Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Факультет наук о материалах

УТВЕРЖДАЮ

Зам. декана ФНМ

по учебной работе

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/Т.Б. Шаталова/

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Дифракция электронов и просвечивающая электронная микроскопия в исследовании наноструктур**

**Уровень высшего образования:**

Бакалавриат, Магистратура

**Межфакультетский курс**

Рабочая программа рассмотрена и одобрена

Методической комиссией факультета наук о материалах

(23 декабря 2020 г.)

Москва 2021

1. **Место дисциплины (модуля) в структуре ООП**: вариативная часть, курс предназначен для студентов 1-4 курсов бакалавритата, а также 1-2 курсов магистратуры естественно-научных и гуманитарных специальностей, носит ознакомительный базовый характер по предмету науки о материалах, курс является дисциплиной по выбору, относится к межфакультетским курсам.
2. **Аннотация.**

В курсе изложены подходы к изучению фазового состава, атомной структуры, субструктуры и ряда свойств объектов разной мерности методами электронографии и просвечивающей электронной микроскопии.

1. **Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников).** Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освое- ния ОПОП (в форме компетенция – индикатор - ЗУВ) указано в Общей характеристике ОПОП.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Компетенция** | **Индикатор достижения** | **Планируемые результаты обучения по дисци- плине (модулю)** |
| Основы методов; потенциальные возможности извлечения информации о структуре исследуемых объектов | Знает современные возможности методов. Умеет интерпретировать электронограммы и ПЭМ изображения.  Владеет подходами к извлечению качественных и количественных результатов из анализа электронограмм и ПЭМ изображений. | **Уметь**: Интерпретировать электронограммы и ПЭМ изображения  **Владеть**: Подходами к извлечению качественных и количественных результатов из анализа электронограмм и ПЭМ изображений. |

1. **Общая трудоёмкость** составляет 1 зачётную единицу, продолжительность **36** часов**,** из которых **24** часа составляет контактная работа студента с преподавателем (24 часа – лекции, , 6 часов –индивидуальные консультации, 6 часов – текущий контроль успеваемости), **12** часов – самостоятельная работа студента.
2. **Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.**

Знания основ кристаллографии

1. **Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам)** с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий:

**6.1. Структура дисциплины по темам (разделам)** с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименование и краткое со- держание разделов дисциплины**  **форма промежуточной атте- стации по дисциплине** | **Всего (ча- сы**) | В том числе | | | | | | | | |
| **Контактная работа (работа во взаимодействии с пре- подавателем), часы**  из них | | | | | | **Самостоятельная работа обучающегося, часы**  из них | | |
| Занятия лекционного типа | Занятия семинарского ти па, в т.ч., лабораторные и практические работы | Групповые консультации | Индивидуальные консуль тации | Учебные заня- тия, направлен- ные на проведе- ние текущего контроля успе- ваемости колло- квиумы, практи- ческие кон- трольные заня- тия и др.)\* | **Всего** | Подготовка к лаборатор- ным занятиям, мини- конференциям и пр. | Подготовка докладов, рефератов и т.п. | **Всего** |
| Тема 1. | **4** | 2 |  |  |  |  |  |  | 2 | **2** |
| Тема 2. | **6** | 4 |  |  |  |  |  |  | 2 | **2** |
| Тема 3. | **8** | 6 |  |  |  |  |  |  | 2 | **2** |
| Тема 4. | **8** | 6 |  |  |  |  |  |  | 2 | **2** |
| Тема 5. | **4** | 2 |  |  |  |  |  |  | 2 | **2** |
| Тема 6. | **4** | 2 |  |  |  |  |  |  | 2 | **2** |
| Промежуточная аттестация - зачет | **2** |  |  |  |  | 2 |  |  |  |  |
| **Итого** | **36** | **22** |  |  |  | **2** | **24** |  | 12 | **12** |

**6.2. Содержание разделов (тем) дисциплины:**

Тема 1.   
Фундаментальные основы методов

Тема 2.

Дифракция электронов на кристаллических объектах. Электронограммы монокристаллических поликристалических и многофазных объектов и подходы к их интерпретации. Размерный эффект дифракции электронов. Особенности электронограмм объектов разной мерности. Электронограммы квазиаморфных объектов.

Тема 3.

Виды и природа контраста электронно-микроскопического изображения. Примеры формирования контраста изображения совершенных кристаллов, поликристаллических и многофазных объектов. Качественный и количественный анализ дефектов кристаллического строения.

Тема 4.

Дифракция электронов и просвечивающая электронная микроскопия в исследованиях объектов разной мерности:

* трехмерные (дискретные наноструктуры, компактные наноструктуры разной природы);
* двухмерные фазы (свободная поверхность кристалла, границы зерен, межфазные границы в многофазных структурах);
* одномерные (нанотрубки, нанонити, композиты на их основе).

Тема 5.

Примеры применения методов в исследование свойств нанообъектов.

Тема 6.

Развитие возможностей современной просвечивающей электронной микроскопии высокогоразрешения для исследования атомной структуры объектов сложного элементного состава.

1. **Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю):** презентации иллюстративного материала к лекциям, конспекты и аудиозаписи лекций, интернет-ресурсы для дополнительного знакомства с материалами по тематике лекций
2. **Ресурсное обеспечение:**

8.1. Перечень основной и дополнительной литературы:

Основная литература:

1. Вайнштейн Б.К. Структурная электронография/ Издательство А.Н. СССР. 1957г.-314с.
2. П. Хирш, А. Хови, Р. Николсон, Д. Пэшли, М. Уэлан / Электронная микроскопия тонких кристаллов/ М.: Мир, 1968г.-574с.
3. Томас Г., Гориндж М. Дж. Просвечивающая электронная микроскопия материалов / М.: Наука 1983г.-320с.
4. Фульц Б., Хау Джю М. Просвечивающая электронная микроскопия и дифрактометрия материалов / Перевод с англ. Под ред. А.В. Мохова. М.: Техносфера., 2011г.-904с.

Дополнительная литература:

1. Утевский Л.М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении/ М.: Металлургия, 1973г.-583с.

2. Амелингс С., Геверс Р., Дж. Лан. Вандё. Дифракционные и микроскопические методы в материаловедение / М.: Металлургия, 1984г.-504с.

3. В.М. Иевлев. Тонкие пленки неорганических материалов: механизм роста и микроструктуры / Издательско-полиграфических центр Воронежского Государственного университета. Воронеж. 2008г.-496с.

## 8.2. Интернет-ресурсы

1. Доступ к основным мировым on-line библиотекам и базам данных (Web of Science и другие)
2. Доступ к on-line ресурсам и журналам издательства Elsevier, Springer и других.

Со всех компьютеров МГУ организован доступ к полным текстам научных журналов и книг на русском и иностранных языках. До- ступ открыт по IP-адресам, логин и пароль не требуются: <http://nbmgu.ru/>

1. **Материально-техническое обеспечение**: специальных требований нет, занятия проводятся в аудитории, оснащенной техникой для демонстрации презентаций.
2. **Язык преподавания** - русский.
3. Лектор: д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой междисциплинарного материаловедения ФНМ МГУ им. М.В. Ломоносова. Валентин Михайлович Иевлев, [rnileme@mail.ru](mailto:rnileme@mail.ru), 89102480800

**12. Фонд оценочных средств** (ФОС, оценочные и методические материалы) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

12.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости:

Опросы по темам лекций

12.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

Вопросы к зачету:

1. Особенности рассеяния электронов по сравнению с рентгеновскими лучами и их следствием как они проявляются в методе ДБЭ.
2. Построение электронограмм для заданной оси зоны кристалла.
3. Определение текстуры кристаллического объекта по электронограмме.
4. Двойная дифракция. Построение электронограммы для заданной гетероструктуры.
5. Примеры анализа фазового состава многофазных наноструктур и содержания фаз в исследуемом объекте.
6. Дифракция быстрых электронов в исследование структуры границ зерен.
7. Особенности дифрактограмм наноструктур разной мерности и их учет в анализе. Формы и размеры объектов исследования.
8. Виды и природа контраста на совершенном кристалле.
9. Темнопольный анализ и его применение.
10. Контраст на кристаллах с дефектами. Качественная и количественная оценка дефектов.
11. Примеры оценки содержания фаз в многофазных наноструктурах.
12. Интерференционный контраст: виды, информативность.
13. Условие формирования контраста с периодом, равным межплоскостному расстоянию. Подходы к определению вектора Бюргераса дислокации.
14. Подходы к исследованию тепловых свойств нанообъектов.

## 13. Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Шкала оценивания знаний, умений и навыков является единой для всех дисциплин (приведена в таблице ниже)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)** | | | | |
| Оценка Результат | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Знания | Отсутствие знаний | Фрагментарные знания | Общие, но не структурирован- ные знания | Сформированные систематиче- ские знания |
| Умения | Отсутствие умений | В целом успешное, но не систематическое умение | В целом успешное, но содержа-  щее отдельные пробелы умение (допускает неточности неприн- ципиального характера) | Успешное и систематическое умение |
| Навыки (владения) | Отсутствие навыков | Наличие отдельных на- выков | В целом, сформированные навы- ки, но не в активной форме | Сформированные навыки, при меняемые при решении задач |

|  |  |
| --- | --- |
| **РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)** | **ФОРМА ОЦЕНИВАНИЯ** |
| Знать: Современные возможности методов | мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете |
| Уметь: Интерпретировать электронограммы и ПЭМ изображения | мероприятия текущего контроля  успеваемости, устный опрос на зачете |
| Владеть: Подходами к извлечению качественных и количественных результатов из анализа электронограмм и ПЭМ изображений. | мероприятия текущего контроля  успеваемости, устный опрос на зачете |