

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Микроэлектроника и твердотельная электроника

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**КРИСТАЛЛОГРАФИЯ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.01.01</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>4 семестр - 3;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>108 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>4 семестр - 16 часов;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>4 семестр - 32 часа;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>4 семестр - 59,7 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> <b>Тестирование</b> <b>Контрольная работа</b> <b>Расчетно-графическая работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>4 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сарач О.Б.
	Идентификатор	R2562e7bf-SarachOB-f26c228a

О.Б. Сарач

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Баринов А.Д.
	Идентификатор	Ra98e1318-BarinovAD-f138ec4f

А.Д. Баринов

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Зезин Д.А.
	Идентификатор	Re7522a00-ZezinDA-ba8dbd73

Д.А. Зезин

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение основ структурного анализа строения полупроводниковых материалов

### Задачи дисциплины

- освоение информации об основах строения кристалла полупроводниковых приборов;
- освоение информации об особенностях приборов, изготовленных из различных полупроводниковых материалов.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-2 Способен осуществлять расчет и проектирование полупроводниковых приборов и устройств, проводить моделирование и анализ с использованием средств автоматизации проектирования	ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов	знать: - основы строения кристаллических твёрдых тел, основные свойства полупроводниковых материалов; - методы экспериментального исследования полупроводниковых материалов.  уметь: - рассчитывать основные параметры полупроводниковых материалов; - анализировать взаимодействие различного рода дефектов и примесей в полупроводниковой матрице.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Микроэлектроника и твердотельная электроника (далее – ОПОП), направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основы физики
- знать основы химии

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Основные понятия кристаллографии	26	4	4	-	12	-	-	-	-	-	10	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Основные понятия кристаллографии"</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Основные понятия кристаллографии и подготовка к контрольной работе</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Основные понятия кристаллографии" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Основные понятия кристаллографии"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 4–35 [3], 6-34</p>	
1.1	Основные понятия кристаллографии	26		4	-	12	-	-	-	-	-	10	-		
2	Явление дифракции в кристаллах	14		4	-	4	-	-	-	-	-	-	6		-
2.1	Явление дифракции в кристаллах	14		4	-	4	-	-	-	-	-	-	6		-

													Изучение материала по разделу "Явление дифракции в кристаллах" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Явление дифракции в кристаллах" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 36–69 [5], 111-121
3	Методы анализа вещества	24	2	-	12	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Методы анализа вещества"
3.1	Методы анализа вещества	24	2	-	12	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Методы анализа вещества и подготовка к контрольной работе <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Методы анализа вещества" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Методы анализа вещества" <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизадч по разделу "Методы анализа вещества". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: •Определить материал по Дебаеграмме •Определить ориентацию кристалла по Лауэграмме •Определить параметры решётки кристалла

													по рентгенограмме вращения <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 70-116 [5], 305-358
4	Структура реального кристалла	26	6	-	4	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Структура реального кристалла"
4.1	Структура реального кристалла	26	6	-	4	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Структура реального кристалла и подготовка к контрольной работе <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Структура реального кристалла" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Структура реального кристалла" <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Структура реального кристалла". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: •Провести расчёт и построение электронограммы текстурированного образца <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 25–64 [4], 234-244, 305-323, 396-432
	Зачет с оценкой	18.0	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	Всего за семестр	108.0	16	-	32	-	-	-	-	0.3	42	17.7	
	Итого за семестр	108.0	16	-	32	-	-	-	-	0.3	59.7		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

### **3.2 Краткое содержание разделов**

#### 1. Основные понятия кристаллографии

##### 1.1. Основные понятия кристаллографии

Структуры типичных полупроводников, ионных и молекулярных кристаллов. Элементы симметрии. Точечные группы симметрии. Кристаллические системы-сингонии. Символика Бравэ Ячейки Бравэ. Индексирование плоскостей и направлений. Обратная решётка. Зона плоскостей. Условие зональности. Кристаллографические проекции.

#### 2. Явление дифракции в кристаллах

##### 2.1. Явление дифракции в кристаллах

Взаимодействие рентгеновского излучения с кристаллом. Общее интерференционное уравнение трёхмерной решётки. Дифракция как отражение. Соотношение Вульфа-Брегга. Анализ интенсивностей дифракционных максимумов. Особенности дифракции электронов.

#### 3. Методы анализа вещества

##### 3.1. Методы анализа вещества

Фазовый анализ вещества. Метод Дебая. Определение параметров кристаллической решётки. Ориентация кристалла по Лауэ. Применение метода Лауэ для изучения симметрии кристалла. Дифрактометрия. Метод вращения кристалла. Методы анализа поверхности. Электронография. Нейтронография. Электронная микроскопия. Сканирующая микроскопия.

#### 4. Структура реального кристалла

##### 4.1. Структура реального кристалла

Основные типы точечных дефектов, зависимость их от температуры, присутствия примесей, равновесие точечных дефектов в кристалле. Отклонение от стехиометрии. Линейные дефекты-дислокации, контур и вектор Бюргерса, движение дислокаций, взаимодействие с точечными дефектами и примесями. Дефекты упаковки. Типы твёрдых растворов. Понятие ближнего и дальнего порядка. Влияние дефектов на свойства материалов.

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Типы твёрдых растворов;
2. Индексирование электронограммы текстурированного образца;
3. Изучение структуры монокристалла методом вращения;
4. Определение ориентации кристалла по лауэграмме;
5. Изучение структуры кристалла методом Дебая;
6. Структуры типичных полупроводников;
7. Кристаллографические проекции;
8. Индексирование плоскостей и направлений.

### **3.4. Темы лабораторных работ** не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)



1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основные понятия кристаллографии"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Явление дифракции в кристаллах"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Методы анализа вещества"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Структура реального кристалла"

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Основные понятия кристаллографии"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Явление дифракции в кристаллах"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Методы анализа вещества"
4. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Структура реального кристалла"

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
<b>Знать:</b>						
методы экспериментального исследования полупроводниковых материалов	ИД-1ПК-2		+			Контрольная работа/Взаимодействие излучения с кристаллом. Кристаллографические координаты. Контрольная работа/Методы исследования вещества. Проекция плоскостей,
основы строения кристаллических твёрдых тел, основные свойства полупроводниковых материалов	ИД-1ПК-2	+				Тестирование/Основы строения кристаллических твёрдых тел. Сингонии.
<b>Уметь:</b>						
анализировать взаимодействие различного рода дефектов и примесей в полупроводниковой матрице	ИД-1ПК-2				+	Контрольная работа/Дефекты в полупроводнике
рассчитывать основные параметры полупроводниковых материалов	ИД-1ПК-2			+		Расчетно-графическая работа/Расчетное задание. Расчет параметров кристалла

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**4 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Взаимодействие излучения с кристаллом. Кристаллографические координаты. (Контрольная работа)
2. Дефекты в полупроводнике (Контрольная работа)
3. Методы исследования вещества. Проекция плоскостей, (Контрольная работа)
4. Основы строения кристаллических твёрдых тел. Сингонии. (Тестирование)

Форма реализации: Проверка задания

1. Расчетное задание. Расчет параметров кристалла (Расчетно-графическая работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Зачет с оценкой (Семестр №4)*

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 4 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Морозова, Н. К. Кристаллография и методы исследования структур. Пособие к практическим занятиям : учебное пособие по курсу "Технология материалов и элементов электронной техники" по направлению "Электроника и микроэлектроника" / Н. К. Морозова, Моск. энерг. ин-т (МЭИ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2008 . – 120 с. - ISBN 978-5-383-00192-9 .;
2. Дефекты в материалах квантовой электроники / З. Т. Азаматов, и др., Акад. наук УзССР. Ин-т ядерной физики ; Ред. М. Т. Шпак . – Ташкент : Фан, 1991 . – 260 с. - ISBN 5-648-00716-7 .;
3. А. Г. Четверикова- "Кристаллография", Издательство: "Оренбургский государственный университет", Оренбург, 2012 - (104 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=260745>;
4. А. Келли, Г. Гровс- "Кристаллография и дефекты в кристаллах", Издательство: "Мир", Москва, 1974 - (503 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=447893>;
5. "Борис Константинович Вайнштейн: кристаллография и жизнь", Издательство: "Физматлит", Москва, 2012 - (375 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=467703>.

## 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux.

## 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
8. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
9. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
10. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
11. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
12. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
13. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
14. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
15. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
16. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru;http://docs.cntd.ru/>
17. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
18. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
19. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	К-102а, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
	К-102, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	К-102а, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
	К-102, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	К-102а, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
	К-102, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
Помещения для	НТБ-302, Читальный зал	стул, стол письменный,

самостоятельной работы	отдела обслуживания учебной литературой	компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
Помещения для консультирования	К-109/2, Кабинет сотрудников каф. "ЭиН"	стол, стул, шкаф для документов, шкаф для хранения инвентаря, стол письменный, дипломные и курсовые работы студентов
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	К-115, Склад каф. "ЭиН"	стеллаж, инвентарь учебный

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Кристаллография

(название дисциплины)

#### 4 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Основы строения кристаллических твёрдых тел. Сингонии. (Тестирование)
- КМ-2 Взаимодействие излучения с кристаллом. Кристаллографические координаты. (Контрольная работа)
- КМ-3 Методы исследования вещества. Проекция плоскостей, (Контрольная работа)
- КМ-4 Расчетное задание. Расчет параметров кристалла (Расчетно-графическая работа)
- КМ-5 Дефекты в полупроводнике (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	8	12	14	16
1	Основные понятия кристаллографии						
1.1	Основные понятия кристаллографии		+				
2	Явление дифракции в кристаллах						
2.1	Явление дифракции в кристаллах			+	+		
3	Методы анализа вещества						
3.1	Методы анализа вещества					+	
4	Структура реального кристалла						
4.1	Структура реального кристалла						+
Вес КМ, %:			15	20	15	30	20