

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович
Должность: Проректор по учебной и методической работе
Дата подписания: 15.11.2023 13:22:51
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
« 24 » мая 2021 г.

Рабочая программа дисциплины
ТУННЕЛЬНО-ЗОНДОВЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЯ
НАНООБЪЕКТОВ И НАНОМАТЕРИАЛОВ

Направление подготовки
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
Направленность программы бакалавриала
Материаловедение и технологии наноматериалов и наносистем

Квалификация

Бакалавр

Форма обучения

Очная

Факультет **Химии веществ и материалов**

Кафедра **Химической нанотехнологии и материалов электронной техники**

Санкт-Петербург

2021

Б1.В.06

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

Рабочая программа дисциплины «Туннельно-зондовые методы исследования и конструирования нанобъектов и наноматериалов» обсуждена на заседании кафедры химической нанотехнологии и материалов электронной техники

протокол от 19.04.2021 № 9

Заведующий кафедрой

профессор А.А. Малыгин

Одобрено учебно-методической комиссией факультета химии веществ и материалов

протокол от 20.05. 2021 № 8

Председатель

доцент С.Г. Изотова

СОГЛАСОВАНО

Руководитель ООП «Материаловедение и технологии материалов»		доцент Н.В. Захарова
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.....	10
4.4.1. Семинары, практические занятия	10
4.4.2. Лабораторные занятия	10
4.5. Самостоятельная работа.....	11
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	12
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации	12
7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины	13
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.....	14
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины	14
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	15
10.1. Информационные технологии	15
10.2. Программное обеспечение.....	15
10.3. Базы данных и информационные справочные системы	15
11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	16
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья	16
Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации	17

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 использования принципов и методик комплексных исследований, испытаний (включая стандартные и сертификационные испытания) и диагностики материалов, изделий и процессов их производства, обработки и модификации, в том числе при получении наноструктурированных покрытий</p>	<p>ПК-2.2 Способность использовать современные приборы сканирующей зондовой микроскопии при анализе материалов и изделий электронной техники</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - физические принципы, лежащие в основе различных методов туннельно-зондовой микроскопии (ЗН-1) - возможности различных зондовых методов, их место в ряду физико-химических методов исследования функциональных наноматериалов (ЗН-2) - методические особенности проведения исследований нанообъектов и наноматериалов различной химической природы и строения (ЗН-3). <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - проводить исследования наноразмерных материалов с использованием оборудования сканирующей зондовой микроскопии, обрабатывать, анализировать и корректно интерпретировать полученные результаты с использованием современного программного обеспечения (У-1) <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - оборудованием туннельно-зондовых нанотехнологий (Н-1); - математическим аппаратом обработки и анализа экспериментальных данных зондовой микроскопии (Н-2); - методами метрологической аттестации наноматериалов (Н-3).

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина "Туннельно-зондовые методы исследования и конструирования нанобъектов и наноматериалов" относится дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины» образовательной программы бакалавриата (Б1.В.06) и изучается на четвертом году обучения в 8 семестре.

Изучение дисциплины базируется на знаниях, полученные студентами в ходе изучения дисциплин "Физика", "Прикладная механика", "Химическая технология наноматериалов и наносистем", "Физическая химия твердого тела и наноразмерных систем".

Компетенции, приобретенные в результате освоения дисциплины, будут использованы при подготовке, выполнении и защите выпускной квалификационной работы, а также при решении научно-исследовательских и инженерно-технологических задач.

3. Объем дисциплины

Вид учебной работы	Всего, академических часов
	Очная форма обучения
Общая трудоемкость дисциплины (зачетных единиц / академических часов)	5 / 180
Контактная работа с преподавателем:	94
занятия лекционного типа	44
занятия семинарского типа, в т.ч.	44
семинары, практические занятия (в том числе практическая подготовка)	-
лабораторные работы (в том числе практическая подготовка)	44 (36)
курсовое проектирование (КР или КП)	-
КСР	6
другие виды контактной работы	-
Самостоятельная работа	59
Формы текущего контроля	-
Форма промежуточной аттестации	экзамен (27)

4. Содержание дисциплины

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, академ. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы		
1	Введение, классификация методов СЗМ	2	-	2	3	ПК-2
2	Сканирующая туннельная микроскопия	6	-	2	6	ПК-2
3	Атомно-силовая микроскопия	14	-	8	14	ПК-2
4	Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия	4	-		10	ПК-2
5	Сканирующая ионная микроскопия	2	-			ПК-2
6	Методика проведения исследований методами СЗМ	2	-	4	5	ПК-2
7	Метрология измерений методами СЗМ	4	-	20	7	ПК-2
8	Формирование наноразмерных структур	8	-	8	12	ПК-2
9	Внедрение СЗМ в технологические процессы	2	-		2	ПК-2
ИТОГО		44	-	44	59	

4.2 Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины

№ п/п	Код индикаторов достижения компетенции	Наименование раздела дисциплины
1	ПК-2.2	Введение, классификация методов СЗМ Сканирующая туннельная микроскопия Атомно-силовая микроскопия Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия Сканирующая ионная микроскопия Методика проведения исследований методами СЗМ Метрология измерений 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	<p>Введение, классификация методов СЗМ</p> <p>Предмет курса и его задачи. Сравнительная характеристика методов микроскопического исследования материалов. Методы сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ): области применения, возможности и ограничения. Краткий обзор истории СЗМ. Устройство и принципы работы СЗМ.</p>	2	Лекция-беседа
2	<p>Сканирующая туннельная микроскопия</p> <p>Физические принципы работы сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). Устройство и принцип работы туннельного сенсора. Одномерная модель протекания туннельного тока. Плотность тока при различных напряжениях между образцом и зондом. Латеральное разрешение СТМ. Эффект последнего атома. СТМ-моды: режимы постоянного тока и постоянной высоты. Методики изготовления и особенности применения различных зондов СТМ. Возможности СТМ при исследовании материалов. 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>	6	Лекция-беседа
3	<p>Атомно-силовая микроскопия</p> <p>Атомно-силовая микроскопия (АСМ) Устройство и физические основы работы сенсора АСМ. Кантилеверы. Взаимодействие АСМ зонда с поверхностью твердого тела на микроскопическом уровне. Методы изготовления и особенности применения различных видов АСМ-зондов. Расчет параметров зондов АСМ. 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.</p>	14	Лекция-беседа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	<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. 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>Многoproходные 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 style="text-align: center;">Сканирующая ближнеполюсная оптическая микроскопия</p> <p>Классическая, конфокальная и сканирующая ближнеполюсная 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>	4	Лекция-беседа
5	<p style="text-align: center;">Сканирующая ионная микроскопия</p> <p>Физические принципы метода сканирующей ионной микроскопии (СИМ). Методы изготовления нанопипеток. Аналитические модели измерений. Модуляционная методика. Комбинированные методы исследования.</p>	2	Лекция-беседа
6	<p style="text-align: center;">Методика проведения исследований методами СЗМ</p> <p>Пробоподготовка наноразмерных и наноструктурированных материалов для СЗМ-исследований. СЗМ в различных средах (вакууме, газах, жидкостях). СЗМ в сверхвысоком вакууме. Влияние магнитных полей. СЗМ в жидкостной, электрохимической, газохимической ячейке. Применение СЗМ (СТМ, АСМ, СБОМ) для исследования твердотельных наноструктур, в</p>	2	Лекция-беседа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	материаловедении металлов, полупроводниковых, диэлектрических, пьезоэлектрических, полимерных материалов, в технологических исследованиях, химии, биологии.		
7	<p align="center">Метрология измерений методами СЗМ</p> Правовое регулирование метрологической деятельности. Стандартизация в области нанотехнологий. Эталонные установки метрологической аттестации наноструктур. Меры нанометрового диапазона, калибровочные решетки, тестовые образцы. Методики поверки и калибровки зондовых микроскопов. Методика измерения эффективной шероховатости поверхности.	4	Лекция-беседа
8	<p align="center">Формирование наноразмерных структур</p> Манипуляции атомами и молекулами. СЗМ-нанолиитография. Наночеканка и наногравировка. Полимеризация фото- и электронно-резистивных материалов. Анодно-окислительная, электронно-лучевая, термическая и перьевая нанолиитография. Локальная зарядка поверхности, глубина модифицирования. Формирование наноразмерных структур с помощью проводящего зонда СЗМ в вакууме, жидких и газовых средах. Пластическая деформация подложки. Модифицирование среды между зондом и подложкой, массоперенос. Элементная база наноэлектроники. Формирование квазиодномерных микроконтактов и микропроводников. Создание регулируемых элементов: резисторы, варисторы, транзисторы. Нанотехнологические устройства на базе СЗМ.	8	Лекция-беседа
9	<p align="center">Внедрение СЗМ в технологические процессы</p> Тенденции развития технологии и оборудования СЗМ для исследования и производства наноструктурированных материалов и изделий наноэлектроники. Кластеры нанолокальных технологий.	2	Лекция-беседа

4.4. Занятия семинарского типа

4.4.1. Семинары, практические занятия

Учебным планом не предусмотрены.

4.4.2. Лабораторные занятия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Примечание
		всего	в т.ч. на практическую подготовку	
1	Подготовка прибора NanoEducator к работе. Изучение морфологии поверхности стандартного образца методами СЗМ.	2		С использованием мультимедийных средств
2	Изучение возможностей различных режимов СТМ	2		
3	1. Влияние формы острия зонда на изображение поверхности. 2. Анализ и обработка изображений, полученных при исследовании материалов методами АСМ. 3. Изучение возможностей различных режимов АСМ	8	8	Разбор конкретных ситуаций
6	1. Исследование морфологии поверхности кремниевой пластины на разных стадиях механической обработки 2. Применение АСМ для оценки размеров каналов и исследования морфологии поверхности пористых материалов.	4	4	
7	1. АСМ исследование объектов электронной промышленности (кремниевые пластины с разным рельефом, CD и DVD диски). 2. Визуализация поверхности полимерных пленок до и после химического модифицирования. 3. Исследование волокнистых материалов до и после нанесения функциональных нанопокровов. 4. Исследование дисперсных наноматериалов методом атомно-силовой микроскопии. 5. Исследование поверхности композиционного материала с диспергированным наполнителем. 6. Исследование биологических объектов методом атомно-силовой микроскопии. 7. Влияние размера области сканирования на метрологические характеристики материала	20	20	Выполняются 5 работ по указанию преподавателя
8	1. Динамическая силовая зондовая нанолитография. 2. Анодно-окислительная нанолитография	8	4	

4.5. Самостоятельная работа обучающихся

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	Введение, классификация методов СЗМ Сравнительные возможности различных микроскопических методов (оптическая микроскопия, сканирующая и просвечивающая электронные микроскопии, сканирующая зондовая микроскопия)	3	устный опрос
2	Сканирующая туннельная микроскопия Туннельный эффект в квазиклассическом приближении. Решение одномерной и трехмерной задач	6	устный опрос
3	Атомно-силовая микроскопия Определение диссипативной энергии по данным атомно-силовой микроскопии в режиме фазового контраста.	4	устный опрос
	Исследование механических свойств материалов с помощью атомно-силовой микроскопии	4	
	Количественный анализ изображений сканирующей зондовой микроскопии	6	
4	Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия Методы оптической микроскопии: классическая, конфокальная, ближнепольная. Физические основы, возможности и разрешающая способность	4	устный опрос
	Физические основы преодоления оптического дифракционного предела. Сканирующий ближнепольный оптический микроскоп	4	
	Безапертурная сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия	2	
6	Методика проведения исследований методами СЗМ Методики зондовой микроскопии для исследования нанопористых материалов	5	устный опрос
7	Метрология измерений методами СЗМ Калибровка и поверка СЗМ с использованием мер нанометрового диапазона, калибровочных решеток и тестовых образцов	7	устный опрос
8	Формирование наноразмерных структур Физические основы литографии в различных режимах сканирующей зондовой микроскопии	4	устный опрос
	Формирование наноразмерных структур с использованием проводящих зондов СЗМ	4	
	Формирование элементной базы наноэлектроники (микроконтактов, микропроводников, резисторов, варисторов, транзисторов) туннельно-зондовыми методами	4	
9	Внедрение СЗМ в технологические процессы Производство технологического оборудования, использующего технологии СЗМ.	2	устный опрос

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 8 семестров в виде экзамена в устной форме. К сдаче экзамена допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. Экзамен предусматривает выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и включает 2 вопроса из различных тем пройденного материала и 1 задачу по интерпретации СЗМ-изображений. Время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин.

Результаты зачета и экзамена включаются в приложение к диплому.

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1.

Примеры вопросов, входящих в экзаменационный билет:

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.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.
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.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.
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.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.

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 "Библиотех" 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.nanoscopy.org

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

1. СТО СПбГТИ(ТУ) 026-2016. Положение о бакалавриате./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2016.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2016.- 38 с.
2. СТП СПбГТИ 040-02. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.07.2002.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2002.- 7 с.
3. СТО СПбГТИ(ТУ) 020-2011. Виды учебных занятий. Лабораторные работы. Общие требования к организации и проведению занятий./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.07.2011.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2011.- 21 с.
4. СТП СПбГТИ 048-2009. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2010.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2009.- 6 с.
5. СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. Порядок организации и проведения зачётов и экзаменов./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.06.2015. - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2015.- 45 с.

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

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

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

Промежуточная аттестация по дисциплине – в конце 8 семестров в виде экзамена в устной форме. Экзамен предусматривает выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и включает 2 вопроса из различных тем пройденного материала и 1 задачу по интерпретации СЗМ-изображений. Время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин. Результаты зачета и экзамена включаются в приложение к диплому.

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

10.1. Информационные технологии.

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

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

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

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

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

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

Использование лицензионного ПО:

При представлении лекционного материала:

ОС – не ниже MS Windows XP SP3

MS PowerPoint 97 и выше

Программа любого производителя для просмотра файлов *.swf

При проведении лабораторных и практических работ:

ОС – не ниже MacOS X 10.2 Jaguar

SPM NanoEducator control program – NanoEducator 1.6.1

ОС – не ниже MS Windows XP SP3

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

SPM Image Processing - Image Analysis 2.2.0

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

Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, допущенные по медицинским показаниям к обучению по направлению подготовки 22.03.01 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
"Туннельно-зондовые методы исследования и конструирования нанообъектов и
наноматериалов"**

1. Перечень компетенций и этапов их формирования.

Индекс компетенции	Содержание	Этап формирования
ПК-2	Способен применять навыки использования принципов и методик комплексных исследований, испытаний (включая стандартные и сертификационные испытания) и диагностики материалов, изделий и процессов их производства, обработки и модификации, в том числе при получении наноструктурированных покрытий	промежуточный

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

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
ПК-2.2 Способность использовать современные приборы сканирующей зондовой микроскопии при анализе материалов и изделий электронной техники	Знает физические принципы, лежащие в основе различных методов туннельно-зондовой микроскопии (ЗН-1)	Ответы на вопросы №№ 1-20 к экзамену	Имеет представления о физических принципах, лежащих в основе различных методов туннельно-зондовой микроскопии	Знает часть физических принципы, лежащие в основе различных методов туннельно-зондовой микроскопии	Знает физические принципы, лежащие в основе различных методов туннельно-зондовой микроскопии
	Знает возможности различных зондовых методов, их место в ряду физико-химических методов исследования функциональных наноматериалов (ЗН-2)	Ответы на вопросы №№ 21-27 к экзамену	Имеет представления о возможностях различных зондовых методов	Знает возможности различных зондовых методов	Знает возможности различных зондовых методов, их место в ряду физико-химических методов исследования функциональных наноматериалов
	Знает методические особенности проведения исследований нанобъектов и наноматериалов различной химической природы и строения (ЗН-3)	Ответы на вопросы №№ 28-29 к экзамену	Имеет представления о методических особенностях проведения исследований нанобъектов и наноматериалов различной химической природы и строения	Знает методические особенности проведения исследований нанобъектов и наноматериалов различной химической природы и строения	Знает и использует в работе особенности проведения исследований нанобъектов и наноматериалов различной химической природы и строения
	Умеет проводить исследования наноразмерных материалов с использованием оборудования сканирующей зондовой	Ответы на вопросы №№ 30-32 к экзамену и задача	Имеет представления о проведении исследования наноразмерных материалов с использованием оборудования	Умеет проводить исследования наноразмерных материалов с использованием оборудования	Умеет проводить исследования наноразмерных материалов с использованием оборудования скани

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	микроскопии, обрабатывать, анализировать и корректно интерпретировать полученные результаты с использованием современного программного обеспечения (У-1)		сканирующей зондовой микроскопии	сканирующей зондовой микроскопии	рующей зондовой микроскопии, обрабатывать, анализировать и корректно интерпретировать полученные результаты с использованием современного программного обеспечения
	Владеет оборудованием туннельно-зондовых нанотехнологий (Н-1)	Ответы на вопросы №№ 33-36 к экзамену	Имеет представление об оборудовании туннельно-зондовых нанотехнологий	Управляет оборудованием туннельно-зондовых нанотехнологий	Настраивает и в совершенстве овладел оборудованием туннельно-зондовых нанотехнологий
	Владеет математическим аппаратом обработки и анализа экспериментальных данных зондовой микроскопии (Н-2)	Ответы на вопросы №№ 37-38 к экзамену	Имеет представление о математическом аппарате обработки экспериментальных данных зондовой микроскопии	Владеет некоторыми функциями математического аппарата обработки экспериментальных данных зондовой микроскопии	Знает и владеет математическим аппаратом обработки экспериментальных данных зондовой микроскопии
	Владеет методами метрологической аттестации наноматериалов (Н-3).	Ответы на вопросы №№ 39-40 к экзамену	Имеет слабые представления метрологической аттестации наноматериалов	Владеет методами метрологической аттестации наноматериалов	Знает и может осуществлять метрологическую аттестацию наноматериалов

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ (ТУ): промежуточная аттестация проводится в форме экзамена. Критерии оценивания – «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично» приведены в таблице 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 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. Сканирующая туннельная спектроскопия. Вольт-амперные характеристики системы "зонд-образец".
5. Кулоновская блокада и резонансное туннелирование.
6. Локальная силовая спектроскопия. Зависимость формы кривых от свойств исследуемого материала.
7. Физические принципы, лежащие в основе атомно-силовой микроскопии.
8. Взаимодействие зонда АСМ с поверхностью. Решение задачи Герца. Влияние контактных деформаций на результаты сканирования.
9. Влияние ван-дер-ваальсовых сил на взаимодействие "зонд-образец".
10. Адгезия. Модели адгезионного взаимодействия "зонд-образец".
11. Разрешающая способность АСМ в контактных режимах.
12. Физические явления, лежащие в основе бесконтактных методик АСМ.
13. Классическая, конфокальная и сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия: разрешающая способность.
14. Виды нанолитографии: их возможности и особенности применения.
15. Формирование наноразмерных структур с помощью проводящего зонда СЗМ: физические явления, влияние среды.
16. Пластическая деформация подложки с использованием СТМ (формирование рельефа, глубинная модификация, электродинамика).
17. Модифицирование среды между зондом и подложкой, массоперенос.
18. Формирование квазиодномерных микроконтактов и микропроводников.
19. Создание объектов наноэлектроники на углеродной основе.
20. Квантовые точки, одноэлектронные транзисторы: получение зондовыми методами, управление.
21. Режимы сканирования СТМ, их возможности, достоинства и недостатки.
22. Контактные методики АСМ: достоинства, недостатки, особенности реализации. АСАМ, контактные модуляционные методики, электросиловая микроскопия.
23. Полуконтактный (прерывисто-контактный) метод АСМ: достоинства, недостатки, фазовый контраст.
24. Особенности осуществления и возможности многопроходных методик АСМ. Факторы, определяющие пространственное разрешение в многопроходных методиках.
25. Взаимодействие света с веществом. Режимы СБОМ, разрешающая способность.
26. Сканирующая ионная микроскопия: возможности, разрешающая способность, методики.
27. Возможности и ограничения различных методик СЗМ в исследовании характеристик и создании наноструктур и наноматериалов.

28. Пробоподготовка наноразмерных дисперсных и высокопористых материалов для СЗМ-исследований.
29. Влияние пробоподготовки и условий проведения эксперимента на чувствительность СЗМ.
30. Влияние добротности на резонансные свойства зонда АСМ.
- 31.Arteфакты АСМ: причины, проявления, способы устранения.
32. Определение локальной нанотвердости.
33. Общее устройство и принципы работы сканирующего зондового микроскопа. Виды исполнения основных конструктивных элементов. Организация обратной связи.
34. Направления развития оборудования СЗМ.
35. Зонды СБОМ: получение, особенности, недостатки.
36. Зонды для АСМ: типы, конструктивные особенности, параметры, основные характеристики.
37. Цели и виды математической обработки результатов сканирования.
38. Оценка шероховатости и текстуры исследуемой поверхности.
39. Метрология и стандартизация в нанотехнологиях.
40. Установки высокой точности, меры, калибровочные решетки, стандартные образцы.

К экзамену допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. Студент получает билет с 2-мя вопросами 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(ТУ) 026-2016. Положение о бакалавриате./ СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2016.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2016.- 38 с.

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