

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

### **ОПИСАНИЕ<sup>1</sup>**

дополнительной профессиональной программы повышения квалификации  
(далее - программа)  
«Технология молекулярного наслаивания и оборудование для создания наноматериалов»

#### **1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ**

##### ***знать:***

- "остовно-функциональную" теорию строения твердого вещества;
- основные методы модификации свойств наноматериалов и наноструктур (С/02.6);
- принципы метода молекулярного наслаивания;
- размерно-структурные эффекты, наблюдаемые в продуктах молекулярного наслаивания;
- возможности технологии молекулярного наслаивания по синтезу нанопокрывтий заданного состава и строения;
- возможные области применения технологии молекулярного наслаивания в производстве;
- назначение, устройство и принцип действия оборудования для модификации свойств наноматериалов и наноструктур по технологии молекулярного наслаивания (С/02.6);
- воздействие оборудования для реализации процессов молекулярного наслаивания на наноматериалы и наноструктуры (С/02.6);
- физико-химические методы оценки изменения функциональных характеристик модифицированных объектов.

##### ***уметь:***

- подбирать необходимые реагенты и условия проведения синтеза методом молекулярного наслаивания покрытий заданного состава;
- работать на технологическом оборудовании, реализующем процессы молекулярного наслаивания, в соответствии с инструкциями по эксплуатации и технической документацией (С/02.6).

##### ***владеть навыками:***

- осуществления синтеза по технологии молекулярного наслаивания на установках молекулярного наслаивания проточного и проточно-вакуумного типов.

<sup>1</sup> 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><b>Синтез наноматериалов и наноструктур по технологии молекулярного наслаивания</b></p> <p>Остовно-функциональное строение твердого вещества. Реакции функционалов и остовные реакции твердого вещества. Функциональные ряды, их свойства и система функциональных превращений в гомологическом ряду твердых веществ.</p> <p>Принципы метода молекулярного наслаивания. Формирование многослойных и многозонных структур методом молекулярного наслаивания. Программирование состава и толщины зон с точностью в один монослой полиэдров. Релаксационные процессы в сверхтонких слоях. Размерно-структурные эффекты в продуктах молекулярного наслаивания. Специфические свойства сверхтонких слоев.</p>	2
	<p>Получение функциональной поверхности с заданной реакционной способностью. Регулирование физико-химических свойств поверхностных структур. Регулирование параметров пористой структуры твердого тела и его приповерхностного слоя. Термическая устойчивость тонкослойных систем. Проведение синтеза оксидных, нитридных и сульфидных покрытий. Плазмо-химическая активация поверхности, применение реагентов в виде плазмы, озона. Осаждение металлических покрытий, молекулярно-слоевое осаждение (Molecular Layer Deposition). Травление атомарного слоя (Atomic Layer Etching). Пост-синтетическая обработка покрытий.</p>	3
2	<p><b>Аппаратурное оформление процесса молекулярного наслаивания</b></p> <p>Аппаратурное оформление процессов в системе "газ - твердое", реализующих технологию молекулярного наслаивания на поверхности различных матриц. Установки и оборудование для проточного, проточно-вакуумного и вакуумного вариантов технологии химической сборки материалов</p> <p>Обработка дисперсных материалов во взвешенном слое. Пространственное разделение потоков реагентов. Активация поверхности матрицы, радикало-стимулированный процесс. Особенности конструктивных решений. Организация процесса молекулярного наслаивания в системе "жидкое - твердое".</p>	2
	<p>Реактивы и материалы, используемые для синтеза покрытий (оксидных, нитридных сульфидных). Особенности работы с летучими галогенидами и органометаллическими соединениями.</p> <p>Перспективы применения технологии молекулярного наслаивания: в микро- и нанoeлектронике.</p>	1
3	<p><b>Методы оценки морфологии и толщины нанопокровтий</b></p> <p>Сравнительная характеристика методов микроскопического исследования материалов. Просвечивающая и сканирующая электронная микроскопия: основные принципы, аппаратная реализация, разрешающая способность. Аналитические возможности и особенности пробоподготовки просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения. Сканирующая электронная микроскопия: контраст в первичных и вторичных электронах, сочетание с рентгеноспектральным анализом.</p> <p>Методы сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ): области применения, возможности и ограничения. Совмещение СЗМ с КР-спектроскопией.</p>	2

№ темы	Название темы	Объем, час
	<p>Пробоподготовка наноразмерных и наноструктурированных материалов для СЗМ-исследований. СЗМ в различных средах (вакууме, газах, жидкостях). Влияние электрических и магнитных полей. Применение СЗМ (СТМ, АСМ, СБОМ) для исследования продуктов, полученных по технологии молекулярного наслаивания.</p> <p>Плоская электромагнитная волна, её распространение в среде. Отражение и преломление света на границе раздела непоглощающих сред. Основное уравнение эллипсометрии. Прямая и обратная задачи. Однородная полубесконечная среда. Однослойная модель, многослойная модель и оптически неоднородный слой. Учет рельефа поверхности и размытия межфазных границ.</p>	
Всего		<b>10</b>

## 2.2 Содержание лабораторных занятий

№ темы	Содержание занятия	Объем, час
2	Конструкция и правила эксплуатации установок молекулярного наслаивания проточно-вакуумного типа	2
	Проведение синтеза по технологии молекулярного наслаивания на установке проточно-вакуумного типа	2
3	Анализ продуктов синтеза по технологии молекулярного наслаивания наноматериалов методами АСМ и эллипсометрии	2
Всего		<b>6</b>

### **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 устной форме в виде зачета.

##### **3.2.1 Вопросы к итоговой аттестации по освоению программы**

1. Реакции молекулярного наслаивания как химические превращения в гомологическом ряду твердых веществ.
2. Основные особенности остовно-функционального химического строения твердых веществ и полинаправленность их химических превращений.
3. Нанотехнология на принципах молекулярного наслаивания.
4. Технологические стадии осуществления одного цикла МН.
5. Технологические параметры при организации процесса МН.
6. Схема экспериментальной установки с реактором проточного типа и описание процесса синтеза оксидного покрытия.
7. Схема типовой вакуумной установки молекулярного наслаивания и описание процесса синтеза оксидного покрытия.
8. Реагенты, используемые в технологии молекулярного наслаивания: характерные свойства и особенности обращения.
9. Структурно-размерные эффекты в продуктах, полученных по технологии молекулярного наслаивания, и их связь с возможными областями применения.
10. Стадии производства интегральных схем, на которых целесообразно применение технологии молекулярного наслаивания.
11. Оценка толщины и структуры нанопокрyтия с использованием просвечивающей электронной микроскопии.
12. Особенности сканирующей зондовой микроскопии на неэлектропроводных образцах.
13. Возможности сканирующей зондовой микроскопии по исследованию морфологии и свойств продуктов, полученных по технологии молекулярного наслаивания.
14. Эллипсометрическая оценка толщины синтезируемого покрытия

## 4. ОРГАНИЗАЦИОННО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

### 4.1. Учебно-методическое обеспечение программы

#### 4.1.1. Основная литература:

1. Беляков, А.В. Химические основы нанотехнологии твердофазных материалов различного назначения: учебное пособие/ А.В. Беляков, Е.В. Жариков, А.А. Малыгин. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2006.- 102 с.
2. Малыгин, А.А. Свойства и применение функциональных наноматериалов: Текст лекций/ А.А. Малыгин, А.А. Малков - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2013.- 71 с.
3. Малыгин, А.А. Химическая сборка функциональных наноматериалов методом молекулярного наслаивания: конспект лекций / А.А.Малыгин- СПб: СПбГТИ(ТУ), 2012.- 74 с.
4. Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий. Методы и применение: сб. научн. тр. / под ред. У.Жу, Ж.Л.Уанга.- Москва: Лаборатория знаний, 2021.- 601 с.
5. 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), 2022.- 54 с.
6. 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.

#### 4.1.2. Дополнительная литература

1. Алесковский, В.Б. Стехиометрия и синтез твердых соединений/ В.Б. Алесковский. - Л.: Наука, 1976.- 140 с.
2. Алесковский, В.Б. Химия твердых веществ: учебное пособие для вузов/ В.Б. Алесковский. - М.: Высшая школа, 1978 - 256 с.
3. Алесковский, В.Б. Химия надмолекулярных соединений/ В.Б. Алесковский. - СПб.: СПбГУ, 1996.- 256 с.
4. Громов В.К. Введение в эллипсометрию.- Л.: Изд-во ЛГУ, 1986.- 190 с.
5. Захарова, Н.В. Метрологическое обеспечение измерений наноразмерных объектов: учебное пособие./ Н.В.Захарова, Е.А.Соснов - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2014.- 92 с.
6. Миронов, В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии / В.Л.Миронов. - Москва: Техносфера, 2005. - 144 с. - ISBN 5-94836-034-2
7. Нанотехнологии в электронике/ Под ред. Ю.А.Чаплыгина.- М.: Техносфера, 2005. - 446 с.
8. Старостин, В.В. Материалы и методы нанотехнологии / В.В.Старостин.- М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2015.- 434 с. (ЭБС)
9. Суздальев, И.П. Нанотехнология: Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И.П.Суздальев. – Изд. 2-е испр. – Москва: Книжный дом «ЛИБРОМ», 2009. – 592 с. - ISBN 978-5-397-00217-2
10. Физические методы исследования наноструктур и поверхности твердого тела: учебное пособие/ В.И. Троян, М.А. Пушкин, В.Д. Борман, В.Н. Тронин.- М.: МИФИ, 2008.- 260 с.

### 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
Технологическая лаборатория	лабораторные занятия	Технологические установки молекулярного наслаивания, ПО управлением процессом молекулярного наслаивания нанопокрывтий заданной толщины и состава (Св-во регистрации программы ЭВМ RU 2020618405)

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
		Многофункциональная автоматизированная система для атомно-силовой и рамановской микроскопии и спектроскопии NTEGRA Spectra II. Сканирующий зондовый микроскоп Solver P47 Pro Спектральный эллипсометр ME-L

#### 4.3. Кадровые условия реализации программы

Программа реализуется квалифицированными специалистами в области тонкопленочных технологий, в т.ч. из числа сотрудников Первого Всероссийского инжинирингового центра технологии молекулярного наслаивания (ИЦТМН) СПбГТИ(ТУ).