

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**

Введение в химию наноматериалов

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

04.04.01 - Химия

---

Направленность образовательной программы

Физическая химия

---

Форма обучения

очно-заочная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.03.ДВ.01.02 Введение в химию наноматериалов 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 расчетнотеоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	ПК-1-н.1: Владеть методами решения экспериментальных задач химии наноматериалов  ПК-1-н.2: Уметь применять математические модели для обработки результатов изучения свойств процессов Знать расчетнотеоретические способы решения задач в области химии наноматериалов	Собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы
ПК-2-н: Способен проводить информационные исследования в выбранной области химии, химической технологии и/или смежных с химией науках	ПК-2-н.1: Проводит поиск специализированной информации в информационных базах данных ПК-2-н.2: Анализирует и обобщает результаты информационного поиска по тематике проекта в выбранной области химии и/или смежных с химией науках	ПК-2-н.1: Владеть навыками поиска информации по заданным критериям состава и свойств исследуемых материалов  ПК-2-н.2: Уметь отсеивать ценную информацию из общего потока Знать о главных задачах и объектах исследования нанохимии как науки, ее междисциплинарных связях; о составе, строении и свойствах наноматериалов; о принципах и приемах синтеза наноматериалов; о методах исследования наноматериалов	Собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы

ПК-3-н: Способен на основе критического анализа результатов НИР оценивать перспективы их практического применения и продолжения работ в выбранной области химии, химической технологии и/или смежных с химией наук	ПК-3-н.1: Систематизирует информацию, полученную в ходе НИР, анализирует ее и сопоставляет с литературными данными ПК-3-н.2: Определяет возможные направления развития работ и перспективы практического применения полученных результатов	ПК-3-н.1: Владеть навыками прогнозирования физических и химических свойств наноматериалов, определения физико-химических характеристик наноматериалов  ПК-3-н.2: Уметь систематизировать информацию, полученную в ходе исследования наноматериалов, анализировать ее и сопоставляет с литературными данными Знать методики моделирования в современных синтезах с использованием концепции «структура-свойства».	Собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы
--	---	---	---------------	---------------------------------

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очно-заочная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>4</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>144</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>18</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>18</b>
- КСР	<b>2</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>70</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>36</b> <b>Экзамен</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,

		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора- торные работы), часы	Всего	часы
	о з ф о	о з ф о	о з ф о	о з ф о	о з ф о
Объекты исследования и методы синтеза наноматериалов	53	9	9	18	35
Свойства и методы исследования наноматериалов	53	9	9	18	35
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	144	18	18	38	70

### Содержание разделов и тем дисциплины

Объекты исследования и методы синтеза наноматериалов

Этапы развития нанотехнологий. Применение нанотехнологии в сферах человеческой деятельности и промышленного производства. Производство материалов. Наноэлектроника и вычислительная техника. Медицина и здравоохранение. Аэронавтика и космические исследования. Окружающая среда и энергетика. Проблемы национальной безопасности. Наука и образование. Кластеры. Объединенная классификация объектов нанохимии. Квантовые точки, квантовые нити (провода), квантовые ямы. Основные типы нанобъектов и наносистемы на их основе. Фуллерены. Структурные свойства фуллеренов. Фуллериты. Эндоздральные соединения. «Неклассические» эндофуллерены. Уг-леродные нанотрубки. Структура нанотрубок. Хиральность. Индексы хиральности. Классификация нанотрубок. Многослойные нанотрубки. Объекты супрамолекулярной химии. Кукурбитурил. Неорганические наноматериалы. Вискеры и их свойства. Манганиты – соединения с эффектом гигантского магнетосопротивления. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Фотонный кристалл. Классификация фотонных кристаллов. «Суперлинзы». Биокерамика. Алмазоиды. Адамантан (C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>), диамантан (C<sub>14</sub>H<sub>20</sub>) и триамантан (C<sub>18</sub>H<sub>24</sub>). Наноробот, выполненный из алмазоида. Газовые гидраты (клатраты). Кристаллические модификации газогидратов. Кластеры в газах. Методы синтеза нанокристаллических порошков. Газофазный синтез (конденсация паров). Основными закономерностями образования нанокристаллических частиц методом испарения и конденсации. Плазмохимический синтез. Основными условиями получения высокодисперсных порошков плазмохимическим методом. Плазматрон. Лазерная абляция. Осаждение из коллоидных растворов. Схема криохимической технологии. Темплатный синтез мезопористого SiO<sub>2</sub>. Схема синтеза мезопористого оксида кремния. Термическое разложение и восстановление. Схема установки каталитического пиролиза углеводородов. Механосинтез. Механосинтез с помощью АСМ. Детонационный синтез и электровзрыв. Схема синтеза наночастиц с помощью электровзрыва. Получение нанокристаллических материалов. Компактирование порошков. Динамические параметры магнитно-импульсного прессования нанокристаллического оксида Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Магнитно- импульсный метод прессования. Осаждение на подложку. Эпитаксия. Типы эпитаксии. Молекулярно-пучковая эпитаксия (МПЭ) или молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ). Технология молекулярно-лучевой эпитаксии. Преимущества и недостатки метода. Газофазная эпитаксия. Основные методы получения эпитаксиальных плёнок кремния. Эпитаксия из жидкой фазы. Топохимия. CVD-процесс (классификация по давлению, Классификация по физическим характеристикам пара). Плазменные методы. Напыление конденсацией из паровой (газовой) фазы (PVD). Схема PVD процесса. Кристаллизация аморфных сплавов. Спиннинг. Интенсивная пластическая деформация. интенсивная пластическая деформация кручением под высоким давлением. Интенсивная пластическая деформация равноканально-угловым прессованием. Литография. Схема процесса фотолитографии.

Свойства и методы исследования наноматериалов

Термодинамическое равновесие. Механическое равновесие. Виды равновесия. Условие механического равновесия наночастицы. Формула Лапласа. Условие материального равновесия наночастицы с окружающей средой. Гибридный термодинамический потенциал. Структурные и фазовые превращения. Причины изменения периода решетки малых частиц по сравнению с массивным веществом. Фриделевские осцилляции. Фононный спектр и теплоемкость. Магнитные свойства. Магнитная восприимчивость. Парамагнетизм Паули. Закон Кюри — Вейса. Аномалии магнитной восприимчивости наночастиц. Суперпарамагнитное состояние. Козэритивная сила. Магнитно-жесткие (высококозэритивные) материалы. Магнитно-мягкие материалы. Функция Ланжевена. Точка Кюри. Оптические свойства. Рассеяние и поглощение света наночастицами по сравнению с макроскопическим твердым телом. Теория Ми. Экситон — водородоподобная квазичастица, представляющая собой электронное возбуждение в диэлектрике или полупроводнике, мигрирующее по кристаллу и не связанное с переносом электрического заряда и массы. Микроструктура компактных нанокристаллических материалов. Границы раздела в компактированных наноматериалах. Особенности структуры субмикроструктурных металлов. Влияние размера зерен и границ раздела на свойства компактных наноматериалов. Аномалии механического поведения. Закону Холла-Петча. Метод Виккерса. Твердость. Методы измерения твердости. Методы измерения твердости. Прочность. Классификация прочности. Теплофизические и электрические свойства. Магнитные свойства. Капиллярные явления. Зависимость давления пара от кривизны поверхности жидкости. Капиллярная конденсация. Зависимость растворимости от кривизны поверхности растворяющихся частиц (закон Гиббса - Оствальда - Фрейндлиха).

Методы визуализации микроструктуры материалов. Оптическая микроскопия (ОМ). Электронный микроскоп. Растровая электронная микроскопия (РЭМ). Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ). Методы сканирующей зондовой микроскопии. Сканирующая туннельная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия. Электросиловая микроскопия. Магнитно-силовая микроскопия. Ближнепольная оптическая микроскопия. Принципы работы сканирующих зондовых микроскопов. Сканирующие элементы (сканеры) зондовых микроскопов. Уравнение обратного пьезоэффекта. Трехкоординатные сканеры. Нелинейность пьезокерамики. Крип пьезокерамики. Гистерезис пьезокерамики. Устройства для прецизионных перемещений зонда и образца. Шаговые электродвигатели. Формирование и обработка СЗМ изображений. Формула Фаулера-Нордгейма. Зонды для туннельных микроскопов. Измерение вольт-амперных характеристик туннельного контакта. Потенциал Леннарда-Джонса. Зондовые датчики атомно-силовых микроскопов. Кантилевер. Зависимость силы от расстояния между зондовым датчиком и образцом. Квазистатические методики МСМ. Субволновые диафрагмы. Зонды БОМ на основе оптического волокна. "Shear-force" метод контроля расстояния зонд-поверхность в ближнепольном оптическом микроскопе. Конфигурации БОМ.

#### **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.

Князев А.В., Кузнецова Н.Ю. Нанохимия. Электронное учебное пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2010. – 102 с.

[http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/2010/Knyazev\\_Kuznetsova.pdf](http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/2010/Knyazev_Kuznetsova.pdf)

#### **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 - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1-н:**

Понятие нанотехнологии. Применение нанотехнологии в сферах человеческой деятельности и промышленного производства. Классификация объектов нанохимии.

Фуллерены. Эндоздральные соединения. Углеродные нанотрубки. Индексы хиральности. Объекты супрамолекулярной химии (супермолекулы, супрамолекулярные ансамбли).

Неорганические наноматериалы (вискеры, манганиты для спинтроники, высокотемпературные сверхпроводники).

Неорганические наноматериалы (фотонные кристаллы, биокерамика, алмазоиды, дендримеры).

Газовые гидраты (клатраты). Кластеры в газах.

Методы исследования нанообъектов. Методы сканирующей зондовой микроскопии. Сканирующая туннельная микроскопия.

Методы исследования нанообъектов. Атомно-силовая микроскопия. Электросиловая микроскопия.

Магнитно-силовая микроскопия.

Методы исследования нанообъектов. Ближнепольная оптическая микроскопия. Электронная микроскопия. Просвечивающая электронная микроскопия. Растровая электронная микроскопия.

### **5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2-н:**

Методы синтеза нанокристаллических порошков. Газофазный синтез (конденсация паров).

Плазмохимический синтез (лазерная абляция). Осаждение из коллоидных растворов (реакции в мицеллах, эмульсиях и дендримерах, нанореакторы, криохимический синтез, золь-гель – технология).

Методы синтеза нанокристаллических порошков. Термическое разложение и восстановление (пиролиз).

Механосинтез. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез.

Детонационный синтез и электровзрыв. Упорядочение нестехиометрических соединений.

Получение компактных нанокристаллических материалов. Компактирование порошков. Осаждение на подложку (эпитаксия, CVD и PVD).

Получение компактных нанокристаллических материалов. Кристаллизация аморфных сплавов.

Интенсивная пластическая деформация. Литография.

### **5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-3-н:**

Влияние размерных эффектов на структурные и физико-химические свойства материалов. Структурные и фазовые превращения. Изменение параметров решетки. Термодинамические свойства.

Влияние размерных эффектов на структурные и физико-химические свойства материалов. Оптические свойства. Теория Ми. Электрофизические свойства.

Влияние размерных эффектов на структурные и физико-химические свойства материалов. Классы наноструктурированных материалов. Механические свойства. Закон Холла-Петча. Методы изучения твердости. Магнитные свойства. Коэрцитивная сила.

Достижения нанотехнологий.

### **Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Допустимый уровень знаний выше минимального. Продемонстрированы основные умения.

Оценка	Критерии оценивания
	При решении типовых заданий могут быть негрубые ошибки. Имеется набор навыков выше минимального для решения стандартных задач с некоторыми недочетами
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки. Или невозможность оценить наличие знаний, умений и навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

## 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 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.	При решении стандартных задач не	Имеется минимальный набор	Продemonстрированы базовые	Продemonстрированы базовые	Продemonстрированы навыки	Продemonстрирован творческий

	Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	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
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	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»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	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

Этапы развития нанотехнологий. Применение нанотехнологии в сферах человеческой деятельности и промышленного производства. Производство материалов. Нанoeлектроника и вычислительная техника. Медицина и здравоохранение. Аэронавтика и космические исследования. Окружающая среда и энергетика. Проблемы национальной безопасности. Наука и образование. Кластеры. Объединенная классификация объектов нанохимии. Квантовые точки, квантовые нити (провода), квантовые ямы. Основные типы нанообъектов и наносистемы на их основе. Фуллерены. Структурные свойства фуллеренов. Фуллериты. Эндоздральные соединения. «Неклассические» эндофуллерены. Углеродные нанотрубки. Структура нанотрубок. Хиральность. Индексы хиральности. Классификация нанотрубок. Многослойные нанотрубки. Объекты супрамолекулярной химии. Кукурбитурил. Неорганические наноматериалы. Вискеры и их свойства. Манганиты – соединения с эффектом



гигантского магнетосопротивления. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Фотонный кристалл. Классификация фотонных кристаллов. «Суперлинзы». Биокерамика. Алмазоиды. Адамантан ( $C_{10}H_{16}$ ), диамантан ( $C_{14}H_{20}$ ) и триамантан ( $C_{18}H_{24}$ ). Наноробот, выполненный из алмазоида. Газовые гидраты (клатраты). Кристаллические модификации газогидратов. Кластеры в газах. Методы синтеза нанокристаллических порошков. Газофазный синтез (конденсация паров). Основными закономерностями образования нанокристаллических частиц методом испарения и конденсации. Плазмохимический синтез. Основными условиями получения высокодисперсных порошков плазмохимическим методом. Плазмотрон. Лазерная абляция. Осаждение из коллоидных растворов. Схема криохимической технологии. Темплатный синтез мезопористого  $SiO_2$ . Схема синтеза мезопористого оксида кремния. Термическое разложение и восстановление. Схема установки каталитического пиролиза углеводородов. Механосинтез. Механосинтез с помощью АСМ. Детонационный синтез и электровзрыв. Схема синтеза наночастиц с помощью электровзрыва. Получение нанокристаллических материалов. Компактирование порошков. Динамические параметры магнитно-импульсного прессования нанокристаллического оксида  $Al_2O_3$ . Магнитно- импульсный метод прессования. Осаждение на подложку. Эпитаксия. Типы эпитаксии. Молекулярно-пучковая эпитаксия (МПЭ) или молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ). Технология молекулярно-лучевой эпитаксии. Преимущества и недостатки метода. Газофазная эпитаксия. Основные методы получения эпитаксиальных плёнок кремния. Эпитаксия из жидкой фазы. Топохимия. CVD-процесс (классификация по давлению, Классификация по физическим характеристикам пара). Плазменные методы. Напыление конденсацией из паровой (газовой) фазы (PVD). Схема PVD процесса. Кристаллизация аморфных сплавов. Спиннинг. Интенсивная пластическая деформация. интенсивная пластическая деформация кручением под высоким давлением. Интенсивная пластическая деформация равноканально-угловым прессованием. Литография. Схема процесса фотолитографии.

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

Термодинамическое равновесие. Механическое равновесие. Виды равновесия. Условие механического равновесия наночастицы. Формула Лапласа. Условие материального равновесия наночастицы с окружающей средой. Гибридный термодинамический потенциал. Структурные и фазовые превращения. Причины изменения периода решетки малых частиц по сравнению с массивным веществом. Фриделевские осцилляции. Фононный спектр и теплоемкость. Магнитные свойства. Магнитная восприимчивость. Парамагнетизм Паули. Закон Кюри — Вейса. Аномалии магнитной восприимчивости наночастиц. Суперпарамагнитное состояние. Коэрцитивная сила. Магнитно-жесткие (высококоэрцитивные) материалы. Магнитно-мягкие материалы. Функция Ланжевена. Точка Кюри. Оптические свойства. Рассеяние и поглощение света наночастицами по сравнению с макроскопическим твердым телом. Теория Ми. Экситон — водородоподобная квазичастица, представляющая собой электронное возбуждение в диэлектрике или полупроводнике, мигрирующее по кристаллу и не связанное с переносом электрического заряда и массы. Микроструктура компактных нанокристаллических материалов. Границы раздела в компактированных наноматериалах. Особенности структуры субмикроструктурных металлов. Влияние размера зерен и границ раздела на свойства компактных наноматериалов. Аномалии механического поведения. Закону Холла-Петча. Метод Виккерса. Твёрдость. Методы измерения твёрдости. Методы измерения твёрдости. Прочность. Классификация прочности. Теплофизические и электрические свойства. Магнитные свойства. Капиллярные явления. Зависимость давления пара от кривизны

поверхности жидкости. Капиллярная конденсация. Зависимость растворимости от кривизны поверхности растворяющихся частиц (закон Гиббса - Оствальда - Фрейндлиха).

### 5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-3-н

Методы визуализации микроструктуры материалов. Оптическая микроскопия (ОМ). Электронный микроскоп. Растровая электронная микроскопия (РЭМ). Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ). Методы сканирующей зондовой микроскопии. Сканирующая туннельная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия. Электросиловая микроскопия. Магнитно-силовая микроскопия. Ближнепольная оптическая микроскопия. Принципы работы сканирующих зондовых микроскопов. Сканирующие элементы (сканеры) зондовых микроскопов. Уравнение обратного пьезоэффекта. Трехкоординатные сканеры. Нелинейность пьезокерамики. Крип пьезокерамики. Гистерезис пьезокерамики. Устройства для прецизионных перемещений зонда и образца. Шаговые электродвигатели. Формирование и обработка СЗМ изображений. Формула Фаулера-Нордгейма. Зонды для туннельных микроскопов. Измерение вольт-амперных характеристик туннельного контакта. Потенциал Леннарда-Джонса. Зондовые датчики атомно-силовых микроскопов. Кантилевер. Зависимость силы от расстояния между зондовым датчиком и образцом. Квазистатические методики МСМ. Субволновые диафрагмы. Зонды БОМ на основе оптического волокна. "Shear-force" метод контроля расстояния зонд-поверхность в ближнепольном оптическом микроскопе. Конфигурации БОМ.

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

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых

Оценка	Критерии оценивания
	ошибок. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Отсутствие минимальных умений. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие знаний, умений и навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

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

Основная литература:

1. Рогов В. А. Технология конструкционных материалов. Нанотехнологии / Рогов В. А. - 2-е изд. ; пер. и доп. - Москва : Юрайт, 2022. - 190 с. - (Высшее образование). - URL: <https://urait.ru/bcode/490806> (дата обращения: 05.01.2022). - ISBN 978-5-534-00528-8 : 519.00. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=785727&idb=0>.
2. Старосельский В. И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : учебное пособие для вузов / В. И. Старосельский. - Москва : Юрайт, 2022. - 463 с. - (Бакалавр. Академический курс). - URL: <https://urait.ru/bcode/509181> (дата обращения: 14.08.2022). - ISBN 978-5-9916-0808-4 : 1419.00. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=818534&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Нанохимия / Сергеев Г.Б. - Москва : МГУ, 2007., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=637851&idb=0>.
2. Тимошина Ю. А. Введение в нанотехнологии : учебное пособие / Тимошина Ю. А. - Казань : КНИТУ, 2019. - 88 с. - Книга из коллекции КНИТУ - Нанотехнологии. - ISBN 978-5-7882-2719-1., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=826501&idb=0>.

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

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Юрайт", доступ к которой также предоставлен студентам.

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

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими

средствами обучения, компьютерами.

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): Князев Александр Владимирович, доктор химических наук, профессор.

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

Заведующий кафедрой: Князев Александр Владимирович, доктор химических наук.

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