

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 31.08.2023 11:06:06

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)

# Кристаллы в квантовой электронике

Закреплена за подразделением

Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков

Направление подготовки

22.04.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ

Профиль

Квалификация

Магистр

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

4 ЗЕТ

Часов по учебному плану

144

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 2

аудиторные занятия

51

самостоятельная работа

57

часов на контроль

36

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	2 (1.2)		Итого	
	18			
Неделя	УП	РП	УП	РП
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
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

*дфмн, проф., Сметанин Сергей Николаевич*

Рабочая программа

**Кристаллы в квантовой электронике**

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-23-4.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

22.04.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков**

Протокол от 14.06.2022 г., №13-21/22

Руководитель подразделения Оганов А.Р.

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	Цель освоения дисциплины - формирование компетенций в соответствии с учебным планом; изучение свойств 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 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
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Методы электронной микроскопии для материалов твердотельной электроники	
2.1.2	Рост кристаллов	
2.1.3	Технология получения кристаллов	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
2.2.1	Кристаллические компоненты акустоэлектроники	
2.2.2	Материалы и элементы спинтроники и спинволновой оптики	
2.2.3	Микросхемотехника	
2.2.4	Наноматериалы в современной твердотельной электронике	
2.2.5	Нелинейные кристаллы	
2.2.6	Оптические явления в кристаллах. Часть 2	
2.2.7	Применение лазерных систем	
2.2.8	Солнечная энергетика	
2.2.9	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.10	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	

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

<b>ОПК-1: Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области материаловедения и технологии материалов и знаний в междисциплинарных областях</b>
<b>Знать:</b>
ОПК-1-31 Физические и кристаллохимические свойства оптических кристаллов; характеристики эффектов твердотельной лазерной физики и нелинейной оптики; требования к оптическим кристаллам для разработки активных элементов современной квантовой электроники.
<b>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</b>
<b>Уметь:</b>
ПК-3-У1 Прогнозировать возможности применения оптических кристаллов в качестве активных элементов современной квантовой электроники; осуществлять и обосновывать рациональный выбор оптических материалов для создания оптических элементов квантовой электроники с заданными свойствами и характеристиками.

**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. Ионы-активаторы кристаллов квантовой электроники</b>							
1.1	Обзор ионов-активаторов лазерных кристаллов /Лек/	2	2	ОПК-1-31	Л1.1Л2.2 Э1 Э3			
1.2	Построение электронных оболочек атома по принципу Паули /Пр/	2	2	ПК-3-У1	Л1.1Л2.2Л3. 1 Э1 Э2			
1.3	Модель Рассела-Саундерса для ионов иттербия и неодима /Лек/	2	2	ОПК-1-31	Л1.1Л2.2 Э1 Э3			

1.4	Таблица Менделеева и недоукомплектованные внутренние электронные оболочки /Пр/	2	2	ПК-3-У1	Л1.1Л2.2Л3. 1 Э4 Э5			
1.5	Контрольная работа № 1 /Пр/	2	2	ПК-3-У1 ОПК -1-31	Л1.1Л2.2Л3. 1 Э1 Э3		КМ1	
1.6	Подготовка к лекциям и практическим занятиям /Ср/	2	13	ПК-3-У1 ОПК -1-31	Л1.1Л2.2Л3. 1 Э1 Э3			
<b>Раздел 2. Общие вопросы характеристики кристаллов квантовой электроники</b>								
2.1	Характеризация лазерных кристаллов /Лек/	2	2	ОПК-1-31	Л1.1Л2.2 Э1 Э3			
2.2	Учет монохроматичности накачки лазерного кристалла /Пр/	2	2	ПК-3-У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э2			
2.3	Кинетика инверсии населенностей в лазерной среде под действием накачки /Лек/	2	2	ОПК-1-31	Л1.1Л2.1 Э1 Э3			
2.4	Расчет инверсии населенностей в четырехуровневой лазерной среде под действием непрерывной накачки /Пр/	2	2	ПК-3-У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э4			Р1
2.5	Расчет инверсии населенностей в квазитрехуровневой лазерной среде под действием непрерывной накачки /Пр/	2	2	ПК-3-У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э5			Р2
2.6	Контрольная работа № 2 /Пр/	2	2	ПК-3-У1 ОПК -1-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э3		КМ2	
2.7	Подготовка к лекциям и практическим занятиям /Ср/	2	15	ПК-3-У1 ОПК -1-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э3			
<b>Раздел 3. Обзор наиболее актуальных кристаллов квантовой электроники</b>								
3.1	Оксидные кристаллы в твердотельной квантовой электронике /Лек/	2	2	ОПК-1-31	Л1.1Л2.1 Л2.2 Э1 Э3			
3.2	Характеризация кристалла Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Ti <sup>3+</sup> в качестве активной среды лазера /Пр/	2	2	ПК-3-У1	Л1.1Л2.2Л3. 1 Э1 Э2			
3.3	Характеризация кристалла ИАГ:Yb <sup>3+</sup> в качестве активной среды лазера /Пр/	2	2	ПК-3-У1	Л1.1Л2.2Л3. 1 Э1 Э4			
3.4	Неоксидные кристаллы в твердотельной квантовой электронике /Лек/	2	2	ОПК-1-31	Л1.1Л2.1 Л2.2 Э1 Э3			
3.5	Характеризация кристалла YLiF <sub>4</sub> :Nd <sup>3+</sup> в качестве активной среды лазера /Пр/	2	2	ПК-3-У1	Л1.1Л2.2Л3. 1 Э1 Э5			
3.6	Характеризация кристалла LiF:F <sup>2-</sup> в качестве пассивного затвора лазера /Пр/	2	2	ПК-3-У1	Л1.1Л2.2Л3. 1 Э1 Э2			

3.7	Активные кристаллы для мощных твердотельных лазеров /Лек/	2	2	ОПК-1-31	Л1.1Л2.1 Э1 Э3			
3.8	Разработка активного элемента твердотельного лазера с заданными свойствами и характеристиками /Пр/	2	2	ПК-3-У1	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э4			Р3
3.9	Контрольная работа № 3 /Пр/	2	2	ПК-3-У1 ОПК -1-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э3		КМ3	
3.10	Подготовка к лекциям и практическим занятиям /Ср/	2	15	ПК-3-У1 ОПК -1-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э3			
<b>Раздел 4. Продвижение твердотельной квантовой электроники в средний инфракрасный диапазон</b>								
4.1	Лазерные кристаллы для среднего инфракрасного диапазона /Лек/	2	1	ОПК-1-31	Л1.1Л2.2 Э1 Э3			
4.2	Соактивация кристаллов для продвижения в средний инфракрасный диапазон /Лек/	2	1	ОПК-1-31	Л1.1Л2.1 Э1 Э3			
4.3	Расчет кинетики многофононной релаксации для различных оптических кристаллов /Пр/	2	2	ПК-3-У1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1 Э2			Р4
4.4	Характеризация кристалла ZnSe:Fe <sup>2+</sup> в качестве активной среды лазера /Пр/	2	2	ПК-3-У1	Л1.1Л2.2Л3. 1 Э1 Э4			
4.5	Характеризация кристалла PbGa <sub>2</sub> S <sub>4</sub> :Dy <sup>3+</sup> в качестве активной среды лазера /Пр/	2	2	ПК-3-У1	Л1.1Л2.2Л3. 1 Э1 Э5			
4.6	Продвижение в средний инфракрасный диапазон путем нелинейно-оптического преобразования частоты твердотельных лазеров /Лек/	2	1	ОПК-1-31	Л1.1Л2.1 Э1 Э3 Э6			
4.7	Контрольная работа № 4 /Пр/	2	2	ПК-3-У1 ОПК -1-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э3 Э6		КМ4	
4.8	Подготовка к лекциям и практическим занятиям /Ср/	2	14	ПК-3-У1 ОПК -1-31	Л1.1Л2.1 Л2.2Л3.1 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. Таблица Менделеева и недоукомплектованные внутренние электронные оболочки.	ОПК-1-31	1. Таблица Менделеева. 2. Принцип Паули. 3. Недоукомплектованные внутренние электронные оболочки. 4. Обзор ионов-активаторов группы переходных металлов. 5. Обзор ионов-активаторов группы редких земель.

КМ2	Контрольная работа № 2. Характеризация лазерных кристаллов.	ОПК-1-31;ПК-3-У1	1. Характеризация оксидных лазерных кристаллов. 2. Характеризация фторидных лазерных кристаллов. 3. Основные характеристики лазерного кристалла и их физический смысл.
КМ3	Контрольная работа № 3. Разработка активного элемента твердотельного лазера с заданными свойствами и характеристиками.	ПК-3-У1	1. Расчет инверсии населенностей в четырехуровневой лазерной среде под действием непрерывной накачки. 2. Расчет усиленного спонтанного излучения в лазерной среде под действием непрерывной накачки. 3. Расчет условий лазерной генерации.
КМ4	Контрольная работа № 4. Лазерные кристаллы для среднего инфракрасного диапазона.	ОПК-1-31;ПК-3-У1	1. Лазерные халькогениды. 2. Лазерные галогениды. 3. Нелинейные халькогениды.
КМ5	Экзамен	ОПК-1-31;ПК-3-У1	1. Обзор ионов-активаторов группы переходных металлов. 2. Обзор ионов-активаторов группы редких земель. 3. Модель Рассела-Саундерса для иона иттербия. 4. Модель Рассела-Саундерса для иона неодима. 5. Основные характеристики лазерного кристалла и их физический смысл. 6. Кинетика инверсии населенностей в лазерной среде. 7. Кристалл $Al_2O_3$ в лазерной физике. 8. Кристалл $BeAl_2O_4$ в лазерной физике. 9. Кристалл $YAlO_3$ в лазерной физике. 10. Кристалл $Y_3Al_5O_{12}$ в лазерной физике. 11. Кристаллы различных гранатов в лазерной физике. 12. Кристаллы вольфраматов, молибдатов и ванадатов в лазерной физике. 13. Кристаллы $ABCO_4$ (A, B, C – различные ионы) в лазерной физике. 14. Кристаллы фторидов в лазерной физике. 15. Кристаллы селенидов, сульфидов и теллуридов в лазерной физике. 16. Хлориды и бромиды - перспективные лазерные кристаллы для среднего инфракрасного диапазона. 17. Построение электронных оболочек атома по принципу Паули. 18. Учет немонохроматичности накачки лазерного кристалла. 19. Расчет инверсии населенностей в четырехуровневой лазерной среде под действием непрерывной накачки. 20. Расчет усиленного спонтанного излучения в лазерной среде под действием непрерывной накачки. 21. Характеризация кристалла $Al_2O_3:Ti^{3+}$ в качестве активной среды лазера. 22. Характеризация кристалла ИАГ: $Yb^{3+}$ в качестве активной среды лазера. 23. Характеризация кристалла $YLiF_4:Nd^{3+}$ в качестве активной среды лазера. 24. Характеризация кристалла $LiF:F_2^-$ в качестве пассивного затвора лазера. 25. Расчет характеристик активного элемента твердотельного лазера. 26. Характеризация кристалла $ZnSe:Fe^{2+}$ в качестве активной среды лазера. 27. Характеризация кристалла $PbGa_2S_4:Dy^{3+}$ в качестве активной среды лазера.

**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	Практическая работа № 1. Расчет инверсии населенностей в четырехуровневой лазерной среде под действием непрерывной накачки.	ПК-3-У1;ОПК-1-31	Аналитический расчет кинетики инверсии населенностей в кристалле ИАГ:Nd <sup>3+</sup> при непрерывной узкополосной накачке.
P2	Практическая работа № 2. Расчет инверсии населенностей в квазитрехуровневой лазерной среде под действием непрерывной накачки.	ОПК-1-31;ПК-3-У1	Аналитический расчет кинетики инверсии населенностей в кристалле ИАГ:Yb <sup>3+</sup> при непрерывной узкополосной накачке.
P3	Практическая работа № 3. Расчет характеристик активного элемента твердотельного лазера.	ОПК-1-31;ПК-3-У1	Расчет характеристик активного элемента твердотельного лазера по индивидуальному заданию преподавателя.
P4	Практическая работа № 4. Расчет кинетики многофононной релаксации для различных оптических кристаллов.	ОПК-1-31;ПК-3-У1	Аналитический расчет кинетики многофононной релаксации для различных оптических кристаллов.

### 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	Карлов Н. В.	Лекции по квантовой электронике	Электронная библиотека	Москва: Наука, 1988
Л2.2	Курляндская Г. В., Левит В. И., Васьковский В. О.	Материаловедение: монокристаллы: учебное пособие	Электронная библиотека	Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2011

#### 6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
ЛЗ.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
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
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

## 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Дисциплина «Кристаллы в квантовой электронике» 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.