



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ**

**Институт физической химии и электрохимии
им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук
(ИФХЭ РАН)**

ПРИНЯТО

**Ученым советом ИФХЭ РАН
Протокол № 3 от 20 марта 2012 г.
Председатель Ученого совета**

академик

А.Ю. Цивадзе



Рабочая программа дисциплины

Методы получения наносистем и наноматериалов

Специальность 01.04.07 - Физика конденсированного состояния

Москва

2011 год

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цели дисциплины Подготовить аспирантов к научно-исследовательской деятельности в области, связанной с разработкой и применением методов создания наносистем и наноматериалов.

Задачи дисциплины: Создание углубленного междисциплинарного представления о физике наносистем, ее практических применениях и ее месте среди других физических и химических наук. Освоение теоретических основ термодинамики и кинетики реакций получения наночастиц, основных научных принципов и методов синтеза наноматериалов различных классов твердых тел из раствора и газовой фазы, химической модификации, стабилизации наночастиц и создания нанокомпозитов и гетероструктур. Освоение возможностей классических методов исследования размера, состава и структуры наночастиц.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Данная дисциплина относится к группе специальных дисциплин отрасли науки «Физико-математические науки» и научной специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния» (Приказ Министерства образования и науки РФ от 25 февраля 2009 г. N 59 "Об утверждении Номенклатуры специальностей научных работников"). Настоящая дисциплина «Методы получения наносистем и наноматериалов» - модуль основной образовательной программы послевузовского профессионального образования (ООП ППО) по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния» - дисциплина по выбору аспиранта.

Обучающийся по данной дисциплине должен иметь фундаментальные представления о физике наносистем. Для обучения по данной дисциплине необходимо высшее образование с освоением курса по коллоидной химии в объеме для химических специальностей или физике конденсированного состояния в объеме для физических специальностей.

3 Требования к результатам освоения дисциплины

В рамках данной дисциплины углубляются и развиваются следующие компетенции:

а) общекультурные компетенции: способность к самостоятельному освоению новых методов, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности; способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и

умения; способность к проведению самостоятельной научно-исследовательской работы;

б) профессиональные компетенции: представление об основах методов создания наносистем и наноматериалов: получения наночастиц различными группами методов, синтез наноматериалов различных классов твердых тел из раствора и газовой фазы, получение наночастиц методами гомогенного и гетерогенного зародышеобразования, получение коллоидных кристаллов, химическая модификации, стабилизация наночастиц и создание нанокомпозитов и гетероструктур. Способность использовать современное программное обеспечение для анализа результатов эксперимента и компьютерного моделирования, а также теоретического анализа наносистем. Понимание общих закономерностей процессов образования наносистем и наноматериалов. Способность грамотно поставить задачи при теоретическом и экспериментальном исследовании, выбрать оптимальный метод, необходимых для их решения, способность правильно использовать полученные навыки и умения; способность систематизировать и обобщать как уже имеющуюся в литературе, так и самостоятельно полученную в ходе исследований информацию; способность проводить анализ полученных решений; способность к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности; способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения; способность к проведению самостоятельной научно-исследовательской работы.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц 180 часов.

4.1 Структура дисциплины

№ п/п	Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля	
		Все го	Всего аудит.	Из аудиторных					Сам. работа
				Лекц.	Лаб.	Прак.	КСР.		
1	Методы получения наносистем и наноматериалов	72	54	18	36			18	зачет

4.2 Содержание дисциплины

4.2.1 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел Дисциплины	Виды учебной работы, и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа
		Лек.	Лаб.	Пр.	КСР	
1	Наносистемы и их свойства	4	8			2
2	Основы термодинамики образования наносистем	4	12			8
3	Методы анализа наноразмерных материалов	4	8			4
4	Методы формирования наночастиц и наносистем	6	8			4

4.2.2 Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)	Форма проведения занятий
1	Наносистемы и их свойства	1. Введение. Предмет курса, основные определения, фундаментальные аспекты и практические приложения. Дисперсное состояние вещества. Наноразмерные системы. Размерный эффект. 2. Гомогенные и гетерогенные процессы. Основные физико-химические параметры, определяющие ход химических превращений. 3. Основы термодинамики наносистем. Фазовые диаграммы. Выбор условий синтеза. Нестехиометрия. Синтез кристаллических фаз из прекурсоров различного фазового состава: жидкой, газообразной и кристаллической фаз. 4. Кинетические особенности образования кристаллических фаз. Типы зародышеобразования. Кинетика зародышеобразования.	Лекции, семинары
2	Основы термодинамики образования наносистем	1. Основы термодинамики поверхностных явлений. Избыточные термодинамические функции. Поверхностное натяжение и	Лекции, семинары

		<p>объемные свойства веществ.</p> <p>2. Термодинамическое уравнение Гиббса для поверхности раздела фаз. Поверхностная энергия твердых тел.</p> <p>3. Влияние морфологии, рельефа и адсорбции молекул на поверхностную энергию. Состав поверхности, сегрегация компонентов в приповерхностных слоях.</p> <p>4. Неустойчивость дисперсных систем. Образование кластеров. Агрегация наночастиц.</p>	
3	Методы анализа наноразмерных материалов	<p>1. Методы анализа наноразмерных материалов. Локальность и глубина анализа. Особенности анализа высокодисперсных систем. Определение среднего размера частиц.</p> <p>2. Метод рентгеновской дифракции. Определение вклада поверхности и объема. Анализ состава и структуры отдельной наночастицы; электронная микроскопия высокого разрешения, дифракция электронов.</p> <p>3. Спектральные методы исследования. Методы с использованием синхротронного излучения. Спектроскопия электронов. Оже-электронная и рентгеновская фото-электронная спектроскопии.</p> <p>4. Количественный анализ состава поверхности и тонких пленок. Возможности туннельной и атомно-силовой микроскопии.</p>	Лекции, семинары.
4	Методы формирования наночастиц и наносистем	<p>1. Методы формирования наночастиц. Классификация методов, основные физические и химические методы.</p> <p>2. Нуклеация и агломерация. Методы вакуумной конденсации. Метод химического осаждения из газовой фазы (CVD). Пиролиз аэрозолей органических и неорганических прекурсоров.</p> <p>3. Виды плазмы. Механизмы генерации химически активных частиц. Лазерная электродисперсия.</p> <p>4. Механизм роста Пар – Жидкость-Кристалл (ПЖК), Вискеры. Коллоидный синтез нанокристаллов полупроводниковых материалов. Синтез квантовых точек.</p> <p>5. Золь-гель технология. Гидролиз.</p>	Лекции, семинары.

		Поликонденсация. Строение гелей. 6. Химическое модифицирование поверхности нанокристаллов.	
--	--	---	--

5. Образовательные технологии

1. Активные образовательные технологии: лекции, семинары и практические работы.
2. Сопровождение лекций визуальным материалом в виде слайдов, проецируемых на экран с помощью видеопроектора.
3. Участие обучаемых в научной работе и выполнении исследовательских проектов.
4. Использование специального программного обеспечения и интернет-ресурсов для обучения в ходе практических и самостоятельных работ.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Виды самостоятельной работы: в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, на компьютерах с доступом к базам данных и ресурсам Интернет, в лабораториях с доступом к лабораторному оборудованию и приборам.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, учебное и научное программное обеспечение, ресурсы Интернет.

Форма контроля знаний – зачет в конце курса, включающий теоретические вопросы и задачу.

Контрольные вопросы к зачету:

Наносистемы и их свойства

Дисперсное состояние вещества. Классификация дисперсных систем по размерности, агрегатному состоянию и структуре. Наноразмерные системы. Основные характеристики наночастиц и дисперсных систем. Размерный эффект.

Основные классы химических соединений. Кислотные и основные центры. Типы химической связи. Химические реакции: окисления-восстановления,

кислотно-основные, гидролиз, разложение. Классификация методов синтеза по фазовым состояниям исходных реагентов и продуктов реакции. Гомогенные и гетерогенные процессы. Основные физико-химические параметры, определяющие ход химических превращений. Термодинамический прогноз возможности реализации синтеза в гомогенной среде. P-T-x фазовые диаграммы, выбор условий синтеза. Нестехиометрия. Атомные дефекты.

Синтез кристаллических фаз из прекурсоров различного фазового состава: жидкой, газообразной и кристаллической фаз. Кинетические особенности образования кристаллических фаз, связанные с зародышеобразованием. Гомогенное зародышеобразование. Уравнение Гиббса-Томсона. Критическое пересыщение. Критический размер зародыша. Кинетические уравнения скорости зародышеобразования. Гетерогенное зародышеобразование. Эпитаксиальные соотношения. Образование новой фазы при участии модификаторов. Массовая кристаллизация и рост монокристаллов. Стабильные и метастабильные кристаллические фазы. Роль кинетических затруднений при образовании фаз.

Основы термодинамики образования наносистем

Основы термодинамики поверхностных явлений. Избыточные термодинамические функции. Поверхностное натяжение и свободная энергия поверхностей раздела фаз. Связь поверхностного натяжения с объемными свойствами веществ. Термодинамическое уравнение Гиббса для поверхности раздела фаз в однокомпонентных системах.

Поверхностная энергия твердых тел. Влияние морфологии, рельефа и адсорбции молекул. Состав поверхности, сегрегация компонентов в приповерхностных слоях. Неустойчивость дисперсных систем. Образование кластеров. Агрегация наночастиц, роль температуры и pH среды. Стабилизация наночастиц.

Методы анализа поверхности и наноразмерных материалов

Методы анализа поверхности. Спектроскопия электронов. Определение состава поверхности методами оже-электронной и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Количественный анализ состава поверхности и тонких пленок. Возможности туннельной и атомно-силовой микроскопии.

Методы анализа наноразмерных материалов. Локальность и глубина анализа. Особенности анализа высокодисперсных систем. Определение среднего размера частиц. Возможности и ограничения метода рентгеновской дифракции. Определение вклада поверхности и объема. Определение состава и структуры отдельной наночастицы; электронная микроскопия

высокого разрешения, дифракция электронов. Спектральные методы исследования. Методы с использованием синхротронного излучения.

Методы формирования наночастиц и наносистем

Методы формирования наночастиц. Классификация методов по принципам «снизу – вверх» и «сверху-вниз», физические и химические методы. Помол и диспергирование. Нуклеация и агломерация. Рост из пара и из растворов. Основные параметры роста наночастиц. Зарождение и рост наночастиц в гомогенной среде и на поверхности твердого тела.

Методы вакуумной конденсации. Состав и давление паров веществ. Выбор прекурсоров. Роль подложки. Эпитаксиальный и реотаксиальный рост нанокристаллических материалов. Метод молекулярных пучков. Оценка скорости роста кристаллов из газовой фазы в замкнутой ампуле для случаев различных лимитирующих стадий: испарения, массопереноса через пар и кристаллизации.

Метод химического осаждения из газовой фазы (CVD). Пиролиз аэрозолей органических и неорганических прекурсоров. Принципы выбора прекурсоров. Возможности методов. Лазерное осаждение, магнетронное осаждение. Виды плазмы. Механизмы генерации химически активных частиц. Лазерная электродисперсия. Влияние состава плазмы на структуру нанокристаллов. Синтез в проточных системах, реактор проточного типа. Рост квази-одномерных (1D) кристаллов. Механизм роста Пар-Жидкость-Кристалл (ПЖК), Вискеры. Примеры получения нитевидных нанокристаллов оксидов металлов, влияние парциального давления кислорода на морфологию кристаллов. Свойства нитевидных нанокристаллов.

Коллоидный синтез нанокристаллов полупроводниковых материалов. Синтез квантовых точек. Нуклеация в растворах в присутствии стабилизатора. Основные характеристики квантовых точек (средний размер, дисперсия размеров, концентрация).

Нуклеация и рост. Диаграмма Ла-Мера. Кинетические модели роста. Кооперативные явления в системе наночастиц; оствальдово созревание, агрегирование. Коллоидные кристаллы. Влияние пересыщения на морфологию кристаллов, контроль формы. Стабилизация нанокристаллов. Синтез гетероструктур типа «ядро-оболочка».

Золь-гель технология. Гидролиз. Поликонденсация. Переход истинный раствор – золь. Влияние растворителя, температуры, pH. Строение гелей, ксерогели. Пример получения нанодисперсного кремнезема. Линейные, двумерные и трехмерные макромолекулы. Химическое осаждение из растворов.

Реакция гидролиза. Примеры получения нанокристаллических оксидов и гидроксидов металлов. Наноккомпозиты. Соосаждение, влияние pH. Влияние растворителей. Гидрофильность и гидрофобность. Химическое модифицирование поверхности нанокристаллов.

Реакционная способность наночастиц. Природа кислотных центров на поверхности наночастиц. Влияние размера частиц и модификатора. Осаждение из сверхкритических растворов. RESS технология. Сублимационная сушка. Криохимическая технология.

Темплатный синтез. Нанореакторы. Классификация: мезопористые системы (1D), слоистые двойные гидроксиды (2D), цеолиты (3D). Структура пористых систем, характеристика пор, примеры темплатов. Мезопористый оксид кремния. Нано-реакторы.

Микроэмульсии. Обратные мицеллы и обратные эмульсии. Рост кластеров в микроэмульсиях. Организация коллоидных систем в присутствии ПАВ. Пленки Лэнгмюра-Блоджет. Примеры роста нанокристаллов оксидов металлов.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля, Наноструктурные материалы, Москва: "Академия", 2005
2. Ч. Пул, Ф. Оуэнс, Нанотехнологии, Мир материалов и технологий, Москва: Техносфера, 2005.
3. Р.А. Андриевский, Термическая стабильность наноматериалов, Успехи химии, 71, 10, 967-981.
4. Ж. И. Алферов, Двойные гетероструктуры: концепция применения в физике, электронике и технологии, Успехи физических наук, 2005, 172, 9, 1068-1086.
5. В.Ф. Киселев, С.Н. Козлов, А. В. Зотеев, Основы физики поверхности твердого тела, Москва: Изд-во МГУ, 1999.
6. И.Д. Морохов, Л.И. Трусов, В.Н. Лаповок, Физические явления в ультрадисперсных средах, Москва: Энергоатомиздат, 1984.
7. Р.З. Валиев, К.В. Александров, Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией, Москва: Логос, 2000.

б) дополнительная литература:

1. М.К. Роко, Р.С. Вильямс, П. Аливисатос, Нанотехнологии в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований, Москва: Мир, 2002.

2. М.Г. Миловидский, В.В. Чельшев, Наноразмерные кластеры в полупроводниках — новый подход к формированию свойств материалов, Физика и техника полупроводников, 1998, 32, 5, 513-530.
3. Ж.-М. Лен, Супрамолекулярная химия, Новосибирск: Наука, 1998.
4. А.И. Озерин, Наноструктуры в полимерах: получение, структура, свойства. Проблемы и достижения физико-химической и инженерной науки в области наноматериалов. Москва: ГНЦ РФ НИФХИ им. Л.Я. Карпова, 2002, 1, 186-204.
5. А.Д. Помогайло, Металлополимерные нанокompозиты с контролируемой молекулярной архитектурой, Российский химический журнал, 2002, 46, 64-73.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Интернет-ресурсы: Сайт лаборатории физико-химии модифицированных поверхностей ИФХЭ им. А. Н. Фрумкина РАН и Микро- и нанофлюидики Физического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова <http://nanofluidics.phys.msu.ru>.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

НОК располагает материально-технической базой, обеспечивающей проведение всех видов теоретической и практической подготовки, предусмотренных учебным планом, а также эффективное выполнение диссертационной работы:

Аудитория для проведения лекций, оснащенная компьютером и проектором для показа слайдов компьютерных презентаций. Компьютеры, объединенные в локальную сеть с выходом в Интернет и подключенные к международным и российским научным базам данных и электронной библиотеке с основными международными научными журналами.

Лаборатории ИФХЭ РАН оснащены мощными компьютерами с современным программным обеспечением, позволяющим производить теоретические расчеты и выполнять задачи по моделированию физико-химических процессов, связанных с коллоидными системами. Инструментальная база НОК основана на центре коллективного пользования физическими методами исследования ИФХЭ РАН. В ее составе имеются приборы для измерения краевых углов, поверхностного натяжения капиллярных эффектов, сканирующий зондовый микроскоп Solver P47 PRO, атомно-силовой микроскоп – спектрометр Force Master 402 MD, рентгено-флюороресцентный микроанализатор VRA-30 и многие другие приборы, позволяющие решить практически любую задачу физико-химического исследования. Лаборатории оснащены современными приборами для синтеза

и анализа наносистем: стеклопосуда в широком ассортименте, реакторы низкого и высокого давления, автоклавы, газовые и жидкостные хроматографы, адсорбционные установки.

Программа составлена в соответствии с требованиями приказа Минобрнауки России от 16.03.2011 № 1365 «Федеральные государственные требования к структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура)» лабораторией физикохимии модифицированных поверхностей.

Программа рассмотрена и утверждена секцией Ученого Совета ИФХЭ РАН «Физикохимия нано- и супрамолекулярных систем» (протокол №3 от 10 сентября 2011 г.)