

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования\_  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Химический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Высокоочищенные материалы для инфракрасной оптики

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

04.04.01 - Химия

---

Направленность образовательной программы

Химическая технология для микроэлектроники

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.03.ДВ.02.01 Высокочистые материалы для инфракрасной оптики относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1-н: Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии, химической технологии и/или смежных с химией науках	ПК-1-н.1: Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий ПК-1-н.2: Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	ПК-1-н.1: Уметь: связывать ключевые стадии процессов получения оптических материалов с оптическими, физическими и химическими свойствами веществ. Знать: главные задачи и объекты исследования дисциплины; основные закономерности физико-химических явлений и процессов, протекающих при получении неорганических материалов с заданными характеристиками. Владеть: навыками составления планов научных исследований  ПК-1-н.2: Уметь: определять экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов. Знать: стандартные методы получения, идентификации и исследования свойств веществ и материалов, расчетно-теоретические методы оценки свойств систем, правила обработки и оформления результатов	Допуск к лабораторной работе	Зачёт: Контрольные вопросы

		<p>практической работы.</p> <p>Владеть: навыками безопасной работы в химической лаборатории; планирования, осуществления процессов синтеза и очистки неорганических веществ и материалов</p>		
<p>ПК-2-н: Способен проводить информационные исследования в выбранной области химии, химической технологии и/или смежных с химией науках</p>	<p>ПК-2-н.1: Проводит поиск специализированной информации в информационных базах данных</p> <p>ПК-2-н.2: Анализирует и обобщает результаты информационного поиска по тематике проекта в области неорганической химии и/или смежных с химией науках</p>	<p>ПК-2-н.1:</p> <p>Уметь: осуществлять корректный поиск специализированной информации по синтезу, очистке и исследованию физико-химических свойств неорганических веществ и материалов</p> <p>Знать: основные требования информационной безопасности при сборе, анализе, обработке и представлении информации.</p> <p>Владеть: навыками работы с информационными базами данных (в т.ч. патентными базами данных) для поиска специализированной информации по свойствам, методам получения, очистки и анализа неорганических материалов</p> <p>ПК-2-н.2:</p> <p>Уметь: составлять отчеты по результатам информационного поиска по тематике научно-исследовательской работы по заданной форме.</p> <p>Знать: основные требования представления информации химического содержания с учетом требований библиографии.</p> <p>Владеть: навыками анализа, обобщения и представления результатов информационного поиска по тематике проекта в области неорганической химии, химического материаловедения и/или</p>	<p>Допуск к лабораторной работе</p>	<p>Зачёт:</p> <p>Контрольные вопросы</p>

		смежных с химией науках.		
--	--	--------------------------	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>3</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	1
<b>самостоятельная работа</b>	<b>43</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b> <b>Зачёт</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора- торные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Тема 1 Введение. Инфракрасное излучение тел. Источники ИК_излучения. Классификация и общая характеристика материалов для инфракрасной оптики	20	6	6	12	8
Тема 2. Кристаллические, керамические и стеклообразные ИК – материалы. Свойства. Применение	20	6	6	12	8
Тема 3. Методы получения ИК – материалов в виде массивных кристаллических заготовок	25	8	8	16	9
Тема 4. Оптические свойства инфракрасных материалов. Поглощение и рассеяние электромагнитного излучения в оптических средах	21	6	6	12	9
Тема 5. Материалы для ИК – лазеров. Стойкость оптических материалов к лазерному излучению	21	6	6	12	9
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	32	32	65	43

## Содержание разделов и тем дисциплины

Тема 1 Введение. Инфракрасное излучение тел. Источники ИК – излучения. Классификация и общая характеристика материалов для инфракрасной оптики

Природа инфракрасного (ИК) излучения. Спектр и свойства ИК излучения. Естественные и искусственные источники ИК излучения. Эталонные источники ИК излучения. Источники излучения для технических применений. ИК лазеры. Классификация и общая характеристика материалов для инфракрасной оптики.

Тема 2 Кристаллические, керамические и стеклообразные ИК – материалы. Свойства. Применение. Строение, особенности получения и использования кристаллических и стеклообразных ИК - материалов. Галиды щелочных металлов (ЩГК – NaCl, KCl, KBr, CsBr, CsI). Фториды щелочноземельных металлов (CaF<sub>2</sub>, MgF<sub>2</sub>, BaF<sub>2</sub>). Полупроводниковые оптические кристаллы. Простые (германий, кремний, углерод(алмаз), теллур, селен). Сложные полупроводниковые материалы A<sub>2</sub>B<sub>6</sub> (ZnSe, ZnS, CdS, TeCd), A<sub>3</sub>B<sub>5</sub> (AsGa, InAs, InF и др.). Другие классы материалов, применяемых в ИК – оптике.

Тема 3 Методы получения ИК – материалов в виде массивных кристаллических заготовок  
Физико-химические основы методов получения ИК материалов в виде массивных заготовок. Выращивание из расплава. Выращивание из раствора в расплаве. Выращивание кристаллов из водных растворов. Гидротермальный метод. Физическое осаждение из пара (сублимация в высоком вакууме, PVD). Горячее прессование. Метод химического осаждения из газовой фазы (CVD). Кинетические закономерности CVD – процессов. Гетерогенная кинетика и массоперенос. Структура и однородность CVD-осадков. Влияние условий осаждения на морфологию и кристаллическую структуру CVD-материалов. Сравнительная характеристика методов и особенности получения крупногабаритных заготовок.

Тема 4 Оптические свойства инфракрасных материалов. Поглощение и рассеяние электромагнитного излучения в оптических средах

Оптические свойства инфракрасных материалов. Поглощение и рассеяние электромагнитного излучения в оптических средах. Механизм возникновения оптических потерь. Собственные оптические потери. Собственное и решеточное поглощение. Поглощение на свободных носителях. Собственные потери на рассеяние. Несобственные оптические потери. Влияние примесей на поглощение. Оптические потери, связанные с колебательными переходами. Оптические потери, связанные с рассеянием на крупных включениях. Высокопрозрачные материалы для ИК – оптики.

Тема 5 Материалы для ИК – лазеров Стойкость оптических материалов к лазерному излучению  
Механизмы разрушения материалов под воздействием лазерного излучения. Критерии лучевой прочности материалов. Классификация лазерных материалов. Перспективные материалы для окон мощных инфракрасных лазеров. Получение тонкопленочных ИК материалов и их свойства. Функциональное назначение покрытий (интерференционные, защитные покрытия). Требования к покрытиям, методы получения и расчет интерференционных покрытий. Разработка методик получения интерференционных покрытий на ОЭ.

## 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:

- электронный курс "-".

## 5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

### 5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

#### 5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Допуск к лабораторной работе) для оценки сформированности компетенции ПК-1-н:

Природа инфракрасного (ИК) излучения. Спектр и свойства ИК излучения. Естественные и искусственные источники ИК излучения. Эталонные источники ИК излучения. Источники излучения для технических применений. ИК лазеры. Классификация и общая характеристика материалов для инфракрасной оптики. Строение, особенности получения и использования кристаллических и стеклообразных ИК-материалов. Галиды щелочных металлов (ЩГК – NaCl, KCl, KBr, CsBr, CsI). Фториды щелочноземельных металлов (CaF<sub>2</sub>, MgF<sub>2</sub>, BaF<sub>2</sub>). Полупроводниковые оптические кристаллы. Простые (германий, кремний, углерод(алмаз), теллур, селен). Сложные полупроводниковые материалы A<sub>2</sub>B<sub>6</sub> (ZnSe, ZnS, CdS, TeCd), A<sub>3</sub>B<sub>5</sub> (AsGa, InAs, InF и др.). Другие классы материалов, применяемых в ИК – оптике

#### 5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Допуск к лабораторной работе) для оценки сформированности компетенции ПК-2-н:

Выращивание массивных заготовок ИК материалов из расплава. Выращивание кристаллов из раствора в расплаве. Выращивание кристаллов из водных растворов. Физико-химические аспекты гидротермального метода. Физическое осаждение из пара (сублимация в высоком вакууме, PVD). Горячее прессование. Метод химического осаждения из газовой фазы (CVD). Кинетические закономерности CVD – процессов. Гетерогенная кинетика и массоперенос. Структура и однородность CVD-осадков. Влияние условий осаждения на морфологию и кристаллическую структуру CVD-материалов. Сравнительная характеристика методов и особенности получения крупногабаритных заготовок. Механизмы разрушения материалов под воздействием лазерного излучения. Критерии лучевой прочности материалов. Классификация лазерных материалов. Перспективные материалы для окон мощных инфракрасных лазеров. Получение тонкопленочных ИК материалов и их свойства. Функциональное назначение покрытий (интерференционные, защитные покрытия). Требования к покрытиям, методы получения и расчет интерференционных покрытий. Разработка методик получения интерференционных покрытий на ОЭ.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Допуск к лабораторной работе)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки

### 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

#### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой

	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1-н

1. Перечислите признаки, которые можно использовать для классификации методов выращивания объемных ИК-материалов.
2. Какие термодинамические функции возможно использовать для оценки возможности протекания процессов химического осаждения из газовой фазы?
- 3 Назовите основные механизмы примесного поглощения в кристаллах.
4. Опишите виды и требования к тонкопленочным покрытиям на оптических элементах, способы их получения.
5. Назовите отличие в строении и свойствах кристаллических и стеклообразных ИК-материалов
6. Назовите три основных условия, необходимые для работы лазера.
7. Что такое стимулированное излучение и инверсия населенности среды.
8. Перечислите основные классы материалов, которые используют для твердотельных ИК – лазеров.

#### 5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2-н

1. На каких физико-химических свойствах основаны методы получения галидов щелочных металлов (ЩГК – NaCl, KCl, KBr, CsBr, CsI).
2. Сравните оптические свойства фторидов щелочноземельных металлов (CaF<sub>2</sub>, MgF<sub>2</sub>, BaF<sub>2</sub>).



3. Каковы характерные особенности свойств простых полупроводниковых оптических кристаллов (германий, кремний) и их использования в ИК оптике?
4. Основные проблемы выращивания массивных материалов (ZnSe, ZnS, CdS, SiC) методом химического осаждения из газовой фазы.
5. В чем отличие метода выращивания кристаллов из расплава от выращивания из раствора в расплаве.
6. Основные физико-химические процессы, происходящие при выращивании кристаллов из расплава
7. Выбор оптимальных условий для выращивания кристаллов из водных растворов. Объясните на примере диаграммы Оствальда-Майерса.
8. Приведите примеры использования гидротермального метода для синтеза кристаллов.

### **Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок.
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.

### **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

Основная литература:

1. Гаврищук Евгений Михайлович. Материалы для инфракрасной оптики : получение, свойства, применение : учеб. пособие для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки 04.03.01 "Химия" и 18.03.01 "Хим. технология" и специальности 04.05.01 "Фундам. и приклад. химия" / ННГУ, РАН, Ин-т химии высокочистых веществ им. Г. Г. Девярых. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2015. - 265 с. - ISBN 978-5-91326-356-8 : 237.76., 2 экз.

Дополнительная литература:

1. Горелик Семен Самуилович. Материаловедение полупроводников и диэлектриков : учеб. для студентов вузов, обучающ. по специальности "Физика и технология материалов и компонентов электронной техники". - М. : Металлургия, 1988. - 575 с. - 2547.00., 2 экз.
2. Павлов Павел Васильевич. Физика твердого тела : учебник. - 3-е изд., стер. - М. : Высшая школа, 2000. - 494 с. - 78.54., 33 экз.
3. Панков Ж. Оптические процессы в полупроводниках : пер. с англ. / под ред. Ж. И. Алферова и В. С. Вавилова. - М. : Мир, 1973. - 456 с. : ил. - 2.17., 3 экз.
4. Оптические материалы для инфракрасной техники : справочное изд. / АН СССР, Ин-т кристаллографии. - М. : Наука, 1965. - 335 с. : граф. - 1.30., 2 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Не используется

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Микроскоп AXIOPLAN 2, фирма «Carl Zeiss», Германия с цифровой видеокамерой. Синхронный термоанализатор STA 409 PC Luxx фирмы NETZSCH, Германия. Хромато-масс-спектрометр для анализа смесей летучих соединений 890/5973N, фирма «Agilent», США.

ИК спектрометры с Фурье преобразованием IFS-113v, IFS-120, Фирма Camebax», Франция.

Установка газостатическая лабораторная, УГЛ 2000.

Установка для определения концентрации неомогенных частиц в высокочистых веществах методом лазерной ультрамикроскопии.

Установка для определения удельного сопротивления полупроводниковых материалов четырехзондовым методом.

Установка для определения поглощения в твердых прозрачных оптических средах методом фототермической спектроскопии.

Вакуумная печь СНВЭ 1.3/2.0 с вольфрамовыми нагревателями.

Пресс для горячего прессования.

Установки вакуумного нанесения интерференционных покрытий на оптические элементы ВУ-1А, ВУ-2М.

Двухцветный пирометр М780 и яркостный пирометр «Accufiber», М10.

Установки для измерения коэффициентов поглощения в ИК диапазоне и светорассеяния материалов.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки 04.04.01 - Химия.

Автор(ы): Пермин Дмитрий Алексеевич, кандидат химических наук.

Заведующий кафедрой: Пермин Дмитрий Алексеевич, кандидат химических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 28.09.2023 г., протокол № 1.