

Рабочая программа утверждена решением
Учёного совета ВФ НИТУ «МИСИС»
от «30» мая 2024 г.
протокол № 7-24

Рабочая программа дисциплины (модуля) Дефекты кристаллической решетки

Закреплена за кафедрой	Базовых дисциплин
Направление подготовки	22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
Профиль	Материаловедение и технологии новых материалов
Квалификация	бакалавр
Форма обучения	очная
Общая трудоемкость	5 ЗЕТ
Часов по учебному плану	180
в том числе:	Формы контроля в семестрах:
аудиторные занятия	экзамен 5
самостоятельная работа	72
часов на контроль	79
	27

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	5 (3.1)		Итого	
	УП	РП		
Неделя	19			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	36	36	36	36
Практические	36	36	36	36
Контроль самостоятельной работы	2	2	2	2
Итого ауд.	72	72	72	72
Контактная работа	74	74	74	74
Сам. работа	79	79	79	79
Часы на контроль	27	27	27	27
Итого	180	180	180	180

Программу составил(и):

к.х.н., Доцент, Будруев А.В.

Рабочая программа

Дефекты кристаллической решетки

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 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов (приказ от 02.04.2021 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.03.01 Материаловедение и технологии материалов, МиТМ-24.plx Материаловедение и технологии новых материалов, утвержденного Ученым советом ВФ НИТУ "МИСИС" 28.12.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

Базовых дисциплин

Протокол от 20.05.2024 г., №9

И.о. зав кафедрой БД Л.О. Мокрецова

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

1.1	- обеспечение профессионального образования, способствующего социальной, академической мобильности, востребованности на рынке труда, успешной карьере, сотрудничеству в командах федеральных и региональных структур в области разработки, производства и применения конструкционных материалов
1.2	- подготовка бакалавра к решению типовых задач экспериментально-исследовательской и производственно-технологической деятельности, связанной с разработкой конструкционных материалов и способов их производства и обработки, с целью получения необходимого уровня технологических и эксплуатационных свойств

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Цикл (раздел) ОП:	Б1.В
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:
2.1.1	Кристаллофизика
2.1.2	Теория термической и химико-термической обработки
2.1.3	Физические свойства материалов
2.1.4	Основы металлургии
2.1.5	Физическая химия
2.1.6	Материаловедение
2.1.7	Физика
2.1.8	Химия
2.1.9	Методы контроля и анализа веществ
2.1.10	Теория фазовых и структурных превращений
2.1.11	Термическая обработка металлопродукции
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:
2.2.1	Коррозия и защита металлов
2.2.2	Основы проектирования технологических процессов производства и обработки материалов
2.2.3	Специальные стали и сплавы
2.2.4	Физические основы процессов деформации и разрушения
2.2.5	Производство специальных сталей
2.2.6	Теория фазовых и структурных превращений

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

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

УК-1.3: Выбирает оптимальный вариант решения задачи с использованием соответствующих методов

Знать:

УК-1.3-311 взаимосвязь кристаллической структуры и свойств материалов

УК-1.3-312 кристаллическое строение при выборе конструкционных материалов конкретного назначения

УК-1.3-39 методы исследования структуры материалов

УК-1.3-310 области применения основных типов конструкционных материалов

УК-1.3-315 технические средства для измерения и контроля

УК-1.3-316 правила техники безопасности

УК-1.3-313 роль кристаллической структуры в формировании свойств конструкционных материалов

УК-1.3-314 возможности и недостатки различных методов структурного анализа при оценке возможных сфер применения новых материалов

УК-1.3-33 характерные свойства кристаллических материалов

УК-1.3-34 методики оценки структурных параметров поликристаллов

УК-1.3-31 атематический аппарат описания кристаллической структуры
УК-1.3-32 физико-химические процессы, определяющие кристаллическое строение материалов
УК-1.3-37 размерные эффекты, обуславливающие специфику свойств материалов
УК-1.3-38 принципы и подходы к комплексным исследованиям структуры и свойств кристаллических материалов
УК-1.3-35 источники информации в области строения кристаллических материалов
УК-1.3-36 принципы размещения и поиска кристаллографической информации в современных базах данных
Уметь:
УК-1.3-У11 использовать опыт совместного анализа результатов рентгеноструктурного и электронооптического исследования кристаллической структуры материалов
УК-1.3-У10 анализировать изменения свойств твердых тел при переходе к микро-и наномасштабу
УК-1.3-У9 пользоваться научно-технической информацией для решения конкретных задач кристаллического строения и свойств конструкционных материалов
УК-1.3-У12 предвидеть последствия использования конструкционных материалов с нарушением кристаллического строения
УК-1.3-У15 учитывать при выполнении работ правила техники безопасности
УК-1.3-У14 применять технические средства для измерения и контроля
УК-1.3-У13 оценивать влияние структурного состояния материала на его технологические и эксплуатационные свойства
УК-1.3-У8 использовать опыт расчета кристаллогеометрических характеристик структурных элементов по данным рентгеноструктурного и калориметрического анализа
УК-1.3-У3 использовать системный подход к исследованию структуры и свойств кристаллических материалов любого типа
УК-1.3-У2 использовать системный подход к исследованию структуры и свойств кристаллических материалов любого типа
УК-1.3-У1 пользоваться справочной литературой по кристаллографии и дефектам кристаллического строения для решения нестандартных задач научного и прикладного характера
УК-1.3-У4 выделять решающие факторы, влияющие на функциональные свойства кристаллических материалов
УК-1.3-У7 пользоваться результатами оптической и электронной микроскопии для расчета параметров дефектов кристаллического строения
УК-1.3-У6 пользоваться энергетическим критерием при анализе физических процессов формирования и изменения кристаллической структуры
УК-1.3-У5 пользоваться основными соотношениями кристаллографии для анализа структуры материалов
Владеть:
УК-1.3-В10 системным подходом к анализу результатов структурных исследований на макроскопическом и микроскопическом уровне;
УК-1.3-В9 влиянием микро-и наномасштаба на свойства твердых тел;
УК-1.3-В8 навыками поиска информации по кристаллическому строению материалов с помощью современных поисковых систем;
УК-1.3-В13 методами оценки свойств конструкционных материалов в процессе длительного использования
УК-1.3-В12 методами расчета прочностных свойств конструкционных материалов на основе данных структурного анализа;
УК-1.3-В11 методами выбора наиболее рациональной комбинации методов исследования при решении многоуровневых задач структурного анализа кристаллических материалов;
УК-1.3-В7 практическими навыками использования современных программных продуктов для решения прикладных кристаллографических задач;
УК-1.3-В3 математическим аппаратом кристаллографии;
УК-1.3-В2 взаимосвязями кристаллического строения и свойств конструкционных материалов;
УК-1.3-В1 методами оценки влияния структуры материала на его механические и функциональные свойства;
УК-1.3-В6 методами качественной и количественной оценки дефектов конструкционных материалов
УК-1.3-В5 методами структурного анализа кристаллических материалов;

УК-1.3-В4 методами термодинамического анализа строения материалов;						
4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ						
Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Компетенции	Литература и эл. ресурсы	Примечание
Раздел 1. Геометрическая кристаллография						
1.1	Пространственная решетка. Определение символов направлений и атомных рядов. Определение направления с помощью полярных координат. Метод стереографической проекции. Определение символа направления в кристалле /Лек/	5	2	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
1.2	Определение символов плоскостей. Индексирование направлений в гексагональных и тригональных кристаллах. Индексирование плоскостей в гексагональных и тригональных кристаллах /Лек/	5	2	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
1.3	Элементы симметрии кристаллических многогранников. Классы симметрии, сингонии, категории кристаллов. Координатные системы для описания кристаллов /Лек/	5	2	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
1.4	Определение символов направлений и плоскостей /Пр/	5	4	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
1.5	Подготовка к практическим занятиям /Ср/	5	10	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
Раздел 2. Структурная кристаллография и кристаллохимия						
2.1	Пространственные группы симметрии кристаллических структур. Правильные системы точек. Базис кристаллической структуры. Определение атомных радиусов. Определение ионных и ковалентных радиусов. Влияние внешних факторов на кристаллическую структуру /Лек/	5	2	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
2.2	Определение атомных радиусов. Определение ионных и ковалентных радиусов. Влияние внешних факторов на кристаллическую структуру. Характеристики плотнейших упаковок. Правила определения плотнейших упаковок. Координационные многогранники Полинга-Белова /Лек/	5	2	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
2.3	Структурный тип меди. Вольфрама. Магния. Алмаза. Белого олова. Тип NiAs. Тип CsCl. Тип CaF2. Тип CuAl2. Эпитаксиальные кристаллические структуры. Двойниковые кристаллические структуры /Лек/	5	2	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
2.4	Элементы симметрии кристаллических структур /Пр/	5	4	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
2.5	Влияние различных факторов на кристаллическую структуру /Пр/	5	4	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
2.6	Подготовка к практическим занятиям /Ср/	5	16	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
Раздел 3. Точечные дефекты						

3.1	Виды точечных дефектов. Термодинамика точечных дефектов. Миграция вакансий. Миграция межузельных атомов. Миграция примесных атомов. Источники и стоки точечных дефектов. Комплексы точечных дефектов. Поведение вакансий при закалке и отжиге. Концентрация вакансий. Энергия образования вакансий. Энергия активации миграции вакансий /Лек/	5	2	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
3.2	Энергетический критерий дислокационных реакций. Дефекты упаковки. Частичные дислокации Шокли. Частичные дислокации Франка. Вершинные дислокации. Стандартный тетраэдр. Движение растянутых дислокаций. Пересечение единичных дислокаций. Движение дислокаций с порогами. Пересечение растянутых дислокаций /Лек/	5	2	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
3.3	Виды точечных дефектов. Термодинамика точечных дефектов. Миграция вакансий. Миграция межузельных атомов. Миграция примесных атомов. Источники и стоки точечных дефектов. Комплексы точечных дефектов /Лек/	5	2	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
3.4	Поведение вакансий при закалке и отжиге. Концентрация вакансий. Энергия образования вакансий. Энергия активации миграции вакансий /Лек/	5	2	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
3.5	Виды, термодинамика, движение точечных дефектов /Пр/	5	4	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
3.6	Подготовка к практическим занятиям /Ср/	5	10	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
	Раздел 4. Основные типы дислокаций и их свойства					
4.1	Краевая дислокация. Скольжение и переползание краевой дислокации. Винтовая дислокация. Скольжение винтовой дислокации. Смешанные дислокации и их движение. Призматические дислокации. Вектор Бюргера. Плотность дислокаций. Энергия дислокации. Силы, действующие на дислокацию. Упругое взаимодействие дислокаций. Полные и частичные дислокации. /Лек/	5	2	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
4.2	Атмосферы Коттрелла. Атмосферы Снука. Атмосферы Сузуки. Взаимодействие дислокаций с вакансиями и примесными атомами. Происхождение дислокаций. Размножение дислокаций при пластической деформации /Лек/	5	2	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
4.3	Краевая и винтовая дислокации и их движение /Пр/	5	4	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
4.4	Упругие свойства дислокаций /Пр/	5	4	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
4.5	Подготовка к практическим занятиям /Ср/	5	13	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
	Раздел 5. Дисклинации					

5.1	Дисклинации в непрерывной упругой среде. Дисклинации в кристаллической решетке. Энергия дисклинации. Дислокационная модель клиновой дисклинации /Лек/	5	4	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
5.2	Дислокации Вольтерра и дисклинации /Пр/	5	4	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
5.3	Подготовка к практическим занятиям /Ср/	5	10	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
Раздел 6. Границы зерен и субзерен						
6.1	Типы границ зерен. Малоугловые границы наклона и кручения. Дислокационные модели малоугловых границ. Энергия малоугловых границ /Лек/	5	2	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
6.2	Специальные и произвольные границы. Решетка совпадающих узлов. Зернограничные дислокации и зернограничное проскальзывание /Лек/	5	2	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
6.3	Специальные и произвольные границы, решетка совпадающих узлов /Пр/	5	4	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
6.4	Подготовка к практическим занятиям /Ср/	5	10	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
Раздел 7. Торможение дислокаций и упрочнение кристаллических материалов						
7.1	Трение решетки и предел текучести. Движение дислокаций с перегибами. Торможение дислокаций атомами примесей и легирующих элементов. Скольжение через лес дислокаций. Пороги на винтовых дислокациях /Лек/	5	2	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
7.2	Сидячие дислокации. Плоское скопление дислокаций. Выгибание дислокаций между дисперсными частицами. Локальное поперечное скольжение. Перерезание дислокациями дисперсных частиц /Лек/	5	2	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
7.3	Взаимодействие дислокаций друг с другом и с границами зерен /Пр/	5	4	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	
7.4	Подготовка к практическим занятиям /Ср/	5	10	УК-1.3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 Э3	

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Вопросы для самостоятельной подготовки к экзамену (зачёту с оценкой)

Перечень вопросов к экзамену:

1. Кристаллическая решетка. Индексирование направлений и плоскостей в кубической решетке
2. Построение стандартных стереографических проекций. Сетка Вульфа
3. Индексирование направлений и плоскостей в гексагональных и тригональных кристаллах
4. Определение нормали к плоскости
5. Определение межплоскостных расстояний и углов между направлениями
6. Преобразование символов направлений и плоскостей при изменении выбора элементарной ячейки
7. Пространственные группы симметрии кристаллических структур. Характеристики плотнейших упаковок
8. Классификация дефектов кристаллической решетки.
9. Движение вакансий, межузельных атомов и атомов примеси
10. Энергия образования вакансий. Концентрация вакансий
11. Типы дислокаций. Вектор Бюргерса
12. Расщепление дислокаций. Критерий Франка
13. Дефекты упаковки
14. Движение и пересечение дислокаций
15. Стенки и сетки дислокаций. Дислокационные диполи
16. Атмосферы на дислокациях

17. Работа источника Франка-Рида
18. Дислокационные реакции в ГЦК решетке
19. Дислокационные реакции в ОЦК решетке
20. Дислокационные реакции в ГП решетке
21. Дисклинации. Типы. Свойства. Дислокационная модель дисклинации
22. Границы зерен и субзерен как плоские дефекты кристаллической решетки
23. Энергия границ зерен. Специальные границы
24. Решетка совпадающих узлов
25. Механизмы упрочнения кристаллических материалов
26. Механизмы преодоления дислокациями дисперсных частиц
27. Плоские скопления дислокаций. Напряжение, действующее на головную дислокацию

5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (модулю, практике, НИР) - эссе, рефераты, практические и расчетно-графические работы, курсовые работы, проекты и др.

Темы докладов:

1. Влияние кристаллического строения на механические свойства конструкционных материалов
2. История развития представлений о прочности кристаллических материалов
3. Экспериментальные методы исследования кристаллической структуры
4. Методы анализа преимущественных ориентировок кристаллических решеток в поликристаллических материалах
5. Особенности кристаллического строения нанокристаллических материалов
6. Механизмы структурного упрочнения конструкционных материалов
7. Методы расчета кристаллогеометрических характеристик границ зерен
8. Эволюция дислокационной структуры в металлических материалах в процессе пластической деформации. Влияние температуры обработки
9. Структурные изменения при нагреве металлов и сплавов. Влияние предварительной пластической деформации
10. Сравнительный анализ эффективности твердорастворного, дисперсионного и зернограничного упрочнения конструкционных материалов
11. Малоугловые границы кручения в ОЦК решетке. Дислокационные реакции
12. Дислокационное строение клиновых дисклинаций. Экспериментальные исследования дисклинаций
13. Сравнительный анализ энергии малоугловой дислокационной границы и дисклинации
14. Взаимодействие решеточной дислокации с дислокационной стенкой и дисклинацией
15. Развитие современных представлений о строении границ зерен

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

Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации студентов по дисциплине включает в себя: перечень вопросов к экзамену и критерии формирования оценок; оценочные средства для оценки текущей успеваемости студентов (собеседование при защите практических работ)

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

методики оценки структурных параметров поликристаллов
источники информации в области строения кристаллических материалов
принципы размещения и поиска кристаллографической информации в современных базах данных;
размерные эффекты, обуславливающие специфику свойств материалов;
принципы и подходы к комплексным исследованиям структуры и свойств кристаллических материалов;
методы исследования структуры материалов;
области применения основных типов конструкционных материалов;
взаимосвязь кристаллической структуры и свойств материалов;
кристаллическое строение при выборе конструкционных материалов конкретного назначения;
роль кристаллической структуры в формировании свойств конструкционных материалов;
возможности и недостатки различных методов структурного анализа при оценке возможных сфер применения новых материалов;
технические средства для измерения и контроля;
правила техники безопасности

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Малинина Р.И.	Металлография: Дефекты кристаллического строения металлов: Курс лекций	Методические пособия	Москва, 1979
Л1.2	Новиков И.И., Розин К.М. Новиков И.И., Розин К.М.	Кристаллография и дефекты кристаллической решетки: учебник	Электронный каталог	Москва Металлургия, 1990

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Малинина Р.И.	Металлография: Кристаллические решётки металлов и дефекты их строения: Курс лекций	Методические пособия	Москва, 1979

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	Научная электронная библиотека https://elibrary.ru	https://elibrary.ru
Э2	Электронная библиотека МИСиС http://lib.misis.ru	http://lib.misis.ru
Э3	ЭБС Университетская библиотека онлайн http://biblioclub.ru	http://biblioclub.ru

6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Microsoft Office
П.2	Microsoft Teams
П.3	Canvas

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

И.1	Научная электронная библиотека https://elibrary.ru
И.2	Электронная библиотека МИСиС http://lib.misis.ru
И.3	ЭБС Университетская библиотека онлайн http://biblioclub.ru
И.4	Российская платформа открытого образования http://openedu.ru

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
16	Дефекты кристаллической решётки	Ноутбук, проектор, экран, интерактивная доска
16/1	Дефекты кристаллической решётки	комплект тематических презентаций, доступ к

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Объем знаний, которые необходимо усвоить при изучении учебной дисциплины, определяется федеральным государственным образовательным стандартом (ФГОС), который определяет государственные требования к минимуму содержания знаний и уровню подготовки выпускника по дисциплине. Образовательные результаты освоения дисциплины, соответствующие определенным компетенциям согласно ФГОС, приведены в начале настоящей программы. Содержание тем учебной дисциплины и тем лабораторных практикумов и практических занятий приведены в программе. Этим определяются минимальные знания, которые студент должен продемонстрировать после изучения дисциплины. Итоговым контролем по дисциплине является экзамен. Экзамен проводится аудиторно по индивидуальным билетам. Для успешной подготовки к итоговому контролю предлагается выполнить следующие мероприятия: систематически прорабатывать лекционный материал при подготовке к практическим и лабораторным занятиям; выполнить лабораторные работы по всем темам дисциплины (выполнение лабораторных работ предусматривает заполнение отчетов, которые составляются в электронном виде); защитить лабораторные работы по всем темам дисциплины. Защита проводится в виде собеседования