

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.



Программа аспирантуры

Направление 22.06.01 Технологии материалов

Направленность (специальность) 05.16.09 Материаловедение (по отраслям)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины по выбору

«МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.4.1

Всего: 108 часов

Семестр 7, в том числе

6 часов – консультация,

84 часа – самостоятельная работа,

18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 22.06.01 Технологии материалов, утвержденного приказом Минобрнауки России от 30 июля 2014 г. № 888, и паспорта специальности, указанной в номенклатуре специальностей научных работников 05.16.09 Материаловедение (по отраслям), утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

## **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Целью** изучения дисциплины является изучение основных методов исследования структуры, фазового и химического состава материалов, применяемых в материаловедении.

**Задачами** дисциплины являются:

- изучение основных методов исследования материалов с использованием оптической и электронной микроскопии, а так же рентгеновской, оптико-эмиссионной и масс- спектрометрии;
- изучение физических основ работы исследовательского оборудования.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность и готовность обрабатывать результаты научно-исследовательской работы, оформлять научно-технические отчеты, готовить к публикации научные статьи и доклады (ОПК-4);
- способность выбирать приборы, датчики и оборудование для проведения экспериментов и регистрации их результатов (ОПК-10);
- способность использовать современные методы подготовки и исследования образцов для оптической, просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии (ПК-22);
- способность использовать фундаментальные знания в области оптики и квантовой физике и физике твердого тела для грамотного описания и интерпретации результатов экспериментов и наблюдений (ПК-23).

## **ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

**Знать:**

- методы обработки экспериментальных данных (ОПК-4);
- основные методы подготовки образцов для различных методов исследования (ОПК-10);

- устройство оптических микроскопов, основы оптики (раздела физики), виды aberrаций и методы борьбы с ними, а также и условия получения контраста в оптических микроскопах (ПК-23);

- устройство просвечивающих и растровых электронных микроскопов, физику взаимодействия электронных пучков с материалами и условия получения контраста на изображениях (ПК-23);

- основные методы определения химического состава материалов и особенности каждого метода (ПК-23);

- особенности дифракции электронных и рентгеновских пучков на кристаллической решетке материалов (ПК-23).

**Уметь:**

- подготавливать образцы для исследований и выбирать необходимое оборудование и методики для различных исследований (ПК-22);

- описывать и расшифровывать данные полученные с оптических и электронных микроскопов (ПК-23);

**Владеть:**

- навыками описания и обработки результатов экспериментов, микро- и наноструктуры материалов (ОПК-4);

- навыками работы с металлографским оборудованием (ПК-22)

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ**

### Математические методы обработки экспериментальных данных

Основные положения теории вероятностей. Эксперимент как предмет исследования. Ошибки измерений и их оценка. Ошибки измерений: промахи, систематические, случайные. Обработка результатов прямого измерения. Округление результатов. Выборочный метод. Математическое ожидание и дисперсия дискретной случайной величины. Функция распределения. Плотность распределения вероятностей. Законы распределения вероятностей: нормальный, показательный, равномерный. Количественная металлография.

### Методы пробоподготовки образцов для металлографических исследований

Задачи металлографического исследования и испытания материалов. Условия получения изображений в оптической микроскопии. Способы обработки поверхности образца. Технология изготовления образцов. Изготовление специальных образцов. Способы металлографического травления. Приготовление объектов для ПЭМ. Метод реплик и его применение.

### Оптическая микроскопия

Оптическая схема инвертированного микроскопа отраженного света. Основные узлы микроскопа. Типы микроскопов. Разрешающая способность, числовая апертура и глубина резкости микроскопа. Полезное увеличение. Aberrации оптических систем. Типы объективов по степени исправления aberrаций. Методы контрастирования. Преимущества и недостатки использования оптической микроскопии в материаловедении.

### Просвечивающая и сканирующая электронная микроскопия

Принцип работы просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ). Формирование изображения в ПЭМ. Основные типы контраста в ПЭМ. Основы кинематической теории дифракционного контраста. Принципы динамической теории. Контраст на кристаллах с дефектами. Анализ гетерогенного сплава. Контраст собственно на включениях. Режим СТЭМ. Принцип работы сканирующего (растрового) электронного микроскопа (РЭМ). Основные типы сигналов, которые генерируются и детектируются в процессе работы РЭМ. Разрешающая способность. Преимущества и недостатки использования электронной микроскопии в материаловедении.

### Методы определения химического состава материалов

Пробирный метод. Рентгенофлуоресцентный анализ. Эмиссионные методы. Основные типы спектрометров для определения состава металлов: рентгенофлуоресцентный спектрометр, искровой оптико-эмиссионный спектрометр, лазерный спектрометр, масс-спектрометр. Преимущества и недостатки. Взаимодействие электронного пучка с образцом. Рентгеноспектральный микроанализ в электронной микроскопии.

### Методы определения фазового состава материалов

Основные методы определения фазового состава. Качественный и количественный рентгенографический фазовый анализ. Дифракция электронов в ПЭМ. Дифракция отраженных электронов в РЭМ.

## **ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины:  
4 семестр – дифференцированный зачет.

### **Вопросы для самоконтроля и проведения зачета**

#### **а) Вопросы для самоконтроля**

1. Каковы причины возникновения ошибок измерений при эксперименте?
2. От чего зависит погрешность результатов? Как можно ее оценить и минимизировать?
3. Какие законы распределения вероятностей вы знаете? Что такое плотность распределения вероятностей?
4. Какие способы определения размера зерна вы знаете? В чем преимущества и недостатки каждого?
5. Почему металлографические образцы шлифуются и полируются в несколько шагов?
6. Зачем нужно травление образцов?
7. Какие способы травления вы знаете?
8. Почему возникает контраст на поверхности образца?
9. Как можно подготовить образец для ПЭМ?
10. В чем преимущества и недостатки метода реплик?
11. Как избавиться от наклепанного слоя при подготовке образцов для РЭМ?

12. Что такое инвертированный микроскоп?
13. Какие виды осветителей бывает у оптических микроскопов? Какие у них есть преимущества и недостатки?
14. Зачем нужна апертурная диафрагма?
15. Бывают ли точечные осветители?
16. Какие виды аберраций оптических систем вы знаете?
17. Почему возникают сферические аберрации?
18. Почему возникают хроматические аберрации, как с ними бороться??
19. Что такое дисторсия?
20. Что такое числовая апертура?
21. Зачем применяют иммерсионное масло?
22. Что значит, если на объективе написано «plan achromat»?
23. Какие методы контрастирования в оптической микроскопии вы знаете?
24. Чем ограничена разрешающая способность оптической системы?
25. Почему разрешающая способность электронных микроскопов на несколько порядков выше оптических?
26. Как формируется изображение в ПЭМ?
27. Какие виды катодов бывают в электронных микроскопах?
28. Как можно добиться контраста в ПЭМ?
29. От чего зависит глубина проникновения электрона в материал?
30. Какие виды излучения генерируются при взаимодействии электронных пучков с образцом? Для чего их можно использовать?
31. Что такое гониометр?
32. Какие преимущества и недостатки у РЭМ по сравнению с ПЭМ?
33. Какие методы определения химического состава вы знаете?
34. В чем преимущества и недостатки пробирного метода?
35. Какие области применения у различных спектрометров?
36. Какие спектрометры применяются в электронной микроскопии в качестве дополнительной приставки?
37. На чем основан принцип определения фазового состава?
38. Почему возникает дифракция на кристаллической решетке?
39. Что такое дифрактометр?
40. Почему в стационарных дифрактометрах используют рентгеновское излучение?
41. Можно ли с помощью электронного микроскопа определить тип и параметры кристаллической решетки?

**б) Вопросы, включенные в билеты для проведения зачетов**

1. Основные положения теории вероятностей. Эксперимент как предмет исследования. Ошибки измерений и их оценка. Ошибки измерений: промахи, систематические, случайные.
2. Обработка результатов прямого измерения. Округление результатов. Выборочный метод.
3. Математическое ожидание и дисперсия дискретной случайной величины. Функция распределения. Плотность распределения вероятностей. Законы распределения вероятностей: нормальный, показательный, равномерный.

4. Количественная металлография.
5. Задачи металлографического исследования и испытания материалов. Условия получения изображений в оптической микроскопии.
6. Способы обработки поверхности образца. Технология изготовления образцов. Изготовление специальных образцов.
7. Способы металлографического травления.
8. Приготовление объектов для ПЭМ.
9. Метод реплик и его применение.
10. Оптическая схема инвертированного микроскопа отраженного света.
11. Основные узлы микроскопа. Типы микроскопов.
12. Разрешающая способность, числовая апертура и глубина резкости микроскопа. Полезное увеличение.
13. Аберрации оптических систем. Типы объективов по степени исправления аберраций.
14. Методы контрастирования. Преимущества и недостатки использования оптической микроскопии в материаловедении.
15. Принцип работы просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ). Формирование изображения в ПЭМ.
16. Основные типы контраста в ПЭМ. Основы кинематической теории дифракционного контраста. Принципы динамической теории. Контраст на кристаллах с дефектами. Анализ гетерогенного сплава. Контраст собственно на включениях.
17. Режим СТЭМ.
18. Принцип работы сканирующего (растрового) электронного микроскопа (РЭМ).
19. Основные типы сигналов, которые генерируются и детектируются в процессе работы РЭМ. Разрешающая способность.
20. Преимущества и недостатки использования электронной микроскопии в материаловедении.
21. Пробирный метод. Рентгенофлуоресцентный анализ. Эмиссионные методы.
22. Основные типы спектрометров для определения состава металлов: рентгенофлуоресцентный спектрометр, искровой оптико-эмиссионный спектрометр, лазерный спектрометр, масс-спектрометр. Преимущества и недостатки.
23. Взаимодействие электронного пучка с образцом. Рентгеноспектральный микроанализ в электронной микроскопии.
24. Основные методы определения фазового состава.
25. Качественный и количественный рентгенографический фазовый анализ.
26. Дифракция электронов в ПЭМ. Дифракция отраженных электронов в РЭМ.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### Основная литература:

1. Материаловедение: учебник для вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – 4-е изд., перераб. – М.: Альянс, 2009. – 528 с. (НТБ МЭИ - 30 шт.)
2. Методы структурного анализа материалов и контроля качества деталей : учебное пособие для вузов / В. А. Батаев, А. А. Батаев, А. П. Алхимов. – М.: Наука, 2007. – 224 с. (НТБ МЭИ - 3 шт.)
3. Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия / Д. Синдо, Т. Оикава // М.: Техносфера, 2006. - 256 с. (НТБ МЭИ - 3 шт.)

### Дополнительная литература:

4. Методы исследования структурно-фазового состояния материалов / Н. В. Волков, [и др.] // Нац. исслед. ядерный ун-т «МИФИ»; общ. ред. Б.А. Калинин. – 2012. – 800 с. (НТБ МЭИ - 2 шт.)