

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

**Программа вступительных испытаний
подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре
по направлению**

28.06.01 Нанотехнологии и наноматериалы

Направленность «Нанотехнологии и наноматериалы»

Москва 2019

Разработчики программы:

- член Комиссии университета по разработке образовательных программ высшего образования подготовки научно-педагогических кадров (ПНПК) в аспирантуре – разработчик ПНПК по направлению 28.06.01 – Нанотехнологии и наноматериалы, заведующий кафедрой наноматериалов и нанотехнологии, *член-корр. РАН, д.х.н., проф. Е.В. Юртов,*

- профессор кафедры наноматериалов и нанотехнологии, *д.х.н., доц. Королева М.Ю.*

- доцент кафедры наноматериалов и нанотехнологии, *к.х.н., доц. Мурашова Н.М.*

1. Введение

Программа вступительных испытаний подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре предназначена для лиц, желающих поступить в аспирантуру ФГБОУ ВПО «РХТУ им. Д.И. Менделеева» по направлению подготовки 28.06.01 «Нанотехнологии и наноматериалы»

Программа разработана в соответствии с Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утвержденным приказом Министерства образования и науки РФ от 19 ноября 2013 г. № 1259.

Программа рекомендуется для подготовки к вступительным испытаниям выпускников технологических и технических вузов, а также институтов Российской академии наук, ведущих образовательную деятельность, в основных образовательных программах подготовки которых содержатся дисциплины (модули), рабочие программы которых аналогичны по наименованию и основному содержанию рабочим программам перечисленных ниже учебных дисциплин, преподаваемых в РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Содержание программы базируется на следующих учебных дисциплинах, преподаваемых в РХТУ им. Д.И. Менделеева:

1. «Физика», «Неорганическая химия», «Органическая химия», «Физическая химия», «Коллоидная химия», относящихся к федеральному или вузовскому компоненту блока общих математических и естественнонаучных дисциплин. Дисциплины преподаются студентам всех технологических специальностей университета (в соответствии с государственным образовательным стандартом (ГОС) высшего профессионального образования (ВПО));
2. «Физика», «Неорганическая химия», «Органическая химия», «Физическая химия», «Коллоидная химия», относящихся к базовой или вариативной части цикла математических и естественнонаучных дисциплин основных образовательных программ подготовки бакалавров по направлениям «Материаловедение», «Наноматериалы», «Химическая технология», (в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования (ФГОС ВПО));
3. «Физико-химия наноструктурированных материалов», относящейся к федеральному компоненту блока общепрофессиональных дисциплин.

Дисциплина преподается студентам, обучающимся по специальности «Наноматериалы» (ГОС ВПО);

4. «Физикохимия наночастиц и наноматериалов», «Процессы на поверхности раздела фаз», «Процессы получения наночастиц и наноматериалов, нанотехнологии», «Методы и приборы для изучения, анализа и диагностики наночастиц и наноматериалов», относящихся к федеральному компоненту блока специальных дисциплин. Дисциплины преподаются студентам, обучающимся по специальности «Наноматериалы» (ГОС ВПО);
5. «Физико-химия наноструктурированных материалов», «Газофазные процессы получения наноматериалов», «Синтез наночастиц и наноматериалов в жидких средах», «Методы и приборы для изучения наночастиц и наноматериалов», относящихся к вариативной части профессионального цикла дисциплин основной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению «Материаловедение и технологии материалов», профиль «Материаловедение и технологии наноматериалов и наносистем» (ФГОС ВО).

Программа включает перечень вопросов к вступительным испытаниям по направлению 28.06.01 «Нанотехнологии и наноматериалы» и перечень рекомендуемой литературы.

2. Содержание программы

05.16.08 «Нанотехнологии и наноматериалы»

1. Основные понятия о наноматериалах и нанотехнологии. Понятия нанообъект, наноструктура, нанотехнология, наноматериал. Основные причины особых свойств нанообъектов. История развития науки о наноструктурах и наноматериалах. Особые свойства наноматериалов. Современное состояние и перспективы развития нанотехнологии на современном этапе.

2. Общие свойства и типы нанообъектов. Классификация нанообъектов. Нанообъекты в твердом веществе, в жидкостях и газах. Причины особых свойств нанообъектов и наноструктурированных систем. Зависимость свойств от размера частиц (размерный эффект). Роль межфазных границ в формировании свойств наноматериалов.

Равновесные и неравновесные нанообъекты и наноструктуры. Структурообразование в равновесных и неравновесных системах. Особенности термодинамики нанообъектов. Влияние кривизны поверхности на термодинамические функции и межфазные равновесия.

Кинетика процессов в наносистемах. Изотермическая перегонка (Оствальдово созревание). Устойчивость нанообъектов. Зернограничная диффузия.

3. Порошки и объемные наноструктурные материалы. Классификация порошков. Ультрадисперсные материалы. Физико-химические основы получения нанопорошков. Кластеры. Консолидированные наноматериалы. Физико-химические основы получения объемных консолидированных наноматериалов. Метод Глейтера. Свойства и особенности наноструктур, полученных различными методами.

4. Основные типы наноструктур в электронике. Полупроводниковые наноструктуры: квантовые ямы, нити и точки. Гетероструктуры. Получение квантовых точек. Литография. Сверхрешетки. Квантовый лазер.

5. Углеродные наноструктуры. Физические и химические свойства углеродных наноструктур. Фуллерены, углеродные нанотрубки и нановолокна, наноалмазы, графен. Области применения углеродных наноструктур.

6. Мембраны и пористые тела. Номенклатура размеров пор. Физические и химические свойства нанопористых тел, молекулярных сит. Классификация мембран. Трековые мембраны. Области применения мембран. Нанофильтрация.

7. Композиционные материалы. Классификация композиционных материалов. Основные типы структур композиционных материалов. Характеристики матриц и наполнителей. Физические и химические свойства неорганических и органических композиционных материалов. Полимерные нанокомпозиты. Нанокерамика.

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

9. 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, золь, гелей.

10. Биологические наноструктуры. Биомиметика. Липосомы и биомембраны. Матричный синтез ДНК (репликация), и РНК (транскрипция) как работа природного ассемблера. Синтез белка на рибосоме. Молекулярное распознавание и катализ при действии ферментов. Преобразование электрического сигнала в химический на примере работы нервно-мышечного синапса. Вирусы и искусственные вирусы.

11. Супрамолекулярные ансамбли. Ассемблеры и молекулярные машины. Молекулярное распознавание, информация, комплементарность. Мембранные процессы. Процессы переноса с носителями. Молекулярные и супрамолекулярные устройства. Самосборка и самоорганизация супрамолекулярных систем.

12. Нанообъекты в окружающей среде и их опасность. Природные нанообъекты. «Черные курительщики». Шунгит. Роль наночастиц в миграции химических элементов в окружающей среде. Оценка опасности наноструктур для живых организмов и человека. Биологические эффекты воздействия наночастиц на живые организмы. Необходимость гигиенического нормирования присутствия наночастиц в окружающей среде.

13. Физические основы электронной микроскопии. Эмиссия электронов. Источники электронов (электронные пушки) для электронных микроскопов. Понятие об электронной оптике, магнитные линзы. Вакуумные условия для различных типов электронных микроскопов. Основы взаимодействия электронного пучка средних энергий с твердым телом. Радиационные повреждения исследуемого объекта.

14. Растровая электронная микроскопия. Общая схема и принцип действия растрового электронного микроскопа. Типы катодов, используемые

в растровой электронной микроскопии. Режим регистрации медленных вторичных электронов. Детектор медленных вторичных электронов. Режим регистрации обратно рассеянных электронов. Пространственное разрешение и информативные возможности. Ограничения на характеристики образца – тепло- и электропроводность.

15. Просвечивающая электронная микроскопия. Общая схема и принцип действия просвечивающего электронного микроскопа. Реализация режимов наблюдения изображения (темное и светлое поле), микродифракции. Механизмы формирования контраста изображения в просвечивающем электронном микроскопе. Требования к объектам исследования.

16. Сканирующая зондовая микроскопия. Основные физические принципы сканирующей зондовой микроскопии. Туннельная и атомно-силовая зондовая микроскопия. Информативные возможности и пространственное разрешение. Основные элементы сканирующего зондового микроскопа. Применение.

17. Дифракционные методы исследования нанообъектов. Дифракция рентгеновских лучей и электронов. Уравнения Лауэ, уравнение Вульфа-Брэггов. Связь угловой ширины дифракционного максимума и размера области рассеяния. Малоугловое рассеяние рентгеновских лучей и электронов. Применение для измерения размеров наночастиц.

18. Варианты классификации методов получения наночастиц и наноматериалов. Физические, химические, биологические и комбинированные методы. Особенности газофазных процессов получения наноматериалов. Особенности получения наноматериалов в жидких средах.

19. Физические методы получения наночастиц. Возгонка-десублимация. Способы подвода энергии для возгонки (использование внешних нагревателей; резистивный, плазменный, лучевой и электронно-лучевой нагрев). Лазерная абляция. Диспергирование в электродуговом разряде. Механическое, ультразвуковое и детонационное измельчение. Метод взрывающихся проволок. Электроискровая эрозия. Плазменная сфероидизация частиц. Криогенные методы.

20. Физические методы получения массивных наноструктурированных материалов. Интенсивная пластическая деформация. Образование наноструктур при кристаллизации аморфизированных слоев. Направленная кристаллизация аморфных сплавов и стекол. Диффузия в твердом теле. Прессование и спекание (разновидности спекания).

21. Физические методы получения пленок и покрытий. Полив и его разновидности (капельный метод, спинингование). Метод погружения. Напыление (термическое, электронно-лучевое, магнетронное). Понятие об

эпитаксии. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Формирование квантовых точек и проволок при ионном синтезе. Литография и нанолитография.

22. Химические методы получения наночастиц в газовой фазе. Реакции термического разложения. Реакции типа газ – твердое тело. Реакции химического осаждения из газовой фазы и их разновидности.

23. Химические методы получения пленок и покрытий. Химическое осаждение металлоорганических соединений из газовой фазы. Эпитаксия.

24. Химические методы получения нанонитей и нанотрубок. Формирование углеродных и неуглеродных нанотрубок из веществ слоистого строения и из веществ со структурным несоответствием. Каталитический пиролиз углеводородов. Матричный метод (матрицы-нанонити, матрицы-наноскважины, молекулярные матрицы). Химическое модифицирование нанотрубок. Реакции в полости нанотрубок.

25. Синтез наночастиц методами осаждения. Основные химические реакции, приводящие к синтезу наночастиц в жидких средах. Формирование золей. Стабилизация синтезированных наночастиц в растворах - электростатическая, адсорбционная, хемосорбционная. Синтез наночастиц в полярных и неполярных средах. Основные факторы, влияющие на размер наночастиц. Кинетический контроль роста наночастиц. Применение методов осаждения для синтеза наночастиц, состоящих из сплава металлов, со структурой ядро-оболочка.

26. Золь-гель технология наночастиц и нанопористых материалов. 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.

27. Синтез наночастиц в сверхкритических жидкостях. Схемы основных методов. Использование сверхкритической воды и диоксида углерода для получения наночастиц. Варианты гидро- и сольвотермального синтеза. Основные параметры, влияющие на морфологию синтезируемых наноматериалов. Периодический и непрерывный способы организации гидро- и сольвотермального синтеза.

28. Образование наночастиц при распылении растворов в пламени (мокрое сжигание). Выпаривание и пиролиз аэрозолей. Влияние состава исходного раствора и технологических параметров процесса на размер и морфологию синтезируемых наночастиц. Способы распыления жидкости. Агломерация наночастиц и получение нанопористых материалов.

29. Криохимический метод синтеза наночастиц. Основные стадии процесса. Сверхбыстрое охлаждение. Способы замораживания и удаления растворителя. Используемые хладоагенты.

30. Электрохимические методы получения наноматериалов. Катодные и анодные процессы, приводящие к синтезу наноматериалов. Получение тонких пленок и наноструктурированных покрытий. Электроосаждение наночастиц. Формирование композитных покрытий, состоящих из металла и осажденных наночастиц. Образование нанопористых материалов. Синтез нановолокон в пористых материалах.

31. Синтез наночастиц в мицеллах и микроэмульсии. Использование мицеллярных систем и микроэмульсий для синтеза наночастиц. Основные факторы, влияющие на размер и форму синтезируемых наночастиц. Синтез наночастиц в микроэмульсиях в сверхкритическом оксиде углерода.

3. Вопросы к вступительным испытаниям по направлению 28.06.01 «Нанотехнологии и наноматериалы»

1. Классификация нанообъектов и наноматериалов. Конструкционные и функциональные наноматериалы. Особые физические и химические свойства нанообъектов и наноструктурированных систем.

2. Зависимость свойств от размера частиц (кластеров, зерен). Влияние размерного фактора на функциональные свойства и качество наноматериалов.

3. Границы раздела фаз. Роль межфазных границ в формировании свойств наноматериалов. Особенности термодинамики нанообъектов. Влияние кривизны поверхности на свойства поверхности раздела фаз.

4. Устойчивость нанообъектов. Кинетика и механизмы взаимодействия наночастиц, процессы агрегации, флокуляции, коалесценции.

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 и органических композиционных материалов (на основе металлической, керамической, минеральной и полимерной матриц).

9. Углеродные наноматериалы и наноструктуры - фуллерены, углеродные нанотрубки, графен, наноалмаз.

10. Пленки и покрытия, наноструктуры на подложках, пленки Ленгмюра-Блоджетт.

11. Пористые наноматериалы, мембраны, мембранная технология.

12. Наноструктуры в жидких средах, мицеллы, микроэмульсии, лиотропные жидкие кристаллы.

13. Биологические наноструктуры. Биомиметика.

14. Супрамолекулярные ансамбли. Молекулярные и супрамолекулярные устройства. Ассемблеры и молекулярные машины.

15. Наноструктуры в окружающей среде. Токсичность наноматериалов.

16. Источники электронов (электронные пушки) для электронных микроскопов. Понятие об электронной оптике, магнитные линзы.

17. Общая схема и принцип действия растрового электронного микроскопа. Пространственное разрешение и информативные возможности. Ограничения на характеристики образца.

18. Общая схема и 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. Применение. Требования к объектам исследования.

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

21. Классификация методов получения наночастиц и наноматериалов. Физические, химические, биологические и комбинированные методы.

22. Физические методы получения наночастиц. Возгонка-десублимация. Лазерная абляция. Диспергирование в электродуговом разряде. Механическое, ультразвуковое и детонационное измельчение. Метод взрывающихся проволок.

23. Физические методы получения массивных наноструктурированных материалов. Направленная кристаллизация аморфных сплавов и стекол. Интенсивная пластическая деформация.

24. Физические методы получения пленок и покрытий. Полив и его разновидности (капельный метод, спинингование). Напыление (термическое, электронно-лучевое, магнетронное). Молекулярно-лучевая эпитаксия.

25. Химические методы получения наночастиц в газовой фазе. Реакции химического осаждения из газовой фазы и их разновидности. Плазмохимический синтез.

26. Химические методы получения пленок и покрытий. Химическое осаждение металлоорганических соединений из газовой фазы. Эпитаксия.

27. Химические методы получения нанонитей и нанотрубок. Каталитический пиролиз углеводородов. Матричный метод (матрицы-нанонити, матрицы-наноскважины, молекулярные матрицы). Химическое модифицирование нанотрубок.

28. Синтез наночастиц методами осаждения в жидких средах. Синтез наночастиц, состоящих из сплава металлов, со структурой ядро-оболочка.

29. Золь-гель технология наночастиц и нанопористых материалов.

30. Синтез наночастиц в сверхкритических жидкостях.

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

32. Криохимический метод синтеза наночастиц.

33. Электрохимические методы получения наноматериалов.

34. Матричный (темплатный) синтез наночастиц и наноматериалов. Использование мицеллярных систем и микроэмульсий для синтеза наночастиц.

4. Рекомендуемая литература

1. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований. Дж. Уайтсайдс, Д. Эйглер, Р. Андерс и др. / Под.ред. М.К. Роко, Р.С. Уильямса и П. Аливисатоса. Пер. с англ. – М.: Мир, 2002.-292 с.
2. Брандон Д., Каплан У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. М: Техносфера, 2004. - 384с.
3. Наноматериалы и наноструктуры: учебно-методический комплекс: в 2 т.: Т.1. / Е.В. Юртов, М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2010. – 148 с.
4. Наноматериалы и наноструктуры: учебно-методический комплекс: в 2 т.: Т.2. / Е.В. Юртов, М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2010. – 112 с.
5. Сканирующая зондовая микроскопия для исследования свойств наноматериалов: учебно-методический комплекс / Е.В. Юртов, А.А. Серцова – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2010. – 148 с.
6. Процессы получения наночастиц и наноматериалов: учебно-методический комплекс / Е.В. Юртов, М.Ю. Королева – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2010. – 152 с.
7. Функциональные нанокomпозиционные материалы и покрытия: учебно-методический комплекс / Е.В. Юртов, М.Ю. Королева – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2010. – 128 с.

8. Глезер А.М., Левашов Е.А., Королева М.Ю. Конструкционные наноматериалы: Учебно-методический комплекс дисциплины - Москва: МИСиС, 2011. - 176 с.
9. Биологические наноструктуры: учебно-методический комплекс / Н.М. Мурашова – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2010. – 152 с.
10. Суздалев И.П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. – М.: КомКнига, 2006. - 589 с.
11. Харрис П. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века. М.: Техносфера, 2003. – 336с.
12. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 192с.
13. Дьячков П.Н. Электронные свойства и применение нанотрубок – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 488 с.
14. Раков Э.Г. Нанотрубки и фуллерены. М.: Университетская книга, Логос. 2006. - 376 с.
15. Помогайло А.Д., Розенберг А.С., Уфлянд И.Е. Наночастицы металлов в полимерах. – М.: Химия. 2000 – 672 с.
16. Морохов И.Д., Трусов Л.Д., Лаповок В.И. Физические явления в ультрадисперсных средах. – М.: Наука, 1984. – 472 с.
17. Лен Ж.-М. Супрамолекулярная химия: Концепции и перспективы. Пер. с англ. - Новосибирск: Наука, Сиб. предприятие РАН, 1998.
18. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: Физматлит. 2005. - 416 с.
19. Шабанова Н.А., Попов В.В., Саркисов П.Д. Химия и технология нанодисперсных оксидов. Учеб. пособие. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006.-309 с.
20. Шабанова Н.А., Саркисов П.Д. Золь-гель технологии. Нанодисперсный кремнезем. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012 – 328 с.
21. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры: Пер. с англ. / Под ред. Ж.И. Алферова, Ю.В. Шмарцева. М.: Мир, 1989. - 582 с
22. Зернограничная диффузия и свойства наноструктурных материалов / Ю.Р. Колобов, Р.З. Валиев, Г.П. Грабовецкая и др. – Новосибирск: Наука, 2001. - 232 с.
23. Русанов А.И. Лекции по термодинамике поверхностей: Учебное пособие. – С.-Пб.: «Лань», 2013. - 240 с.
24. Алымов М.И. Порошковая металлургия нанокристаллических материалов - М.: Наука, 2007. - 169 с.

- 25.Справочник по технологии наночастиц. Пер. с англ. колл. переводчиков; науч. ред. Ярославцев А.Б., Максимовский С.Н. - М.: Научный мир, 2013. - 730 с.