

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 27.10.2023 12:14:45

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

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ

Профиль

Квалификация

**Инженер-исследователь**

Форма обучения

**очная**

Общая трудоемкость

**4 ЗЕТ**

Часов по учебному плану

144

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

зачет с оценкой 5

аудиторные занятия

51

курсовая работа 5

самостоятельная работа

93

#### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	5 (3.1)		Итого	
	Неделя 19			
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	93	93	93	93
Итого	144	144	144	144

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 22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ (приказ от 28.06.2023 г. № 292 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, 22.03.01-БМТМ-23\_6-ПП.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

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 расчета свойств анизотропных сред и осуществлять обоснованный выбор срезов кристаллов при проектировании кристаллических элементов электронной техники
-----	---

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.06
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Введение в квантовую механику	
2.1.2	Математическая статистика и анализ данных	
2.1.3	Физика	
2.1.4	Физическая химия	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
2.2.1	Защита интеллектуальной собственности и патентоведение	
2.2.2	Коррозия и защита металлов	
2.2.3	Механические свойства материалов	
2.2.4	Статистическая физика	
2.2.5	Физика металлов	
2.2.6	Физические свойства твердых тел	
2.2.7	Компьютерная металлография	
2.2.8	Методы физико-химических исследований	
2.2.9	Научно-исследовательская работа	
2.2.10	Научно-исследовательская работа	
2.2.11	Научно-исследовательская работа	
2.2.12	Научно-исследовательская работа	
2.2.13	Основы физики поверхности	
2.2.14	Современные методы получения наночастиц и наноматериалов	
2.2.15	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.2.16	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.2.17	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.2.18	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.2.19	Бионаномедицина	
2.2.20	Математическое и компьютерное моделирование материалов и процессов	
2.2.21	Оптические явления в кристаллах. Часть 1	
2.2.22	Современные конструкционные материалы	
2.2.23	Спектроскопические методы анализа поверхности	
2.2.24	Физико-химия получения и обработки материалов	
2.2.25	Физические свойства и функциональные явления в наноматериалах	
2.2.26	Инновационные конструкционные материалы для медицины	
2.2.27	Порошковая металлургия высокотемпературных и сверхтвердых материалов	
2.2.28	Практическое применение методов анализа Big data	
2.2.29	Применение лазерных систем	
2.2.30	Современные материалы медицинского назначения	
2.2.31	Физические методы исследования материалов	
2.2.32	Цифровая электроника	
2.2.33	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.34	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.35	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.36	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.37	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	
2.2.38	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	
2.2.39	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	

2.2.40	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.41	Физико-химия получения и обработки высокотемпературных материалов

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

<b>ПК-2: Способен к поиску и выбору сферы применения результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-2-31 основные принципы кристаллофизики, физические эффекты и физические свойства анизотропных сред	
<b>Уметь:</b>	
ПК-2-У1 Осуществлять выбор кристаллических материалов и срезов с целью получения оптимальных характеристик кристаллических элементов твердотельной электроники	
<b>ОПК-4: Способен проводить измерения и наблюдения в сфере профессиональной деятельности, обрабатывать и представлять экспериментальные данные</b>	
<b>Уметь:</b>	
ОПК-4-У1 Рассчитывать характеристики кристаллических материалов, путем обработки экспериментальные данных	
<b>ПК-2: Способен к поиску и выбору сферы применения результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ</b>	
<b>Владеть:</b>	
ПК-2-В1 тензорными методами расчета 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	ПК-2-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
1.2	Основные принципы кристаллофизики. Предельные группы симметрии /Лек/	5	1	ПК-2-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
1.3	Матричное представление операций и групп симметрии /Пр/	5	2	ПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
1.4	Принцип Неймана и принцип Кюри /Пр/	5	2	ПК-2-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
1.5	1) Подготовка к контрольной работе № 1 2) Подготовка к обзорному тесту по дисциплине /Ср/	5	8	ПК-2-31 ПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
	<b>Раздел 2. Физические свойства кристаллов, описываемые тензорами 1 и 2 ранга</b>							
2.1	Пирозлектрический и электрокалорический эффекты /Лек/	5	1	ПК-2-31	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	ПК-2-31	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	ПК-2-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
2.4	Напряжения и деформации в кристаллах. Эффект теплового расширения /Лек/	5	1	ПК-2-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
2.5	Пироэлектрический и электрокалорический эффект. Решение задач /Пр/	5	2	ПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
2.6	Расчет свойств кристаллов, описываемых тензором 2 ранга /Пр/	5	4	ПК-2-В1	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	ПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
2.8	Тензорное описание напряжений и деформаций в кристаллах /Пр/	5	2	ПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
2.9	Контрольная работа № 1 /Пр/	5	2	ПК-2-31 ПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
2.10	1) Подготовка к контрольной работе № 1 2) Подготовка к обзорному тесту по дисциплине /Ср/	5	18	ПК-2-31 ПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
	<b>Раздел 3. Пьезоэлектрические и упругие свойства кристаллов</b>							
3.1	Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект /Лек/	5	1	ПК-2-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
3.2	Продольный пьезоэлектрический эффект /Лек/	5	1	ПК-2-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
3.3	Упругие свойства кристаллов. Закон Гука для анизотропных сред /Лек/	5	1	ПК-2-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
3.4	Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект. Решение задач /Пр/	5	4	ПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
3.5	Определение направлений максимального продольного пьезоэлектрического эффекта /Пр/	5	2	ПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			

3.6	Упругие свойства кристаллов. Решение задач /Пр/	5	2	ПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
3.7	1) Подготовка к контрольной работе № 2 2) Подготовка к обзорному тесту по дисциплине /Ср/	5	15	ПК-2-31 ПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
<b>Раздел 4. Оптические свойства кристаллов</b>								
4.1	Распространение света в анизотропной среде. Явление двулучепреломления света в кристаллах /Лек/	5	2	ПК-2-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
4.2	Оптическая индикатриса и ее связь с симметрией кристаллов /Лек/	5	2	ПК-2-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
4.3	Эллипсоид Френеля и поверхность показателей преломления /Лек/	5	1	ПК-2-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
4.4	Наблюдение кристаллов в поляризованном свете /Лек/	5	2	ПК-2-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
4.5	Определение величины двулучепреломления в кристаллах /Пр/	5	4	ПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
4.6	Расчет угла между лучом и направлением волновой нормали световой волны /Пр/	5	2	ПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
4.7	Расчет интенсивности света, прошедшего через систему поляризатор-кристалл-анализатор /Пр/	5	2	ПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1			
4.8	Контрольная работа № 2 /Пр/	5	2	ПК-2-31 ПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ2	
4.9	1) Подготовка к контрольной работе № 2 2) Подготовка к обзорному тесту по дисциплине 3) Обзорный тест по дисциплине /Ср/	5	16	ПК-2-31 ПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ3	
<b>Раздел 5. Курсовая работа</b>								
5.1	Курсовая работа /Ср/	5	36	ОПК-4-У1 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1	Методические указания по выполнению курсовой работы размещаются в LMS Canvas	КМ4	Р1

### 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-4-У1;ПК-2-В1;ПК-2-У1;ПК-2-31	<p>Контрольная работа № 1 содержит 4 задачи по темам разделов 1 и 2.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Матричное представление операций и групп симметрии</li> <li>2. Основные принципы кристаллофизики: принцип Неймана и принцип Кюри</li> <li>3. Пироэлектрический и электрокалорический эффекты</li> <li>4. Вектор-векторное взаимодействие в анизотропных средах и его математическое описание</li> <li>5. Поляризация диэлектрика во внешнем электрическом поле</li> <li>6. Закон Ома для анизотропных сред</li> <li>7. Напряжения и деформации в кристаллах</li> <li>8. Эффект теплового расширения</li> </ol>
КМ2	Контрольная работа № 2	ОПК-4-У1;ПК-2-31;ПК-2-У1;ПК-2-В1	<p>Контрольная работа № 2 содержит 4 задачи по темам разделов 3 и 4.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект</li> <li>2. Продольный пьезоэлектрический эффект</li> <li>3. Упругие свойства кристаллов. Закон Гука для анизотропных сред</li> <li>4. Распространение света в анизотропной среде</li> <li>5. Явление двулучепреломления света в кристаллах</li> <li>6. Особенности распространения света в кубических, оптически одноосных и двуосных кристаллах</li> <li>7. Оптическая индикатриса. Определение величины двулучепреломления</li> <li>8. Расчет интенсивности света, прошедшего через систему поляризатор-кристалл-анализатор</li> </ol>
КМ3	Обзорный тест по дисциплине	ПК-2-31	содержит 10 вопросов по всем разделам дисциплины

КМ4	защита курсовой работы	ОПК-4-У1;ПК-2-31;ПК-2-У1;ПК-2-В1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Принцип Неймана</li> <li>2. Принцип Кюри</li> <li>3. Пирозлектрический эффект</li> <li>4. Электрокалорический эффект</li> <li>5. Влияние симметрии на свойства кристаллов, описываемых тензором второго ранга</li> <li>6. Поляризация диэлектрика во внешнем электрическом поле. Тензоры диэлектрической проницаемости и восприимчивости</li> <li>7. Закон Ома для анизотропных сред. Тензоры удельной электропроводности и электросопротивления</li> <li>8. Эффект теплового расширения. Тензор теплового расширения</li> <li>9. Характеристическая поверхность тензора второго ранга. Ее вид для кристаллов различной симметрии.</li> <li>10. Свойства характеристической поверхности</li> <li>11. Указательные поверхности</li> <li>12. Тензор механических напряжений, физический смысл его компонент</li> <li>13. Тензор относительных деформаций, физический смысл его компонент</li> <li>14. Материальные и полевые тензоры</li> <li>15. Прямой пьезоэлектрический эффект</li> <li>16. Обратный пьезоэлектрический эффект</li> <li>17. Продольный пьезоэлектрический эффект</li> <li>18. Закон Гука для анизотропных сред. Тензоры упругой податливости и жесткости. Модуль Юнга</li> <li>19. Явление двулучепреломления в кристаллах</li> <li>20. Показатель преломления</li> <li>21. Оптическая индикатриса, ее свойство, влияние симметрии кристалла на ее вид</li> <li>22. Оптические оси</li> <li>23. Особенности распространения света в кубических кристаллах</li> <li>24. Особенности распространения света в оптически одноосных кристаллах</li> <li>25. Особенности распространения света в оптически двуосных кристаллах</li> <li>26. Эллипсоид Френеля</li> <li>27. Поверхность показателей преломления</li> <li>28. Систем поляризатор-кристалл- анализатор. Закон Малюса</li> <li>29. Наблюдение кристаллов в параллельном поляризованном свете</li> <li>30. Наблюдение кристаллов в сходящемся поляризованном свете</li> </ol>
-----	------------------------	----------------------------------	--

### 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
P1	Курсовая работа	ОПК-4-У1;ПК-2-31;ПК-2-У1;ПК-2-В1	"Расчет характеристик кристаллических материалов". Задание на курсовую работу индивидуальное для каждого обучающегося

### 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 и контрольным мероприятиям, выполняемым в течении семестра, по следующей методике:

"отлично" - более 85 %;

"хорошо" - от 75% до 85 %;

"удовлетворительно" - от 50 % до 75 %;

"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
---------------------	----------	------------	-------------------



	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 Наталья Владиславовна, Тагиева Марианна Мамедовна, Пархоменко Юрий Николаевич	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.