

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Гаврилов Сергей Александрович  
Должность: И.О. Ректора  
Дата подписания: 08.07.2026 16:04:05  
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» июля 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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ОПК-4</b><br>Способен проводить измерения и наблюдения в сфере профессиональной деятельности, обрабатывать и представлять экспериментальные данные                                                                 | <b>ОПК-4.Крист</b><br>Способен обрабатывать и представлять экспериментальные данные                                                                | <b>Знание</b> особенностей реального строения кристаллов<br><b>Умение</b> проводить теоретические расчеты основных характеристик гетероструктур<br><b>Опыт</b> анализа полученных данных и составления отчетов по экспериментальным и теоретическим исследованиям                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>ОПК-7</b><br>Способен анализировать, составлять и применять техническую документацию, связанную с профессиональной деятельностью, в соответствии с действующими нормативными документами в соответствующей отрасли | <b>ОПК-7.Крист</b><br>Способен составлять отчеты по экспериментальным и теоретическим исследованиям в соответствии с устанавливаемыми требованиями | <b>Знание</b> положений о симметрии внутреннего и внешнего строения кристаллических материалов.<br><b>Умение</b> определять кристаллографические индексы плоскостей и направлений в кристаллах кубической и гексагональной сингоний.<br><b>Умение</b> определять кристаллохимические характеристики материалов, определять кристаллографические характеристики кристаллов используя понятия дефектность кристаллов<br><b>Опыт</b> 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 |                            |                             |                             |                                 | Самостоятел<br>ьная работа<br>(часы) |                              | Форма текущего<br>контроля |  |
|-----------------------------------------|-------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|----------------------------|--|
|                                         | Лекции (часы)     | Лабораторные работы (часы) | Практические занятия (часы) | Текущий контроль/ групповые | Промежуточная аттестация (часы) | 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   |  |
|                                         | 4                 | -                          | -                           | -                           |                                 |                                      |                              | Защита лабораторных работ  |  |
|                                         |                   |                            |                             |                             |                                 |                                      |                              | Опрос                      |  |
| 3. Внутреннее строение кристаллов       | 4                 | -                          | -                           | -                           |                                 | 4                                    |                              | Опрос                      |  |

| № и наименование модуля         | Контактная работа |                            |                             |                             |  | 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 упаковках. 2 типа пустот: тетраэдрические и октаэдрические. Обязательный признак плотнейших упаковок. 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 <math>A^{III}B^V</math> и <math>A^{II}B^{VI}</math> 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>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 5 | 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>                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|   | 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>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

|   |     |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---|-----|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7 |     |   | 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.                                             |
|   | 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><br>1. Изучение форм кристаллических многогранников.<br>2. Практическое определение названий простых форм.<br>3. Определение элементов симметрии простых форм.                                                                                                                                  |
|                     | 2                     | 4                    | <i>Стереографические проекции плоскостей и направлений в кристаллах.</i><br>1. Ознакомление с принципами построения сферических, стереографических и гномостереографических проекций кристаллов.<br>2. Решение задач с помощью стандартных стереографических проекций и сетки Вульфа.                                           |
| 6                   | 3                     | 4                    | <i>Исследование дефектности полупроводниковых материалов.</i><br>1. Ознакомление с различными видами дефектов в кристаллических полупроводниках.<br>2. Изучение методов выявления дислокаций.<br>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 лекций 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](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](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](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<br>Microsoft Office<br>Professional Plus браузер<br>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      |

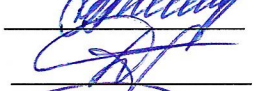
## РАЗРАБОТЧИКИ:

Доцент Института ПМТ, к.х.н., доцент

Доцент Института ПМТ, к.т.н., доцент

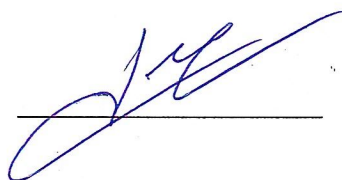
Ст. преподаватель Института ПМТ, к.т.н.

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

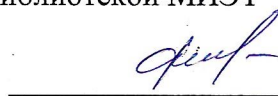
Начальник АНОК



/И.М.Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

Директор библиотеки



/Т.П.Филиппова/