

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 09.07.2023 19:47:24

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Методы электронной микроскопии для материалов твердотельной электроники

Закреплена за подразделением

Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков

Направление подготовки

22.04.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ

Профиль

Квалификация

Магистр-исследователь

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

4 ЗЕТ

Часов по учебному плану

144

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 1

аудиторные занятия

51

самостоятельная работа

57

часов на контроль

36

Распределение часов дисциплины по семестрам

| Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>) | 1 (1.1) | | Итого | |
|---|---------|-----|-------|-----|
| | УП | РП | УП | РП |
| Неделя | 18 | | | |
| Вид занятий | УП | РП | УП | РП |
| Лекции | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Лабораторные | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Практические | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Итого ауд. | 51 | 51 | 51 | 51 |
| Контактная работа | 51 | 51 | 51 | 51 |
| Сам. работа | 57 | 57 | 57 | 57 |
| Часы на контроль | 36 | 36 | 36 | 36 |
| Итого | 144 | 144 | 144 | 144 |

Программу составил(и):

к.ф.-м.н., доц., Милович Филипп Олегович

Рабочая программа

Методы электронной микроскопии для материалов твердотельной электроники

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 22.04.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ (приказ от 02.04.2021 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.04.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ, 22.04.01-ММТМ-22-4.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

22.04.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков

Протокол от 14.06.2022 г., №13-21/22

Руководитель подразделения Оганов Артём Ромаевич

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

| | |
|-----|---|
| 1.1 | Сформировать компетенции в соответствии с требованиями учебного плана, а также научить основам современных дифракционных и микроскопических методов исследования материалов, пониманию возможностей этих методов, их точности, чувствительности, локальности и применимости с целью изучения связи между составом, структурой и свойствами и контроля качества материалов электронной техники, технологических процессов их производства. |
|-----|---|

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

| | | |
|----------|---|------------|
| Блок ОП: | | Б1.В.ДВ.01 |
| 2.1 | Требования к предварительной подготовке обучающегося: | |
| 2.2 | Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее: | |
| 2.2.1 | Дифракционные методы исследования неупорядоченных структур | |
| 2.2.2 | Кристаллы в квантовой электронике | |
| 2.2.3 | Математическое и компьютерное моделирование материалов и процессов | |
| 2.2.4 | Некоторые главы кристаллохимии | |
| 2.2.5 | Оптические элементы лазерных систем. Часть 1 | |
| 2.2.6 | Применение лазерных систем | |
| 2.2.7 | Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности | |
| 2.2.8 | Спектроскопические методы анализа поверхности | |
| 2.2.9 | Компьютерные и информационные технологии в науке и производстве | |
| 2.2.10 | Кристаллические компоненты акустоэлектроники | |
| 2.2.11 | Материалы и элементы спинтроники и спинволновой оптики | |
| 2.2.12 | Микросхемотехника | |
| 2.2.13 | Наноматериалы в современной твердотельной электронике | |
| 2.2.14 | Нелинейные кристаллы | |
| 2.2.15 | Оптические элементы лазерных систем. Часть 2 | |
| 2.2.16 | Оптические явления в кристаллах. Часть 2 | |
| 2.2.17 | Солнечная энергетика | |
| 2.2.18 | Методы исследования материалов | |
| 2.2.19 | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы | |
| 2.2.20 | Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы | |

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

| |
|--|
| ОПК-5: Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в области материаловедения и технологии материалов, смежных областях |
| Знать: |
| ОПК-5-32 закономерности структурообразования, фазовые превращения в материалах, влияние структурных характеристик на свойства материалов; |
| ОПК-5-31 основные классы современных материалов, их свойства и области применения, принципы выбора материалов, основные технологические процессы производства и обработки материалов, особенности этапов жизненного цикла материалов и изделий из них; |
| ПК-2: Способен планировать и осуществлять экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать результаты, делать выводы, составлять и оформлять отчеты по проведенным исследованиям |
| Знать: |
| ПК-2-31 возможности основных структурных методов исследования строения материалов |
| ПК-2-33 чувствительность и точность указанных методов |
| ПК-2-32 области эффективного применения рентгеновской топографии, электронографии и микроскопии |
| ОПК-1: Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области материаловедения и технологии материалов и знаний в междисциплинарных областях |
| Знать: |
| ОПК-1-32 закономерности структурообразования, фазовые превращения в материалах, влияние структурных |

| |
|--|
| характеристик на свойства материалов |
| ОПК-1-31 основные классы современных материалов, их свойства и области применения, принципы выбора материалов, основные технологические процессы производства и обработки материалов, особенности этапов жизненного цикла материалов и изделий из них; |
| ПК-2: Способен планировать и осуществлять экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать результаты, делать выводы, составлять и оформлять отчеты по проведенным исследованиям |
| Уметь: |
| ПК-2-У1 осуществлять расчеты электронограмм и их анализ |
| ОПК-1: Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области материаловедения и технологии материалов и знаний в междисциплинарных областях |
| Уметь: |
| ОПК-1-У1 использовать знания фундаментальных основ, подходы и методы математики, физики, химии и экологии в обучении и профессиональной деятельности, в интегрировании имеющихся знаний, наращивании накопленных знаний; |
| ПК-2: Способен планировать и осуществлять экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать результаты, делать выводы, составлять и оформлять отчеты по проведенным исследованиям |
| Уметь: |
| ПК-2-У4 применять расчеты и индицирование электронограмм для идентификации фаз при фазовом анализе |
| ПК-2-У2 применять методы электронной дифракционной микроскопии для анализа дефектной структуры монокристаллов |
| ОПК-5: Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в области материаловедения и технологии материалов, смежных областях |
| Уметь: |
| ОПК-5-У1 использовать знания фундаментальных основ, подходы и методы математики, физики, химии и экологии в обучении и профессиональной деятельности, в интегрировании имеющихся знаний, наращивании накопленных |
| ПК-2: Способен планировать и осуществлять экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать результаты, делать выводы, составлять и оформлять отчеты по проведенным исследованиям |
| Уметь: |
| ПК-2-У3 применять расчеты факторов интенсивности для проведения фазового анализа |
| Владеть: |
| ПК-2-В1 навыками анализа изображений полученных с помощью оптического микроскопа и просвечивающего электронного микроскопа |
| ПК-2-В2 навыками расчетов электронограмм |
| ОПК-1: Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области материаловедения и технологии материалов и знаний в междисциплинарных областях |
| Владеть: |
| ОПК-1-В3 навыками сопоставления результатов исследований различными методами и опыт оценки полученных результатов; |
| ОПК-1-В2 навыками применения методов планирования и проведения измерительных экспериментов, выбора и использования методов обработки экспериментальных данных и оценки результатов экспериментов; |
| ОПК-1-В1 навыками применения полученных знаний для обоснованного выбора метода анализа фазового и элементного состава, а также структуры и превращений материалов; в том числе определять структуру, фазовый состав и текстуру сталей и сплавов после различных видов термической и механической обработки |
| ОПК-5: Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в области материаловедения и технологии материалов, смежных областях |
| Владеть: |
| ОПК-5-В3 навыками сопоставления результатов исследований различными методами и опыт оценки полученных результатов; |
| ОПК-5-В2 навыками применения методов планирования и проведения измерительных экспериментов, выбора и использования методов обработки экспериментальных данных и оценки результатов экспериментов; |
| ОПК-5-В1 навыками применения полученных знаний для обоснованного выбора метода анализа фазового и элементного состава, а также структуры и превращений материалов; в том числе определять структуру, фазовый состав и текстуру сталей и сплавов после различных видов термической и механической обработки |

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

| Код занятия | Наименование разделов и тем /вид занятия/ | Семестр / Курс | Часов | Формируемые индикаторы компетенций | Литература и эл. ресурсы | Примечание | КМ | Выполняемые работы |
|-------------|---|----------------|-------|---|---|------------|-----|--------------------|
| | Раздел 1. Просвечивающая электронная микроскопия | | | | | | | |
| 1.1 | Принципиальная оптическая схема просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ). Формирование изображения в ПЭМ и основные режимы работы прибора. Разрешающая способность ПЭМ. /Пр/ | 1 | 2 | ПК-2-У2 | Л1.1 Л1.2Л2.2 Л2.3Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 | | КМ1 | Р1 |
| 1.2 | Типы контрастов в ПЭМ (контраст на аморфных и кристаллических материалах: амплитудный и фазовый контраст). Прямое изображение кристаллической решетки. /Пр/ | 1 | 2 | ПК-2-У2 | Л1.1 Л1.2Л2.2 Л2.3Л3.1 Э1 Э2 Э3 | | КМ1 | Р1 |
| 1.3 | Основы динамической теории рассеяния /Пр/ | 1 | 1 | ПК-2-У2 | Л1.1 Л1.2Л2.2 Л2.3Л3.1 Э1 Э2 | | КМ1 | Р1 |
| 1.4 | Приготовление объектов и их просмотр в ПЭМ. /Лаб/ | 1 | 5 | ПК-2-У2 | Л1.1 Л1.2Л2.3Л3.1 1 Э1 | | КМ1 | Р3 |
| 1.5 | Расчет электронограммы поликристалла. Расчет электронограммы монокристалла. /Лаб/ | 1 | 3 | ПК-2-У2 ПК-2-У3 | Л1.1 Л1.2Л2.2 Л2.3Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 | | КМ1 | Р4 |
| 1.6 | Определение толщины фольги. /Лаб/ | 1 | 2 | ПК-2-У2 | Л1.1Л2.3Л3.1 1 | | КМ1 | Р5 |
| 1.7 | Анализ плотности дислокаций по электронно-микроскопическому изображению. /Лаб/ | 1 | 2 | ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-У3 | Л1.1 Л1.2Л2.2 Л2.3Л3.1 | | КМ1 | Р6 |

| | | | | | | | | |
|------|--|---|----|--|--|--|---------|----|
| 1.8 | Основы кинематической теории дифракционного контраста. Контраст в изображении совершенного кристалла. Контраст на кристаллах с дефектами. Наблюдение дефектов упаковки и границ зерен. Контраст в изображении гетерогенных структур: деформационный матричный контраст, экстинкционный контраст. Контраст в изображении гетерогенных структур: ориентационный контраст, контраст типа полос смещения, контраст типа муара, абсорбционный контраст. /Пр/ | 1 | 2 | ПК-2-У2 | Л1.1 Л1.2Л2.2 Л2.3Л3.1 Э1 Э2 Э3 | | КМ1 | Р1 |
| 1.9 | Возможности современных микроскопов. Знакомство с устройством и работой ПЭМ. /Пр/ | 1 | 2 | ПК-2-31 | Л1.1Л2.3Л3.1 | | КМ3 | Р1 |
| 1.10 | Подготовка к практическим и лабораторным занятиям. Подготовка к защите лабораторных работ по разделу "ПЭМ" /Ср/ | 1 | 11 | ПК-2-31 | Л1.1 Л1.2Л2.2 Л2.3Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3 | | КМ1 | Р1 |
| 1.11 | Подготовка к контрольной работе 1 по теме "ПЭМ" /Ср/ | 1 | 8 | ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-У3 | Л1.1 Л1.2Л2.2 Л2.3Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3 | | КМ1 | Р1 |
| 1.12 | Выполнение домашнего задания "Просвечивающая электронная микроскопия, построение точечных электронограмм, идентификация фазового состава." /Ср/ | 1 | 8 | ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1 ПК-2-В2 | Л1.1 Л1.2Л2.3Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3 | | КМ1 | Р1 |
| 1.13 | Контрольная работа 1 - (Просвечивающая электронная микроскопия спектроскопические методы используемые совместно с ПЭМ) /Пр/ | 1 | 1 | ПК-2-31 ПК-2-У2 ПК-2-У3 ПК-2-У4 ОПК-5-31 ОПК-5-32 | Л1.1 Л1.2Л2.2 Л2.3Л3.1 Л3.2 | | КМ1,КМ3 | Р1 |
| 1.14 | Типы контрастов в ПЭМ (контраст на аморфных и кристаллических материалах: амплитудный и фазовый контраст). Прямое изображение кристаллической решетки. /Лек/ | 1 | 2 | ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1 ПК-2-В2 ОПК-5-У1 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1 Л3.2 | | КМ1 | Р1 |
| 1.15 | Принципиальная оптическая схема просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ). Формирование изображения в ПЭМ и основные режимы работы прибора. Разрешающая способность ПЭМ. /Лек/ | 1 | 2 | ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3 | | КМ1 | Р1 |

| | | | | | | | | |
|--|---|---|---|--|--|--|-----|----|
| 1.16 | Основы кинематической теории дифракционного контраста. Контраст в изображении совершенного кристалла. Контраст на кристаллах с дефектами. Наблюдение дефектов упаковки и границ зерен. Контраст в изображении гетерогенных структур: деформационный матричный контраст, экстинкционный контраст. Контраст в изображении гетерогенных структур: ориентационный контраст, контраст типа полос смещения, контраст типа муара, абсорбционный контраст. /Лек/ | 1 | 4 | ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1 | Л1.1 Л1.2Л2.2 Л2.3Л3.1 Л3.2 | | КМ1 | Р1 |
| 1.17 | Основы динамической теории рассеяния /Лек/ | 1 | 2 | ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-У3 ПК-2-У4 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ОПК-1-В2 | Л1.1 Л1.2Л2.2 Л2.3Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3 | | КМ1 | Р1 |
| 1.18 | Приготовление объектов для исследования в ПЭМ. /Лек/ | 1 | 3 | ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1 ПК-2-В2 | Л1.1 Л1.2Л2.2 Л2.3Л3.1 Л3.2 Э1 Э3 | | КМ1 | Р1 |
| Раздел 2. Сканирующая электронная микроскопия | | | | | | | | |
| 2.1 | Принцип растровой (сканирующей) микроскопии. Принципиальная оптическая схема растрового микроскопа (РЭМ). Получение изображения. /Пр/ | 1 | 2 | ОПК-1-31 ОПК-1-32 ОПК-1-В3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.3Л3.1 Л3.2 Э1 | | КМ2 | Р2 |
| 2.2 | Виды контраста в РЭМ: контраст во вторичных электронах (топография поверхности), в обратно рассеянных («отраженных») электронах (неоднородность элементного состава), в характеристическом рентгеновском излучении (распределение химических элементов). Разрешение РЭМ в различных ответных сигналах /Пр/ | 1 | 2 | ПК-2-У3 ПК-2-У4 ПК-2-В1 ПК-2-В2 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.3Л3.1 Л3.2 | | КМ2 | Р2 |

| | | | | | | | | |
|------|--|---|----|--|--|--|-----|----|
| 2.3 | Анализ элементного состава материала в микрообъеме с помощью электронно-спектроскопических методов. Рентгеноспектральный микроанализ, качественный и количественный анализ. /Лаб/ | 1 | 3 | ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-У3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.3Л3.1 Л3.2 | | КМ2 | Р7 |
| 2.4 | Приготовление объектов и их просмотр в РЭМ. /Лаб/ | 1 | 2 | ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-2-У1 ПК-2-У2 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.3Л3.1 Л3.2 | | КМ2 | Р8 |
| 2.5 | Знакомство с устройством и работой РЭМ. Знакомство с устройством и работой РЭМ-микроанализатора /Пр/ | 1 | 1 | ОПК-5-В2 ОПК-5-В3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.3Л3.1 Л3.2 | | КМ2 | Р2 |
| 2.6 | Подготовка к практическим и лабораторным занятиям. Подготовка к защите лабораторных работ по разделу "РЭМ" /Ср/ | 1 | 12 | ОПК-5-У1 ОПК-5-В2 ОПК-5-В3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.3Л3.1 Л3.2 | | КМ3 | Р2 |
| 2.7 | Выполнение домашнего задания "Растровая электронная микроскопия, микрорентгеноспектральный анализ" /Ср/ | 1 | 10 | ОПК-5-В2 ОПК-5-В3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.3Л3.1 Л3.2 | | КМ2 | Р2 |
| 2.8 | Подготовка к контрольной работе 2 по теме РЭМ /Ср/ | 1 | 8 | ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-2-У1 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.3Л3.1 Л3.2 | | КМ3 | Р2 |
| 2.9 | Контрольная работа 2 - (сканирующая электронная микроскопия) /Пр/ | 1 | 2 | ПК-2-32 ПК-2-33 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.2 | | КМ2 | Р2 |
| 2.10 | Принцип растровой (сканирующей) микроскопии. Принципиальная оптическая схема растрового микроскопа (РЭМ). Получение изображения. /Лек/ | 1 | 2 | ПК-2-32 ОПК-1-В1 ОПК-1-В2 ОПК-5-31 ОПК-5-В1 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1 Л3.2 | | КМ3 | Р2 |
| 2.11 | Виды контраста в РЭМ: контраст во вторичных электронах (топография поверхности), в обратно рассеянных («отраженных») электронах (неоднородность элементного состава), в характеристическом рентгеновском излучении (распределение химических элементов). Разрешение РЭМ в различных ответных сигнала /Лек/ | 1 | 2 | ОПК-5-31 ОПК-5-В2 ОПК-5-В3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1 Л3.2 | | КМ3 | Р2 |

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

| 5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки | | | |
|---|--|--|---|
| Код КМ | Контрольное мероприятие | Проверяемые индикаторы компетенций | Вопросы для подготовки |
| КМ1 | Контрольная работа 1 - (Просвечивающая электронная микроскопия спектроскопические методы используемые совместно с ПЭМ) | ПК-2-В2;ПК-2-В1;ПК-2-У4;ПК-2-У3;ПК-2-У2;ПК-2-У1;ПК-2-З3;ПК-2-З2;ПК-2-З1;ОПК-1-В3 | <ul style="list-style-type: none"> - Взаимодействие электронного излучения с веществом. - Рассеяние электроном, атомом, кристаллом. - Обратная решетка. Обратное пространство. (Задача: По нулевой плоской сетки обратной решетки кубического кристалла определить индексы узлов, индексы оси зоны) - Уравнения Лауэ и Вульф-Брегга. - Фазовый анализ с помощью ПЭМ. Факторы, определяющие чувствительность. (Определение вещества по электронограмме поликристалла). - Анализ дефектов. (Определение плотности и характера распределения дислокаций по изображения ПЭМ). - Основные характеристики ПЭМ. - Образцы для исследования в ПЭМ. - Основные режимы работы ПЭМ. - Основные задачи, решаемые просвечивающей электронной микроскопией. - Сравнительная характеристика рентгеновской и электронной дифракции. - Микрорентгеноспектральный анализ. - Спектроскопический метод характеристической потери энергии электронов. - Дифракция обратно рассеянных электронов. - Темнопольный высокоугловой детектор. |
| КМ2 | Контрольная работа 2 - (сканирующая электронная микроскопия) | ОПК-1-В2;ОПК-1-В1;ОПК-1-З2;ОПК-1-У1;ОПК-1-З1;ОПК-5-В3;ОПК-5-В2 | <ul style="list-style-type: none"> - Основные характеристики РЭМ. - Образцы для исследования в РЭМ. - Основные режимы работы РЭМ. - Основные задачи, решаемые растровой электронной микроскопией. - Сравнительная характеристика рентгеновской и электронной дифракции. - Микрорентгеноспектральный анализ. - Волнодисперсионный анализ. - Спектроскопический метод характеристической потери энергии электронов. - Дифракция обратно рассеянных электронов. - Сканирующая просвечивающая электронная микроскопия. - Темнопольный высокоугловой детектор. |

| | | | |
|-----|---------|---|---|
| КМ3 | Экзамен | ОПК-5-31;ОПК-5-У1;ОПК-5-В1;ОПК-5-32;ОПК-5-В3;ОПК-5-В2;ОПК-1-32;ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2;ОПК-1-В3;ПК-2-31;ПК-2-32;ПК-2-33;ПК-2-У1;ПК-2-У2;ПК-2-У3;ПК-2-У4;ПК-2-В1;ПК-2-В2 | <ul style="list-style-type: none"> - Взаимодействие электронного излучения с веществом. - Рассеяние электроном, атомом, кристаллом. - Обратная решетка. Обратное пространство. (Задача: По нулевой плоской сетки обратной решетки кубического кристалла определить индексы узлов, индексы оси зоны) - Уравнения Лауэ и Вульф-Брегга. - Фазовый анализ с помощью ПЭМ. Факторы, определяющие чувствительность. (Определение вещества по электронограмме поликристалла). - Анализ дефектов. (Определение плотности и характера распределения дислокаций по изображению ПЭМ). - Основные характеристики ПЭМ. - Образцы для исследования в ПЭМ. - Основные режимы работы ПЭМ. - Основные задачи, решаемые просвечивающей электронной микроскопией. - Сравнительная характеристика рентгеновской и электронной дифракции. - Микрорентгеноспектральный анализ. - Спектроскопический метод характеристической потери энергии электронов. - Дифракция обратно рассеянных электронов. - Темнопольный высокоугловой детектор. - Взаимодействие электронного излучения с веществом. - Основные характеристики РЭМ. - Образцы для исследования в РЭМ. - Основные режимы работы РЭМ. - Основные задачи, решаемые растровой электронной микроскопией. - Сравнительная характеристика рентгеновской и электронной дифракции. - Микрорентгеноспектральный анализ. - Волнодисперсионный анализ. - Спектроскопический метод характеристической потери энергии электронов. - Дифракция обратно рассеянных электронов. - Сканирующая просвечивающая электронная микроскопия. - Темнопольный высокоугловой детектор. |
|-----|---------|---|---|

5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)

| Код работы | Название работы | Проверяемые индикаторы компетенций | Содержание работы |
|------------|-------------------------|---|--|
| Р1 | Домашняя работа (ПЭМ) | ПК-2-В2;ПК-2-В1;ПК-2-У4;ПК-2-У3;ПК-2-У2;ПК-2-У1;ПК-2-33;ПК-2-32 | Просвечивающая электронная микроскопия, построение точечных электронограмм, идентификация фазового состава. |
| Р2 | Домашняя работа (РЭМ) | ПК-2-33;ПК-2-32;ПК-2-31;ОПК-1-В3;ОПК-1-В2 | Растровая электронная микроскопия, микрорентгеноспектральный анализ. |
| Р3 | Лабораторная работа № 1 | ПК-2-31;ОПК-1-В3 | Приготовление объектов и их просмотр в ПЭМ. |
| Р4 | Лабораторная работа № 2 | ПК-2-В2;ПК-2-В1;ПК-2-У1 | Расчет электронограммы поликристалла. Расчет электронограммы монокристалла |
| Р5 | Лабораторная работа № 3 | ОПК-5-32;ОПК-5-У1;ОПК-5-В1 | Определение толщины фольги. |
| Р6 | Лабораторная работа № 4 | ОПК-5-В2;ОПК-5-В3;ОПК-1-31 | Анализ плотности дислокаций по электронно-микроскопическому изображению |
| Р7 | Лабораторная работа № 5 | ОПК-1-32;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1 | Анализ элементного состава материала в микрообъеме с помощью электронно-спектроскопических методов. Рентгеноспектральный микроанализ, качественный и количественный анализ |
| Р8 | Лабораторная работа № 6 | ОПК-1-В2;ОПК-1-В3;ПК-2-31 | Приготовление объектов и их просмотр в РЭМ |

5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

Экзаменационные билеты хранятся на кафедре. Экзаменационный билет состоит из трех вопросов: два теоретических вопроса и одна задача. Теоретические вопросы из разных разделов.

5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

Обучающийся должен выполнить все практические и самостоятельные работы, указанные в данном разделе.

Шкала оценивания знаний обучающихся:

Оценка «отлично»

– обучающийся показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, грамотно и логически стройно излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного теоретического материала, знает дополнительно рекомендованную литературу.

Оценка «хорошо»

– обучающийся показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал.

Оценка «удовлетворительно»

– обучающийся показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но уверенно исправляемыми после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике.

Оценка «неудовлетворительно»

– обучающийся допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные или некорректные ответы на дополнительные и наводящие вопросы.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|---|--|------------------|-----------------------|
| Л1.1 | Уманский Я. С., Скаков Ю. А., Иванов А. Н., Расторгуев Л. Н. | Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия: Учебник для вузов | Библиотека МИСиС | М.: Металлургия, 1982 |
| Л1.2 | Бублик В. Т., Дубровина А. Н. | Методы исследования структуры полупроводников и металлов: учеб. пособие для вузов по спец.- Технология спец. материалов электрон. техники | Библиотека МИСиС | М.: Металлургия, 1978 |

6.1.2. Дополнительная литература

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|---|--|------------------------|-------------------------------------|
| Л2.1 | Домкин К. И. | Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий: методы и применение: монография | Электронная библиотека | Москва: Лаборатория знаний, 2017 |
| Л2.2 | Ягодкин Ю. Д., Свиридова Т. А. | Атомное строение фаз. Кристаллохимия твердых растворов и промежуточных фаз. Структура аморфных, квазикристаллических и нанокристаллических материалов: курс лекций для студ. спец. - 'Физика металлов' и 'Наноматериалы' | Электронная библиотека | М.: Учеба, 2007 |
| Л2.3 | Векилова Г. В., Иванов А. Н., Ягодкин Ю. Д. | Дифракционные и микроскопические методы и приборы для анализа наночастиц и наноматериалов: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. 'Металлургия' | Электронная библиотека | М.: [МИСиС], 2009 |

6.1.3. Методические разработки

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|--|---------------------|----------|------------|-------------------|
|--|---------------------|----------|------------|-------------------|

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|---|--|------------------|------------------------|
| ЛЗ.1 | Горелик С. С., Скаков Ю. А., Расторгуев Л. Н. | Рентгенографический и электронно-оптический анализ: Учеб. пособие для вузов | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 1994 |
| ЛЗ.2 | Бублик В. Т., Дубровина А. Н. | Сборник задач и упражнений по курсу 'Методы исследования структуры': Учеб. пособие для вузов по спец. 'Физика и технология материалов и компонентов электрон. техники', 'Микроэлектроника и полупроводниковые приборы' | Библиотека МИСиС | М.: Высш. шк., 1988 |

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

| | | |
|----|--|---|
| Э1 | | https://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/parte_05-en.html |
| Э2 | | http://crystallmaker.com/singlecrystal/video-tutorials/index.html |
| Э3 | | https://p1.misis.ru:5019/RPD/Index/1685435/%20http://www.fiz-karlsruhe.de/icsd.html |

6.3 Перечень программного обеспечения

| | |
|-----|--|
| П.1 | VESTA |
| П.2 | OpenProj |
| П.3 | 1С: Бухгалтерия (удаленный доступ предоставляется фирмой 1С) |
| П.4 | LMS Canvas |

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

| | |
|-----|---|
| И.1 | Springer materials https://materials.springer.com/ |
| И.2 | International Centre for Diffraction Data http://www.icdd.com/ |

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

| Ауд. | Назначение | Оснащение |
|-------|-------------------|---|
| К-405 | Учебная аудитория | микроскоп оптический Метап Р-1 с блоком питания (5 шт.), микроскоп оптический ММУ-3 с блоком питания, микротвердомер ПМТ-3, металлографический микроскоп МИР-12, образцы рентгеновских трубок и рентгеновских камер (3 шт.), набор демонстрационного оборудования в том числе: доска учебная, мультимедийный проектор, ПК, пакет лицензионных программ MS Office, экран проекционный, комплект учебной мебели |
| К-405 | Учебная аудитория | микроскоп оптический Метап Р-1 с блоком питания (5 шт.), микроскоп оптический ММУ-3 с блоком питания, микротвердомер ПМТ-3, металлографический микроскоп МИР-12, образцы рентгеновских трубок и рентгеновских камер (3 шт.), набор демонстрационного оборудования в том числе: доска учебная, мультимедийный проектор, ПК, пакет лицензионных программ MS Office, экран проекционный, комплект учебной мебели |
| К-405 | Учебная аудитория | микроскоп оптический Метап Р-1 с блоком питания (5 шт.), микроскоп оптический ММУ-3 с блоком питания, микротвердомер ПМТ-3, металлографический микроскоп МИР-12, образцы рентгеновских трубок и рентгеновских камер (3 шт.), набор демонстрационного оборудования в том числе: доска учебная, мультимедийный проектор, ПК, пакет лицензионных программ MS Office, экран проекционный, комплект учебной мебели |

| | | |
|------------------------------------|-------------------|---|
| К-405 | Учебная аудитория | микроскоп оптический Метам Р-1 с блоком питания (5 шт.), микроскоп оптический ММУ-3 с блоком питания, микротвердомер ПМТ-3, металлографический микроскоп МИР-12, образцы рентгеновских трубок и рентгеновских камер (3 шт.), набор демонстрационного оборудования в том числе: доска учебная, мультимедийный проектор, ПК, пакет лицензионных программ MS Office, экран проекционный, комплект учебной мебели |
| Читальный зал электронных ресурсов | | комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus. |

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

При изучении курса материалы» большое внимание следует уделить самостоятельной работе с учебниками, справочной литературой и текущими публикациями в ведущих российских и зарубежных журналах по рассматриваемым темам курса. Большую часть вопросов, возникающих в процессе самостоятельной подготовки, рекомендуется выносить для обсуждения на практических занятиях.

Обучение проводится в два семестра и организуется в соответствии с настоящей программой. Самостоятельная работа студентов осуществляется и контролируется с помощью:

- вопросов для самоконтроля,
- контрольных работ,
- домашних заданий.

Контрольные работы проводятся в часы практических занятий.

Контрольные работы оцениваются по пятибалльной системе, домашние задания по двухбалльной.

Перед началом занятий студенты получают на текущий семестр календарный план проведения лабораторных работ, практических занятий и контрольных работ, график выдачи и сдачи домашних заданий.

Для успешного освоения изучаемой дисциплины для студентов организуются еженедельные консультации преподавателей.