

## ПРОГРАММА №1

### **Исследования материалов методами электронной микроскопии и сканирующей зондовой микроскопии; основы рентгеновской дифракции в материаловедении**

**Общая трудоемкость 128 ч.**

### **ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ**

Авторы: **А.В.Гаршев** (кандидат химических наук, доцент, факультет наук о материалах МГУ), **В.И.Путляев** (кандидат химических наук, доцент, химический факультет МГУ)

Количество академических часов: 56

*Рассмотрены устройства основных узлов электронных микроскопов, описана работа детекторов и рассмотрены примеры исследования некоторых материалов; включена информация, необходимая как для обработки уже имеющихся данных, полученных на растровом или просвечивающем электронном микроскопе, так и для практической работы на приборе. Для полного понимания и осмысления изложенной информации целевая аудитория должна быть знакома со структурными методами анализа конденсированного состояния вещества и физическими методами анализа элементного состава материалов.*

#### **План лекций:**

##### **Взаимодействие ускоренных электронов с веществом.**

Приведены описания физических процессов, имеющих место при взаимодействии электронов с массивными и тонкими образцами. Рассмотрены принципиальные возможности электронных микроскопов в случае их применения для анализа материалов.

##### **Устройство электронных микроскопов.**

Описано техническое оснащение, общая конструкция электронных микроскопов и характеристики аналитической информации, получаемой с использованием различно оснащенных микроскопов. В раздел включены некоторые комментарии по истории развития электронной микроскопии.

## **Растровая электронная микроскопия (РЭМ).**

Рассматриваются теоретические основы возникновения топографического и элементного контраста, обсуждаются некоторые проблемы интерпретации аналитической информации при исследовании трехмерных объектов.

## **Количественный и полуколичественный рентгеноспектральный микроанализ на РЭМ.**

Описываются физические принципы анализа, кратко рассказывается об истории развития метода и основных подходах к обработке аналитической информации.

## **Подготовка образцов для исследования на РЭМ.**

Основной темой данной лекции является подготовка диэлектрических и электропроводящих массивных и порошковых образцов для анализа на растровом электронном микроскопе.

## **Просвечивающая электронная микроскопия.**

Освещаются теоретические основы методов ПЭМ, обсуждаются некоторые проблемы интерпретации аналитической информации. Описываются возможности, достоинства и недостатки распространенных методик анализа.

## **Дифракция ускоренных электронов при взаимодействии с кристаллическими материалами.**

Основными темами лекции являются: физические принципы возникновения электронной дифракции, методики получения картин дифракции электронов в ПЭМ, применение ПЭМ для анализа кристаллических структур материалов.

## **Просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения.**

Приводятся описание методов позволяющих достигать высокого разрешения, рассматриваются примеры программ, применяемых для интерпретации экспериментальных данных.

## **Элементный анализ с использованием ПЭМ.**

Лекция посвящена описанию методик, применяемых в ПЭМ для полуколичественного анализа элементного состава материалов: рентгеноспектральный микроанализ, спектроскопия характеристических потерь энергии электронов.

## **Подготовка образцов для исследования на ПЭМ.**

Основной темой данной лекции является подготовка образцов для анализа на просвечивающем электронном микроскопе

## **ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ**

Автор: Д.М.Иткис (ассистент факультета наук о материалах МГУ)

Количество академических часов: 36

*В начале 1980 сканирующие зондовые микроскопы (СЗМ) потрясли мир первыми изображениями поверхности кремния, на которых можно было различить отдельные атомы в структуре. С тех пор прошло уже несколько десятилетий, и сканирующая зондовая микроскопия стала одним из наиболее важных и информативных методов в исследовании поверхности материалов и в нанотехнологии. Сегодня СЗМ позволяет производить самые разные операции, начиная с простого анализа шероховатости поверхности, заканчивая получением впечатляющих трехмерных изображений отдельных атомов, наноструктур или живых клеток. Основной целью этого курса является знакомство с возможностями, которые дает зондовая микроскопия, и простое объяснение принципов работы микроскопов, понимание которых в дальнейшем поможет грамотно использовать СЗМ для решения своих исследовательских задач и правильно интерпретировать полученные с помощью СЗМ результаты.*

### **План лекций:**

#### **Возможности и общие принципы сканирующей зондовой микроскопии**

Общее представление о СЗМ, методах объединенных под общим названием «СЗМ» и их возможностях.

#### **Сканеры зондовых микроскопов**

Сканер – одна из самых важных частей микроскопа – оказывает огромное влияние на формирование результатов измерений. Раздел знакомит с принципами работы сканеров и с искажениями изображений, вызванными порой работой сканера.

#### **Зонды для СЗМ**

Именно зонд «собирает» первичную информацию об исследуемом объекте. Правильный выбор зонда – это половина успеха в решении задачи на СЗМ, поэтому этот раздел рассказывает о зондах и их роли.

### **Сканирующая туннельная микроскопия**

Туннельная микроскопия основана на туннелировании электронов из зонда в образец. Раздел кратко рассматривает физические основы данного вида микроскопии, а также рассказывает о возможностях туннельной спектроскопии.

### **Контактная атомно-силовая микроскопия**

В этом разделе речь идет о исследовании поверхности, когда зонд находится в контакте с образцом. Рассматриваются силы, действующие между образцом и зондом и схема работы микроскопа в данном режиме.

### **Неконтактная и полуконтактная атомно-силовая микроскопия**

Раздел рассказывает об осциляционных методах исследования топографии. Рассматриваются основные закономерности колебаний зонда, физические основы данных методов, а также фазовая микроскопия.

### **Исследование свойств поверхности методами СЗМ**

СЗМ – это метод исследования не только топографии, но и целого ряда механических, электрофизических и магнитных свойств поверхности. Данный раздел повествует о самых распространенных методах визуализации свойств поверхности.

### **Примеры использования СЗМ для решения задач в материаловедении и нанотехнологии**

В этом разделе приведены некоторые реальные примеры использования СЗМ в научной практике

## **РЕНТГЕНОДИФРАКЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Автор: **А.В.Кнотько** (кандидат химических наук, доцент, химический факультет МГУ)

Количество академических часов: 36

*Обучение решению материаловедческих задач (включая и исследование наноматериалов) с помощью методов рассеяния и дифракции рентгеновского излучения. Рассматриваются методы фазового анализа, уточнения кристаллической структуры, анализа несовершенств строения кристаллов (малых областей когерентного рассеяния и микронапряжений), микронапряжений и текстур. При этом основное внимание уделяется задачам, возникающим при исследовании материалов, в т.ч. и нано-, а ряд важных для рентгенографии приложений, относящихся к химическим задачам (например, исследование неизвестной кристаллической структуры новых соединений) сознательно пропущен.*

### **План лекций:**

#### **Основы рентгенодифракционного эксперимента.**

Введение. Физические основы рентгенодифракционного эксперимента. Некоторые элементы кристаллографии, трансляции, решетки Браве, обратная ячейка, формулы Лауэ, Брэгга-Вульфа, построение Эвальда, способы генерации рентгеновского излучения.

#### **Фазовый анализ.**

Базы данных дифракционных стандартов, информация в карточках базы, полуавтоматический и автоматический фазовый анализ – принципы работы программ, FOM, методы количественного фазового анализа.

#### **Уточнение структуры.**

Уточнение параметров элементарной ячейки, рентгенодифракционный анализ искажений симметрии кристалла, уточнение кристаллической структуры, основы полнопрофильного анализа дифрактограмм (метод Ритвельда).

#### **Анализ несовершенств кристаллической структуры.**

Получение физического профиля дифракционного пика: разделение дублета К – серии рентгеновского излучения, учет инструментального уширения; функции, используемые для аппроксимации профиля пика; формула Шерера; определение микронапряжений; определение несовершенств структуры с помощью Фурье – анализа профиля дифракционной линии

#### **Анализ микронапряжений в материалах.**

Особенности геометрии съемки, расчет компонентов тензора напряжений в плоскости образца и определение их ориентации относительно прибора.

## **Анализ текстур.**

Типы текстуры, их проявление на дифрактограммах; функции, описывающие текстурный эффект; особенности геометрии съемки, направления сканирования в текстурном рентгенодифракционном эксперименте (" $2\theta$ ", " $\theta$ ", " $\varphi$ ", " $\psi$ "); обратные и прямые полюсные фигуры; получение и анализ полюсных фигур; кривые качания, их применение для исследования высокоориентированных материалов.