

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Гаврилов Сергей Александрович
Должность: И.О. Ректора
Дата подписания: 30.04.2026 15:28:23
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
«27» апреля 2026 г.
М.П.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Кристаллография»

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

Программа разработана в Передовой инженерной школе
«Средства проектирования и производства электронной компонентной базы»

Москва 2026

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», «Основы физической химии», «Физическая химия», «Методы исследования материалов и наноструктур» 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) | Текущий контроль/ групповые консультации (часы) | Промежуточная аттестация (часы) | Текущая СР (часы) | Подготовка к экзамену (часы) | |
| 2 | 3 | 5 | 180 | 32 | 16 | 32 | 8 | 4 | 56 | 32 | Экз |

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| № и наименование модуля | Контактная работа | | | | Промежуточная аттестация (часы) | Самостоятельная работа (часы) | | Форма текущего контроля |
|---|-------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| | Лекции (часы) | Лабораторные работы (часы) | Практические занятия (часы) | Текущий контроль/ групповые | | Текущая СР (часы) | Подготовка к экзамену (часы) | |
| 1. Введение в кристаллографию | 2 | - | - | - | 4 | 2 | 32 | Опрос |
| 2. Внешняя форма и симметрия кристаллов | 6 | 8 | 10 | 2 | | 20 | | Контрольные работы 1 - 3 |
| | | | | | | | | Защита лабораторных работ |
| 3. Внутреннее строение кристаллов | 4 | - | - | - | | 4 | | Опрос |

| № и наименование модуля | Контактная работа | | | | Промежуточная аттестация (часы) | Самостоятельная работа (часы) | | Форма текущего контроля |
|---------------------------------|-------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| | Лекции (часы) | Лабораторные работы (часы) | Практические занятия (часы) | Текущий контроль/ групповые | | Текущая СР (часы) | Подготовка к экзамену (часы) | |
| 4. Основы кристаллохимии | 8 | - | 14 | 2 | | 8 | | Контрольные работы 4 – 5 |
| 5. Основы кристаллофизики | 4 | - | 4 | - | | 4 | | Защита индивидуального задания |
| 6. Строение реальных кристаллов | 4 | 4 | 4 | 2 | | 10 | | Опрос |
| 7. Рост кристаллов | 4 | 4 | - | 2 | | 8 | | Защита лабораторной работы |

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. |

| | | | |
|---|----|---|---|
| | | | <p>Закономерность и симметрия структуры кристаллов. Монокристаллы и поликристаллы. Анизотропия свойств. Двойственный подход к описанию свойств кристаллов. Закон постоянства углов.</p> <p>Пространственная решетка. Преобразования с помощью трансляции. Узел, ряд, плоская сетка. Элементарный параллелепипед повторяемости. Параметры элементарной ячейки.</p> <p>Кристаллографическая система координат.</p> |
| 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 | <p>14 типов решеток Бравэ. Условия выбора ячейки Бравэ. 4 типа решеток Бравэ по расположению узлов: примитивные, базоцентрированные, объемно-центрированные, гранецентрированные. Базис ячейки.</p> <p>Элементы симметрии структур: трансляция, винтовые оси, плоскости скользящего отражения. 230 пространственных групп симметрии кристаллических структур (федоровские группы).</p> |
| | 6. | 2 | <p>Международная символика классов симметрии. Международные записи пространственных групп. Интернациональные кристаллографические таблицы.</p> <p>Построение обратной решетки. Осевые параметры. Основные свойства обратной решетки. Физический смысл обратной решетки.</p> |
| 4 | 7. | 2 | <p>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.</p> <p>Типы плотнейших упаковок в кристаллах. Мотив чередования слоев в ГЦК и ГПУ плотнейших упаковок. 2 типа пустот: тетраэдрические и октаэдрические. Обязательный признак плотнейших упаковок.</p> <p>Сравнительный анализ ГЦК и ГПУ плотнейших упаковок.</p> |

| | | | |
|---|-----|---|--|
| | 8. | 2 | <p>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.</p> <p>Способы представления структуры кристаллов: с помощью элементарной ячейки (графически); решеткой Бравэ и базисом; взаимно проникающими подрешетками и в терминах плотнейших упаковок.</p> |
| | 9. | 2 | <p>Структурные типы алмаза, сфалерита, вюртцита, поваренной соли, флюорита. Классификация элементарных полупроводников и полупроводниковых соединений типа $A^{III}B^V$ и $A^{II}B^{VI}$ по типу кристаллической структуры.</p> <p>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.</p> |
| | 10. | 2 | <p>Аллотропные формы и полиморфные модификации. Классификация полиморфных превращений. Монотропные и энантиотропные переходы. Полиморфные модификации кварца. Изоморфизм. Изотипия. Политипия. Политипы карбида кремния и сульфида цинка.</p> |
| | 11. | 2 | <p>Предельные группы симметрии. Основной принцип симметрии физических свойств в кристаллах (закон Кюри). Принцип Нейманна. Понятие о кристаллофизической системе координат. Преобразование системы координат.</p> <p>Скалярные и векторные физические свойства кристаллов. Пирозлектрический эффект. Указательная поверхность. Понятие об антисимметрии.</p> |
| 5 | 12. | 2 | <p>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.</p> <p>Свойства кристаллов, описываемые тензорами третьего и четвертого рангов.</p> <p>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.</p> |
| 6 | 13. | 2 | <p>Дефекты в твердых телах и их влияние на свойства материала. Классификация дефектов кристаллической структуры.</p> <p>Точечные дефекты (вакансии, междоузельные атомы, примесные атомы замещения и внедрения). Дефекты Шоттки и Френкеля. Собственные точечные дефекты. Термодинамика точечных дефектов.</p> |

| | | | |
|---|-----|---|--|
| | | | Движение, источники и стоки точечных дефектов. 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. |
| | 14. | 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 | 15. | 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). |
| | 16. | 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. Определение оптимального направления скрайбирования в зависимости от ориентации плоскости пластины. Определение формы приборного кристалла в зависимости от ориентации плоскости пластины. Жидкие кристаллы. |

4.2. Практические занятия

| № модуля дисциплины | № практического занятия | Объем занятий (часы) | Наименование занятия |
|---------------------|-------------------------|----------------------|---|
| 2 | 1. | 2 | Симметрия внешней формы кристаллов. |
| | 2. | 2 | Решение задач по симметрии внешней формы кристалла. Викторина |

| | | | |
|---|-----|---|--|
| | | | «Симметрия кристаллов» |
| | 3. | 2 | Обозначение плоскостей и направлений в кубических кристаллах. |
| | 4. | 2 | Обозначение плоскостей и направлений в гексагональных кристаллах. |
| | 5. | 2 | Решение задач по обозначению плоскостей и направлений в кристаллах |
| 4 | 6. | 2 | Кристаллохимические характеристики материалов. |
| | 7. | 2 | Решетки Бравэ. Плотнейшие упаковки атомов в кристаллах. |
| | 8. | 2 | Кристаллическая структура металлов. |
| | 9. | 2 | Определение ретикулярной плотности плоскостей и направлений, коэффициента заполнения элементарной ячейки |
| | 10. | 2 | Кристаллическая структура полупроводников. |
| | 11. | 2 | Сравнительный анализ кристаллических структур материалов |
| | 12. | 2 | Викторина «Структуры полупроводниковых материалов» |
| 5 | 13. | 2 | Основные законы кристаллофизики. |
| | 14. | 2 | Тензорное описание физических свойств кристаллов. |
| 6 | 15. | 2 | Дислокационная структура полупроводников. Методы определения дефектов кристаллического строения. |
| | 16. | 2 | Решение задач по прогнозированию формы ямок травления |

4.3. Лабораторные работы

| № модуля дисциплины | № лабораторной работы | Объем занятий (часы) | Наименование работы |
|---------------------|-----------------------|----------------------|---|
| 2 | 1 | 4 | <i>Простые формы кристаллов.</i> 1. Изучение форм кристаллических многогранников. 2. Практическое определение названий простых форм. 3. Определение элементов симметрии простых форм. |
| | 2 | 4 | <i>Стереографические проекции плоскостей и направлений в кристаллах.</i> 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 | <i>Исследование дефектности полупроводниковых материалов.</i> 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 $A^{III}B^V$. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 7 | 4 | 4 | <p><i>Кристаллохимическое моделирование гетероэпитаксиальных процессов. Ознакомление с понятием «эпитаксия».</i></p> <p>1. Освоение методики кристаллохимического моделирования гетероэпитаксиальной пары.</p> <p>2. Построение сопряженных атомных плоских сеток и анализ их несоответствия.</p> <p>3. Расчет плотности дислокаций несоответствия.</p> |
|---|---|---|---|

4.4. Самостоятельная работа студентов

| № модуля дисциплины | Объем занятий (часы) | Вид СРС |
|---------------------|----------------------|--|
| 1 | 2 | Изучение теоретического материала в объеме лекций |
| 2 | 6 | 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 | 3 | Изучение теоретического материала в объеме лекций |
| | 3 | Подготовка к контрольным работам |
| | 4 | Выполнение и подготовка к защите индивидуального задания |
| 5 | 4 | Изучение теоретического материала в объеме лекций |
| 6 | 6 | Изучение теоретического материала в объеме лекций |
| | 2 | Подготовка к лабораторной работе |
| 7 | 4 | Изучение теоретического материала в объеме лекций |
| | 2 | Подготовка к лабораторной работе |
| 8 | 8 | 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 лекций 5 - 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. Шилиева; 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. Попенко Н.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: 19.01.2026). - 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: 19.01.2026). - 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: 19.01.2026). - 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: 19.01.2026). - Текст : электронный.

6. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ / РАН. - Москва : ИКЦ Академкнига, 1965 - . - URL: <https://eivis.ru/browse/publication/79441> (дата обращения: 19.01.2026). - Режим доступа: по подписке (2017-). - URL: https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=7918 (дата обращения: 19.01.2026). - 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: 19.01.2026). - Режим доступа: по подписке (2017-). - URL: https://elibrary.ru/title_about_new.asp?id=7794 (дата обращения: 19.01.2026). - 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: 19.01.2026). -

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: 19.01.2026). - Режим доступа: свободный. - Переводная версия JOURNAL OF EXPERIMENTAL AND THEORETICAL PHYSICS. - ISSN 0044-4510. - Текст : электронный.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. Лань: электронно-библиотечная система. – Санкт-Петербург, 2011. – URL: <https://e.lanbook.com/>(дата обращения: 19.01.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ.

2. eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека: сайт. – Москва, 2000. – URL: <https://elibrary.ru>(дата обращения: 19.01.2026). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

3. Юрайт: Электронно-библиотечная система: образовательная платформа. - Москва, 2013. - URL: <https://urait.ru/> (дата обращения: 19.01.2026). - Режим доступа: для авторизованных 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-napravleniiami-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 |
|---|---|-----------------------------------|
|---|---|-----------------------------------|

| 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, НР350960, 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 некоторых 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.

Лектором и преподавателями, ведущими практические и лабораторные занятия, проводятся консультации. Графики консультаций сообщаются лектором и преподавателем и размещаются в ОРИОКС: <http://orioks.miet.ru/>. Посещение еженедельных консультаций, кроме обозначенных в рабочей программе как групповых, не является для студентов обязательным за исключением случаев персонального приглашения преподавателем студента на консультацию.

Групповые консультации являются обязательными для посещения студентами. Дата и время проведения каждой групповой консультации назначается отдельно с учетом расписания занятий студентов и сообщается им не менее чем за неделю до ее проведения.

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 устранившись 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

Доцент Института ПМТ, к.т.н., доцент

Ст. преподаватель Института ПМТ, к.т.н.

Ассистент Института ПМТ

Н.И. Попенко

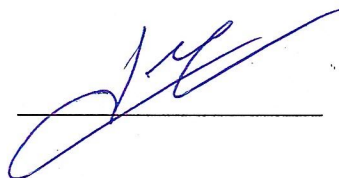
А.В. Железнякова

Д.А. Дронова

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 26 января 2026 года, протокол № 6

Директор Института ПМТ



/С.В.Дубков/

Лист согласования

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

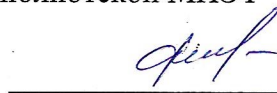
Начальник АНОК



/И.М.Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

Директор библиотеки



/Т.П.Филиппова/