

**Программа кандидатского экзамена по научной специальности  
05.16.08 Нанотехнологии и наноматериалы (по отраслям)**

**СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ**

**1. Физикохимия наноматериалов и наноструктур**

Современные возможности и перспективы развития нанотехнологии и наноматериалов на современном этапе. История развития науки о наноматериалах и нанотехнологии. Вклад отечественных ученых.

Общие свойства и типы нанообъектов. Классификация нанообъектов. Нанообъекты в твердом веществе, в жидкостях и газах.

Особые физические и химические свойства нанообъектов и наноструктурированных систем. Зависимость свойств от размера частиц (кластеров, зерен). Влияние размерного фактора на функциональные свойства и качества наноматериалов. Особенности фазовых равновесий в наноматериалах. Основные закономерности и особенности изменения свойств наноматериалов, связь между химическим составом, структурным состоянием и свойствами наноматериалов.

Границы раздела фаз. Роль межфазных границ в формировании свойств наноматериалов. Особенности термодинамики нанообъектов. Термодинамика Гиббса и Гугенгейма в описании поверхности раздела фаз. Влияние кривизны поверхности на свойства нанообъектов.

Квазиравновесие в наносистемах. Устойчивость нанообъектов. Кинетика процессов в наноструктурированных системах. Особенности диффузионных процессов на поверхности. Зернограничная диффузия. Диффузия через поверхность раздела фаз. Мембранные процессы. Процессы изотермической перегонки (Оствальдова созревания) в наноматериалах. Структурообразование в неравновесных условиях.

Фракталы в описании свойств наноматериалов.

**2. Основные виды наноматериалов и наноструктур**

Характеристики и свойства основных классов наноматериалов: неорганические и органические наноматериалы. Конструкционные и функциональные наноматериалы. Наночастицы различной формы, порошки наноразмерных простых и сложных оксидов, солей и других соединений, индивидуальных металлов и сплавов, квантовые точки, углеродные наноматериалы, консолидированные наноматериалы, пленки и покрытия, наноструктуры на подложках, пористые наноматериалы, мембраны, наноструктуры в жидких средах, биологические наноструктуры. Биомиметика.

Физико-химия композиционных материалов. Особенности различных типов структур композиционных материалов. Физические и химические свойства неорганических и органических композиционных материалов (на основе металлической, керамической, минеральной и полимерной матриц). Характеристика наполнителей.

Наноматериалы в электронике. Полупроводниковые структуры (гетероструктуры). Квантовые точки, квантовые нити, сверхрешетки.

Супермолекулы и супрамолекулярные ансамбли. Молекулярные и супрамолекулярные устройства. Ассемблеры и молекулярные машины.

Наноструктуры в окружающей среде. Токсичность наноматериалов.

### **3. Методы анализа и исследования наноматериалов и наноструктур**

Специфика линейных измерений, химического анализа и определения структурных параметров нанообъектов.

Микроскопические методы. Предельные возможности электронной микроскопии. Растровая электронная микроскопия. Информативные возможности, пространственное разрешение, применение. Растровый электронный микроскоп – средство измерения линейных размеров в нанодиапазоне. Калибровка в нанодиапазоне, линейные меры в нанодиапазоне. Предельные возможности растровой электронной микроскопии при измерении линейных размеров нанообъектов. Просвечивающая электронная микроскопия. Реализация режимов наблюдения изображения (темное и светлое поле), микродифракции. Электронография. Просвечивающий электронный микроскоп как

средство изучения нанообъектов. Возможности просвечивающего электронного микроскопа. Требования к объектам исследования.

Сканирующая зондовая микроскопия. Туннельная и атомно-силовая зондовая микроскопия. Применение при исследовании нанообъектов.

Рентгеноспектральный микроанализ. Характеристическое рентгеновское излучение. Закономерности в рентгеновских спектрах. Тормозное рентгеновское излучение. Спектрометры с волновой и энергетической дисперсией.

Рентгеновский микроанализ с электронным зондом. Метрологические характеристики (локальность, предел обнаружения, диапазон определяемых содержаний, диапазон определяемых элементов).

Электронная спектроскопия. Оже спектроскопия и рентгенофотоэлектронная спектроскопия. Предельные возможности электронной спектроскопии.

Метрологические характеристики масс-спектрометрии вторичных ионов.

Интерферометрические методы измерения наноперемещений. Предельные возможности интерферометрии. Совмещенные установки – электронные и зондовые микроскопы с лазерными интерферометрами.

Дифракционные методы исследования нанообъектов. Дифракция рентгеновских лучей и электронов. Малоугловое рассеяние рентгеновских лучей и электронов. Применение для измерения размеров наночастиц.

Методы выявления квантово-размерных эффектов. Люминесценция, рамановское рассеяние. Применение химических зондов.

#### **4. Методы получения наноматериалов**

Физические методы получения наночастиц. Возгонка-десублимация. Лазерная абляция. Физические методы получения массивных наноструктурированных материалов. Интенсивная пластическая деформация.

Физические методы получения пленок и покрытий. Напыление (термическое, электронно-лучевое, магнетронное). Молекулярно-лучевая эпитаксия. Ионная имплантация. Литография и нанолитография.

Химические методы получения наночастиц в газовой фазе.

Синтез наночастиц методами осаждения в жидких средах. Получение наночастиц несферической формы. Синтез наночастиц, состоящих из сплава металлов, со структурой ядро-оболочка, многослойных структур.

Золь-гель технология наночастиц и нанопористых материалов. Синтез золь-гель методом нанокомпозитов типа "неорганика-неорганика" и "органика-неорганика".

Синтез наночастиц в сверхкритических жидкостях. Криохимический метод синтеза наночастиц. Электрохимические методы получения наноматериалов.

Образование нанопористых материалов.

Матричный (темплатный) синтез наночастиц и наноматериалов.

Формирование углеродных нанотрубок. Каталитический пиролиз углеводородов. Химическое модифицирование нанотрубок.

Механохимия.

Получение наноматериалов при самоорганизации наночастиц. Методы получения упорядоченных наноструктур.

**Вопросы для кандидатского экзамена по научной специальности  
05.16.08 Нанотехнологии и наноматериалы (по отраслям)**

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. Принцип действия растрового электронного микроскопа. Пространственное разрешение и информативные возможности. Ограничения на характеристики образца.
18. Принцип действия просвечивающего электронного микроскопа. Реализация режимов наблюдения изображения (темное и светлое поле), микродифракции. Требования к объектам исследования.
19. Сканирующая зондовая микроскопия. Туннельная и атомно-силовая зондовая микроскопия. Требования к объектам исследования.
20. Дифракционные методы исследования нанобъектов. Дифракция рентгеновских лучей и электронов.
21. Физические методы получения наночастиц.
22. Физические методы получения наноструктурированных материалов. Интенсивная пластическая деформация.
23. Физические методы получения пленок и покрытий. Эпитаксия.
24. Химические методы получения наночастиц в газовой фазе. Реакции химического осаждения из газовой фазы. Плазмохимический синтез.
25. Химические методы получения пленок и покрытий.
26. Химические методы получения нанонитей и нанотрубок. Химическое модифицирование нанотрубок.
27. Синтез наночастиц методами осаждения в жидких средах. Синтез наночастиц со структурой ядро-оболочка.
28. Золь-гель технология наночастиц и нанопористых материалов.
29. Синтез наночастиц в сверхкритических жидкостях.
30. Криохимический метод синтеза наночастиц.
31. Электрохимические методы получения наноматериалов.