

Учебный план программы повышения квалификации
«Современные методы и средства контроля и диагностики материалов и изделий для индустрии наносистем»

№ п/п	Наименование разделов, дисциплин и тем	ИТОГО с с.р.	Всего, час.	в том числе		С. р.	Форма контроля
				Лек	П. р., лаб. раб, семинары		
1	Основная номенклатура материалов нанотехнологий, их структура, свойства и методы их получения.	18	17	9	8	1	Зачет
2	Применение СЗМ для контроля и диагностики наноматериалов.	27	25	9	16	2	Зачет
3	Применение СЭМ для контроля и диагностики наноматериалов.	27	25	9	16	2	Зачет
ИТОГО по модулю		72	67	27	40	5	
Итоговый междисциплинарный экзамен							Экзамен
Аттестационная (выпускная) работа							Работа

Структура и содержание дисциплины

«Основная номенклатура материалов нанотехнологий, их структура, свойства и методы их получения».

Модуль 1. Введение в нанотехнологию.

1 час.

1.1. История технологического использования наноматериалов. Соотношение понятий «атом – молекула – кластер - наночастица – наноструктура – объемный материал». Размерный эффект.

Модуль 2. Функциональные и конструкционные наноматериалы неорганической и органической природы.

4 часа.

2.1. Молекулярные кластеры Газовые кластеры Коллоидные кластеры Твердотельные нанокластеры и наноструктуры Матричные нанокластеры и супрамолекулярные структуры Кластерные кристаллы и фуллериты.

2.2. Компактированные наносистемы и нанокомпозиты.

2.3. Метаматериалы.

2.4. Тонкие наноструктурированные пленки. Графен. Фуллерены.

2.5. Нанотрубки

2.6. Полупроводниковые гетероструктуры.

2.7. Детонационные наноматериалы.

Модуль 3. Методы получения наноматериалов.

4 часа.

- 3.1. Получение наночастиц и наноматериалов методами «мокрой» химии.
- 3.2. Получение наноматериалов методами спекания, кристаллизации, фотохимии, механохимическим методом и с помощью высокого давления.
- 3.3. Компактированные наносистемы, получаемые методом прессования и магнито-импульсным и золь-гель методом.
- 3.4. Методы парофазного осаждения, молекулярного наслаивания. Лазерная абляция и дуговой синтез.
- 3.5. Эпитаксиальные методы получения наноструктур. Методы газовой и жидкостной эпитаксии. Молекулярно-лучевая эпитаксия.

«Применение СЗМ для контроля и диагностики наноматериалов».

Модуль 1. Физические основы сканирующей зондовой микроскопии –

1 час.

- 1.1. Общая схема работы сканирующих зондовых микроскопов. Прохождение микрочастиц через потенциальный барьер. Туннельный ток. Силы взаимодействия в твердых телах. Ван дер Ваальсовы силы, электростатическое и капиллярное взаимодействие.

Модуль 2. Основные методики и режимы работы СЗМ

3 часа.

- 2.1. Сканирующий туннельный микроскоп. Режимы работы СТМ. Сканирующая туннельная спектроскопия. Атомные силовые микроскопы. Методы регистрации изгиба и параметров колебаний зонда. Режимы работы АСМ. Латеральный силовой микроскоп.
- 2.2. Другие методики СЗМ. Электростатическая силовая микроскопия. Сканирующая емкостная спектроскопия. Сканирующая микроскопия ближней оптической зоны. Микротермальный анализ. Силовая модуляционная спектроскопия. Микроскопия фазового детектирования. Атомные манипуляции и использование СЗМ в нанометрологии.
- 2.3. Применение АСМ для измерения распределения механических свойств поверхностных слоев материалов и тонких пленок. Модель, обосновывающая возможность измерения механических свойств тонких пленок.

Модуль 3. Детали устройства сканирующих зондовых микроскопов

3 часа.

- 3.1. Сканер. Требования к сканерам. Конструкции сканеров. Нелинейности сканеров. Коррекция геометрических искажений сканеров. Тестирование сканеров.
- 3.2. Кантилеверы и иглы СЗМ. Форма иглы и разрешение. Изготовление игл кантилеверов. Изготовление игл для СТМ. Современное состояние технологий изготовления сенсоров и тенденции развития СЗМ. Острия для АСМ для измерения механических свойств тонких пленок.
- 3.3. Артефакты изображений. Восстановление истинных изображений.

Модуль 4. Ключевые черты СЗМ.

1 час.

- 4.1 Условия эксплуатации СЗМ. Программное обеспечение. Первичная обработка изображений. Фильтрация изображений. Манипуляции с зондом и вспомогательные средства.

Модуль 5. Применение СЗМ для исследования шероховатости поверхности твердых тел. 1 час.

5.1. Исследование роста и огрубления тонких пленок. Концепция динамического скейлинга. Методы оценки шероховатости поверхностей. Стандартные характеристики поверхностной шероховатости твердых тел.

5.2. Фрактальная размерность. Методы определения фрактальной размерности реальных поверхностей.

«Применение СЭМ для контроля и диагностики наноматериалов».

Модуль 1. Физические основы сканирующей электронной микроскопии –1 час.

1.1. Основные принципы. Волновые свойства электронов. Электростатическая и магнитная фокусировка. Толстые и тонкие магнитные линзы. Разрешение и фокусировка. Разрешающая способность и абберация линз. Дифракционный предел разрешения. Сферическая абберация. Хроматическая абберация. Астигматизм линз. Сравнение просвечивающего и растрового микроскопа. Построение изображения. Глубина резкости. Форма и размер образца. Требования к вакууму. Стабильность тока и напряжения.

Модуль 2. Основные методики и режимы работы СЭМ **3 часа.**

2.1. Растровая электронная микроскопия. Взаимодействие электронного пучка с образцом. Фокусировка пучка.

2.2. Неупругое рассеяние и поглощение энергии. Возбуждение рентгеновского излучения. Создание изображения характеристическим рентгеном.

2.3 Отраженные электроны. Создание изображения отраженными электронами.

2.4. Вторичные электроны. Факторы влияющие на вторичную эмиссию. Контраст изображения.

2.5. Альтернативные способы создания изображения. Катодолюминисценция. Наведенный ток. Подготовка образца. Напыление покрытия. Фрактография. Стереоскопическое изображение.

Модуль 3. Детали устройства сканирующих электронных микроскопов 3 часа.

3.1. Детектор вторичных электронов SE (Эвернхарта-Торнли), внутрилинзовый детектор вторичных электронов (Inlens SE).

3.2. Детектор обратно-рассеянных электронов (BSE).

3.3. Энергодисперсионный спектрометр (EDS).

3.4. Волновой спектрометр (WDS).

3.5. Детектор дифракции обратно-рассеянных электронов (BSD).

3.6. Детектор эмуляции просвечивающего режима (STEM).

3.7. Детектор обратно-рассеянных электронов высокого контраста с четырьмя кристаллами (4QBSD).

Модуль 4. Ключевые черты СЭМ. 1 час.

4.1 Условия эксплуатации СЭМ. Программное обеспечение. Первичная обработка изображений. Фильтрация изображений. Манипуляторы и вспомогательные средства.

Модуль 5. Применение СЭМ для исследования наноматериалов 1 час.

5.1. Исследование композитных материалов, металлов, катализаторов, сплавов, биологических образцов. Особенности работы с непроводящими объек-

тами. Режим работы компенсации заряда (СС). Низковакуумные и другие режимы работы электронных микроскопов.