

«Утверждаю»

Ректор РХТУ им. Д.И. Менделеева

_____ В.А. Колесников

« ____ » _____ 2010

г.

УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Методы анализа и исследования наноматериалов»

для опережающей профессиональной переподготовки, ориентированных на инвестиционные проекты ГК «РоснаноТех» в области организации конкурентоспособного высокотехнологичного отечественного производства модифицированных слоистых наносиликатов, мастербатчей (прекурсоров нанокомпозитов) и полимерных нанокомпозиционных материалов нового поколения в Брянской области

Разработчики программы:

Филиппов М.Н., д.ф.-м.н., проф. кафедры наноматериалов и нанотехнологии РХТУ им. Д.И. Менделеева

Серцова А.А., ассистент кафедры наноматериалов и нанотехнологии РХТУ им. Д.И. Менделеева

Москва 2010 г.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели дисциплины:

Курс "Методы анализа и исследования наноматериалов" предназначен для профессиональной переподготовки в области организации конкурентоспособного высокотехнологичного отечественного производства модифицированных слоистых наносиликатов, мастербатчей и полимерных нанокomпозиционных материалов нового поколения.

Задачи изучения:

состоят в ознакомлении слушателей с методами анализа и исследования наноматериалов различными методами, в том числе электронной микроскопией, масс-спектроскопией, дифракционными методами и др.

Цели и задачи дисциплины достигаются:

в результате изучения существующих методов исследования нанообъектов и наносистем, ознакомления с современным диагностическим и аналитическим оборудованием. Основное внимание уделяется фундаментальным принципам, физическим пределам различных методов и их точностным характеристикам.

2. КОМПЕТЕНЦИИ ВЫПУСКНИКА ПРОГРАММЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

В результате изучения курса слушатели должны:

знать:

- специфику наноматериалов как объектов анализа;
- основные методы подготовки объектов к анализу;
- основные методы анализа поверхности;
- основные методы анализа объемных наноразмерных структур;

- методы современного физико-химического анализа наноразмерных структур;
- методы проверки правильности и способы определения реальных метрологических характеристик методов анализа;
- о принципах работы современных центров нанодиагностики;

уметь:

- владеть современными методами физико-химического анализа и экспериментального определения физико-химических свойств наноматериалов и изделий из них;
- самостоятельно интерпретировать результаты основных методов локального анализа, включая метрологическую оценку результатов;
- самостоятельно выбирать адекватный метод анализа в зависимости от характеристик исследуемого объекта;
- владеть методами математической статистики для обработки результатов экспериментов.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость дисциплины	120
Аудиторные занятия	78
Лекции	52
Практические занятия (ПЗ)	-
Семинары (С)	-
Лабораторные работы (ЛР)	26

и (или) другие виды аудиторных занятий	-
Самостоятельная работа	52
Курсовой проект (работа)	-
Расчетно-графические работы	-
Реферат	-
и (или) другие виды самостоятельной работы	-
Подготовка к экзамену	-
Вид итогового контроля: (экзамен, зачет)	Экзамен

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

№ п/ п	Раздел дисциплины	Часов				
		Всего	Лек - ции	Практ и- ческие заняти я	Лабора - торные работы	Самостоя -тельная работа
1.	Введение	4	2	-		2
2.	Микроскопические методы	12	6	-		6
3.	Растровая электронная микроскопия	20	6	-	8	6
4.	Просвечивающая электронная микроскопия.	12	6	-		6
5.	Сканирующая зондовая	18	6	-	6	6

	микроскопия					
6.	Рентгеноспектральный микроанализ	16	6	-	6	4
7.	Электронная спектроскопия	8	4	-		4
8.	Масс-спектрометрия вторичных ионов	4	2	-		2
9.	Интерферометрические методы измерения наноперемещений	4	2	-		2
10.	Дифракционные методы исследования нанобъектов	16	4	-	6	6
11.	Методы выявления квантово-размерных эффектов. Заключение.	4	2	-		2
	Итого по курсу:	120	46	-	26	48

4.2. Содержание разделов дисциплины

1. Введение. Особенности исследования нанобъектов и наносистем. Методы изучения физико-химических процессов в наносистемах, физических, химических, биологических свойств и эксплуатационных характеристик наноматериалов, устройств, приборов и изделий на их основе.

Специфика линейных измерений, химического анализа и определения структурных параметров нанобъектов. Требования к точности измерений и метрологическим характеристикам методов анализа и диагностики наночастиц и наноматериалов.

2. Микроскопические методы. Основные понятия: увеличение микроскопа, полезное увеличение, дифракционный предел пространственного разрешения оптического микроскопа. Принципы построения увеличенного изображения. Приборы с параллельным и последовательным формированием изображения. Принцип построения изображения в растровом (сканирующем) микроскопе. Пространственное разрешение и глубина резкости.

Физические основы электронной микроскопии.

Эмиссия электронов. Термоэлектронная и вторичная электронная эмиссия. Автоэлектронная (полевая) эмиссия. Эффект тепловых скоростей. Источники электронов (электронные пушки) для электронных микроскопов. Типы используемых катодов. Преимущества и недостатки катодов с автоэлектронной эмиссией.

Понятие об электронной оптике, магнитные линзы.

Вакуумные условия для различных типов электронных микроскопов.

Основы взаимодействия электронного пучка средних энергий с твердым телом. Пробег электронов в твердом теле. Основные взаимодействия – упругое и неупругое рассеяние. Вторичная электронная эмиссия. Генерация тормозного и характеристического рентгеновского излучения. Оже-эффект и оже-электронная эмиссия; радиационные повреждения исследуемого объекта.

Детекторы информативных сигналов в электронной микроскопии.

Предельные возможности электронной микроскопии

3. Растровая электронная микроскопия. Общая схема и принцип действия растрового электронного микроскопа. Типы катодов, используемые в растровой электронной микроскопии. Их сравнительные преимущества и недостатки.

Режим регистрации медленных вторичных электронов. Детектор медленных вторичных электронов. Механизм формирования контраста изображения. Кантен-эффект. Пространственное разрешение и информативные

возможности. Ограничения на характеристики образца – тепло- и электропроводность.

Режим регистрации обратно рассеянных электронов. Информативные возможности, пространственное разрешение, применение.

Растровый электронный микроскоп – средство измерения линейных размеров в нанодиапазоне. Калибровка в нанодиапазоне. линейные меры в нанодиапазоне. Предельные возможности растровой электронной микроскопии при измерении линейных размеров нанообъектов. Пространственное разрешение.

4. Просвечивающая электронная микроскопия. Общая схема и принцип действия просвечивающего электронного микроскопа. Реализация режимов наблюдения изображения (темное и светлое поле), микродифракции. Электронография. Механизмы формирования контраста изображения в просвечивающем электронном микроскопе (общие понятия).

Просвечивающий электронный микроскоп как средство изучения нанообъектов. Предельные возможности просвечивающего электронного микроскопа. Требования к объектам исследования.

5. Сканирующая зондовая микроскопия. Основные физические принципы сканирующей зондовой микроскопии. Туннельная и атомно-силовая зондовая микроскопия. Информативные возможности и пространственное разрешение. Основные элементы сканирующего зондового микроскопа. Применение при исследовании нанообъектов и линейных измерениях в нанодиапазоне.

6. Рентгеноспектральный микроанализ. Генерация рентгеновского излучения при взаимодействии электронов с твердым телом. Основные принципы рентгеноспектрального анализа. Характеристическое рентгеновское излучение. Закон Мозли. Закономерности в рентгеновских спектрах. Спектральные серии. Тормозное рентгеновское излучение. Принципы разложения рентгеновского излучения в спектр. Спектрометры с волновой и энергетической дисперсией.

Рентгеновский микроанализ с электронным зондом. Локальность анализа (определение и примеры). Метрологические характеристики (локальность, предел обнаружения, диапазон определяемых содержаний, диапазон определяемых элементов). Устройство рентгеновского микроанализатора.

Принципы количественного анализа. Построение градуировочной характеристики. Основные механизмы матричных эффектов.

7. Электронная спектроскопия. Оже спектроскопия и рентгенофотоэлектронная спектроскопия. Информативные возможности. Локальность определений. Экспериментальные особенности реализации методов. Вакуумные условия. Принципы определения формы нахождения элементов – химический сдвиг. Локальная оже-спектроскопия с электронным зондом. Предельные возможности электронной спектроскопии.

8. Масс-спектрометрия вторичных ионов. Основные физические явления при взаимодействии ионов с твердым телом. Катодное распыление. Процессы ионизации, коэффициенты относительной элементной чувствительности.

Принципы действия масс-спектрометров, основные типы масс-сепараторов. Масс-спектрометр вторичных ионов. Основные элементы. Требования к вакуумным условиям.

Понятие о распределительном (послойном) анализе. Локальность определения. Принципы количественного анализа. Калибровка прибора по глубине. Построение градуировочной характеристики. Метрологические характеристики масс-спектрометрии вторичных ионов. Времяпролетная масс-спектрометрия.

9. Интерферометрические методы измерения наноперемещений. Принцип действия лазерного интерферометра. Предельные возможности интерферометрии. Совмещенные установки – электронные и зондовые микроскопы с лазерными интерферометрами.

10. Дифракционные методы исследования нанообъектов. Дифракция рентгеновских лучей и электронов. Уравнения Лауэ, уравнение Вульфа-Брэггов. Связь угловой ширины дифракционного максимума и размера области рассеяния. Малоугловое рассеяние рентгеновских лучей и электронов. Применение для измерения размеров наночастиц.

11. Методы выявления квантово-размерных эффектов. Люминесценция, рамановское рассеяние. Применение химических зондов.

5. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1	3	Работа растрового электронного микроскопа. Определение гранулометрического состава нанопорошка нанопорошка растровой электронной микроскопии.
2	6	Определение состава нанопорошка нанопорошка
3	5	Работа сканирующего атомно-силового микроскопа.
4	10	Дифрактометрическое определение среднего размера наночастиц.

6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

6.1. Примерный перечень тем рефератов

1. Специфика наночастиц, как объектов химического анализа.
2. Метрологические характеристики основных методов анализа нанообъектов.

3. Проблемы, возникающие при анализе объектов с низкой электропроводностью.
4. Физические явления, возникающие при взаимодействии электронов с твердым телом.
5. Взаимодействие ионных пучков с твердым телом: распыление материала, вторичная ионная эмиссия.
6. Вакуумные условия для методов анализа наноматериалов.
7. Предельные возможности растровой и просвечивающей электронной микроскопии – сравнительный анализ.
8. Особенности приготовления образцов для просвечивающей электронной микроскопии.
9. Рентгеноспектральный анализ в просвечивающей электронной микроскопии.
10. Электронная микроскопия высокого разрешения.
11. Физические основы сканирующей туннельной микроскопии.
12. Взаимодействие атомно-силового зонда с поверхностью твердого тела
13. Особенности получения атомарного разрешения с помощью атомно-силовой микроскопии.
14. Качественный и количественный анализ изображений СЗМ.
15. Энергодисперсионный рентгеноспектральный анализ.
16. Матричные эффекты в электронно-зондовом микроанализе.
17. Химический анализ в оже-спектроскопии: локальность, диапазон определенных содержаний.
18. Методы регенерации электронных спектров.
19. Различные типы масс-спектрометров: квадрупольные, секторные, с двойной фокусировкой, времяпролетные.

20. Вре́мяпролетная масс-спектрометрия вторичных ионов.

21. Методы проверки правильности в анализе наноматериалов.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Рекомендуемая литература

А) Основная литература:

1. Брандон Д., Каплан У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. М.: Техносфера, 2004. – 384 с.
2. Миронов В. Основы сканирующей зондовой микроскопии. М.: Техносфера, 2004. – 144 с.
3. Синдо Д., Оикава Т. Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия. М.: Техносфера, 2006. – 256 с.
4. Праттон М. Введение в физику поверхности. Ижевск: НИЦ «регулярная и хаотическая динамика», 2000. -256 с.

Б) Дополнительная литература:

1. Пул Ч.П. мл., Оуэнс Ф.Дж. Нанотехнологии. М: Техносфера, 2006. - 336 с.
2. Гоулдстейн Дж. и др. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ: В 2-х книгах. Пер. с англ. – М.: Мир 1984.
3. Дж.Спенс Экспериментальная электронная микроскопия высокого разрешения, Москва, Наука, 1986,с.320.
4. Неволин В. К. Зондовые нанотехнологии в электронике. М.: Техносфера, 2005.

7.2. Средства обеспечения освоения дисциплины

- видеозаписи лекций ведущих ученых Всероссийской школы-семинара «Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества».

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

- сканирующий зондовый микроскоп,
- растровый электронный микроскоп,
- рентгеновский дифрактометр.

9. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММ

Формы и методы контроля и оценки результатов освоения разделов программы

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
1 - 5	30 баллов	Контрольная работа № 1
6 - 11	30 баллов	Контрольная работа № 2
1-15	20 баллов	Реферат
Весь курс	60 баллов	Экзамен