

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»



«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор

РХТУ им. Д.И. Менделеева

Е.В. Хайдуков

«26» *декабря* 202*1* г.

ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО НАУЧНОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

2.6.6. НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ

Москва 2025 г.

Программа составлена профессором, д.х.н. Королевой М.Ю. и доцентом, к.х.н. Мурадовой А.Г.

## **СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ**

### **1. Основы нанотехнологии и основные типы наноструктурных материалов**

Фундаментальные понятия о наноматериалах и нанотехнологии. Классификация нанообъектов. Причины особых свойств нанообъектов. Роль межфазных границ в формировании свойств наноматериалов. Электронные свойства наночастиц. Размерный эффект. Нанотехнология, задачи и возможности нанотехнологии на современном этапе.

Общие свойства и типы нанообъектов. Равновесные и неравновесные наноструктуры, квазиравновесные и кинетически стабильные системы. Роль размерного эффекта в изменении физико-химических свойств нанообъектов. Термодинамические закономерности. Химический потенциал, растворимость, давление насыщенных паров, фазовые переходы, капиллярные явления. Кинетика процессов в наносистемах. Устойчивость нанообъектов. Границы раздела фаз. Зернограничная диффузия.

### **2. Наноструктуры и наноматериалы**

Основные типы наноструктур в электронике. Квантовые ямы, нити и точки. Гетероструктуры: способы получения, механизмы роста. Нанолитография.

Углеродные наноматериалы: наноалмаз, графен и его производные, фуллерены, углеродные нанотрубки. Способы получения и области применения.

Нанокластеры. Определение, виды нанокластеров. Особые свойства нанокластеров, отличия от атомов и наночастиц.

Нанопорошки и объемные наноструктурные материалы. Консолидированные наноматериалы. Поведение наночастиц при прессовании. Методы получения объемных наноструктурных материалов. Интенсивная пластическая деформация. Свойства наноструктур, полученных различными методами.

Наноструктуры в жидкостях: термодинамически и кинетически стабильные системы. Мицеллы, микроэмульсии, лиотропные жидкие кристаллы. Магнитные жидкости. Липосомы. Пленки Ленгмюра-Блоджетт.

Композиционные наноматериалы. Накокомпозиционные материалы с металлической, керамической и полимерной матрицей.

Пористые материалы и мембраны. Номенклатура размеров пор. Мезопористые силикаты, мезопористый углерод, молекулярные сита. Классификация мембран, мембранные процессы.

Супрамолекулярные ансамбли. Молекулярное распознавание, комплементарность. Самосборка и самоорганизация запрограммированных супрамолекулярных систем. Супрамолекулярные ансамбли в биологических системах.

### **3. Синтез наночастиц и наноматериалов в жидких средах**

Стадии процесса кристаллизации - образование центров нуклеации, рост наночастиц. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование. Критический зародыш. Влияние различных параметров системы на скорость зародышеобразования и кинетику роста нанокристаллов.

Синтез наночастиц методами осаждения. Получение наночастиц благородных металлов. Метод Туркевича и метод Браста-Шифрина. Синтез наностержней благородных металлов - роль зародышей кристаллизации и добавок ПАВ. Синтез магнитных наночастиц в полярных и неполярных средах. Стабилизация наночастиц и получение магнитных жидкостей.

Основные способы синтеза полупроводниковых наночастиц: метод контролируемого осаждения, метод молекулярных прекурсоров. Синтез анизотропных наночастиц полупроводников - наностержней, разветвленных структур.

Применение методов осаждения для синтеза наночастиц, состоящих из сплава металлов, со структурой ядро-оболочка, многослойных структур,

состоящих из металлов, магнитных материалов или полупроводников.

Золь-гель метод. Основные стадии процесса. Особенности гидролиза и поликонденсации в щелочной и кислой среде. Удаление растворителя: образование ксерогелей и аэрогелей. Получение золь-гель методом наноматериалов на основе оксидов кремния и титана, нанокомпозитов типа "неорганика-неорганика" и "органика-неорганика".

Синтез наночастиц в сверхкритических жидкостях. Роль сверхкритической жидкости при синтезе: растворитель, сорастворитель, анти-растворитель, растворенное вещество, реакционная среда. Схемы основных методов. Использование сверхкритической воды и диоксида углерода для получения наночастиц. Основные параметры, влияющие на морфологию синтезируемых наноматериалов.

Электрохимический метод получения наноматериалов, катодные и анодные процессы, приводящие к синтезу наноматериалов. Электроосаждение наночастиц. Формирование композитных покрытий из металла и осажденных наночастиц. Образование нанопористых материалов. Синтез нановолокон в пористых материалах.

Матричный (темплатный) синтез наночастиц и наноматериалов. Синтез наночастиц в сферических и несферических мицеллах, микроэмульсиях. Основные факторы, влияющие на размер и форму, синтезируемых наночастиц. Использование лиотропных жидкокристаллических фазах в качестве матрицы для синтеза наноматериалов. Получение мезопористых силикатов.

#### **4. Синтез наночастиц и наноматериалов в газовой фазе**

Типы прекурсоров, требования к прекурсорам и их синтез. Основные принципы – стадии подхода к выбору и дизайну прекурсоров. Парообразование бета-дикетонатов металлов. Особенности парообразования алкоксидов. Особенности парообразования циклопентадиенильных координационных

соединений – прекурсоров. Галогениды, гидриды. Примеры использования для синтеза наноматериалов.

Химические транспортные реакции. Виды транспорта. Процессы, определяющие скорость транспорта. Влияние температура и давления на направление транспорта. Примеры транспортируемых веществ. Разделение и очистка веществ посредством транспортных реакций.

Процесс химического осаждения наноматериалов из газовой фазы. Основные типы химических реакций, лежащих в основе CVD-процесса. Стадии CVD-процесса. Классификация метода CVD. Функциональные элементы CVD-установок. Параметры, регулирующие получение тонких пленок методом CVD.

CVD-метод получения углеродных наноструктур. Установки Кречмера и Вудла для синтеза фуллеренов. Синтез углеродных нанотрубок из углеродсодержащих газов.

## **5. Методы визуализации и анализа нанообъектов**

Просвечивающая и сканирующая электронная микроскопия. Сканирующая зондовая микроскопия. Аналитическая электронная микроскопия.

## **Вопросы для кандидатского экзамена по научной специальности**

### **2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы**

1. Классификация нанообъектов и наноматериалов. Причины особых свойств нанообъектов. Размерный эффект. Нанотехнология, задачи и возможности нанотехнологии на современном этапе.
2. Равновесные и неравновесные наноструктуры, квазиравновесные и кинетически стабильные системы. Термодинамические закономерности: химический потенциал, растворимость, давление насыщенных паров, фазовые переходы, капиллярные явления.
3. Равновесные и неравновесные наноструктуры, квазиравновесные и кинетически стабильные системы. Кинетика процессов в наносистемах.

Устойчивость нанообъектов.

4. Основные типы наноструктур в электронике. Квантовые ямы, нити и точки. Гетероструктуры: способы получения, механизмы роста.
5. Углеродные наноматериалы: наноалмаз. Способы получения и области применения.
6. Углеродные наноматериалы: графен и его производные. Способы получения и области применения.
7. Углеродные наноматериалы: фуллерены. Способы получения и области применения.
8. Углеродные наноматериалы: углеродные нанотрубки. Способы получения и области применения.
9. Нанокластеры. Определение, виды нанокластеров. Особые свойства нанокластеров, отличия от атомов и наночастиц.
10. Нанопорошки и объемные наноструктурные материалы. Консолидированные наноматериалы. Поведение наночастиц при прессовании. Методы получения объемных наноструктурных материалов. Интенсивная пластическая деформация.
11. Наноструктуры в жидкостях: термодинамически стабильные системы. Мицеллы, микроэмульсии, лиотропные жидкие кристаллы.
12. Наноструктуры в жидкостях: кинетически стабильные системы. Магнитные жидкости. Липосомы. Пленки Ленгмюра-Блоджетт.
13. Композиционные наноматериалы. Композиционные материалы с металлической, керамической и полимерной матрицей.
14. Пористые материалы. Номенклатура размеров пор. Мезопористые силикаты, мезопористый углерод, молекулярные сита.
15. Мембраны. Номенклатура размеров пор. Классификация мембран, мембранные процессы.
16. Супрамолекулярные ансамбли. Молекулярное распознавание,

комплементарность. Супрамолекулярные ансамбли в биологических системах.

17. Синтез наночастиц благородных металлов методами осаждения в жидких средах. Синтез наночастиц со структурой ядро-оболочка.
18. Жидкофазный синтез полупроводниковых наночастиц.
19. Синтез магнитных наночастиц и получение магнитных жидкостей.
20. Золь-гель метод синтеза наночастиц и нанопористых материалов.
21. Синтез наночастиц в сверхкритических жидкостях.
22. Электрохимические методы получения наноматериалов.
23. Матричный (темплатный) синтез наночастиц и наноматериалов. Синтез наночастиц в сферических и несферических мицеллах, микроэмульсиях, лиотропных жидкокристаллических фазах. Получение мезопористых силикатов.
24. Типы прекурсоров, требования к прекурсорам для синтеза наночастиц и наноматериалов в газовой фазе. Основные принципы – стадии подхода к выбору и дизайну прекурсоров. Парообразование соединений прекурсоров.
25. Химические транспортные реакции. Виды транспорта. Процессы, определяющие скорость транспорта. Влияние температура и давления на направление транспорта. Примеры транспортируемых веществ.
26. Процесс химического осаждения наноматериалов из газовой фазы. Основные типы химических реакций, лежащих в основе CVD-процесса. Примеры получения углеродных наноструктур CVD-методом.
27. Стадии CVD-процесса. Классификация метода CVD. Функциональные элементы CVD-установок. Параметры, регулирующие получение тонких пленок методом CVD.
28. Методы визуализации и анализа нанообъектов. Просвечивающая электронная микроскопия.
29. Методы визуализации и анализа нанообъектов. Сканирующая электронная

микроскопия. Сканирующая зондовая микроскопия. Аналитическая электронная микроскопия.

30. Методы визуализации и анализа нанообъектов. Сканирующая зондовая микроскопия.

31. Аналитическая электронная микроскопия.

## **Рекомендуемая литература**

### **Основная литература**

1. Юртов Е.В., Королева М.Ю. Процессы получения наночастиц и наноматериалов. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2010, 152 с.
2. Юртов Е.В. Наноматериалы и наноструктуры. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2010, Т. 1, 124 с., Т. 2, 148 с.
3. Ролдугин В.И. Физикохимия поверхности, ИД Интеллект, 2011 г., 568 с.

### **Дополнительная литература**

1. Шабанова, Н. А. Саркисов П. Д. Золь-гель технологии. Нанодисперсный кремнезем,. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 328 с.
2. Рыжонков Д. И., Лёвина В. В., Дзидзигури Э. Л. Наноматериалы: учебное пособие /. - 2-е изд. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. - 365 с.
3. Старостин, В. В. Материалы и методы нанотехнологий: учебное пособие. - 2-е изд. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. - 431 с.
4. Мурадова А.Г., Матвеева А.Г., Юртов Е.В., Бокштейн Б.С. Объемная и зернограничная диффузия. Методические указания по выполнению лабораторной работы, М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2018, 28 с.
5. Мурадова А.Г., Мурашова Н.М., Шарапаев А.И., Юртов Е.В. Самоорганизующиеся наноструктуры поверхностно-активных веществ. Лабораторный практикум, М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2018, 64 с.
6. Аверина Ю.М., Субчева Е.Н., Юртов Е.В., Зверева О.В. Композиционные материалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2017, 128 с.