

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Директор ИНМиН



/ С.Д. Калошкин /  
«01» октября 2012 г.

**ПРОГРАММА**

**учебного курса краткосрочного повышения квалификации  
УНЦ Международная школа микроскопии»**

**ПРОСВЕЧИВАЮЩАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ**

Москва 2012 г.

## Аннотация

Все возрастающий интерес к исследованию и производству наноматериалов, целенаправленное изменение свойств материалов за счет изменения их внутренней структуры, исследование воздействия нанопорошков на биологические объекты все это ставит перед исследователями задачи зачастую не решаемые с помощью традиционных методов исследования материалов, таких как оптическая и растровая электронная микроскопия. Многие задачи могут быть решены только при использовании методов просвечивающей электронной микроскопии, позволяющей получать гораздо более высокое пространственное разрешение, вплоть до атомного (картины высокого разрешения). Однако, просвечивающий электронный микроскоп довольно сложное устройство, требующее при эксплуатации специальных навыков и знаний и высокую степень подготовки рабочего персонала.

Программа данного курса ориентирована на подготовку персонала, работающего непосредственно за прибором. В программу входят изучение как теоретических, так и практических основ методов просвечивающей электронной микроскопии, необходимых для полноценной реализации возможностей просвечивающего электронного микроскопа. Курс имеет практическую направленность и обеспечивает приобретение необходимого опыта работы на современном просвечивающем электронном микроскопе, с использованием современных программ для обработки изображений. Навыки, приобретенные на данных курсах, помогут в решения конкретных металлургических задач в сфере своей профессиональной деятельности.

## 1. Цель обучения

*Обучить* слушателей международной школы микроскопии Токуо Воеки теоретическим аспектам получения изображения в электронной микроскопии и практическим навыкам работы на просвечивающем электронном микроскопе.

## 2. Приобретаемые знания, умения и навыки

### – знания

теории взаимодействия электронного пучка с веществом;

устройства современного просвечивающего электронного микроскопа;

теории формирования изображения в просвечивающем электронном микроскопе;

теории рентгеноспектрального анализа в просвечивающей электронной микроскопии;

методики пробоподготовки и работы с различными типами образцов.

### – умения

выполнять основные текущие технологические операции при работе на просвечивающих электронных микроскопах;

управлять характеристиками изображения в различных режимах;

интерпретировать изображения, получаемые от различных детекторов в просвечивающих электронных микроскопах;

проводить основные операции по обслуживанию просвечивающего электронного микроскопа.

## 3. Объем дисциплины и виды учебной работы (час)

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость	72
Аудиторные занятия, в том числе:	44

Лекции	18
Практические занятия	22
Аттестация (В виде экзамена)	4
Самостоятельная работа	28

#### 4. Содержание учебной дисциплины

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ	СР
1	Введение. Устройство электронного микроскопа, основные узлы электронного микроскопа, включение и выключение микроскопа, загрузка/выгрузка образца	6	2	8
2	Получение изображение в просвечивающем электронном микроскопе, виды контраста, методы исследования: светлое поле, микродифракция, темное поле. Методы приготовления образцов для ПЭМ	2	6	8
3	Настройка электронно-оптической системы, для получения высококачественного изображения структуры	4	4	8
4	Съемка изображения на CCD камеру и пленку.	2	6	-
5	Метод сканирующей-просвечивающей электронной микроскопии (STEM), наблюдение в светлом и темном поле, устранение астигматизма	4	4	4
6	Экзамен	4		

## 4.2. Содержание лекционного курса ( 18 часов)

Раздел 1. Введение. Устройство электронного микроскопа, основные узлы электронного микроскопа, включение и выключение микроскопа, загрузка/выгрузка образца (6 часов)

1.1. Введение. Взаимодействие электронов с веществом. Обзор некоторых научных проблем, решаемых методами просвечивающей электронной микроскопии. Обзор основных узлов просвечивающего электронного микроскопа: вакуумная система, осветительная система, система линз, флуоресцентный экран, система фиксации изображения.

1.2. Оптическая схема и принцип действия просвечивающего электронного микроскопа. Устройство электромагнитных линз и принцип их действия. Устройство катодного узла для катодов термо-, полевой и термо-полевой эмиссии: катод, цилиндр Венельта, анод. Сравнение основных типов катодов по их характеристикам: яркость, диаметр зонда, ток зонда, стабильность работы на малых и длительных временах, особенности условия эксплуатации (вакуум, температура, время жизни).

1.3. Аберрации электромагнитных линз: сферическая, хроматическая и астигматизм. Причины возникновения аберраций и подходы к их устранению. Дифракционная ошибка. Введение понятия разрешение электронного микроскопа, предельное разрешение электронного микроскопа.

1.4. Гониометр и держатель образцов в просвечивающей электронной микроскопии, их виды и особенности. Объекты исследования в просвечивающей электронной микроскопии. Зависимость толщины образца, прозрачной для электронов, от ускоряющего напряжения микроскопа.

1.4. Практическое освоение порядка действий для включения и выключения микроскопа. Экстренное выключение микроскопа.

1.5. Устройство гониометра и держателя образца. Практическое освоение порядка действий загрузки и выгрузки, образцов в просвечивающий электронный микроскоп.

Раздел 2. Получение изображения в просвечивающем электронном микроскопе, виды контраста, методы наблюдения: светлое поле, микродифракция, темное поле. (2 часа)

2.1 Получение изображения в просвечивающем электронном микроскопе. Схема хода электронных лучей в различных режимах работы электронного микроскопа (низкие увеличения, средние увеличения, высокие увеличения, дифракция от выбранной области).

2.2 Контраст в изображении кристаллических объектов: амплитудный, фазовый. Особенности контраста на кристаллических объектах.

2.3. Получение светлопольного контрастного изображения. Калибровка светлопольного изображения. Настройка яркости и контрастности.

2.4. Получение дифракции от выбранной области. Основы расчета дифракционных картин кристаллических объектов. Уравнение Вульфа-Брегга для электронной микроскопии.

2.5. Получение темнопольного изображения в выбранном дифрагированном пучке. Наклон системы освещения.

Раздел 3. Настройка электронно-оптической системы (4 часа)

3.1 Настройка осветительной системы электронного микроскопа. Настройка конденсорных линз. Настройка астигматизма конденсорных линз. Конденсорная диафрагма. Выбор размера диафрагмы и ее влияние на размер зонда (Spot Size).

3.2 Предварительная фокусировка с помощью Воблера изображения. Окончательная фокусировка на образце.

3.3 Настройка Вольтового центра. Настройка центра токов. Коррекция астигматизма объективной линзы при малых, средних и высоких увеличениях. Коррекция астигматизма объективной линзы по Фурье-образу изображения, получаемому на CCD камере.

Раздел 4. Съёмка изображения на CCD камеру и пленку (2 часа)

4.1. Устройство CCD камеры и ее характеристики. Сравнение боковой и нижней CCD камер. Настройка и калибровка. Управление настройками CCD камерами. Калибровка CCD при съёмке дифракции для разных длин камер.

4.2. Устройство фотографирования изображения на пленку. Загрузка, выгрузка пленки в кассету приемник. Фотографирование. Подбор оптимальных параметров для фотографирования.

4.3. Проявка и получение негатива изображения, сфотографированного на пленку. Проявка, фиксация, промывка, сушка.

Раздел 5. Метод сканирующей-просвечивающей электронной микроскопии (STEM), наблюдение в светлом и темном поле, устранение астигматизма (4 часа)

5.1. Получение STEM изображения в просвечивающем электронном микроскопе. Выбор конденсорной диафрагмы. Фокусировка. Настройка яркости и контрастности.

5.2. Коррекция астигматизма конденсорной линзы в режим STEM. Получение Роншиграммы.

5.3. Изображение в STEM режиме в режиме светлого и темного поля.

#### 4.3. Перечень тем практических занятий (22 часа)

№	Наименование	Кол-во часов
1	Включение и выключение микроскопа. Загрузка и выгрузка образца.	2
2	Получение светлопольного контрастного изображения, дифракции от выбранной области, темнопольного изображения.	6
3	Настройка электроннооптической системы просвечивающего электронного микроскопа.	4
4	Съемка изображения на CCD камеру. Съемка изображения на пленку.	6
5	Получение STEM изображения, коррекция астигматизма. Получение светлопольного и темнопольного изображения в STEM режиме.	4

#### 4.4. Перечень тем семинарских занятий

Программой курса семинарские занятия не предусмотрены

#### 4.5. Перечень тем лабораторных занятий

Программой курса лабораторные работы не предусмотрены

#### 5. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

##### 5.1. Рекомендуемая литература (основная и дополнительная)

###### а) основная литература

1. П. Хирш, А. Хови, Р. Николсон, Д. Пэшли, М. Уэлан, Электронная микроскопия тонких кристаллов. Издательство «МИР». Москва, 1968.

2. Д. Синдо, Т. Оикава. Аналитическая просвечивающая электронная



микроскопия. Техносфера, 2006. – 256 с.

3. Л. М. Утевский, Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. М., «Металлургия», 1973. 584 с.

4. Г. Шиммель, Методика электронной микроскопии. Издательство «МИР», М., 1972, 301 с.

5. Практические методы в электронной микроскопии. Под редакцией Одри М. Глоэра. Л. Машиностроение. 1980. 375 с.

5.2. Средства обеспечения освоения дисциплины (перечень обучающих, контролирующих и расчетных компьютерных программ, диафильмов, кино- и телефильмов)

1. Специализированный компьютерный класс для проведения компьютерных практических занятий.

2. Просвечивающий электронный микроскоп в аналитической конфигурации JEOL JEM 1400.

7. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

Обучение организуется в соответствии с настоящей программой.

8. График проведения контрольных мероприятий

На последнем занятии курса проводится аттестация по всем разделам курса в виде экзамена (4 часа).

Программа составлена в соответствии с требованиями производителя электронных микроскопов JEOL Inc. и требованиями Государственных образовательных стандартов.

Автор программы



Горшенков М.В.