовой микроскопии, обрабатывать, анализировать и корректно интерпретировать полученные результаты с использованием современного программного обеспечения	Умеет проводить исследования наноразмерных материалов с использованием зондовой микроскопии, обрабатывать, анализировать и корректно интерпретировать полученные результаты с использованием современного программного обеспечения
	Владеет туннельно-зондовыми методами исследования наноматериалов (Н-1).	Ответы на вопросы №№ 32-34 к зачету	Не владеет туннельно-зондовыми методами исследования наноматериалов	Владеет туннельно-зондовыми методами исследования наноматериалов
	Владеет математическим аппаратом обработки и анализа экспериментальных данных зондовой микроскопии (Н-2).	Ответы на вопросы №№ 35-37 к зачету	Не владеет математическим аппаратом обработки и анализа экспериментальных данных зондовой микроскопии	Владеет математическим аппаратом обработки и анализа экспериментальных данных зондовой микроскопии
	Владеет туннельно-зондовыми технологиями конструирования наноматериалов и наносистем (Н-3).	Ответ на вопрос № 38 к зачету	Не владеет туннельно-зондовыми технологиями конструирования наноматериалов и наносистем	Владеет туннельно-зондовыми технологиями конструирования наноматериалов и наносистем
	Владеет методами метрологической аттестации наноматериалов (Н-4).	Ответы на вопросы №№ 39-40 к зачету	Не владеет методами метрологической аттестации наноматериалов	Владеет методами метрологической аттестации наноматериалов

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ (ТУ): промежуточная аттестация проводится в форме **зачета**. Критерии оценивания – «**зачтено**», «**не зачтено**» приведены в таблице 2.

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.

3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации

а) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-2

1. Классификация и особенности методов сканирующей зондовой микроскопии. Место СЗМ в иерархии методов высокого разрешения.
2. Физические основы сканирующей туннельной микроскопии. Влияние формы туннельного барьера на туннельный ток.
3. Физические процессы в СТМ, влияние разности потенциалов "зонд-образец". Эффект последнего атома.
4. Режимы сканирования СТМ, их возможности, достоинства и недостатки.
5. Физические принципы, лежащие в основе атомно-силовой микроскопии.
6. Взаимодействие зонда АСМ с поверхностью. Решение задачи Герца. Влияние контактных деформаций на результаты сканирования.
7. Влияние ван-дер-ваальсовых сил на взаимодействие "зонд-образец".
8. Адгезия. Модели адгезионного взаимодействия "зонд-образец".
9. Контактные методики АСМ: достоинства, недостатки, особенности реализации. АСАМ, контактные модуляционные методики, электросиловая микроскопия.
10. Разрешающая способность АСМ в контактных режимах.
11. Физические явления, лежащие в основе бесконтактных методик АСМ.
12. Полуконтактный (прерывисто-контактный) метод АСМ: достоинства, недостатки, фазовый контраст.
13. Особенности осуществления и возможности многопроходных методик АСМ. Факторы, определяющие пространственное разрешение в многопроходных методиках.
14. Классическая, конфокальная и сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия: разрешающая способность.
15. Сканирующая ионная микроскопия: возможности, разрешающая способность, методики.
16. Пробоподготовка наноразмерных дисперсных и высокопористых материалов для СЗМ-исследований.
17. Влияние пробоподготовки и условий проведения эксперимента на чувствительность СЗМ.
18. Возможности и ограничения различных методик СЗМ в исследовании характеристик и создании наноструктур и наноматериалов.
19. Формирование наноразмерных структур с помощью проводящего зонда СЗМ: физические явления, влияние среды.
20. Пластическая деформация подложки с использованием СТМ (формирование рельефа, глубинная модификация, электродинамика).
21. Модифицирование среды между зондом и подложкой, массоперенос.
22. Формирование квазиодномерных микроконтактов и микропроводников.
23. Создание объектов наноэлектроники на углеродной основе.
24. Квантовые точки, одноэлектронные транзисторы: получение зондовыми методами, управление.

25. Сканирующая туннельная спектроскопия. Вольт-амперные характеристики системы "зонд-образец".
26. Кулоновская блокада и резонансное туннелирование.
27. Локальная силовая спектроскопия. Зависимость формы кривых от свойств исследуемого материала.
28. Определение локальной нанотвердости.
29. Общее устройство и принципы работы сканирующего зондового микроскопа. Виды исполнения основных конструктивных элементов. Организация обратной связи.
30. Взаимодействие света с веществом. Режимы СБОМ, разрешающая способность.
31. Направления развития оборудования СЗМ.
32. Зонды СБОМ: получение, особенности, недостатки.
33. Зонды для АСМ: типы, конструктивные особенности, параметры, основные характеристики.
34. Влияние добротности на резонансные свойства зонда АСМ.
35. Артефакты АСМ: причины, проявления, способы устранения.
36. Цели и виды математической обработки результатов сканирования.
37. Оценка шероховатости и текстуры исследуемой поверхности.
38. Виды нанолитографии: их возможности и особенности применения.
39. Метрология и стандартизация в нанотехнологиях.
40. Установки высокой точности, меры, калибровочные решетки, стандартные образцы.

К зачету допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. При сдаче зачета, студент получает 2 вопроса из перечня, приведенного выше, и задачу по интерпретации СЗМ-изображений

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

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

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

2. СТО СПбГТИ 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.