

**Программа**  
**краткосрочного повышения квалификации преподавателей и научных работников высшей школы**  
**по направлению**  
**«Методы диагностики и исследования наноструктур»**  
**на базе учебного курса**

**«Применение рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии в нанотехнологиях»**

Цель: изучение необходимой аппаратуры для РФЭС и изучении применения этого метода для исследования наноматериалов

Категория слушателей: преподаватели и научные работники высшей школы

Срок обучения: 36 часов

Форма обучения: с частичным отрывом от работы

Режим занятий: 8 часов в день

*Целью изучения курса* является получение фундаментальных знаний в области электронно-спектроскопических исследований свойств наноматериалов – области знаний, имеющей большое значение для современного материаловедения, физики наноразмерных и молекулярных структур, физики и химии конденсированного состояния и тонких пленок. Задачи курса состоят в изучении необходимой аппаратуры для РФЭС и изучении применения этого метода для исследования наноматериалов.

### **Требования к уровню освоения учебного курса**

Преподаватели должны:

- Знать:
  - область применения рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС);
  - физические принципы РФЭС и рентгеновского микроанализа;
  - устройство оборудования для проведения исследований методом РФЭС;
  - структуру спектров РФЭС.
- Иметь навыки:
  - сбора, систематизации и анализа научно-технической и другой профессиональной информации в области применения РФЭС;
  - включать приобретенные знания о РФЭС в уже имеющуюся систему знаний и применять эти знания в самостоятельных методических разработках;
  - переносить полученных знания о РФЭС на смежные предметные области и к использованию этих знаний для построения междисциплинарных методических разработок.
- Иметь представление:
  - о методе РФЭС;
  - о процедуре получения спектров с помощью РФЭС;
  - о причинах возникновения ложных пиков в РФЭС;

Научные работники должны:

- 1. Знать:
  - область применения рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС);
  - физические принципы РФЭС и рентгеновского микроанализа;
  - устройство оборудования для проведения исследований методом РФЭС;
  - структуру спектров РФЭС.
- Иметь навыки:
  - сбора, систематизации и анализа научно-технической и другой профессиональной информации в области применения РФЭС;
  - включать приобретенные знания о РФЭС в уже имеющуюся систему знаний и применять эти знания в самостоятельных методических разработках;

- переносить полученные знания о РФЭС на смежные предметные области и к использованию этих знаний для построения междисциплинарных методических разработок.
- Иметь представление:
  - о методе РФЭС;
  - о процедуре получения спектров с помощью РФЭС;
  - о причинах возникновения ложных пиков в РФЭС;

Учебный курс «Применение рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии в нанотехнологиях» состоит из дистанционной и очной частей.

Дистанционная часть учебного образовательного курса обеспечивает слушателя необходимым объемом знаний по выбранной тематике. Задача дистанционной составляющей учебного курса – подготовить слушателя к очному посещению лаборатории в Московском инженерно-физическом институте.

В дистанционной (теоретической) части учебного курса изложен материал для изучения необходимой аппаратуры для РФЭС и изучения применения этого метода для исследования наноматериалов. Теоретическая часть учебного курса состоит из восьми лекций:

#### **Лекция 1: Введение в аппаратуру для РФЭС**

Блок-схема установки для РФЭС. Источник рентгеновского излучения. Тормозное рентгеновское излучение. Схема рентгеновского источника. Характеристическое рентгеновское излучение. Коэффициент полезного действия. Фильтрация спектра.

#### **Лекция 2: Монохроматоры**

Материал анода. Устройство рентгеновского монохроматора. Круг Роуланда. Условие брэгговской дифракции.

#### **Лекция 3: Энергоанализаторы. Часть 1**

Энергоанализаторы. Анализаторы отклоняющего типа. Анализаторы задерживающего поля. Бездисперсионный энергоанализатор. Концентрический полусферический анализатор. Основные элементы. Разрешающая способность.

#### **Лекция 4: Энергоанализаторы. Часть 2**

Энергоанализаторы. Анализатор типа цилиндрическое зеркало. Бездисперсионный энергоанализатор. Детектор электронов.

#### **Лекция 5: Исследование образования наноструктур методом РФЭС**

Образование наноструктур на поверхности кремния, индуцированное адсорбцией кислорода. Порог зародышеобразования. Фазовые переходы окисления и огрубления поверхности.

#### **Лекция 6: Исследование окисления методом РФЭС**

Прямое наблюдение монослойного роста оксидных слоев на поверхности кремния на начальной стадии окисления. Исследование кинетики роста островков оксидной фазы на поверхности Ni в окрестности точки Кюри.

#### **Лекция 7: Анализ химического состава методом РФЭС**

Анализ химического состава ПАН-волокна. Эволюция электронной структуры нанокластеров благородных металлов.

#### **Лекция 8: Исследование электронных состояний методом РФЭС**

Исследование явления возбуждения электрон-дырочных пар. Исследование наноразмерных слоев методом РФЭС с угловым разрешением.



3. С помощью РФЭС с угловым разрешением можно исследовать сверхтонкие покрытия, толщина которых меньше длины пробега фотоэлектрона.

А) Верно

Б) Неверно

**Контрольные вопросы для проверки материала в количестве 10 вопросов**

- 1) Типовые источники рентгеновского возбуждения фотоэлектронов
- 2) Принцип работы монохроматора
- 3) Типы анализаторов электронов (достоинства и недостатки)
- 4) Механизм образования наноструктур на поверхности Si (100) под действием кислорода
- 5) РФЭ спектры Si2p окисленной поверхности (Si(100)) (комментарии)
- 6) Механизм зародышеобразования SiO<sub>2</sub> доказательство с помощью РФЭС послойного (step-by-step) роста на поверхности Si(100) оксидных слоев на Si(100)
- 7) Особенности РФЭ спектров O1s на поверхности Ni
- 8) Механизм аномального окисления Ni в окрестности температуры Кюри (T<sub>c</sub>) (РФЭС исследования);
- 9) Прокомментировать атомоподобные Оже-спектры CuL<sub>3</sub>M<sub>45</sub>M<sub>45</sub>
- 10) Как видоизменяется форма спектральной линии оже-электронов в случае, когда энергия взаимодействия дырок в конечном состоянии велика по сравнению с шириной валентной

В конце очной части учебного курса слушатели готовят отчеты по **темам контрольных рефератов**, которые используются для контроля степени усвоения всего учебного курса на базе экспериментальных результатов и их обработки с применением знаний из дистанционной части курса.

**Темы контрольных рефератов по курсу**

**«Применение рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии в нанотехнологиях»**

1. Оборудование для рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии.
2. Преимущества использования РФЭС для исследования ПАН-волокна
3. Недостатки использования РФЭС для исследования ПАН-волокна
4. Сравнение преимуществ и недостатков РФЭС
5. Обзор статей по применения РФЭС при исследованию наноструктур

**Учебно-тематический план**

| № | Название учебного курса и лекций          | Всего, час. | в том числе (указать часы)  |   |   | Форма контроля                   |
|---|---|-------------|---|---|---|----------------------------------|
|   |   |             | Дистанционные лекции (самостоятельное изучение, дистанционное общение с преподавателем, вопросы-ответы через email, форум, чат и др.) | Самостоятельная работа. Подготовка ответов на контрольные вопросы | Очный практикум или другое практическое задание |                                  |
|   | «Применение рентгеновской фотоэлектронной | 36 ч.       | 14 ч.   | 4 ч.  | 18 ч.   | Контрольные вопросы (электронная |

|                   |   |  |        |   |         |          |
|-------------------|---|--|--------|---|---------|----------|
|                   | спектрологии в нанотехнологиях»           |  |        |   |         | зачётка) |
| 1.                | Лекция 1: Аппаратура для РФЭС. Часть 1    |  | 2,5 ч. | 0,5 ч.                                    |         | Реферат  |
| 2.                | Лекция 2: Аппаратура для РФЭС. Часть 2    |  | 2,5 ч. | 0,5 ч.                                    |         |          |
| 3.                | Лекция 3: Аппаратура для РФЭС. Часть 3    |  | 1,5 ч. | 0,5 ч.                                    |         |          |
| 4.                | Лекция 4: Аппаратура для РФЭС. Часть 4    |  | 1,5 ч. | 0,5 ч.                                    |         |          |
| 5.                | Лекция 5: Применение метода РФЭС. Часть 1 |  | 1,5 ч. | 0,5 ч.                                    |         |          |
| 6.                | Лекция 6: Применение метода РФЭС. Часть 2 |  | 1,5 ч. | 0,5 ч.                                    |         |          |
| 7.                | Лекция 7: Применение метода РФЭС. Часть 3 |  | 1,5 ч. | 0,5 ч.                                    |         |          |
| 8.                | Лекция 8: Применение метода РФЭС. Часть 4 |  | 1,5 ч. | 0,5 ч.                                    |         |          |
| Итоговый контроль |   |  |        | Контрольные вопросы (электронная зачётка) | Реферат |          |

**Список литературы (основной и дополнительной), а также других видов учебно-методологических материалов и пособий, необходимых для изучения (конспектов лекций, видеолекций, лазерных дисков и др.).**

**Список литературы и др. дополнительных источников информации в кол-ве – 6.**

1. *Методы анализа поверхности*, под ред. А. Зандерны, - М.: Мир, 1979.
2. Д. Бриггс, М.П. Сих, *Анализ поверхности методами оже-электронной и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии*, - М.: Мир, 1987.
3. Д. Вудраф, Т. Делчар, *Современные методы исследования поверхности*, - М.: Мир, 1989.
4. В.А. Трапезников, И.Н. Шабанова, *Рентгеноэлектронная спектроскопия сверхтонких поверхностных слоев конденсированных систем*. - М.: Наука, 1988.
5. В.И. Нефедов, *Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия химических соединений*, - М.: Химия, 1984.
6. В.Д. Борман, А.П. Менушенков, М.А. Пушкин, В.И. Троян В.Н. Тронин, *Физические основы методов исследования электронных свойств и локальной структуры функциональных наноматериалов для энергетики*, - Москва, 2009.

**Полное содержание лекций в электронной дистанционной части учебного курса на сайте [www.nanoobr.ru](http://www.nanoobr.ru)**