

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 09.07.2023 20:53:32

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»**

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

### **Физические свойства кристаллов**

Закреплена за подразделением

Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков

Направление подготовки

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Форма обучения

**очная**

Общая трудоемкость

**3 ЗЕТ**

Часов по учебному плану

108

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

зачет с оценкой 5

аудиторные занятия

51

самостоятельная работа

57

#### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	5 (3.1)		Итого	
	Неделя			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Практические	34	34	34	34
Итого ауд.	51	51	51	51
Контактная работа	51	51	51	51
Сам. работа	57	57	57	57
Итого	108	108	108	108

Программу составил(и):  
*кфмн, доцент, Диденко И.С.*

Рабочая программа

**Физические свойства кристаллов**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (приказ от 02.04.2015 г. № 95 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, 11.03.04-БЭН-22.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков**

Протокол от г., №

Руководитель подразделения Оганов А.Р.

### 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

1.1	формирование компетенций в соответствие с учебным планом: научить использовать законы кристаллофизики и тензорные методы для описания и расчета свойств анизотропных сред и осуществлять обоснованный выбор кристаллических срезов для получения оптимальных характеристик кристаллических элементов изделий электронной техники
-----	--

### 2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Блок ОП:	Б1.В
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>
2.1.1	Методы математической физики
2.1.2	Основы квантовой механики
2.1.3	Практическая кристаллография
2.1.4	Физика
2.1.5	Физическая химия
2.1.6	Электротехника
2.1.7	Математика
2.1.8	Органическая химия
2.1.9	Информатика
2.1.10	Химия
2.1.11	Инженерная и компьютерная графика
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>
2.2.1	Биполярные полупроводниковые приборы
2.2.2	Квантовая и оптическая электроника
2.2.3	Научно-исследовательская работа
2.2.4	Научно-исследовательская работа
2.2.5	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности
2.2.6	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности
2.2.7	Технология материалов электронной техники
2.2.8	Физика диэлектриков
2.2.9	Физика магнитных явлений
2.2.10	Дефекты в оптоэлектронных полупроводниковых приборах на широкозонных материалах
2.2.11	Ионно-плазменная обработка материалов
2.2.12	Компьютерные технологии проектирования процессов наноэлектроники
2.2.13	Материаловедение ферритов и родственных магнитных систем
2.2.14	Методы исследования материалов и структур электроники
2.2.15	Наноэлектроника полупроводниковых приборов и устройств
2.2.16	Основы проектирования электронной компонентной базы. Пакеты прикладных программ
2.2.17	Основы технологии электронной компонентной базы. Технология тонких пленок
2.2.18	Полевые полупроводниковые приборы
2.2.19	Полупроводниковая наноэлектроника
2.2.20	Приемники оптического излучения
2.2.21	Физика импульсного отжига
2.2.22	Физико-математические модели процессов наноэлектроники
2.2.23	Физические основы электроники
2.2.24	Функциональная наноэлектроника
2.2.25	Магнитные измерения
2.2.26	Математические модели технологических процессов получения магнитоэлектроники и радиокерамики
2.2.27	Моделирование технологических процессов получения материалов электронной техники
2.2.28	Нормы и правила оформления ВКР
2.2.29	Оборудование производства ферритовых материалов и радиокерамики
2.2.30	Основы технологии электронной компонентной базы
2.2.31	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

2.2.32	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.33	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.34	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.35	Приборы квантовой и оптической электроники
2.2.36	Светоизлучающие полупроводниковые приборы

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

<b>ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности</b>	
<b>Знать:</b>	
ОПК-1-31 Основные принципы кристаллофизики, физические эффекты и физические свойства анизотропных сред	
<b>ПК-5: Способность разрабатывать технические описания на отдельные блоки изделий электронной техники</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-5-31 Тензорное описание физических характеристик анизотропных сред	
<b>Уметь:</b>	
ПК-5-У1 Рассчитывать и описывать с учетом анизотропии и симметрии физические характеристики кристаллических элементов изделий электронной техники	
<b>ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности</b>	
<b>Уметь:</b>	
ОПК-1-У1 Рассчитывать величины физических свойств кристаллов с учетом анизотропии	
<b>УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, умение анализировать процессы и системы с использованием соответствующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов, применять системный подход для решения поставленных задач</b>	
<b>Уметь:</b>	
УК-1-У1 Оценивать срезы кристаллов различной ориентации и осуществлять их обоснованный выбор с целью получения оптимальных характеристик кристаллических элементов изделий электронной техники	
<b>ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности</b>	
<b>Владеть:</b>	
ОПК-1-В1 Тензорными методами расчета физических свойств анизотропных сред	
<b>УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, умение анализировать процессы и системы с использованием соответствующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов, применять системный подход для решения поставленных задач</b>	
<b>Владеть:</b>	
УК-1-В1 Методами расчета и оценки физических свойств анизотропных сред	

### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	<b>Раздел 1. Основные принципы кристаллофизики</b>							
1.1	Симметрия кристаллов и анизотропия их физических свойств /Лек/	5	1	ОПК-1-31 ПК-5-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
1.2	Основные принципы кристаллофизики. Предельные группы симметрии /Лек/	5	1	ОПК-1-31 ПК-5-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
1.3	Матричное представление операций и групп симметрии /Пр/	5	2	УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			

1.4	Принцип Неймана и принцип Кюри /Пр/	5	2	УК-1-У1 УК-1-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
1.5	1) Выполнение домашнего задания № 1 2) Подготовка к контрольной работе № 1 3) Подготовка к обзорному тесту по дисциплине /Ср/	5	6	УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-В1 ПК-5-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			Р1
	<b>Раздел 2. Физические свойства кристаллов, описываемые тензорами 1 и 2 ранга</b>							
2.1	Пирозлектрический и электрокалорический эффекты /Лек/	5	1	ОПК-1-31 ПК-5-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
2.2	Вектор-векторное взаимодействие в анизотропных средах и его математическое описание. Поляризация диэлектрика во внешнем электрическом поле. Закон Ома для анизотропных сред /Лек/	5	2	ОПК-1-31 ПК-5-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
2.3	Характеристическая поверхность тензора второго ранга. Влияние симметрии кристаллов на свойства, описываемые тензором второго ранга /Лек/	5	1	ОПК-1-31 ПК-5-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
2.4	Напряжения и деформации в кристаллах. Эффект теплового расширения /Лек/	5	1	ОПК-1-31 ПК-5-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
2.5	Пирозлектрический и электрокалорический эффект. Решение задач /Пр/	5	2	УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-5-У1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
2.6	Расчет свойств кристаллов, описываемых тензором 2 ранга /Пр/	5	4	УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-5-У1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
2.7	Определение экстремальных значений свойств кристаллов, описываемых тензором 2 ранга и направлений, в которых они наблюдаются /Пр/	5	2	УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-5-У1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
2.8	Тензорное описание напряжений и деформаций в кристаллах /Пр/	5	2	УК-1-В1 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-5-31 ПК-5-У1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
2.9	Контрольная работа № 1 /Пр/	5	2	УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-В1 ПК-5-31 ПК-5-У1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
2.10	1) Выполнение домашнего задания № 1 2) Подготовка к контрольной работе № 1 3) Подготовка к обзорному тесту по дисциплине /Ср/	5	20	УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-5-31 ПК-5-У1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			Р1

	<b>Раздел 3. Пьезоэлектрические и упругие свойства кристаллов</b>							
3.1	Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект /Лек/	5	1	ОПК-1-31 ПК-5-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
3.2	Продольный пьезоэлектрический эффект /Лек/	5	1	ОПК-1-31 ПК-5-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
3.3	Упругие свойства кристаллов. Закон Гука для анизотропных сред /Лек/	5	1	ОПК-1-31 ПК-5-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
3.4	Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект. Решение задач /Пр/	5	4	УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-5-У1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
3.5	Определение направлений максимального продольного пьезоэлектрического эффекта /Пр/	5	2	УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-5-У1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
3.6	Упругие свойства кристаллов. Решение задач /Пр/	5	2	УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-5-У1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
3.7	1) Выполнение домашнего задания № 2 2) Подготовка к контрольной работе № 2 3) Подготовка к обзорному тесту по дисциплине /Ср/	5	20	УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-5-31 ПК-5-У1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			P2
	<b>Раздел 4. Оптические свойства кристаллов</b>							
4.1	Распространение света в анизотропной среде. Явление двулучепреломления света в кристаллах /Лек/	5	2	ОПК-1-31 ПК-5-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
4.2	Оптическая индикатриса и ее связь с симметрией кристаллов /Лек/	5	2	ОПК-1-31 ПК-5-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
4.3	Эллипсоид Френеля и поверхность показателей преломления /Лек/	5	1	ОПК-1-31 ПК-5-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
4.4	Наблюдение кристаллов в поляризованном свете /Лек/	5	2	ОПК-1-31 ПК-5-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
4.5	Определение величины двулучепреломления в кристаллах /Пр/	5	4	УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-5-У1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
4.6	Расчет угла между лучом и направлением волновой нормали световой волны /Пр/	5	2	УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-5-31 ПК-5-У1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
4.7	Расчет интенсивности света, прошедшего через систему поляризатор-кристалл-анализатор /Пр/	5	2	УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-5-У1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			

4.8	Контрольная работа № 2 /Пр/	5	2	УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-5-31 ПК-5-У1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ2	
4.9	1) Выполнение домашнего задания № 2 2) Подготовка к контрольной работе № 2 3) Подготовка к обзорному тесту по дисциплине 4) Обзорный тест по дисциплине /Ср/	5	11	УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-5-31 ПК-5-У1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ3	Р2

### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### 5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	Контрольная работа № 1	ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;УК-1-У1;УК-1-В1;ПК-5-31;ПК-5-У1	Контрольная работа № 1 содержит 4 задачи по темам разделов 1 и 2.  1. Матричное представление операций и групп симметрии 2. Основные принципы кристаллофизики: принцип Неймана и принцип Кюри 3. Пирозлектрический и электрокалорический эффекты 4. Вектор-векторное взаимодействие в анизотропных средах и его математическое описание 5. Поляризация диэлектрика во внешнем электрическом поле 6. Закон Ома для анизотропных сред 7. Напряжения и деформации в кристаллах 8. Эффект теплового расширения
КМ2	Контрольная работа № 2	ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;УК-1-У1;УК-1-В1;ПК-5-31;ПК-5-У1	Контрольная работа № 2 содержит 4 задачи по темам разделов 3 и 4.  1. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект 2. Продольный пьезоэлектрический эффект 3. Упругие свойства кристаллов. Закон Гука для анизотропных сред 4. Распространение света в анизотропной среде 5. Явление двулучепреломления света в кристаллах 6. Особенности распространения света в кубических, оптически одноосных и двуосных кристаллах 7. Оптическая индикатриса. Определение величины двулучепреломления 8. Расчет интенсивности света, прошедшего через систему поляризатор-кристалл-анализатор
КМ3	Обзорный тест по дисциплине	ОПК-1-31;ПК-5-31	содержит 10 вопросов по всем разделам дисциплины

#### 5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)

Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
Р1	Домашнее задание № 1	ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;УК-1-У1;УК-1-В1;ПК-5-31;ПК-5-У1	Содержит 10 задач, охватывающих материал разделов 1 и 2
Р2	Домашнее задание № 2	ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;УК-1-У1;УК-1-В1;ПК-5-31;ПК-5-У1	Содержит 10 задач, охватывающих материал разделов 3 и 4

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

экзамен не предусмотрен

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

Студент получает оценку за зачет на основании средней оценки по всем работам, выполняемым в течении семестра, по следующей методике:

"отлично" - более 85 %;

"хорошо" - от 70% до 85 %;

"удовлетворительно" - от 50 % до 70 %;

"неудовлетворительно" - менее 50 % либо при невыполнении хотя бы одной работы из перечня работ, выполняемых по дисциплине.

**6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ****6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Шаскольская М. П.	Кристаллография: учеб. пособие для студ. высш. техн. учеб. заведений	Библиотека МИСиС	М.: Высш. шк., 1984

**6.1.2. Дополнительная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Най Д.	Физические свойства кристаллов и их описание при помощи тензоров и матриц: монография	Электронная библиотека	Москва: Мир, 1967
Л2.2	Сиротин Ю. И., Шаскольская М. П.	Основы кристаллофизики: Учеб. пособие для физ. спец. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Наука, 1979

**6.1.3. Методические разработки**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Переломова Н. В., Тагиева М. М., Пархоменко Ю. Н.	Кристаллофизика: сборник задач с решениями	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2013

**6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

Э1	Физические свойства кристаллов	<a href="https://lms.misis.ru/">https://lms.misis.ru/</a>
----	--------------------------------	---

**6.3 Перечень программного обеспечения**

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

**6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных**

И.1	International Union of CRYSTALLOGRAPHY: <a href="http://www.iucr.org/resources/data">http://www.iucr.org/resources/data</a>
-----	---

**7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

Ауд.	Назначение	Оснащение
К-521	Учебная аудитория	набор демонстрационного оборудования в том числе: мультимедийный проектор, ПК, экран проекционный, коллекция моделей кристаллических многогранников и кристаллических структур, комплект учебной мебели, пакет лицензионных программ MS Office
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Читальный зал электронных ресурсов		комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.



## **8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

При конспектировании лекций в конспект следует заносить всё, что рекомендует преподаватель. Изучение и отработка прослушанных лекций без промедления значительно экономит время и способствует лучшему усвоению материала. Студентам рекомендуется с самого начала освоения данного курса работать с литературой и предлагаемыми заданиями. При этом актуализируются имеющиеся знания, а также создается база для усвоения нового материала, возникают вопросы, ответы на которые студент получает в аудитории.

При освоении данного курса студент должен пользоваться библиотекой вуза, а также электронными базами учебной литературы, в соответствии с настоящей программой.