Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Гаврилов Сергей Александрович
Должность: И.О. Ректора
Дата подписания: 01.07.2025 11:02:40
Уникальный программный ключ:
f17218015d82e3c1457d1df9e244def505047355

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ А.Г. Балашов
«20» декабря 2024 г.
М.П.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Кристаллография»

Направление подготовки - 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»
Направленность (профиль) - «Технологии материалов микроэлектроники»

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат 00FCD5F6E07DC83F809D56CE1D350ACCD1
Владелец ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ "МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ"
Действителен с 09.04.2025 по 03.07.2026

Москва 2024

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

Компетенции	**Подкомпетенции, формируемые в дисциплине**	**Индикаторы достижения компетенций**
ОПК-4 Способен проводить измерения и наблюдения в сфере профессиональной деятельности, обрабатывать и представлять экспериментальные данные	**ОПК-4.Крист** Способен обрабатывать и представлять экспериментальные данные	**Знание** особенностей реального строения кристаллов **Умение** проводить теоретические расчеты основных характеристик гетероструктур **Опыт** анализа полученных данных и составления отчетов по экспериментальным и теоретическим исследованиям
ОПК-7 Способен анализировать, составлять и применять техническую документацию, связанную с профессиональной деятельностью, в соответствии с действующими нормативными документами в соответствующей отрасли	**ОПК-7.Крист** Способен составлять отчеты по экспериментальным и теоретическим исследованиям в соответствии с устанавливаемыми требованиями	**Знание** положений о симметрии внутреннего и внешнего строения кристаллических материалов. **Умение** определять кристаллографические индексы плоскостей и направлений в кристаллах кубической и гексагональной сингоний. **Умение** определять кристаллохимические характеристики материалов, определять кристаллографические характеристики кристаллов используя понятия дефектность кристаллов **Опыт** составления отчетов по экспериментальным и теоретическим исследованиям, практической деятельности в соответствии с устанавливаемыми требованиями

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в обязательную часть Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Входные требования к дисциплине - Изучению дисциплины предшествует формирование общепрофессиональных компетенций в дисциплинах: «Математика», «Физика», «Химия».

Формируемые в процессе изучения дисциплины компетенции в дальнейшем углубляются изучением дисциплин «Физика конденсированного состояния», «Физическая химия», «Методы исследования материалов и структур» и служат основой для выполнения выпускной квалификационной работы (ВКР).

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	**Семестр**	**Общая трудоёмкость (ЗЕ)**	**Общая трудоёмкость (часы)**	**Контактная работа**			**Самостоятельная работа (часы)**	**Промежуточная аттестация**
				Лекции (часы)	**Лабораторные работы (часы)**	**Практические занятия (часы)**		
2	3	5	180	36	18	18	72	Экз (36)

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	**Контактная работа**			**Самостоятельная работа(часы)**	**Форма текущего контроля**
	Лекции (часы)	**Лабораторные работы (часы)**	**Практические занятия (часы)**		
1. Введение в кристаллографию	2	-	-	2	Опрос
2. Внешняя форма и симметрия кристаллов	6	8	6	18	Контрольные работы 1 - 3
					Защита лабораторных работ
					Опрос
3. Внутреннее строение кристаллов	4	-	-	4	Опрос
4. Основы кристаллохимии	8	-	8	18	Контрольные работы 4 – 5

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа(часы)	Форма текущего контроля
	Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
					Защита индивидуального задания
5. Основы кристаллофизики	4	-	2	4	Опрос
6. Строение реальных кристаллов	6	4	2	9	Защита лабораторной работы Опрос
7. Рост кристаллов	4	6	-	7	Опрос Защита лабораторной работы
8. Кристаллохимические аспекты технологии полупроводников	2	-	-	10	Опрос

4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1.	2	Предмет кристаллографии как науки. Три метода кристаллографической науки: аналитическая геометрия кристаллического пространства, метод теории групп симметрии и метод плотнейших упаковок. Роль кристаллов в науке, технике, электронике. Примеры применения кристаллов с особыми физическими свойствами в электронике, радиотехнике, оптоэлектронике. Основные этапы развития кристаллографии. Простые кристаллические формы и их комбинации. Формы кристаллов, сростки и двойники. Соотношение между числом граней, ребер и вершин в кристаллах. Закономерность и симметрия структуры кристаллов. Монокристаллы и поликристаллы. Анизотропия свойств. Двойственный подход к описанию свойств кристаллов. Закон постоянства углов.

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
			Пространственная решетка. Преобразования с помощью трансляции. Узел, ряд, плоская сетка. Элементарный параллелепипед повторяемости. Параметры элементарной ячейки. Кристаллографическая система координат.
2	2.	2	Симметрические операции и элементы симметрии. Две системы обозначения элементов симметрии: международная символика и символика, основанная на формулах симметрии. Теоремы о сочетании элементов симметрии.
	3.	2	Единичные направления в кристаллах. Принцип вывода и описание 32 классов симметрии кристаллов. Систематика кристаллов по категориям и сингониям, классам.
	4.	2	Кристаллографические проекции кристаллов: сферические, стереографические, гномостереографические, гномонические. Планарный и полярный комплексы. Две сферические координаты: полярное расстояние и долгота. Принцип построения стереографической проекции. Обозначение элементов симметрии на стереографической проекции. Сетка Вульфа. Стандартная стереографическая проекция элементов симметрии куба. Соотношения между различными проекциями.
3	5.	2	14 типов решеток Бравэ. Условия выбора ячейки Бравэ. 4 типа решеток Бравэ по расположению узлов: примитивные, базоцентрированные, объемно-центрированные, гранецентрированные. Базис ячейки. Элементы симметрии структур: трансляция, винтовые оси, плоскости скользящего отражения. 230 пространственных групп симметрии кристаллических структур (федоровские группы).
	6.	2	Международная символика классов симметрии. Международные записи пространственных групп. Интернациональные кристаллографические таблицы. Построение обратной решетки. Осевые параметры. Основные свойства обратной решетки. Физический смысл обратной решетки.
4	7.	2	Основные понятия кристаллохимии. Типы химической связи в кристаллах. Атомные и ионные радиусы. Критерии кристаллических решеток химических элементов и соединений, твердых растворов и промежуточных фаз. Координационные сферы. Координационные многогранники. Общее число атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку. Число формульных (структурных) единиц и их связь со стехиометрическими формулами. Типы плотнейших упаковок в кристаллах. Мотив чередования слоев в

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
			ГЦК и ГПУ плотнейших упаковках. 2 типа пустот: тетраэдрические и октаэдрические. Обязательный признак плотнейших упаковок. Сравнительный анализ ГЦК и ГПУ плотнейших упаковок.
	8.	2	Понятие о структурном типе (ПК, ОЦК, ГЦК, ГПУ). Коэффициент заполнения пространства. Ретикулярная плотность плоскости и направления. Структурный тип вольфрама. Структурный тип меди. Структурный тип магния. Способы представления структуры кристаллов: с помощью элементарной ячейки (графически); решеткой Бравэ и базисом; взаимно проникающими подрешетками и в терминах плотнейших упаковок.
	9.	2	Структурные типы алмаза, сфалерита, вюртцита, поваренной соли, флюорита. Классификация элементарных полупроводников и полупроводниковых соединений типа $A^{III}B^{Y}$ и $A^{II}B^{YI}$ по типу кристаллической структуры. Структурный тип диоксида кремния. Сложные структурные типы: перовскита, халькопирита, шпинели. Структурный тип корунда. Аллотропные формы и полиморфные модификации. Классификация полиморфных превращений. Монотропные и энантиотропные переходы. Полиморфные модификации кварца. Изоморфизм. Изотипия. Политипия. Политипы карбида кремния и сульфида цинка.
	10.	2	Аллотропные формы и полиморфные модификации. Классификация полиморфных превращений. Монотропные и энантиотропные переходы. Полиморфные модификации кварца. Изоморфизм. Изотипия. Политипия. Политипы карбида кремния и сульфида цинка.
5	11.	2	Предельные группы симметрии. Основной принцип симметрии физических свойств в кристаллах (закон Кюри). Принцип Нейманна. Понятие о кристаллофизической системе координат. Преобразование системы координат. Скалярные и векторные физические свойства кристаллов. Пироэлектрический эффект. Указательная поверхность. Понятие об антисимметрии.
	12.	2	Физические свойства кристаллов, описываемые тензором второго ранга. Вывод закона Ома для кристаллов. Симметричный тензор второго ранга. Тензор второго ранга, записанный в главных осях. Характеристическая поверхность тензора второго ранга. Влияние симметрии кристалла на характеристическую поверхность. Свойства кристаллов, описываемые тензорами третьего и четвертого рангов.

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
			Двойное лучепреломление и поляризация света в кристаллах. Оптическая индикатрисса. Влияние симметрии кристалла на форму и ориентировку индикатриссы. Показатели преломления для кристаллов низшей, средней и высшей категории.
6	13.	2	Дефекты в твердых телах и их влияние на свойства материала. Классификация дефектов кристаллической структуры. Точечные дефекты (вакансии, междоузельные атомы, примесные атомы замещения и внедрения). Дефекты Шоттки и Френкеля. Собственные точечные дефекты. Термодинамика точечных дефектов. Движение, источники и стоки точечных дефектов.
	14.	2	Дислокации. Геометрические свойства. Поле напряжений дислокации и силы, действующие на дислокацию. Взаимодействие и движение дислокаций. Полные и частичные дислокации. Дислокационные реакции. Размножение дислокаций. Источник Франка-Рида. Роль дислокаций в процессе пластической деформации и упрочения.
	15.	2	Поверхностные дефекты. Дефекты упаковки. Малоугловые границы (субграницы, границы блоков). Высокоугловые границы (границы кристаллитов, зерен). Объемные дефекты и их проявление в свойствах кристаллов. Трещины и поры. Двойники. Взаимодействие дефектов в кристаллах. Особенности дефектообразования в полупроводниках. Прямые и косвенные методы исследования дефектов кристаллического строения. Избирательное (селективное) травление кристаллов полупроводников. Методика прогнозирования формы ямки травления.
7	16.	2	Основные представления о росте кристаллов. Термодинамика кристаллизации. Гомогенное и гетерогенное зарождение кристаллов. Переохлаждение. Число центров кристаллизации (ЧЦК). Линейная скорость роста кристаллов (ЛСК). Строение реальных слитков. Рост кристаллов в различных температурных условиях. Элементы теории роста кристаллов металлов, полупроводников и ионных соединений. Монокристаллические ленты. Дендритные ленты. Нитевидные кристаллы (вискерсы, усы).
	17.	2	Авто- и гетероэпитаксия. Кристаллогеометрические условия проведения эпитаксиальных процессов. Рост эпитаксиальных слоев. Параметр несоответствия. Дислокации несоответствия. Псевдоморфный слой. Дефекты эпитаксиальных слоев. Операция разделения полупроводниковых пластин на приборные кристаллы (скрайбирование). Понятие о спайности кристаллов.

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
			Определение оптимального направления скрайбирования в зависимости от ориентации плоскости пластины. Определение формы приборного кристалла в зависимости от ориентации плоскости пластины. Жидкие кристаллы.
8	18.	2	Применение понятий кристаллографии в технологии формирования полупроводниковых приборных структур

4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
2	1	2	Симметрия внешней формы кристаллов.
	2	2	Обозначение плоскостей и направлений в кубических кристаллах.
	3	2	Обозначение плоскостей и направлений в гексагональных кристаллах.
4	4	2	Кристаллохимические характеристики материалов. Плотнейшие упаковки атомов в кристаллах.
	5	2	Кристаллическая структура металлов.
	6	2	Кристаллическая структура полупроводников.
	7	2	Защита индивидуальных заданий
5	8	2	Основные законы кристаллофизики. Тензорное описание физических свойств кристаллов.
6	9	2	Дислокационная структура полупроводников. Методы определения дефектов кристаллического строения.

4.3. Лабораторные работы

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Наименование работы
2	1	4	*Простые формы кристаллов.* 1. Изучение форм кристаллических многогранников.

			2. Практическое определение названий простых форм. 3. Определение элементов симметрии простых форм.
	2	4	*Стереографические проекции плоскостей и направлений в кристаллах.* 1. Ознакомление с принципами построения сферических, стереографических и гномостереографических проекций кристаллов. 2. Решение задач с помощью стандартных стереографических проекций и сетки Вульфа.
6	3	4	*Исследование дефектности полупроводниковых материалов.* 1. Ознакомление с различными видами дефектов в кристаллических полупроводниках. 2. Изучение методов выявления дислокаций. 3. Освоение методики оценки плотности дислокаций в элементарных полупроводниках и полупроводниковых соединениях $A^{III}B^{Y}$.
7	4	4	*Кристаллохимическое моделирование гетероэпитаксиальных процессов.* Ознакомление с понятием «*эпитаксия*». 1. Освоение методики кристаллохимического моделирования гетероэпитаксиальной пары. 2. Построение сопряженных атомных плоских сеток и анализ их несоответствия. 3. Расчет плотности дислокаций несоответствия.
2,6,7		2	*Защиты лабораторных работ*

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	2	Изучение теоретического материала в объеме лекций
2	8	Изучение теоретического материала в объеме лекций
	6	Подготовка к контрольным работам
	4	Подготовка к лабораторным работам
3	4	Изучение теоретического материала в объеме лекций
4	6	Изучение теоретического материала в объеме лекций
	6	Подготовка к контрольным работам
	6	Выполнение и подготовка к защите индивидуального задания
5	4	Изучение теоретического материала в объеме лекций
6	6	Изучение теоретического материала в объеме лекций
	3	Подготовка к лабораторной работе
7	4	Изучение теоретического материала в объеме лекций
	3	Подготовка к лабораторной работе

8	10	Изучение дополнительной научно-технической литературы по материалам лекции

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Не предусмотрены

5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС, http://orioks.miet.ru/):

Модуль 1 «Введение в кристаллографию»

✓ Учебно-методические материалы для самостоятельного изучения тематики модуля 1 в объеме лекции 1

Модуль 2 «Внешняя форма и симметрия кристаллов»

✓ Учебно-методические материалы для самостоятельного изучения тематики модуля 2 в объеме лекций 2 – 4, подготовки к практическим занятиям 1 - 3, подготовки к контрольным работам 1 – 3 в объеме лекций 3 – 4.

✓ Учебно-методические материалы для самостоятельного изучения теории при подготовке к лабораторным работам 1-2.

Модуль 3 «Внутреннее строение кристаллов»

✓ Учебно-методические материалы для самостоятельного изучения тематики модуля 3 в объеме лекций5 - 6, подготовки к контрольной работе 3.

Модуль 4 «Основы кристаллохимии»

✓ Учебно-методические материалы для самостоятельного изучения тематики модуля 4 в объеме лекции 7 - 10, подготовки к практическим занятиям 4 - 6, контрольным работам 4,5, рубежному контролю.

Модуль 5 «Основы кристаллофизики»

✓ Учебно-методические материалы для самостоятельного изучения тематики модуля 5 в объеме лекций 11 – 12, подготовки к практическому занятию 7.

Модуль 6 «Строение реальных кристаллов»

✓ Учебно-методические материалы для самостоятельного изучения тематики модуля 6 в объеме лекций 13 – 15, подготовки к практическому занятию 8.

✓ Учебно-методические материалы для самостоятельного изучения теории при подготовке к лабораторной работе 3.

Модуль 7 «Рост кристаллов»

✓ Учебно-методические материалы для самостоятельного изучения тематики модуля 7 в объеме лекций 16 – 17.

✓ Учебно-методические материалы для самостоятельного изучения теории при подготовке к лабораторной работе 4.

Модуль 8 «Рост кристаллов»

✓ Изучение дополнительной научно-технической литературы по материалам лекции 18.

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература

1. Попенко Н.И. Структура реальных кристаллов [Текст]: Учеб.пособие / Н. И. Попенко, А. В. Железнякова, Ю. И. Шиляева; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - М.: МИЭТ, 2015. - 120 с.

2. Попенко Н.И. Кристаллография: Лабораторный практикум / Н. И. Попенко, А. В. Железнякова; М-во образования и науки РФ, МГИЭТ(ТУ). - М.: МИЭТ, 2010. - 76 с.

3. ПопенкоН.И. Кристаллография: Методические указания по решению задач / Н. И. Попенко, А. В. Железнякова; М-во образования и науки РФ, Федеральное агентство по образованию, МГИЭТ(ТУ). - М.: МИЭТ, 2009. - 68 с.

4. Чупрунов Е.В. Основы кристаллографии: Учеб.для вузов / Е. В. Чупрунов, А. Ф. Хохлов, М. А. Фаддеев. - М.: Физматлит, 2004. - 500 с.

5. Шаскольская М.П. Кристаллография: Учеб.пособие для вузов / М. П. Шаскольская. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1984. - 376 с.

6. Цюрупа М.А. Сборник лабораторных работ по курсу "Кристаллография и кристаллохимия". Ч. 4: Основы кристаллофизики / М. А. Цюрупа, Н. И. Попенко. - М.: МИЭТ, 1998. - 44 с.

7. Горелик С.С. Материаловедение полупроводников и диэлектриков / С. С. Горелик, М. Я. Дашевский. - М.: Металлургия, 1988. - 574 с.

Периодические издания

1. ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ. ЭЛЕКТРОНИКА : научно-технический журнал / ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - Москва : МИЭТ, 1996 - . - URL: http://ivuz-e.ru/ (дата обращения: 25.07.2024). - Режим доступа: свободный, до текущего года. - Переводная версия RUSSIAN MICROELECTRONICS (составной журнал), SEMICONDUCTORS (составной журнал). - Текст : электронный : непосредственный.

2. ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ. МАТЕРИАЛЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ : научный журнал / ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС". - Москва :МИСиС, 1998 - . - URL: https://met.misis.ru/jour (дата обращения: 19.09.2024). - Режим доступа: свободный. - Переводная версия RUSSIAN MICROELECTRONICS (составной журнал). - Текст : электронный.

3. ФИЗИКА И ТЕХНИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ : научный журнал / Российская академия наук, Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН. - Санкт-Петербург : ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 1967 - . - URL: http://journals.ioffe.ru/journals/2 (дата обращения: 26.09.2024). - Режим доступа: свободный. - Переводная версия SEMICONDUCTORS (составной журнал). - Текст : электронный.

4. РОССИЙСКИЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ / Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт". - Москва : ИКЦ Академкнига, 2006 - . - URL: https://sciencejournals.ru/journal/nano/ (дата обращения: 18.09.2024). - Режим доступа: свободный, до текущего года. - Переводная версия NANOTECHNOLOGIES IN RUSSIA. - - Текст : электронный.

5. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ : научно-технический журнал / Издательство "Наука

и технологии". - Москва : Наука и технологии, 1997 - . - URL: http://www.nait.ru/journals/index.php?p_journal_id=2 (дата обращения: 06.09.2024). - Текст : электронный.

6. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ / РАН. - Москва : ИКЦ Академкнига, 1965 - . - URL: https://eivis.ru/browse/publication/79441 (дата обращения: 25.09.2024). - Режим доступа: по подписке (2017-). - URL: https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=7918 (дата обращения: 25.09.2024). - Режим доступа: по подписке (2014-2022). - Переводная версия INORGANIC MATERIALS. - Текст : электронный.

7. ЖУРНАЛ НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ / Российская академия наук, Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН. - Москва : ИКЦ Академкнига, 1956 - . - URL: https://eivis.ru/browse/publication/79286 (дата обращения: 24.09.2024). - Режим доступа: по подписке (2017-). - URL: https://elibrary.ru/title_about_new.asp?id=7794 (дата обращения: 24.09.2024). - Режим доступа: по подписке (2017-2022). - Текст : электронный.

8. ЖУРНАЛ ТЕХНИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ : научный журнал / Российская академия наук, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН. - Санкт-Петербург : ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 1931 - . - URL: http://journals.ioffe.ru/journals/3 (дата обращения: 18.09.2024). - Режим доступа: свободный. - Переводная версия TECHNICAL PHYSICS. - Текст : электронный.

9. ЖУРНАЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ : научный журнал / РАН, Институт физических проблем им. П.Л. Капицы. - Москва : ИКЦ Академкнига, 1873 - . - URL: http://www.jetp.ras.ru/cgi-bin/r/index (дата обращения: 18.09.2024). - Режим доступа: свободный. - Переводная версия JOURNAL OF EXPERIMENTAL AND THEORETICAL PHYSICS. - ISSN 0044-4510. - Текст : электронный.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХБАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. **Лань: электронно-библиотечная система.** – Санкт-Петербург, 2011. – URL: https://e.lanbook.com/(дата обращения: 21.04.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ.
2. **eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека**: сайт. – Москва, 2000. – URL: https://elibrary.ru(дата обращения: 11.04.2024). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
3. **Юрайт: Электронно-библиотечная система: образовательная платформа**. - Москва, 2013. - URL: https://urait.ru/ (дата обращения: 05.04.2024). - Режим доступа: для авторизированных пользователей МИЭТ.

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе реализации обучения используется **смешанное обучение (**реализовывается с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий).

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС(http://orioks.miet.ru).

Для взаимодействия студентов с преподавателем используются электронная почта и сервисы обратной связи: раздел ОРИОКС «Домашние задания», WhatsApp группа с преподавателем.

При проведении занятий и для самостоятельной работы используются **внешние электронные ресурсы** в формах:

История кристаллографии https://www.youtube.com/watch?v=sPDMVd1zd9Y

Кристаллографические проекции https://ru.coursera.org/lecture/physical-crystallography/ughly-miezhdu-napravlieniiami-i-ploskostiami-zTA1C

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	**Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы**	**Перечень программного обеспечения**
Учебная аудитория «Лаборатория микроскопии»	Компьютер с ПО и возможностью подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ, беспроводная клавиатура + мышь, проектор Epson EB-G5600, микроскопы: ЛОМО МЕТАМ РВ-21-2, ЛОМО ПМТ-3М, HP350960, ПОЛАМ Р-211; микроинтерферометр ЛОМО МИИ-4М.	ОС Microsoft Windows, Microsoft Office
Помещение для самостоятельной работы	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	ОС Microsoft Windows Microsoft Office Professional Plus браузер Acrobat reader DC

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по подкомпетенции ОПК-4.Крист «Способен обрабатывать и представлять экспериментальные данные»

ФОС по подкомпетенции ОПК-7.Крист «Способен составлять отчеты по экспериментальным и теоретическим исследованиям в соответствии с устанавливаемыми требованиями»

Фонды оценочных средств представлены отдельными документами и размещены в составе УМК дисциплины электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: http://orioks.miet.ru/.

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

11.1. Особенности организации процесса обучения

В рамках рассматриваемого курса предусмотрены следующие формы учебных занятий:

- **лекции**, цель которых состоит в рассмотрении теоретических вопросов дисциплины
- **практические занятия,** цель проведения которых – углубленное изучение некоторый разделов курса, а также контроль выполнения студентами внеаудиторной самостоятельной работы
- **лабораторные занятия**, цель проведения которых – экспериментальное подтверждение и проверка существующих теоретических положений, формирование профессиональных компетенций, умений и навыков проведения экспериментов, ознакомление с современными приборами и аппаратурой.
- **внеаудиторная самостоятельная работа,** цель которой – закрепление полученных знаний, подготовка к практическим (лабораторным) занятиям, приобретение опыта самостоятельной работы с различными источниками информации. Самостоятельная работа студентов планируется по каждой из тем лекционного курса.

Дисциплина «Кристаллография» состоит из восьми модулей. Модульное построение курса предполагает изложение их содержания в единстве логического подхода. Изучение дисциплины начинается с определения предмета науки, его исторического развития, основных понятий и тенденций (модуль 1). Последовательность освоения модулей определяется переходом от изучения внешней формы кристаллов и ее симметрии (модуль 2) к внутреннему строению (модули 3, 4), определяющему свойства кристаллических материалов (модуль 5). Изложение 7-го модуля предполагает знание реальной структуры кристаллов, т.е. 6-го модуля, а также строения идеальных кристаллов (модуль 4). 8 модуль закрепляет теоретические полученные теоретические знания по кристаллографии и связывает их с практическим применением в области технологии микроэлектроники. Для более качественного закрепления знаний по 2 и 4 модулям на групповых консультациях будут проведены интерактивные викторины по материалам контрольных работ. За участие в викторинах будут начислены бонусные баллы. 4-ой модуль является центральным с точки зрения формирования компетенций, необходимых для понимания свойств кристаллических материалов и объяснения поведения материалов при различных технологических обработках. В рамках 4 модуля студентами выполняется домашнее задание в малых группах: задача студента по имеющейся информации подобрать иллюстрационный и поясняющий материал для составления презентации и публичного представления информации на одном из занятий на 8 и 10 неделях. В 4 модуле студенты выполняют 2 контрольные работы, по качеству выполнения которых, командам, достигшим максимального результата по разъяснению материала (наибольший процент правильно выполненных заданий в контрольных работах), начисляются дополнительные баллы за активность.

Приступать к лабораторным работам необходимо после изучения теоретического материала, рекомендованного преподавателем в рамках самостоятельной работы и изучения описания соответствующей лабораторной работы.

Для выполнения лабораторного практикума в библиотеке МИЭТ имеются учебно-методические пособия. Студенты получают допуск к лабораторной работе после ознакомления с описанием лабораторной работы. Для получения допуска необходимо правильно ответить на контрольные вопросы к теоретической части, приведенные в конце описания лабораторной работы.Для лучшего понимания процедуры выполнения лабораторных заданий используются дополнительные методические материалы (объемные модели, магнитный конструктор, формы многогранников и мягкий материал для визуализации операций симметрии, анимационные модели).

Текущий контроль успеваемости осуществляется по результатам защит лабораторных работ, написанию контрольных работ, выполнению в срок самостоятельной работы и участию в активных и интерактивных формах проведения занятий.

Для итоговой аттестации целесообразно использовать портфолио, включающий: конспект лекций и конспект материалов, подготовленных в рамках самостоятельной работы, материалы лабораторных работ, представление заданной преподавателем отдельной задачи курса в виде презентации.

Подготовкой портфолио необходимо начать заниматься с первых дней семестра, не устраняться от активного участия в активных видах занятий.

Студентам рекомендуется активно посещать предусмотренные расписанием консультации с преподавателем.

11.2. Система контроля и оценивания

По завершению изучения дисциплины предусмотрен ***экзамен***, при этом оценка итогов учебной деятельности студента основана на накопительно – балльной системе.

Структура и график контрольных мероприятий доступен в ОРИОКС// URL: http://orioks.miet.ru/.

При выставлении итоговой оценки используется шкала, приведенная в таблице:

Сумма баллов	**Оценка**
Менее 50	2
50 – 69	3
70 – 85	4
86 – 100	5

РАЗРАБОТЧИКИ:

Доцент Института ПМТ, к.х.н., доцент _____ Н.И. Попенко

Доцент Института ПМТ, к.т.н., доцент _____ А.В.Железнякова

Ст. преподаватель Института ПМТ, к.т.н. _____ Д.А.Дронова

Ассистент Института ПМТ _____ А.М.Тарасов

Рабочая программа дисциплины «Кристаллография» по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов», направленности (профилю) «Технологии материалов микроэлектроники» разработана в Институте перспективных материалов и технологий и утверждена на заседании Ученого совета Института 19 декабря 2024 года, протокол № 16.

Директора Института _____ /С.В.Дубков/

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа согласована с Передовой инженерной школой

Директор ПИШ _____ /А.Л.Переверзев /

Рабочая программа согласована с Центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК _____/И.М.Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

Директор библиотеки _____/Т.П.Филиппова/