

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 09.07.2023 19:47:25

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)

# Нелинейные кристаллы

Закреплена за подразделением

Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков

Направление подготовки

22.04.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ

Профиль

Квалификация

Магистр-исследователь

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

4 ЗЕТ

Часов по учебному плану

144

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 3

аудиторные занятия

34

самостоятельная работа

38

часов на контроль

72

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	3 (2.1)		Итого	
	19			
Неделя	УП	РП	УП	РП
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Практические	17	17	17	17
Итого ауд.	34	34	34	34
Контактная работа	34	34	34	34
Сам. работа	38	38	38	38
Часы на контроль	72	72	72	72
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

*дфмн, проф., Сметанин Сергей Николаевич*

Рабочая программа

**Нелинейные кристаллы**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 22.04.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ (приказ от 02.04.2021 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.04.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ, 22.04.01-ММТМ-22-4.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

22.04.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков**

Протокол от 14.06.2022 г., №13-21/22

Руководитель подразделения Пархоменко Ю.Н.

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	Цель освоения дисциплины - формирование компетенций в соответствии с учебным планом; изучение свойств активированных и нелинейно-оптических кристаллов для разработки кристаллических активных элементов квантовой электроники; ознакомление с современным состоянием и перспективами развития данной области знаний. Дисциплина рассматривает современный подход к описанию лазерных и нелинейных кристаллов в квантовой электронике, что поможет в дальнейшем решать ряд инженерных задач, связанных с разработкой и обслуживанием современных кристаллических активных элементов квантовой электроники любого назначения.
-----	--

**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	Дифракционные методы исследования неупорядоченных структур	
2.1.2	Кристаллы в квантовой электронике	
2.1.3	Математическое и компьютерное моделирование материалов и процессов	
2.1.4	Оптические элементы лазерных систем. Часть 1	
2.1.5	Применение лазерных систем	
2.1.6	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.7	Спектроскопические методы анализа поверхности	
2.1.8	Материаловедение и технологии перспективных материалов	
2.1.9	Методы электронной микроскопии для материалов твердотельной электроники	
2.1.10	Новые углеродные материалы	
2.1.11	Оптические явления в кристаллах. Часть 1	
2.1.12	Технология получения кристаллов	
2.1.13	Физические свойства приповерхностных слоев и методы их исследований	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
2.2.1	Методы исследования материалов	
2.2.2	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.3	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	

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

**ОПК-5: Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в области материаловедения и технологии материалов, смежных областях**

**Знать:**

ОПК-5-31 Способен находить и получать необходимые данные о известных нелинейно-оптических кристаллах; имеет знания основ расчета характеристик нелинейно-оптических преобразователей оптической частоты на кристаллах

**ПК-3: Способен осуществлять и обосновывать рациональный выбор материалов, устройств и технологических процессов для создания функциональных материалов, структур и устройств микро- и нанoeлектроники, квантовой фотоники с заданными свойствами и характеристиками**

**Уметь:**

ПК-3-У1 Способен осуществлять и обосновывать рациональный выбор нелинейно-оптических материалов для создания оптических элементов квантовой электроники с заданными свойствами и характеристиками.

**ПК-2: Способен планировать и осуществлять экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать результаты, делать выводы, составлять и оформлять отчеты по проведенным исследованиям**

**Уметь:**

ПК-2-У1 Способен прогнозировать возможности применения нелинейно-оптических кристаллов в качестве активных элементов современной квантовой электроники.

**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. Кристаллы в нелинейной оптике сред с квадратичной нелинейностью</b>							
1.1	Квадратичная нелинейность в кристаллах /Лек/	3	2	ОПК-5-31	Л1.1Л2.1 Э1 Э3 Э6			
1.2	Двулучепреломление и фазовый синхронизм /Лек/	3	2	ОПК-5-31	Л1.1Л2.1 Э1 Э3 Э6			
1.3	Обзор и характеристика квадратично-нелинейных кристаллов /Лек/	3	2	ОПК-5-31	Л1.1Л2.1 Э1 Э3 Э6			
1.4	Преобразование частоты лазерного излучения в квадратично-нелинейных кристаллах /Лек/	3	3	ОПК-5-31	Л1.1Л2.1 Э1 Э3 Э6			
1.5	Расчет генерации второй гармоники в кристаллах /Пр/	3	1	ПК-2-У1 ПК-3 -У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э2 Э6			
1.6	Расчет генерации суммарной частоты в кристаллах /Пр/	3	1	ПК-2-У1 ПК-3 -У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э4 Э6			Р1
1.7	Расчет генерации разностной частоты в кристаллах /Пр/	3	2	ПК-2-У1 ПК-3 -У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э5 Э6			
1.8	Расчет параметрической генерации света в кристаллах /Пр/	3	2	ПК-2-У1 ПК-3 -У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э2 Э6			Р2
1.9	Контрольная работа № 1 /Пр/	3	2	ОПК-5-31	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э3 Э6		КМ1	
1.10	Подготовка к лекциям и практическим занятиям /Ср/	3	19	ОПК-5-31	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э3 Э6			
	<b>Раздел 2. Кристаллы в нелинейной оптике сред с кубичной нелинейностью</b>							
2.1	Кубичная нелинейность и фазовый синхронизм /Лек/	3	2	ОПК-5-31	Л1.1Л2.1 Э1 Э3 Э6			
2.2	Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) /Лек/	3	2	ОПК-5-31	Л1.1Л2.1 Э1 Э3 Э6			
2.3	Обзор и характеристика ВКР-активных кристаллов /Лек/	3	2	ОПК-5-31	Л1.1Л2.1 Э1 Э3 Э6			
2.4	Преобразование частоты лазерного излучения в кубично-нелинейных ВКР-активных кристаллах /Лек/	3	2	ОПК-5-31	Л1.1Л2.1 Э1 Э3 Э6			
2.5	Расчет однопроходного ВКР-преобразования частоты лазерного излучения в кристаллах /Пр/	3	2	ПК-2-У1 ПК-3 -У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э2 Э6			Р3
2.6	Расчет внешнерезонаторного ВКР-преобразования частоты лазерного излучения в кристаллах /Пр/	3	2	ПК-2-У1 ПК-3 -У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э4 Э6			

2.7	Расчет внутривибронаторного ВКР-преобразования в нелинейных кристаллах и ВКР-самопреобразования непосредственно в лазерных кристаллах /Пр/	3	2	ПК-2-У1 ПК-3-У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э5 Э6			Р4
2.8	Расчет комбинационно-параметрического преобразования частоты лазерного излучения в кристаллах /Пр/	3	1	ПК-2-У1 ПК-3-У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э2 Э6			
2.9	Контрольная работа № 2 /Пр/	3	2	ОПК-5-31	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э3 Э6		КМ2	
2.10	Подготовка к лекциям и практическим занятиям /Ср/	3	19	ОПК-5-31	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э3 Э6			

### 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. Преобразование частоты лазерного излучения в квадратично-нелинейных кристаллах.	ОПК-5-31; ПК-2-У1; ПК-3-У1	Расчет преобразования частоты лазерного излучения в квадратично-нелинейных кристаллах по индивидуальному заданию преподавателя.
КМ2	Контрольная работа № 2. Преобразование частоты лазерного излучения в кубично-нелинейных ВКР-активных кристаллах.	ОПК-5-31; ПК-2-У1; ПК-3-У1	Расчет преобразования частоты лазерного излучения в кубично-нелинейных ВКР-кристаллах по индивидуальному заданию преподавателя.

КМЗ	Экзамен	ОПК-5-31;ПК-2-У1;ПК-3-У1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Двухлучепреломление и фазовый синхронизм в одноосном кристалле.</li> <li>2. Двухлучепреломление и фазовый синхронизм в двуосном кристалле.</li> <li>3. Угловая ширина фазового синхронизма и эффект сноса.</li> <li>4. Кристалл KDP в нелинейной оптике.</li> <li>5. Кристалл ВВО в нелинейной оптике.</li> <li>6. Кристалл LiNbO<sub>3</sub> в нелинейной оптике.</li> <li>7. Кристалл КТР в нелинейной оптике.</li> <li>8. Кристалл LBO в нелинейной оптике.</li> <li>9. Эффект вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР).</li> <li>10. Кристалл Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> в нелинейной оптике.</li> <li>11. Кристалл KGd(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> в нелинейной оптике.</li> <li>12. Кристалл BaWO<sub>4</sub> в нелинейной оптике.</li> <li>13. Кристалл CaCO<sub>3</sub> в нелинейной оптике.</li> <li>14. CVD-алмаз в нелинейной оптике.</li> <li>15. Расчет характеристик однорезонаторного параметрического генератора света на кристалле ZnGeP<sub>2</sub> (ZGP) с наносекундной накачкой.</li> <li>16. Расчет характеристик однопроходного параметрического генератора света на кристалле CdSiP<sub>2</sub> (CSP) с пикосекундной накачкой.</li> <li>17. Расчет характеристик пикосекундного генератора разностной частоты на кристалле CdSe (CDSE).</li> <li>18. Расчет характеристик генератора суммарной частоты на кристалле LiB<sub>3</sub>O<sub>5</sub> (LBO) для пикосекундного неодимового лазера, генерирующего на основной и второй гармонике.</li> <li>19. Расчет характеристик наносекундного генератора разностной частоты на кристалле KTiOAsO<sub>4</sub> (KTA).</li> <li>20. Расчет характеристик генератора суммарной частоты на кристалле KN<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (KDP) для наносекундного неодимового лазера, генерирующего на основной и второй гармонике.</li> <li>21. Расчет характеристик генератора второй гармоники на кристалле LiNbO<sub>3</sub> для нано-секундного неодимового лазера.</li> <li>22. Расчет характеристик внешнерезонаторного ВКР-преобразователя частоты лазерного излучения на кристалле KGd(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (KGW) с наносекундной накачкой.</li> <li>23. Расчет характеристик однопроходного ВКР-преобразователя частоты лазерного излучения на кристалле Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> с пикосекундной накачкой.</li> <li>24. Расчет характеристик однопроходного ВКР-преобразователя частоты лазерного излучения на кристалле BaWO<sub>4</sub> с наносекундной накачкой.</li> <li>25. Расчет характеристик внешнерезонаторного ВКР-преобразователя частоты лазерного излучения на кристалле CVD-алмаза с непрерывной накачкой.</li> <li>26. Расчет характеристик генератора второй гармоники на кристалле KTiOPO<sub>4</sub> (КТР) для пикосекундного неодимового лазера.</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
Р1	Практическая работа № 1. Нелинейно-оптическое преобразование с увеличением частоты в квадратично-нелинейном кристалле.	ПК-2-У1;ПК-3-У1	Расчет нелинейно-оптического преобразования с увеличением частоты в квадратично-нелинейном кристалле по индивидуальному заданию преподавателя.

P2	Практическая работа № 2. Нелинейно-оптическое преобразование с уменьшением частоты в квадратично-нелинейном кристалле.	ПК-2-У1;ПК-3-У1	Расчет нелинейно-оптического преобразования с уменьшением частоты в квадратично-нелинейном кристалле по индивидуальному заданию преподавателя.
P3	Практическая работа № 3. Однопроходное ВКР в кристаллах.	ПК-2-У1;ПК-3-У1	Расчет однопроходного ВКР-преобразования в кристаллах.
P4	Практическая работа № 4. ВКР-преобразование в оптическом резонаторе.	ПК-2-У1;ПК-3-У1	Расчет ВКР-преобразования в кристалле, помещенном в оптический резонатор.

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

Экзаменационный билет состоит из двух теоретических вопросов и одной задачи. Задачи в билетах являются типовыми и подобными решаемым в процессе освоения дисциплины. Билеты хранятся на кафедре.

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

Промежуточная аттестация - выполнение всех контрольных работ. В случае невыполнения защита невыполненных работ переносится на экзамен в дополнение к экзаменационному билету.

Экзаменационная оценка формируется как среднеарифметическая из оценок за ответ на экзамене и за контрольные работы в процессе освоения дисциплины.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Рекомендуемая литература

#### 6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Блистанов А. А.	Кристаллы квантовой и нелинейной оптики: учебное пособие для студ. вузов спец. - 'Микроэлектроника и твердотельная электроника', 'Электроника и микроэлектроника'	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2007

#### 6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Шандаров С. М.	Введение в нелинейную оптику: учебное пособие	Электронная библиотека	Томск: ТУСУП, 2012

#### 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	Полнотекстовая электронная библиотека МИСиС	<a href="http://elibrary.misis.ru/">http://elibrary.misis.ru/</a>
Э2	База данных Scopus	<a href="https://www.scopus.com">https://www.scopus.com</a>
Э3	Электронная библиотека Elibrary	<a href="http://elibrary.ru/">http://elibrary.ru/</a>
Э4	IEEE Digital Library	<a href="http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp">http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp</a>
Э5	Цифровая Библиотека SPIE	<a href="http://spiedigitallibrary.org">http://spiedigitallibrary.org</a>
Э6	Технические консультационные услуги и обучение в области фотоники	<a href="http://www.as-photonics.com/">http://www.as-photonics.com/</a>

### 6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Лицензии ПО Windows Server CAL ALNG LicSAPk MVL DvcCAL, ПО WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr и PerUsr
П.2	Win Pro 10 32-bit/64-bit
П.3	Creative Cloud for teams All Apps Multiple Platforms Multi European Language
П.4	LMS Canvas
П.5	MS Teams
П.6	MATCAD

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

И.1	Полнотекстовая электронная библиотека МИСиС ( <a href="http://elibrary.misis.ru/">http://elibrary.misis.ru/</a> )
И.2	База данных Scopus ( <a href="https://www.scopus.com">https://www.scopus.com</a> )
И.3	Электронная библиотека Elibrary ( <a href="http://elibrary.ru/">http://elibrary.ru/</a> )
И.4	IEEE Digital Library ( <a href="http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp">http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp</a> )
И.5	Цифровая Библиотека SPIE ( <a href="http://spiedigitallibrary.org">http://spiedigitallibrary.org</a> )
И.6	Технические консультационные услуги и обучение в области фотоники ( <a href="http://www.as-photonics.com/">http://www.as-photonics.com/</a> )

### 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
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.
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
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
К-420	Аудитория для самостоятельной работы	стационарные компьютеры - 10 шт., пакет лицензионных программ MS Office, доска аудиторная меловая/маркерная, комплект учебной мебели

### 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Дисциплина «Кристаллы в нелинейной оптике» требует значительного объема самостоятельной работы студента. Студентам рекомендуется с самого начала освоения данного курса работать с литературой и предлагаемыми заданиями в форме подготовки к очередному аудиторному занятию. 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 НИТУ "МИСиС", а также электронными базами учебной литературы, в соответствии с настоящей программой. Подготовка к практическим занятиям предусматривает проработку теоретического материала по теме предстоящего практического занятия, изучение теории и программы расчета.