

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 09.07.2023 21:51:00

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 анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем

Закреплена за подразделением

Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков

Направление подготовки

28.03.01 НАНОТЕХНОЛОГИИ И МИКРОСИСТЕМНАЯ ТЕХНИКА

Профиль

Квалификация

**Бакалавр**

Форма обучения

**очная**

Общая трудоемкость

**3 ЗЕТ**

Часов по учебному плану

108

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

зачет с оценкой 6

аудиторные занятия

51

самостоятельная работа

57

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	6 (3.2)		Итого	
	18			
Неделя	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Лабораторные	34	34	34	34
Итого ауд.	51	51	51	51
Контактная работа	51	51	51	51
Сам. работа	57	57	57	57
Итого	108	108	108	108

Программу составил(и):

*кфмн, доцент, Жевнеров Евгений Владимирович*

Рабочая программа

**Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 28.03.01 НАНОТЕХНОЛОГИИ И МИКРОСИСТЕМНАЯ ТЕХНИКА (приказ от 02.04.2021 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, 28.03.01-БНМТ-22.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, , 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 Артем Ромаевич

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	Научить основам современных физических структурных методов исследования атомного строения материалов и основам структурных методов контроля технологии получения материалов и структур электроники.
-----	---

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.В
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Метрология, стандартизация и технические измерения технологии материалов электроники	
2.1.2	Общее материаловедение	
2.1.3	Статистическая физика	
2.1.4	Физические свойства кристаллов	
2.1.5	Электроника	
2.1.6	Математическая статистика и анализ данных	
2.1.7	Методы математической физики	
2.1.8	Основы квантовой механики	
2.1.9	Физика	
2.1.10	Физическая химия	
2.1.11	Электротехника	
2.1.12	Математика	
2.1.13	Органическая химия	
2.1.14	Информатика	
2.1.15	Химия	
2.1.16	Инженерная и компьютерная графика	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
2.2.1	Инженерная математика	
2.2.2	Конструкционные материалы и их технологии	
2.2.3	Материаловедение магнитной электроники и микросистемной техники	
2.2.4	Оборудование микро- и нанотехнологий	
2.2.5	Оборудование производства магнитных материалов	
2.2.6	Физические основы микро- и наносистемной техники	
2.2.7	Функциональные материалы и их технологии	
2.2.8	Ионно-плазменная обработка материалов	
2.2.9	Магнитные измерения	
2.2.10	Моделирование и проектирование микро- и наносистем	
2.2.11	Основы спинтроники	
2.2.12	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.13	Технология производства ферритовых материалов и радиокерамики	
2.2.14	Физика взаимодействия частиц и излучений с веществом	
2.2.15	Химия наноматериалов и наносистем	

**3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ**

<b>ПК-4: Способен разрабатывать на основе современных программных продуктов эффективные алгоритмы решения задач по созданию материалов микро- и наносистемной техники с заданным набором эксплуатационных характеристик, а также технологий их получения</b>
<b>Знать:</b>
ПК-4-31 - чувствительность и точность указанных методов;
<b>ОПК-3: Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные</b>
<b>Знать:</b>
ОПК-3-31 - возможности основных структурных методов исследования строения материалов;
ОПК-3-32 области эффективного применения рентгеновской топографии, электронографии и микроскопии;

<b>ПК-4: Способен разрабатывать на основе современных программных продуктов эффективные алгоритмы решения задач по созданию материалов микро- и наносистемной техники с заданным набором эксплуатационных характеристик, а также технологий их получения</b>
<b>Знать:</b>
ПК-4-32 - теоретические основы методов в объеме достаточном для формулирования задач и анализа результатов.
<b>УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, умение анализировать процессы и системы с использованием соответствующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов, применять системный подход для решения поставленных задач</b>
<b>Знать:</b>
УК-1-31 - методы структурного исследования в конкретных задачах анализа строения материалов и структур электроники.
<b>ОПК-3: Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные</b>
<b>Уметь:</b>
ОПК-3-У2 - осуществлять ориентировку монокристаллов;
<b>ПК-4: Способен разрабатывать на основе современных программных продуктов эффективные алгоритмы решения задач по созданию материалов микро- и наносистемной техники с заданным набором эксплуатационных характеристик, а также технологий их получения</b>
<b>Уметь:</b>
ПК-4-У1 - описывать текстуры на основе построения полюсных фигур;
ПК-4-У2 - применять методы рентгеновской дифракционной микроскопии для анализа дефектной структуры монокристаллов;
<b>УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, умение анализировать процессы и системы с использованием соответствующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов, применять системный подход для решения поставленных задач</b>
<b>Уметь:</b>
УК-1-У1 - осуществлять расчеты электронограмм и их анализ;
УК-1-У2 - анализировать микроструктуры на основе металлографического анализа;
УК-1-У3 - анализировать изображения структур полученных методом просвечивающей электронной микроскопии.
<b>ОПК-3: Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные</b>
<b>Уметь:</b>
ОПК-3-У1 - применять расчеты и индентификацию дифрактограмм для идентификации фаз при фазовом анализе;
<b>ПК-4: Способен разрабатывать на основе современных программных продуктов эффективные алгоритмы решения задач по созданию материалов микро- и наносистемной техники с заданным набором эксплуатационных характеристик, а также технологий их получения</b>
<b>Владеть:</b>
ПК-4-В1 - навыки расчета и анализа электронограмм;
ПК-4-В2 - навыки расчета профилей изображений на картинах, полученных методом просвечивающей электронной микроскопии.
<b>ОПК-3: Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные</b>
<b>Владеть:</b>
ОПК-3-В2 - навыки использования баз данных структурных параметров кристаллов разных веществ;
ОПК-3-В1 - навыки расчетов дифрактограмм;
<b>УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, умение анализировать процессы и системы с использованием соответствующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов, применять системный подход для решения поставленных задач</b>
<b>Владеть:</b>
УК-1-В1 - навыки анализа изображений полученных с помощью рентгеновских топограмм, оптического микроскопа и просвечивающего электронного микроскопа;
<b>ОПК-3: Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные</b>
<b>Владеть:</b>
ОПК-3-В3 - навыки использования компьютерных программ анализа результатов структурных экспериментов;

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
	<b>Раздел 1. Физические основы дифракционных методов изучения атомного строения вещества</b>							
1.1	Введение. Роль структурных методов в материаловедении и технологии материалов. Основные понятия теории упругого рассеяния коротковолновых излучений. Обратная решетка. Амплитуда рассеяния кристаллом. Уравнение Вульфа-Брэгга. Построение Эвальда. /Лек/	6	2	ОПК-3-31 ПК-4-32	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2			
1.2	Рассеяние кристаллом с базисом. Структурная амплитуда. Рассеяние кристаллом конечных размеров. Форм-фактор. Построение Эвальда в этом случае. Интегральная отражающая способность. Рассеяние рентгеновских лучей кристаллом. Закон ослабления. Закономерности погасаний и пространственная группа кристаллов. Определение точечной группы кристаллов. Спектры рентгеновских лучей. /Лек/	6	2	УК-1-31 ОПК-3-31 ПК-4-32	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2			
1.3	Аппаратура для рентгеновских исследований. /Лаб/	6	2	УК-1-31 ОПК-3-31 ОПК-3-32 ПК-4-32 ПК-4-У2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р1
1.4	Самостоятельное изучение литературы, выполнение домашнего задания №1. /Ср/	6	12	УК-1-31 ОПК-3-31 ОПК-3-В1 ПК-4-32	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.2 Э1			Р2
	<b>Раздел 2. Основные приложения рентгеноструктурных исследований в материаловедении и технологии</b>							
2.1	Метод Лауэ. Определение ориентировки кристаллов. Поликристаллы, как объект структурного анализа. Рентгеновская дифрактометрия. Измерение интенсивности рассеянного излучения моно- и поликристаллами. Определение структуры элементарной ячейки. /Лек/	6	2	УК-1-31 ОПК-3-31 ОПК-3-У2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2			

2.2	Качественный и количественный фазовый анализ. Прецизионные измерения межплоскостных расстояний и их приложения. Анализ ориентировок в поликристаллах с помощью прямых полюсных фигур. Построение и анализ обратных полюсных фигур. /Лек/	6	2	УК-1-31 ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ОПК-3-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2			
2.3	Определение ориентировки кристаллов методом Лауэ. /Лаб/	6	4	УК-1-31 ОПК-3-31 ОПК-3-У2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р3
2.4	Расчет и индцирование дифрактограмм поликристаллов. /Лаб/	6	2	УК-1-31 ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ОПК-3-В2 ОПК-3-В3 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р4
2.5	Построение прямых полюсных фигур и их анализ. /Лаб/	6	4	УК-1-31 ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ОПК-3-В1 ПК-4-У1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р5
2.6	Построение обратных полюсных фигур и их анализ. /Лаб/	6	4	УК-1-31 ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ПК-4-31 ПК-4-У1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р6
2.7	Самостоятельное изучение литературы, выполнение домашнего задания №2. /Ср/	6	15	УК-1-31 ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ОПК-3-У2 ОПК-3-В1 ОПК-3-В2 ОПК-3-В3 ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-4-У1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.2 Э1			Р7
<b>Раздел 3. Рентгеновская дифракционная микроскопия (РДМ)</b>								
3.1	Основные положения динамической теории рассеяния. Волновые поля в кристаллах. Дисперсионное пространство и геометрия дифракции. Учет граничных условий. Описание поглощения в динамической теории. Отражение по Лауэ и Брэггу. /Лек/	6	2	УК-1-31 УК-1-В1 ОПК-3-31 ОПК-3-32 ОПК-3-В2 ОПК-3-В3 ПК-4-32 ПК-4-У2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2			
3.2	Получение изображения кристаллов рентгенодифракционным методом. Изучение структуры кристаллов. Проекционные особенности методов РДМ. Контраст на топограммах, обусловленный дефектами. /Лек/	6	2	УК-1-31 УК-1-В1 ОПК-3-31 ОПК-3-32 ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-4-У2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2			
3.3	Изучение металлографического микроскопа. /Лаб/	6	2	УК-1-У2 УК-1-В1 ОПК-3-31	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р8

3.4	Рентгеновская дифракционная микроскопия. Определение разориентировки субзерен и типа малоугловой границы. /Лаб/	6	4	УК-1-31 УК-1-В1 ОПК-3-31 ОПК-3-32 ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-4-У2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р9
3.5	Рентгеновская дифракционная микроскопия. Определение вектора Бюргерса для винтовых дислокаций. /Лаб/	6	2	УК-1-31 УК-1-В1 ОПК-3-31 ОПК-3-32 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р10
3.6	Самостоятельное изучение литературы, выполнение домашнего задания. /Ср/	6	15	УК-1-31 УК-1-У2 УК-1-У3 УК-1-В1 ОПК-3-31 ОПК-3-32 ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-4-У2 ПК-4-В1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Э1			Р11
	<b>Раздел 4. Электроннография и просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ)</b>							
4.1	Электроннография и ПЭМ. Области эффективного применения электроннографии. Получение и расчет электронограмм. Основные принципы работы микроскопов. Понятие о дифракционном и фазовом контрасте. Дифракционный контраст кристаллов с дефектами. /Лек/	6	2	УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-У3 УК-1-В1 ОПК-3-31 ОПК-3-32 ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-4-В1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2			
4.2	Фазовый контраст. Муаровый узор. Микроскопия высокого разрешения. Фазовый контраст. Микрорентгеноспектральный анализ. Чувствительность и точность анализа элементного состава. /Лек/	6	2	УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-У3 УК-1-В1 ОПК-3-31 ОПК-3-32 ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-4-В1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2			
4.3	Растровая электронная микроскопия и металлография. Виды изображений. Разрешающая способность. Основы количественной металлографии. Заключение. /Лек/	6	1	УК-1-31 УК-1-У3 УК-1-В1 ОПК-3-31 ОПК-3-32 ПК-4-31 ПК-4-32	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2			
4.4	Знакомство с конструкцией и работой просвечивающего электронного микроскопа. /Лаб/	6	2	УК-1-31 УК-1-У3 УК-1-В1 ОПК-3-31 ОПК-3-32 ПК-4-32 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р12
4.5	Подготовка образцов для исследований методом просвечивающей электронной микроскопии. /Лаб/	6	4	УК-1-31 ОПК-3-31 ОПК-3-32 ПК-4-31	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р13

4.6	Получение и анализ изображений в ПЭМ на основе теории дифракционного и фазового контраста. Расчет электронограмм. /Лаб/	6	4	УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-У3 УК-1-В1 ОПК-3-31 ОПК-3-32 ПК-4-31 ПК-4-32 ПК-4-В1 ПК-4-В2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р14
4.7	Самостоятельное изучение литературы, выполнение домашнего задания. /Ср/	6	15	УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-У3 УК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Э1			Р11

### 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	Защита лабораторных работ	УК-1-31;УК-1-У1;УК-1-У2;УК-1-У3;УК-1-В1;ОПК-3-31;ОПК-3-32;ОПК-3-У1;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-У1;ПК-4-У2;ПК-4-В1;ПК-4-В2	<p>Примеры вопросов к лабораторным работам:</p> <p>Лабораторная работа №1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Классификация рентгеновских трубок для структурного анализа и их стандартные обозначения?</li> <li>- Из какого материала изготавливают катод и анод трубок для структурного анализа?</li> <li>- Из какого материала должен быть сделан анод для получения характеристического излучения с длиной волны 0,154 нм?</li> <li>- Каково назначение рентгеновских аппаратов для структурного анализа?</li> <li>- Какие особенности имеют камеры для съемки монокристаллов?</li> </ul> <p>Лабораторная работа №2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Какие задачи позволяет решить метод Лауэ?</li> <li>- Какой спектр рентгеновского излучения используется в методе Лауэ?</li> <li>- Почему дифракционным максимумам на лауэграмме не могут быть приписаны определенные индексы интерференции НКЛ?</li> <li>- Каковы закономерности в расположении пятен, отраженных от плоскостей одной зоны в зависимости от угла между осью зоны и направлением первичного рентгеновского луча?</li> </ul> <p>Лабораторная работа №3</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Чем вызвано погасание линий на дифрактограмме?</li> <li>- Как различить дифрактограммы снятые от веществ примитивной и объемноцентрированной решетками?</li> <li>- Можно ли по расположению линий на дифрактограмме определить от веществ с какой решеткой (ОЦК или ГЦК) снята дифрактограмма?</li> <li>- Какие линии дифрактограммы целесообразнее использовать для определения периода решетки?</li> </ul>
КМ2	Домашняя работа №1	УК-1-31;ОПК-3-31;ОПК-3-В2;ОПК-3-В3;ПК-4-32	<p>Обратная решетка.</p> <p>Дифракция рентгеновских лучей.</p> <p>Структурная амплитуда.</p> <p>Уравнение Вульфа-Брэгга.</p> <p>Сфера Лауэ.</p>
КМ3	Домашняя работа №2	УК-1-31;ОПК-3-У2;ОПК-3-31;ОПК-3-В2;ОПК-3-В1;ПК-4-31	<p>Определение ориентировки кристаллов методом Лауэ.</p> <p>Расчет и индцирование дифрактограмм поликристаллов.</p> <p>Построение прямых полюсных фигур и их анализ.</p>
КМ4	Домашняя работа №3	УК-1-31;УК-1-У1;УК-1-У2;УК-1-У3;УК-1-В1;ОПК-3-31;ОПК-3-32;ОПК-3-В2;ОПК-3-В3;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-У2;ПК-4-В1;ПК-4-В2	<p>Определение азимутальной и радиальной проекции разориентировки субзерен на топограмме</p> <p>Выявление дислокаций на проекционных топограммах</p> <p>Определение ширины прямых изображений винтовых дислокаций на проекционных топограммах</p> <p>Анализ электронограмм</p> <p>Анализ изображений полученных методом ПЭМ</p>



КМ5	Вопросы к зачету	УК-1-31;УК-1-У1;УК-1-У2;УК-1-У3;УК-1-В1;ОПК-3-31;ОПК-3-32;ОПК-3-У1;ОПК-3-У2;ОПК-3-В1;ОПК-3-В2;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-У1;ПК-4-У2;ПК-4-В1;ПК-4-В2	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Уравнения плоской и сферической волн. Амплитуда рассеяния.</li> <li>2. Сложение когерентных волн. Принцип суперпозиции. Амплитуда суммарной волны.</li> <li>3. Амплитуда суммарной волны, рассеянной произвольной совокупностью рассеивающих центров как преобразование Фурье функции распределения этих центров в пространстве.</li> <li>4. Амплитуда рассеяния кристаллом неограниченных размеров. Обратная решетка.</li> <li>5. Уравнение Вульфа-Брэгга.</li> <li>6. Понятие структурной амплитуды и ее физический смысл.</li> <li>7. Построение Эвальда.</li> <li>8. Влияние формы и размеров кристалла на картину рассеяния. Форм-фактор. Построение Эвальда для кристаллов конечных размеров.</li> <li>9. Понятие интегрального коэффициента отражения. Фактор интегральности.</li> <li>10. Спектры рентгеновских лучей (тормозной и характеристический). Источники рентгеновских лучей.</li> <li>11. Взаимодействие рентгеновских лучей с веществом. Закон ослабления.</li> <li>12. Амплитуда рассеяния электрона. Множитель поляризации. Интенсивность рассеяния одним свободным электроном (формула Томпсона)</li> <li>13. Амплитуда атомного рассеяния когерентных рентгеновских волн. Влияние аномальной дисперсии на атомную амплитуду рассеяния. Поправки на аномальную дисперсию.</li> <li>14. Амплитуда упругого когерентного рассеяния кристаллом.</li> <li>15. Амплитуда рассеяния ячейкой. Множитель Дебая–Валлера.</li> <li>16. Формула для интегрального коэффициента отражения. Эффективный рассеивающий объем при дифрактометрическом измерении интенсивности. Интегральная интенсивность отражения системой атомных плоскостей.</li> <li>17. Закономерности погасаний и пространственная группа кристалла. Погасания, вызванные плоскостями скользящего отражения, винтовыми осями и видом трансляционной симметрии - типом ячеек Бравэ.</li> <li>18. Экспериментальные методы структурных исследований. Метод Лауэ: назначение метода; экспериментальная схема получения и регистрации дифракционных картин; построение Эвальда и закономерности расположения пятен на лауэграмме.</li> <li>19. Симметрия лауэграмм и точечная группа симметрии кристаллов. Дифракционная симметрия. Лауэ-классы симметрии.</li> <li>20. Лауэграммы и гномостереографические проекции кристаллов.</li> <li>21. Определение ориентации кристаллов с известной решеткой методом Лауэ.</li> <li>22. Определение ориентации кристаллов с неизвестной решеткой методом Лауэ.</li> <li>23. Дифрактометрия. Оптическая схема. Разные схемы измерений распределения интенсивности рассеянного излучения. (<math>\theta/2\theta</math>, <math>\omega</math>-метод). Ошибки измерений интенсивности и оптимальная схема измерений интенсивности, рассеянной поликристаллом.</li> <li>24. Метод поликристаллов. Обратная решетка поликристалла. Индексирование дифрактограмм поликристаллов кубической сингонии.</li> <li>25. Расчет и индексирование дифрактограмм поликристаллов тетрагональной и гексагональной сингоний. Особенности индексирования дифрактограмм кристаллов тригональной симметрии.</li> <li>26. Индексирование дифрактограмм кристаллов ромбической сингонии.</li> <li>27. Индексирование дифрактограмм поликристаллов низших сингоний методом Ито. Использование приведения Делоне для установления осей приведенной ячейки.</li> <li>28. Основы дифрактометрии монокристаллов. Определение с помощью дифрактометра структурных множителей монокристаллов. Оптимальные условия измерений интенсивности, представляемые с помощью конечных размеров узла обратной решетки.</li> </ol>
-----	------------------	---	--

		<p>29. Определение структуры элементарной ячейки кристаллов. Определение числа структурных единиц в ячейке. Возможность и ограниченность определения пространственной группы кристаллов на основе дифракционных данных о симметрии кристаллов. Построение модели ячейки.</p> <p>30. Использование функций Паттерсона и их сечений для построения модели ячейки.</p> <p>31. Основные приложения рентгеноструктурного анализа в материаловедении и технологии материалов. Качественный фазовый анализ. Использование формальных критериев наличия фазы в объекте по дифрактограмме.</p> <p>32. Количественный фазовый анализ. Метод внутреннего стандарта. Оценка количества аморфной фазы.</p> <p>33. Методы прецизионных измерений межплоскостных расстояний (дифрактометрия и метод Бонда).</p> <p>34. Приложение прецизионных измерений: определение состава твердых растворов.</p> <p>35. Приложение прецизионных измерений: определение типов твердых растворов.</p> <p>36. Приложение прецизионных измерений: определение пределов растворимости, построение кривых ограниченной растворимости на диаграммах фазовых равновесий.</p> <p>37. Измерение коэффициентов теплового расширения.</p> <p>38. Измерение упругих напряжений в поликристаллах.</p> <p>39. Измерение упругих напряжений в монокристаллах.</p> <p>40. Типы текстур. Построение и анализ прямых полюсных фигур с помощью дифрактометра.</p> <p>41. Построение обратных полюсных фигур.</p> <p>42. Анализ уширения дифракционных максимумов. Интегральная полуширина. Влияние малых размеров областей когерентного рассеяния (ОКР) на уширение дифракционных максимумов.</p> <p>43. Влияние микродеформаций на уширение дифракционных максимумов (плотность дислокаций и уширение).</p> <p>44. Выделение физического и инструментального профилей.</p> <p>45. Анализ профиля физического уширения, выделение влияния микродеформаций и малых размеров ОКР методом аппроксимаций.</p> <p>46. Гармонический анализ профиля физического уширения. Анализ уширения максимумов методом моментов.</p> <p>47. Основы нейтронографии. Области применения «ядерной» нейтронографии.</p> <p>48. Основы магнитной нейтронографии.</p> <p>2. Основные понятия рентгенооптики.</p> <p>2.1 Волновые поля. Основное уравнение динамической теории. Одно и двухлучевое приближение. Блоховская волна в двухлучевом приближении. Структура волны. Эффект Бормана. Поток энергии двухволнового поля.</p> <p>2.2 Учет граничных условий отражение по Лауэ и Брэггу.</p> <p>2.3 Отражение по Лауэ. Угловая область отражения. Поток энергии. Маятниковое решение уравнений поля. Интегральный коэффициент отражения.</p> <p>2.4 Отражение по Брэггу. Угловая область отражения. Экстинкция, глубина проникновения волнового поля. Коэффициент отражения.</p> <p>3. Получение изображения кристаллов методом рентгеновской дифракционной микроскопии. Разрешающая способность методов РДМ: линейное и угловое разрешение. Изучение субструктуры кристаллов методом РДМ.</p> <p>4. Изучение локальных искажений решеток методами РДМ.</p> <p>4.1 Проекционные особенности методов РДМ в лауэвской геометрии: секционная и проекционная топография.</p> <p>4.2 Проекционные особенности методов РДМ в брэгговской геометрии: одно- и двухкристальная топография.</p> <p>4.3 Наблюдение доменных структур.</p> <p>5. Физические основы контраста на дефектах. Три вида изображений, их проявление для кристаллов с сильным и слабым поглощением.</p> <p>5.1 Ширина изображений дислокаций и определение вектора Бюргерса. Контраст на плосковолновых топограммах.</p>
--	--	---

			<p>5.2 Условия получения прямого разрешения.</p> <p>6. Электронография.</p> <p>6.1 Область наиболее эффективного применения электронографии.</p> <p>6.2 Расчет электронограмм.</p> <p>6.3 Электронограммы монокристаллов. Симметрия электронограмм. Определение ориентировки и фазы по точечным электронограммам. Установление ориентационных соотношений фаз по точечным электронограммам.</p> <p>6.4 Особенности точечных электронограмм: проявления фактора формы, электронограммы двойниковых структур, двойная дифракция, Кикучи-линии и их использование.</p> <p>6.5 Электронограммы от поверхности.</p> <p>6.6 Дифракция медленных электронов.</p> <p>6.7 Электронограммы пластинчатых текстур.</p> <p>6.8 Электронограммы поликристаллов.</p> <p>7. Электронная микроскопия.</p> <p>7.1 Основные узлы микроскопов и их назначение.</p> <p>7.2 Увеличение микроскопов и их разрешающая способность. Принцип Аббе.</p> <p>7.3 Два режима работы электронного микроскопа.</p> <p>7.4 Дифракционный и фазовый контраст. Колонковое приближение.</p> <p>7.5 Кинематическая теория дифракционного контраста на кристаллах с дефектами.</p> <p>7.6 Примеры контраста на различных дефектах: дислокации, выделения, дефекты упаковки. Возможности определения типа дислокационных петель и дефектов упаковки.</p> <p>7.7 Условия получения прямого изображения.</p> <p>8. Микрорентгеноспектральный анализ и растровая электронная микроскопия. Виды изображений.</p>
--	--	--	---

**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
P1	Лабораторная работа № 1	УК-1-31;ОПК-3-31;ОПК-3-32;ОПК-3-В3;ПК-4-32	Аппаратура для рентгеновских исследований.
P2	Домашнее задание №1	УК-1-31;ОПК-3-31;ОПК-3-В2;ПК-4-31;ПК-4-32	Обратная решетка. Дифракция рентгеновских лучей. Структурная амплитуда. Уравнение Вульфа-Брэгга. Сфера Лауэ.
P3	Лабораторная работа № 2	УК-1-31;ОПК-3-31;ОПК-3-У2;ПК-4-31;ПК-4-32	Определение ориентировки кристаллов методом Лауэ.
P4	Лабораторная работа № 3	УК-1-31;ОПК-3-31;ОПК-3-32;ОПК-3-У1;ОПК-3-В1;ОПК-3-В2;ПК-4-31	Расчет и индицирование дифрактограмм поликристаллов.
P5	Лабораторная работа № 4	УК-1-31;ОПК-3-31;ОПК-3-У1;ОПК-3-В1;ОПК-3-В2;ОПК-3-В3;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-У1	Построение прямых полюсных фигур и их анализ.
P6	Лабораторная работа № 5	УК-1-31;ОПК-3-31;ОПК-3-У1;ОПК-3-В1;ОПК-3-В2;ОПК-3-В3;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-У1	Построение обратных полюсных фигур и их анализ.

P7	Домашнее задание №2	УК-1-31;ОПК-3-31;ОПК-3-У1;ОПК-3-У2;ОПК-3-В1;ОПК-3-В2;ОПК-3-В3;ПК-4-31;ПК-4-У1	Определение ориентировки кристаллов методом Лауэ. Расчет и индиферирование дифрактограмм поликристаллов. Построение прямых полюсных фигур и их анализ.
P8	Лабораторная работа № 6	УК-1-У2;ОПК-3-31;ОПК-3-32	Изучение металлографического микроскопа.
P9	Лабораторная работа № 7	УК-1-31;УК-1-В1;ОПК-3-31;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-У2	Рентгеновская дифракционная микроскопия. Определение разориентировки субзерен и типа малоугловой границы.
P10	Лабораторная работа № 8	УК-1-31;УК-1-В1;ОПК-3-31;ПК-4-31;ПК-4-32;ПК-4-У2	Рентгеновская дифракционная микроскопия. Определение вектора Бюргерса для винтовых дислокаций.
P11	Домашнее задание №3	УК-1-31;УК-1-У1;УК-1-У2;УК-1-У3;УК-1-В1	Определение азимутальной и радиальной проекции разориентировки субзерен на топограмме Выявление дислокаций на проекционных топограммах Определение ширины прямых изображений винтовых дислокаций на проекционных топограммах Анализ электронограмм Анализ изображений полученных методом ПЭМ
P12	Лабораторная работа № 9	УК-1-31;УК-1-У3;УК-1-В1;ОПК-3-31;ОПК-3-32	Знакомство с конструкцией и работой просвечивающего электронного микроскопа.
P13	Лабораторная работа № 10	УК-1-31;ОПК-3-31;ОПК-3-32;ПК-4-32	Подготовка образцов для исследований методом просвечивающей электронной микроскопии.
P14	Лабораторная работа № 11	УК-1-31;УК-1-У1;УК-1-У3;УК-1-В1;ОПК-3-31;ОПК-3-32;ПК-4-32;ПК-4-У2;ПК-4-31;ПК-4-В2;ПК-4-В1	Получение и анализ изображений в ПЭМ на основе теории дифракционного и фазового контраста. Расчет электронограмм.

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

экзамен не предусмотрен

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

Студент получает оценку за зачет на основании средней оценки по всем работам, выполненным в течение семестра, по следующей методике:

"отлично" - более 85 %;

"хорошо" - от 75% до 85 %;

"удовлетворительно" - от 50 % до 75 %;

"неудовлетворительно" - менее 50 % либо при невыполнении хотя бы одной работы из перечня работ по дисциплине.

## 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	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
Л2.2	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
Л3.1	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
Л3.2	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	Программное обеспечение для анализа структуры кристаллических материалов.	<a href="http://crystalmaker.com">http://crystalmaker.com</a>
----	---	---

### 6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Microsoft Office
-----	------------------

### 6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
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
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
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 конспектировании лекций в конспект следует заносить всё, что рекомендует преподаватель. Изучение и отработка прослушанных лекций без промедления значительно экономит время и способствует лучшему усвоению материала. Студентам рекомендуется с самого начала освоения данного курса работать с литературой и предлагаемыми заданиями. При этом актуализируются имеющиеся знания, а также создается база для усвоения нового материала, возникают вопросы, ответы на которые студент получает в аудитории.

При освоении данного курса студент должен пользоваться библиотекой вуза, а также электронными базами учебной литературы, в соответствии с настоящей программой.