

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)»
(СПбГТИ(ТУ))

ОПИСАНИЕ¹

дополнительной профессиональной программы повышения квалификации
(далее - программа)
«Применение атомно-силовой микроскопии для анализа низкоразмерных систем»

1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

знать:

- основные технологические процессы и режимы создания низкоразмерных систем (для должностей: начальник исследовательской лаборатории; начальник производственной лаборатории (по контролю производства); инженер-технолог (технолог));
- особенности структуры, физико-химических свойств, конструкции и назначения наноматериалов и наноструктур (С/01.6);
- назначение, устройство и принцип действия оборудования АСМ для измерения параметров наноматериалов и наноструктур (С/01.6);
- воздействие используемого оборудования на наноматериалы и наноструктуры (С/01.6);
- основные методы измерений параметров наноматериалов и наноструктур (С/01.6);
- оборудование зондовой микроскопии, принципы его работы и правила эксплуатации (для должностей: начальник исследовательской лаборатории; начальник производственной лаборатории (по контролю производства)).

уметь:

- работать на измерительном оборудовании в соответствии с инструкциями по эксплуатации и технической документацией (С/01.6);
- оценивать временные затраты на стандартные и нестандартные методы измерения параметров наноматериалов и наноструктур (С/01.6);
- осуществлять анализ и интерпретацию результатов атомно-силовой микроскопии низкоразмерных систем на поверхности твердофазных матриц.

владеть навыками:

- использования математического аппарата обработки и анализа результатов атомно-силовой микроскопии.

¹ Составлено на основании разделов 2, 5, 6, 7 утвержденной программы и установленного шаблона

2. РАБОЧИЕ ПРОГРАММЫ УЧЕБНЫХ ПРЕДМЕТОВ, КУРСОВ, ДИСЦИПЛИН (МОДУЛЕЙ), ПРАКТИК, СТАЖИРОВОК, РАЗДЕЛОВ, ТЕМ

2.1 Содержание лекций

№ темы	Название темы	Объем, час
1	<p>Классификация низкоразмерных материалов</p> <p>Современная классификации наноразмерных объектов, основанная на размерных параметрах и химической природе нанообъектов. Нуль-, одно-, двух- и трехмерные наноструктуры.</p> <p>Особенности свойств наноматериалов. Размерные эффекты. Параметры кристаллической решетки, термодинамические, оптические, электронные, магнитные свойства, реакционная способность наносистем. Квантово-размерный эффект. Физико-химические методы исследования наноматериалов.</p>	1
2	<p>Основные технологии и особенности получения конформных нанопокровов</p> <p>Перспективные способы получения двумерных наноструктур.</p> <p>Физические методы осаждения тонких пленок: физическое осаждение из газовой фазы (PVD), молекулярно-лучевая эпитаксия, импульсное лазерное осаждение, распылительное осаждение.</p>	1
	<p>Химические методы осаждения пленок. Химическое осаждение из газовой фазы (CVD), молекулярное напыление (МН). Нанесение тонких пленок на сложный рельеф. Химическое осаждение из растворов: золь-гель метод, метод Ленгмюр-Блоджетт, основы и особенности реализации рассматриваемых методов синтеза.</p>	1
	<p>Технологические возможности методов по созданию конформных тонких пленок и наноструктур на материалах с развитой поверхностью.</p>	1
3	<p>Методы сканирующей зондовой микроскопии</p> <p>Методы сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ): области применения, возможности и ограничения.</p> <p>Физические принципы работы сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). Устройство и принцип работы туннельного сенсора. Латеральное разрешение СТМ. Эффект последнего атома. Возможности СТМ при исследовании материалов.</p> <p>Взаимодействие света с веществом. Конструкции и режимы работы СБОМ. Физические принципы метода сканирующей ионной микроскопии (СИМ). Аналитические модели измерений. Модуляционная методика. Комбинированные методы исследования.</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.</p> <p>Устройство, принципы работы и характеристики СЗМ сканеров.</p> <p>Артефакты пьезокерамики и конструкции сканера. Конволюционные артефакты.</p> <p>Математическая обработка и визуализация данных СЗМ. Цифровая фильтрация. Фурье-анализ.</p> <p>Контактная АСМ мода (Contact Mode). Режимы постоянной силы и постоянной высоты. Режим латеральной силы (Lateral Force Mode, LFM).</p> <p>Атомно-силовая акустическая микроскопия (Atomic Force Acoustic</p>	4

	<p>Microscopy, AFAM). Динамические контактные методики. Режим периодического контакта (Tapping Mode). Режим фазового контраста (Phase Imaging Mode). 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). Локальная силовая спектроскопия. Капиллярные и адгезионные силы.</p>	
4	<p>Применение АСМ для анализа морфологии и свойств наноразмерных пленок</p> <p>Анализ морфологии и толщины покрытия на поверхности твердых веществ: плоских матриц, дисперсных материалов, материалов с регулярной/нерегулярной пористостью. Морфологические изменения на поверхности матриц в процессе синтеза покрытия и при термообработке. Определение механических характеристик системы "матрица – (нано)покрытие".</p> <p>Исследование электрофизических, диэлектрических (сегнетоэлектрических) и магнитных характеристик нанопокровтий. Оценка работы адгезии и толщины слоя сорбата.</p>	2
Всего		10

2.2 Содержание лабораторных занятий

№ темы	Содержание занятия	Объем, час
3	<p>Методы сканирующей зондовой микроскопии</p> <p>1. Изучение возможностей различных режимов АСМ. 2. Анализ и обработка изображений, полученных при исследовании материалов методами АСМ. 3. Исследование дисперсных наноматериалов методом атомно-силовой микроскопии. 4. Исследование поверхности композиционного материала с диспергированным наполнителем.</p>	4
4	<p>Применение АСМ для анализа морфологии и свойств наноразмерных пленок</p> <p>Исследование морфологии поверхности, фазового состава и свойств наноструктурированных покрытий с применением АСМ.</p>	2
Всего		6

3. ФОРМЫ АТТЕСТАЦИИ, ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

3.1. Формы контроля и аттестации, оценочные материалы по учебным предметам, курсам, дисциплинам (модулям), практикам, стажировкам, разделам, темам

Промежуточная аттестации и текущий контроль в программе не предусмотрены

3.2.Оценочные материалы для итоговой аттестации

Итоговая аттестация проводится в форме зачета в виде устного ответа по основным темам программы.

3.2.1 Вопросы к итоговой аттестации по освоению программы

1. Наноматериалы, критерии их определения. Основные классы наноразмерных систем. Принципиальные отличия наноразмерных систем от макрообъектов.
2. Особенности свойств наноматериалов. Размерные эффекты. Особенности зонной структуры металлов и полупроводников в нанокристаллическом состоянии. Основные параметры, зависящие от размерного фактора.
3. Перспективные способы получения нанопокровтий. Физическое осаждение из газовой фазы (PVD), электроосаждение и атомно-лучевая эпитаксия.
4. Химическое осаждение из газовой фазы (CVD), молекулярное наслаивание (МН) и золь-гель осаждение двумерных наноструктур.
5. Классификация и особенности методов сканирующей зондовой микроскопии. Общее устройство и принципы работы сканирующего зондового микроскопа. Виды исполнения основных конструктивных элементов. Организация обратной связи.
6. Физические основы сканирующей туннельной микроскопии. Эффект последнего атома. Режимы сканирования СТМ, их возможности, достоинства и недостатки.
7. Зонды для АСМ: типы, конструктивные особенности, параметры, основные характеристики. Влияние добротности на резонансные свойства зонда АСМ.
8. Взаимодействие зонда АСМ с поверхностью. Контактные методики АСМ: достоинства, недостатки, особенности реализации. АСАМ, контактные модуляционные методики, электросиловая микроскопия.
9. Полуконтактный (прерывисто-контактный) метод АСМ: достоинства, недостатки, фазовый контраст. Особенности осуществления и возможности многопроходных методик АСМ.
10. Артефакты АСМ: причины, проявления, способы устранения. Цели и виды математической обработки результатов сканирования.
11. Взаимодействие света с веществом. Режимы сканирующей ближнепольной оптической микроскопии, разрешающая способность.
12. Сканирующая ионная микроскопия: возможности, разрешающая способность, методики.
13. Возможности и ограничения различных методик СЗМ в оценке морфологии и физико-химических характеристик наноструктур и наноматериалов.

4. ОРГАНИЗАЦИОННО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

4.1. Учебно-методическое обеспечение программы

4.1.1. Основная литература:

1. 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)
2. Малыгин, А.А. Химическая сборка функциональных наноматериалов методом молекулярного наслаивания: конспект лекций / А.А.Малыгин. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2012. – 74 с. (ЭБ)
3. Малыгин, А.А. Свойства и применение функциональных наноматериалов: текст лекций / А.А.Малыгин, А.А.Малков. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2013. – 71 с. (ЭБ)
4. Миронов, В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии / В.Л.Миронов. – Москва: Техносфера, 2005. – 144 с. – ISBN 5-94836-034-2
5. Соснов, Е.А. Методы зондовой микроскопии. Сканирующая ионная микроскопия: учебное пособие / Е.А.Соснов. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2015. – 52 с. (ЭБ)
6. Соснов, Е.А. Методы зондовой микроскопии. Анализ продуктов молекулярного наслаивания методами Атомно-Силовой Микроскопии: учебное пособие / Е.А.Соснов, А.С.Ципанова. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2023. – 55 с. (ЭБ)

4.1.2. Дополнительная литература

1. Елисеев, А.А. Функциональные наноматериалы / А.А.Елисеев, А.В.Лукашин; под ред. Ю.Д.Третьякова. – Москва: Физматлит, 2010. – 456 с. - ISBN 978-5-9221-1120-1.
2. Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям: учебное пособие / Е.Д.Мишина и др.; под ред. А.С.Сигова. – Москва: Лаборатория знаний, 2017. – 187 с. – ISBN 978-5-00101-473-7
3. Раков, Э.Г. Неорганические наноматериалы: учебное пособие / Э.Г.Раков. – Москва: Лаборатория знаний, 2020. – 480 с. – ISBN 978-5-00101-741-7
4. Суздалев, И.П. Нанотехнология: Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И.П.Суздалев. – Изд. 2-е испр. – Москва: Книжный дом «ЛИБРОМ», 2009. – 592 с. - ISBN 978-5-397-00217-2
5. Фундаментальные и прикладные основы нанотехнологии молекулярного наслаивания: учебное пособие / С.И.Кольцов, А.А.Малыгин, А.А.Малков, Е.А.Соснов. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2021. – 279 с.
6. Цао, Гочжун. Наноструктуры и наноматериалы. Синтез, свойства и применение / Г.Цао, Ин Ван; Пер. с англ. – Москва: Научный мир, 2012. – 520 с. – ISBN 978-5-91522-224-2

4.2 Материально-техническое обеспечение программы

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
Аудитория	лекции	Компьютер с выходом в локальную сеть СПбГТИ (ТУ) и в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска.
Лаборатория сканирующей зондовой микроскопии	лабораторные занятия	Учебно-научный комплекс на основе 6 СЗМ Nano-Educator и 3 СЗМ NanoEducator II. Программные пакеты NanoEducator 1.6.1 и Image Analysis 2.2.0

4.3.Кадровые условия реализации программы

Программа реализуется квалифицированными специалистами в области получения и анализа методами сканирующей зондовой микроскопии наноразмерных материалов и нанопокровов с заданными свойствами, в т.ч. из числа сотрудников Первого Всероссийского инженерингового центра технологии молекулярного наслаивания (ИЦТМН) СПбГТИ(ТУ).