

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

**«УТВЕРЖДАЮ»**

**Проректор по науке**

**РХТУ им. Д.И. Менделеева**



*[Handwritten signature]*

**А.А. Щербина**

**« 12 » декабря 20 22 г.**

**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО НАУЧНОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

**2.6.6. НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ**

Москва 2022 г

Программа составлена и.о. зав. кафедрой, профессором, д.х.н.  
Королевой М.Ю.

## СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

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

Основные понятия о наноматериалах и нанотехнологии. Причины особых свойств нанобъектов. Размерный эффект. Классификация нанобъектов. Нанобъекты в твердом веществе, в жидкостях и газах. Наноматериалы. Особые свойства наноматериалов. Нанотехнология. Задачи и возможности нанотехнологии на современном этапе. Природные нанобъекты. Роль наночастиц в трансграничном переносе химических элементов в окружающей среде.

Общие свойства и типы нанобъектов. Особые физические и химические свойства нанобъектов и наноструктурированных систем. Основные закономерности изменения свойств наноматериалов. Границы раздела фаз. Роль межфазных границ в формировании свойств наноматериалов. Зависимость свойств от размера частиц. Электронные свойства наночастиц. Особенности термодинамики нанобъектов. Квазиравновесие в наносистемах. Устойчивость нанобъектов. Кинетика процессов в наносистемах. Физические, химические свойства нанобъектов: наночастиц, нанотрубок и нанопроволок, аморфных неорганических наноструктур. Фракталы в описании свойств наноматериалов.

Основные типы наноструктур в электронике. Полупроводниковые наноструктуры: квантовые ямы, нити и точки. Искусственный атом, Квантовые точки. Получение квантовых точек. Литография. Квантовый лазер.

Порошки и объемные наноструктурные материалы. Ультрадисперсные материалы. Классификация порошков. Методы получения нанопорошков. Консолидированные наноматериалы. Поведение наночастиц при спекании. Методы получения объемных наноструктурных материалов. Интенсивная пластическая деформация. Свойства наноструктур, полученных различными методами.

Углеродные наноматериалы. Фуллерены, углеродные нанотрубки и нановолокна. Фуллерены и их свойства. Открытие нанотрубок. Нанотрубки и нановолокна. Основные пути получения нанотрубок и нановолокон. Физические и химические свойства нанобъектов: наночастиц, фуллеренов, нанотрубок, нановолокон. Области их применения.

## **2. Кластеры, наноструктурированные среды и перспективы развития нанотехнологии.**

Кластеры. Определение. Виды кластеров. Многоядерные комплексные соединения. Молекулярные кластеры. Кластерные материалы. Особые свойства кластеров. Неуглеродные тубулярные наноструктуры. Кластеры – как элементы наноразмерных объектов.

Наноструктуры в жидкостях. Мицеллы, микроэмульсии, нанодисперсии. Наноструктурированные гели. Кластеры в растворах. Коллоидные частицы металлов. Магнитные жидкости. Наноструктурированные стекла. Физические и химические свойства тонких пленок и поверхностных слоев, мицеллярных систем и микроэмульсий, жидких кристаллов, аэрозолей, зольей, гелей.

Наноструктурные пленки, покрытия и поверхностные слои. Наноструктурированные покрытия. Композитные покрытия. Пленки Ленгмюра-Блоджетт. Метод молекулярного наслаивания.

Пористые тела и мембраны. Физические и химические свойства нанобъектов - нанопористых тел, молекулярных сит. Номенклатура размеров пор. Мембранные процессы. Классификация мембран. Молекулярные сита. Трековые мембраны. Использование трековых мембран, как матрицы для синтеза наноструктур.

Супрамолекулярные ансамбли. Молекулярное распознавание, информация, комплементарность. Процессы переноса с носителями. Молекулярные и супрамолекулярные устройства. Самосборка и самоорганизация запрограммированных супрамолекулярных систем.

Ассемблеры и молекулярные машины. Сложившиеся и перспективные области применения наноматериалов в различных отраслях промышленности. Перспективы и проблемы использования наноматериалов и нанотехнологии в различных областях.

## **3. Основы процесса кристаллизации в жидких средах.**

Стадии процесса кристаллизации - образование центров нуклеации, рост наночастиц. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование. Критический зародыш.

Основные теории роста кристаллов. Влияние различных параметров системы на скорость зародышеобразования и кинетику роста

нанокристаллов. Способы замедления роста для синтеза наночастиц контролируемого размера.

Роль процессов Оствальдова созревания и агрегации нанокристаллов в процессах синтеза наночастиц в жидких средах. Стабилизация наночастиц в растворах - электростатическая, адсорбционная, хемосорбционная, стерическая.

Кристаллизация при пересыщении и переохлаждении. Способы кристаллизации.

#### **4. Синтез наночастиц методами осаждения.**

Основные химические реакции, приводящие к синтезу наночастиц и жидких средах и их контролируемому выделению из растворов.

Получение наночастиц золота - метод Туркевича и метод Броста. Синтез наночастиц серебра, платины, палладия и других благородных металлов. Получение наночастиц несферической формы. Синтез наностержней металлов - роль зародышей кристаллизации и добавок ПАВ. Механизм роста наностержней металлов в жидких средах. Особенности синтеза наночастиц металлов в форме кубов, призм, двадцатигранников и др.

Синтез магнитных наночастиц в полярных и неполярных средах. Стабилизация наночастиц и получение магнитных жидкостей.

Основные способы синтеза полупроводниковых наночастиц - контролируемого осаждения, построения кластеров, молекулярных прекурсоров. Основные факторы, влияющие на размер синтезируемых наночастиц полупроводников. Кинетический контроль роста наночастиц полупроводников. Синтез анизотропных наночастиц полупроводников - наностержней, разветвленных структур.

Применение методов осаждения для синтеза наночастиц, состоящих из сплава металлов, со структурой ядро-оболочка, многослойных структур. Синтез наночастиц оксида кремния и нанокомпозитов - многослойных структур, состоящих из металлов, магнитных материалов или полупроводников и оксида кремния.

#### **5. Физические методы получения наноматериалов.**

Физические методы получения наночастиц. Возгонка-десублимация. Лазерная абляция. Диспергирование в электродуговом разряде. Механическое, ультразвуковое и детонационное измельчение. Метод взрывающихся проволок. Электроискровая эрозия. Плазменная сфероидизация частиц. Криогенные методы.

Физические методы получения массивных наноструктурированных материалов. Интенсивная пластическая деформация. Направленная

кристаллизация аморфных сплавов и стекол. Прессование и спекание (разновидности спекания).

Физические методы получения пленок и покрытий. Капельный метод, метод спинингования. Метод погружения. Напыление (термическое, электронно-лучевое, магнетронное). Понятие об эпитаксии. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Литография и нанолитография.

### **6. Химические методы получения наноматериалов в газовой фазе.**

Типы прекурсоров, требования к прекурсорам и их синтез. Понятие прекурсора, возможные преимущества, требования к прекурсорам. Основные принципы – стадии подхода к выбору и дизайну прекурсоров – МОС с молекулярным строением. Типы прекурсоров, примеры реакций синтеза. Методы оценки стерических затруднений и межмолекулярных контактов. Сравнительная оценка экранирующей способности основных типов лигандов. Парообразование бета-дикетонатов металлов. Лантаноиды. Особенности парообразования алкоксидов. Особенности парообразования циклопентадиенильных координационных соединений – прекурсоров. Галогениды, гидриды. Примеры использования для синтеза наноматериалов.

Химические транспортные реакции. Экспериментальные и теоретические основы метода. Процессы, определяющие скорость транспорта. Примеры транспортируемых веществ. Разделение и очистка веществ посредством транспортных реакций.

Методы химического осаждения наноматериалов из газовой фазы, их разновидности. Стадии CVD процесса. Определение, схема процесса, основные параметры. Влияние газовой фазы на протекание процесса. Преимущества и недостатки метода. Классификация методов CVD. Функциональные элементы CVD установок. Область применения метода CVD. Получение наноматериалов при лазерном испарении атомов (абляции). Получение наночастиц путем термического разложения твердого вещества.

Методы получения (нанесения) пленок и покрытий. Классификация методов нанесения неорганических покрытий. Холодное газодинамическое напыление. Электродуговая металлизация. Газопламенное напыление. Плазменное напыление. Детонационное напыление. Вакуумно – конденсационное напыление. Функциональные схемы процессов, основные параметры, достоинства и недостатки.

Получение углеродных наноструктур посредством CVD метода. Сенсорные материалы. Синтез фуллеренов на установках Смолли (схема и принцип действия). Установки Кречмера и Вудла для синтеза фуллеренов. Области применения фуллеренов. Синтез углеродных нанотрубок (схема

установки и принцип действия). Области применения углеродных наноструктур. Морфология и свойства сенсорных материалов.

### **7. Аппаратные методы синтеза наночастиц и наноматериалов.**

*Золь-гель метод.*

Основные стадии процесса. Особенности гидролиза и поликонденсации в щелочной и кислой среде. Гелеобразование и синерезис. Удаление растворителя - образование ксерогелей и аэрогелей. Влияние состава реакционной среды и условий протекания процесса на морфологию синтезируемого наноматериала. Получение золь-гель методом наноматериалов на основе оксидов кремния и титана. Синтез золь-гель методом нанокompозитов типа "неорганика-неорганика" и "органика-неорганика".

*Синтез наночастиц в сверхкритических жидкостях.*

Классификация методов синтеза наночастиц и наноматериалов в сверхкритических жидкостях. Роль сверхкритической жидкости при синтезе - растворитель, соразтворитель, анти-растворитель, растворенное вещество, реакционная среда. Схемы основных методов.

Использование сверхкритической воды и диоксида углерода для получения наночастиц. Варианты гидро- и сольвотермального синтеза - получение наночастиц при протекании физических и химических процессов. Основные параметры, влияющие на морфологию синтезируемых наноматериалов. Периодический и непрерывный способы организации гидро- и сольвотермального синтеза. Виды автоклавов, используемых для синтеза наночастиц.

Гидро- и сольвотермальный синтез наночастиц металлов, оксидов металлов, полупроводников.

Гидротермальный синтез наночастиц цеолитов и цеолитов с нанопористой структурой.

*Синтез наночастиц при физическом воздействии на реакционную среду.*

Особенности синтеза наночастиц при микроволновом нагреве. Гидротермальный синтез с микроволновым нагревом.

Синтез наночастиц при воздействии ультрафиолетового, рентгеновского и радиоактивного излучения.

Механизм синтеза наночастиц при действии различных видов излучения.

Ультразвуковое воздействие. Синтез наночастиц с аморфной и нанокристаллической структурой.

*Образование наночастиц при распылении растворов в пламени (мокрое сжигание).*

Выпаривание и пиролиз аэрозоля. Влияние состава исходного раствора и технологических параметров процесса на размер и морфологию синтезируемых наночастиц. Способы распыления жидкости. Агломерация наночастиц и получение нанопористых материалов.

*Криохимический метод синтеза наночастиц.*

Основные стадии процесса. Способы замораживания и удаления растворителя. Используемые хладагенты.

*Электрохимический метод получения наноматериалов.*

Катодные и анодные процессы, приводящие к синтезу наноматериалов. Получение наноструктурированных покрытий. Электроосаждение наночастиц. Формирование композитных покрытий, состоящих 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. Синтез наночастиц в микроэмульсиях в сверхкритическом оксиде углерода.

Использование гексагональных и кубических жидкокристаллических фазах в качестве матрицы для синтеза наноматериалов.

Получение мезопористых силикатов.

Синтез нанокompозитов наночастица-дендример. Особенности строения дендримеров и способов формирования нанокompозитов в зависимости от уровня генерации дендримера.

*Биологические методы синтеза наночастиц.*

Внутриклеточный синтез наночастиц. Магнетобактерии, магнетосомы. Синтез наночастиц с использованием ферритина. Внеклеточный синтез наночастиц, формирование пористых иерархических структур.

*Получение наноматериалов при самоорганизации наночастиц.*

Самоорганизация под действием капиллярных, гравитационной и центробежной сил, действию электрического и магнитного поля. Матричная самоорганизация. Формирование плоских и объемных структур. Формирование сверхрешеток, упорядоченных ансамблей бинарных наночастиц. Биомиметические наноматериалы.

## Вопросы для кандидатского экзамена по научной специальности

### 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы

1. Классификация нанообъектов и наноматериалов. Конструкционные и функциональные наноматериалы. Особенности физических и химических свойства нанообъектов и наноструктурированных систем.
2. Зависимость свойств от размера частиц (кластеров, зерен). Влияние размерного фактора на свойства наноматериалов.
3. Границы раздела фаз. Роль межфазных границ в формировании свойств наноматериалов. Особенности термодинамики нанообъектов. Влияние кривизны поверхности на свойства нанообъектов.
4. Устойчивость нанодисперсий.
5. Особенности диффузионных процессов на поверхности раздела фаз. Зернограничная диффузия.
6. Наноматериалы в электронике. Полупроводниковые структуры (гетероструктуры). Квантовые точки, квантовые нити, квантовые ямы.
7. Наноразмерные порошки простых и сложных оксидов, солей и других соединений, индивидуальных металлов и сплавов. Поведение наночастиц при спекании.
8. Композиционные наноматериалы. Физические и химические свойства неорганических композиционных материалов.
9. Композиционные наноматериалы. Физические и химические свойства органических композиционных материалов.
10. Углеродные наноматериалы и наноструктуры - фуллерены, углеродные нанотрубки, графен, наноалмаз.
11. Пленки и покрытия, наноструктуры на подложках, пленки Ленгмюра-Блоджетт.
12. Пористые наноматериалы, мембраны.
13. Наноструктуры в жидких средах, мицеллы, микроэмульсии, лиотропные жидкие кристаллы.
14. Биологические наноструктуры. Биомиметика.
15. Супрамолекулярные ансамбли. Молекулярные и супрамолекулярные устройства. Ассемблеры и молекулярные машины.
16. Наноструктуры в окружающей среде. Токсичность наноматериалов.
17. Физические методы получения наночастиц.
18. Физические методы получения наноструктурированных материалов. Интенсивная пластическая деформация.
19. Физические методы получения пленок и покрытий. Эпитаксия.



20. Химические методы получения наночастиц в газовой фазе. Реакции химического осаждения из газовой фазы. Плазмохимический синтез.
21. Химические методы получения пленок и покрытий.
22. Химические методы получения нанонитей и нанотрубок. Химическое модифицирование нанотрубок.
23. Синтез наночастиц методами осаждения в жидких средах. Синтез наночастиц со структурой ядро-оболочка.
24. Золь-гель технология наночастиц и нанопористых материалов.
25. Синтез наночастиц в сверхкритических жидкостях.
26. Криохимический метод синтеза наночастиц.
27. Электрохимические методы получения наноматериалов.

### **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. Генералов, М. Б. Основные процессы криохимической нанотехнологии. Теория и методы расчета: учебное пособие - СПб.: Профессия, 2010. - 348 с.
5. 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.

6. 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.

7. 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.

