

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»



УТВЕРЖДАЮ
Декан ФМАТ В.И. Ряжских
«31» августа 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины

«Технология изготовления нанотрубок»

Направление подготовки 27.04.01 СТАНДАРТИЗАЦИЯ И МЕТРОЛОГИЯ

Профиль Метрология наноструктур и нанотехнологий

Квалификация выпускника магистр

Нормативный период обучения 2 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2017

Автор программы

/ В.А. Небольсин /

Заведующий кафедрой
химии

/ В.А. Небольсин /

Руководитель ОПОП

/ В.А. Небольсин /

Воронеж 2017

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Ознакомление студентов с физико-химическими основами получения нанотрубок, процессами их формирования; формирование представления о процессах самоорганизации и нанотехнологии.

1.2. Задачи освоения дисциплины

Формирование у студентов знаний о проблемах развития современной науки, в том числе науки об углеродных наноматериалах, приобретение обучающимися знаний о методах получения нанотрубок; изучение современных достижений в области углеродных наноматериалов; использование передовых отечественных и зарубежных достижений в области углеродных наноматериалов при проведении научных исследований.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Химия наноматериалов» относится к дисциплинам вариативной части (дисциплина по выбору) блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Химия наноматериалов» направлен на формирование следующих компетенций:

ПВК-3 - способность использовать известные методы, способы и научные результаты для решения новых проблем.

ПВК-9 - способность ставить и решать прикладные исследовательские задачи, проводить научные эксперименты, оценивать результаты исследований, сравнивать новые экспериментальные данные с принятыми моделями для проверки их адекватности и при необходимости предлагать новые решения.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПВК-3	знать общие принципы технологии изготовления нанотрубок
	уметь анализировать и синтезировать, находящуюся в распоряжении исследователя, информацию по технологии изготовления нанотрубок и принимать на этой основе адекватные решения
	владеть методами сбора и обработки необходимых данных по технологии и метрологическому обеспечению изготовления нанотрубок
ПВК-9	знать методы выращивания и механизмы роста нанотрубок
	уметь исследовать причины появления некачественной продукции в технологии изготовления нанотрубок на производстве и разрабатывать предложения по

	предупреждению и устранению причин низкого качества продукции и управлению несоответствующей продукцией
	владеть навыками исследования причин появления некачественной продукции на производстве и разработки предложений по предупреждению и устранению причин низкого качества продукции и управлению несоответствующей продукцией

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Химия наноматериалов» составляет 8 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры	
		3	4
Аудиторные занятия (всего)	70	46	24
В том числе:			
Лекции	22	10	12
Практические занятия (ПЗ)	48	36	12
Самостоятельная работа	182	98	84
Курсовая работа	+		+
Часы на контроль	36	-	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен, зачет	+	+	+
Общая трудоемкость:			
академические часы	288	144	144
зач.ед.	8	4	4

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	СРС	Всего, час
1	Общие принципы технологии изготовления нанотрубок и	Базовые термины и понятия. Положение нанообъектов на шкале размеров. Наноматериалы. Фуллерены. Графены. Нанотрубки. Критерии определения наноматериалов: критический размер и функциональные свойства. Определение понятий: наночастица, наноструктура. Диспергационные, конденсационные и специфические методы получения наноматериалов. Структурная самоорганизация. Методы	4	8	30	42

		выращивания нанотрубок.				
2	Электродуговое распыление графита, каталитическое разложение углеводородов, абляция графита с помощью лазерного облучения, Электронно-лучевое испарение графита (кремния и др.)	Термическое разложение графита в электрической дуге. Типичная схема установок для получения нанотрубок электродуговым методом. Модификации электродугового метода: наличие частиц катализатора в зоне роста трубок, термостатирование жидким азотом, создание различных инертных атмосфер, угловая взаимная ориентация электродов, различие режимов процесса. Эффективность метода, морфология, однослойность и многослойность синтезируемых нанотрубок, загрязненность побочными продуктами. Термокatalитическое разложение ацетилена. Особенности использования C_2H_2, C_2H_5OH. Инертные газовые атмосферы. Активаторы роста (пары воды, тиофен). Качество получаемых нанотрубок. Физическая абляция и ее применение для получения нанотрубок. Типичная схема установок для получения нанотрубок методом абляции графита. Модификация метода абляции графита: использование различных буферных газов при различных давлениях, использование эксимерного, неодимового и других видов лазеров, наличие Ni- и Co-кобальтового катализатора, различие режимов процесса. Особенности нанотрубок, получаемых методом лазерной абляции. Перспективы применения сфокусированного солнечного излучения. Принцип действия электронно-лучевого испарителя. Температура подложек. Конденсация пара. Синтез неорганических нанотрубок. Кремниевые нанотрубки. Особенности синтеза. Типы катализаторов. Пространственная ориентация оси роста. Качество получаемых нанотрубок	4	8	30	42
3	Электрохимическое анодирование титана	Нанотрубки TiO_2. Анодирование титановых образцов. Состав электролита и режимы электролиза. Электрохимические ячейки для анодирования. Структура анодных пленок: барьерный и пористый слои.	4	8	30	42

		Массивы нанотрубок, сформированных на поверхности Ti. Структура и морфология нанотрубок. Формирование нанотрубок TiO ₂ из порошка анатаза. Синтез углеродных нанотрубок в нанотубулярных структурах оксидов металлов и диоксида титана.				
4	Оборудование и контроль параметров технологического процесса выращивания нанотрубок	Технологические схемы процессов изготовления нанотрубок. Серийные установки для синтеза нанотрубок. Метрологическое оборудование. Системы управления и контроля технологического процесса (температуры, давления, расхода газа, состава прекурсоров). Исследование нанотрубок Электронный микроскоп. Растровый электронный микроскоп (РЭМ). Схема работы растрового электронного микроскопа. Сканирующая зондовая микроскопия. Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ). Схема работы СТМ. Два варианта конструкции СТМ в зависимости от режима сканирования образцов: режима постоянной высоты и режима постоянного тока. Основной недостаток СТМ. Атомно-силовой микроскоп (АСМ), принцип действия АСМ и его возможности. Кантилеверы и их типы. Наноиндентор и принцип его работы. Процесс наноиндентирования	4	8	30	42
5	Методы очистки и функционализация углеродных нанотрубок	Побочные продукты: частицы аморфного углерода, частицы катализатора, частиц оксидов металлов. Методы механической обработки (фильтрование, обработка ультразвуком, центрифугирование). Очистка с использованием химически активных веществ (кислот, пероксида водорода H ₂ O ₂ и др.). Нерастворимость УНТ в органических жидкостях. Аэрогель. Хроматографический метод очистки. Термогравиметрический метод очистки. Очистка с использованием ПАВ (бензалкониум хлорид и др.). Многоступенчатая очистка УНТ.	4	8	30	42
6	Особенности структуры, свойства и	УНТ- молекула или полимер? sp ² -орбитали, σ- и π - связи. Морфология УНТ (бамбукообразная,	2	8	32	42

метрологическое обеспечение исследований нанотрубок	"ламповых абажуров", усеченных конусов, колоколообразная). Размерные ростовые эффекты: модификация химического потенциала и размерная зависимость внутреннего давления. Зависимость межслоевого расстояния от диаметра нанотрубок. Удельная поверхность нанотрубок с различным числом слоев. Хиральность. Связь хиральности с условиями роста. Метрологическое обеспечение исследований нанотрубок. Проблемы метрологического обеспечения, управляемого роста и совместимости технологических процессов выращивания нанотрубок с действующими производственными технологиями.				
Итого		22	48	182	252

5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсовой работы в 4 семестре для очной формы обучения.

Примерная тематика курсовой работы: «Изменение термодинамических свойств наночастиц золота под влиянием дисперсности»

Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы:

- построить расчетную зависимость энергии Гиббса наночастиц от величины их обратного радиуса,
- произвести расчет величины свободной поверхностной энергии в зависимости от дисперсности наночастиц,
- произвести расчет минимального давления кислорода, необходимого для окисления наночастиц, от их радиуса.

Курсовая работа включает в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПВК-3	знать общие принципы технологии изготовления нанотрубок	Степень осознанности, понимания изученного	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь анализировать и синтезировать, находящуюся в распоряжении исследователя, информацию по технологии изготовления нанотрубок и принимать на этой основе адекватные решения	Осознанность выполнения действия (умения).	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методами сбора и обработки необходимых данных по технологии и метрологическому обеспечению изготовления нанотрубок	Правильность выполнения лабораторных операций.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПВК-9	знать методы выращивания и механизмы роста нанотрубок	Степень осознанности, понимания изученного	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь исследовать причины появления	Осознанность выполнения действия (умения).	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок,

	некачественной продукции в технологии изготовления нанотрубок на производстве и разрабатывать предложения по предупреждению и устранению причин низкого качества продукции и управлению несоответствующей продукцией		ый в рабочих программах	предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками исследования причин появления некачественной продукции на производстве и разработки предложений по предупреждению и устранению причин низкого качества продукции и управлению несоответствующей продукцией	Правильность выполнения измерений и записи результатов с учетом погрешности измерений	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 3, 4 семестре для очной формы обучения по двух/четырёхбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПВК-3	знать общие принципы технологии изготовления нанотрубок	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%

	уметь анализировать и синтезировать, находящуюся в распоряжении исследователя, информацию по технологии изготовления нанотрубок и принимать на этой основе адекватные решения	Решение стандартных практических задач	Продемонстрировать верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть методами сбора и обработки необходимых данных по технологии и метрологическому обеспечению изготовления нанотрубок	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрировать верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПВК-9	знать методы выращивания и механизмы роста нанотрубок	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь исследовать причины появления некачественной продукции в технологии изготовления нанотрубок на производстве и разрабатывать предложения по предупреждению и устранению причин низкого качества продукции и управлению несоответствующ	Решение стандартных практических задач	Продемонстрировать верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

	ей продукцией			
	владеть навыками исследования причин появления некачественной продукции на производстве и разработки предложений по предупреждению и устранению причин низкого качества продукции и управлению несоответствующей продукцией	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

или

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПВК-3	знать общие принципы технологии изготовления нанотрубок	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь анализировать и синтезировать, находящуюся в распоряжении исследователя, информацию по технологии	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

	изготовления нанотрубок и принимать на этой основе адекватные решения			верный ответ во всех задачах		
	владеть методами сбора и обработки необходимых данных по технологии и метрологическому обеспечению изготовления нанотрубок	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПВК-9	знать методы выращивания и механизмы роста нанотрубок	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь исследовать причины появления некачественной продукции в технологии изготовления нанотрубок на производстве и разрабатывать предложения по предупреждению и устранению причин низкого качества продукции и управлению несоответствием	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

	щей продукцией					
	владеть навыками исследования причин появления некачественной продукции на производстве и разработки предложений по предупреждени ю и устранению причин низкого качества продукции и управлению несоответствующ щей продукцией	Решение прикладн ых задач в конкретно й предметн ой области	Задачи решены в полном объеме и получен ы верные ответы	Продемон стр ирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемон стр ирован верный ход решения в большинс тве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Префикс «нано» означает (в метрах): (ПВК-3)

- а) 10^{-3} ,
- б) 10^{-6} ,
- в) 10^{-9} ,
- г) 10^{-10} .

2. Во сколько раз увеличится свободная поверхностная энергия капле жидкого золота со средним диаметром 40 нм по сравнению с ее недисперсным массивным состоянием с площадью поверхности 6 см^2 ? Плотность жидкого золота $17 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

3. Чем определяется перспектива применения многостенных углеродных нанотрубок в качестве активных материалов суперконденсатора:

- а) возможностью понизить эквивалентное последовательное сопротивление,
- б) возможностью увеличить удельную емкость электродов суперконденсатора,
- в) низкой себестоимостью производства нанотрубок.

4. С ростом температуры сродство углеродных нанотрубок к кислороду и прочность окислов:

- а) увеличиваются,
- б) уменьшаются,
- в) не изменяются,
- г) увеличиваются, если стандартное изменение изобарно-изотермического потенциала при образовании соединений положительно, и уменьшаются, если стандартное изменение изобарно-изотермического потенциала - отрицательно.

5. Какие структуры называются наноразмерными?

- а) структуры, в которых размеры объекта сравнимы с длиной волны солнечного света,
- б) структуры, в которых размеры объекта хотя бы по одной из координат менее 100 нм,
- в) структуры, в которых размеры объекта сравнимы с длиной волны де-Бройля носителей заряда.

6. Можно ли без ухудшения энерго-мощностных характеристик суперконденсатора заменить углерод, используемый в качестве активного материала электродов, на наноструктурированный кремний:

- а) можно,
- б) нельзя, поскольку углерод более технологичен, чем кремний,
- в) нельзя, так как дебаевская длина экранирования кремния больше, чем аналогичная величина углерода.

7. Зависит ли емкость двойного электрического слоя, сформированного на высокоразвитой поверхности углерод-углеродного электродного наноматериала электрохимического конденсатора, от концентрации электропроводящего наполнителя :

- а) зависит,
- б) не зависит,
- в) зависит только при высоких концентрациях.

8. Что произойдет с капельками воды, находящимися во взвешенном состоянии в трансформаторном масле, если масло поместить в постоянное электрическое поле?

- а) Капли переместятся в направлении к одному и полюсов источника поля
- б) Водяные капли выстраиваются в линию и образуют мосты.
- в) С каплями видимых изменений не произойдет.

9. Является ли углеродная нанотрубка с замкнутыми концами, состоящими из фуллереновых полусфер, неплюской сферически замкнутой макромолекулой, т.е. полимерной структурой?

- а) Да, является.
- б) Нет, не является.

10. Чем можно объяснить смещение линий фазовых равновесий на диаграммах состояния двойных систем в сторону легкоплавкого компонента с увеличением дисперсности двухфазных наноразмерных частиц на вершине УНТ?

- а) повышением величины избыточного лапласовского давления при увеличении кривизны поверхности частицы
- б) увеличением реакционной способности вещества с увеличением его дисперсности
- в) с увеличением дисперсности двухфазных наноразмерных частиц линии фазовых равновесий на диаграммах состояния не смещаются.

11. Потеря кристаллической структуры и появление аморфной с уменьшением размера наночастиц некоторых элементов (Fe, Cr, Cd, Se) обусловлена:

- а) меньшей свободной поверхностной энергией аморфной структуры
- б) понижением температуры плавления кристаллического вещества до точки перехода к аморфному состоянию.

12. В чем заключается различие между наночастицей и кластером вещества?

- а) и наночастица, и кластер - это разные названия наноразмерной изотропной (квазиульмерной (0D)) части макроскопической фазы без различия между ними.
- б) частицы, в которых проявляются наноразмерные эффекты (кристаллическая структура и свойства существенно зависят от их размера) называются наночастицами, а кластеры - это частицы малых, но не обязательно наноскопических, размеров.
- в) кластеры - это агрегаты из нескольких атомов, ионов и молекул со слабыми не валентными связями, а наночастицы - это структуры с прочными валентными химическими связями.

13. Можно ли считать, что с точки зрения термодинамики переход от массивного вещества к нанотубулярному является фазовым переходом первого рода?

- а) да, можно, т.к. существует некоторый критический размер частиц, ниже которого проявляются свойства, характерные для нанокристаллов.
- б) нет, нельзя, т. к. размерные эффекты на всех свойствах проявляются постепенно и постепенно нарастают с уменьшением размера наночастиц.
- в) на данный вопрос нет однозначного ответа, т.к. все без исключения экспериментальные исследования на наноматериалах выполнены со значительной дисперсией размеров, а дисперсия размеров размывает

фазовый переход, если таковой имеется.

14. Изменение химического потенциала при образовании наночастиц конденсацией характеризует перенос определенного числа молей вещества из одной фазы в другую. Это число молей равно:

- а) мольному объему вещества, деленному на объем наночастицы
- б) площади поверхности наночастицы, деленной на объем наночастицы
- в) объему наночастицы, деленному на мольный объем вещества.

15. Каким из указанных способов нельзя синтезировать нанотрубчатые полупроводниковые материалы:

- а) химическое осаждение на подложку
- б) осаждение из коллоидных растворов
- в) лазерная абляция
- г) вытягиванием из расплава.

16. Токсичность наночастиц в сравнении с токсичностью макроскопических материалов тех же веществ:

- а) усиливается
- б) ослабевает
- в) не изменяется.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Оцените число атомов в сферической наночастице золота диаметром 3 нм. Радиус атома золота составляет 0,144 нм:

- а) 10^2 ;
- б) 10^3 ;
- в) 10^4 ;
- г) 10^5 .

2. Если бы в наном мире в футбол играли фуллереном, то с какого расстояния пробивался бы пенальти? (длина окружности футбольного мяча – 70 см, диаметр молекулы фуллерена – 0,7 нм).

- а) 340 нм;
- б) 11 м;
- в) 3,4 мм;
- г) 34 нм.

3. Чему равно внутреннее давление капель жидкости на вершине УНТ диаметром 35 нм. Межфазное поверхностное натяжение жидкости равно 55 мДж/м².

- а) 1,9 кПа;
- б) 29,1 кПа;
- в) 2,9 кПа;
- г) 3,0 МПа.

4. Чему равно приращение энергии Гиббса капле жидкости диаметром 10 нм на вершине УНТ. Межфазное поверхностное натяжение жидкости равно 55 мДж/м². Объем, занимаемый одним молекул жидкости, равен 0,2 м³/моль.

- а) 0,6 МДж/моль;
- б) 3,6 МДж/моль;
- в) 36 МДж/моль;
- г) 63 МДж/моль.

5. Определите линейную $\alpha(L)$, поверхностную $\alpha(S)$ и объемную $\alpha(V)$ степени диспергирования технического углерода с размерами частиц 20 мкм, если после диспергирования размер частиц станет равным 200 нм.

- а) $\alpha(L)=10^2$, $\alpha(S)=10^4$ и $\alpha(V)=10^6$;
- б) $\alpha(L)=10^3$, $\alpha(S)=10^4$ и $\alpha(V)=10^6$;
- в) $\alpha(L)=10^4$, $\alpha(S)=10^4$ и $\alpha(V)=10^6$;
- г) $\alpha(L)=10^5$, $\alpha(S)=10^4$ и $\alpha(V)=10^6$.

6. Удельная поверхность открытых одностенных углеродных нанотрубок равна 1000 м²/г, а плотность составляет 1,3 г/см³. Считая, что у всего материала отношение объема к поверхности – такое же, как и у одной трубки, оцените диаметр нанотрубки:

- а) 3 нм
- б) 30 нм
- в) 100 нм

7. Вычислите работу образования нанотрубки Si из газовой фазы диаметром 50 нм и длиной 500 нм. Свободная поверхностная энергия Si $\alpha_s=1,25$ Дж/м². Удельный объем, занимаемый одним атомом Si, $\Omega=2 \cdot 10^{-29}$ м³. Изменение химического потенциала Si при переходе из газовой фазы в твердую равно $\Delta\mu=2 \cdot 10^{-20}$ Дж.

8. В каком химическом процессе можно получить нанокристаллические частицы осаждением из коллоидного раствора:

- а) $\text{TiCl}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{TiO}_2 + 4\text{HCl}$
- б) $\text{SiCl}_4 + 2\text{H}_2 = \text{Si} + 4\text{HCl}$
- в) $2\text{Ga} + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Ga}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2$.

9. Температура фазового перехода твердое тело → жидкость макроскопического образца Au равна 1064 °С. Температура плавления наночастиц Au с характерным размером 2 нм равна:

- а) более 1100 °С
- б) равна 920 °С
- в) менее 400 °С
- г) равна 1064 °С.

10. Во сколько раз увеличится свободная поверхностная энергия капель жидкого золота на вершине УНТ со средним диаметром 40 нм по сравнению с ее недисперсным массивным состоянием с площадью поверхности 6 см² ? Плотность жидкого золота $17 \cdot 10^3$ кг/м³.

- а) в 300 раз,
- б) в 3000 раз,
- в) в 3 млн. раз,
- г) в 3 млрд. раз.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач (не предусмотрено учебным планом)

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Перечислить и охарактеризовать основные методы выращивания нанотрубок.
2. Использование УНТ в качестве элементной базы микроэлектроники.
3. ПЖК-механизм роста УНТ.
4. Основные методы выращивания полупроводниковых нанотрубок.
5. Зависимость скорости роста УНТ от расхода газовой смеси, температуры и состава газовой фазы.
6. Основные проблемы и противоречия представлений о ПЖК-механизме роста УНТ.
7. Методика выращивания УНТ.
8. Эпитаксиальный рост УНТ на кремниевых подложках .
9. Конкуренция в получении питания УНТ из газовой фазы..
10. Зоны питания УНТ.
11. Лимитирующая стадия и режимы процесса роста УНТ.
12. Роль каталитических частиц в росте УНТ.
13. Роль поверхностной энергии границ раздела фаз в росте УНТ.
17. Генерация ступеней роста трехфазной линией.
18. Влияние геометрического фактора на рост УНТ.
19. Радиальная периодическая неустойчивость роста УНТ.
20. Влияние эффекта Гиббса-Томсона на кинетику роста УНТ.
21. Вклад свободной линейной энергии границы раздела трех фаз в равновесие капли катализатора на вершине УНТ.
22. Образование кремниевых УНТ.
23. Механизм роста УНТ от основания.
24. Получение УНТ методом лазерной абляции.
25. Особенности проявления фазового размерного эффекта при росте УНТ.
26. Методы ростового легирования нанотрубок из газовой фазы.
27. Методы формирования электронно-дырочных структур УНТ.
28. Воспроизводимость размеров УНТ.
29. Закономерности роста УНТ в процессе соосаждения примесей.
30. Получение УНТ различных материалов.
31. Свойства хиральности УНТ.

32. Причины невоспроизводимого роста УНТ.
33. Механизм капиллярной устойчивости роста УНТ.
34. Образование изгибов и ветвление УНТ.
35. Инкапсулирование каталитических частиц в полости УНТ.
36. Эмиссионные свойства нанотрубок.
37. Регулярные системы УНТ.
38. Контроль диаметра и скорости роста УНТ.
39. Рост УНТ в электрохимическом процессе.
40. Применение нанотрубок.
41. Электронные и оптические свойства УНТ.
42. Технологический маршрут изготовления регулярных систем УНТ.
43. Способы управления параметрами роста УНТ.
44. Регулирование количества и порядка расположения центров зарождения УНТ.
45. Влияние электронного строения металлов-катализаторов на каталитические свойства для роста УНТ.
46. Влияние размера частиц вещества на параметры кристаллической решетки. Возможные объяснения данного явления.
47. Зависимость температуры фазовых переходов от размера УНТ.
48. "Угол роста" НК и доказательства его постоянства в процессе стационарного роста УНТ.
49. Детанационный метод получения УНТ.
50. Выбор оптимальных условий кристаллизации УНТ.
51. Зондовая микроскопия НК. Использование сканирующего туннельного микроскопа (СТМ) и сканирующего атомно-силового микроскопа для изучения структурных свойств УНТ.
52. Какую информацию об УНТ можно получить, используя метод рентгеновской дифракции?
53. Измерение геометрических параметров УНТ.
54. Технология изготовления УНТ катодным распылением.
55. Определение элементарных параметров роста УНТ.
56. Проблемы управления пространственной ориентацией УНТ.
57. Нестабильность технологических условий выращивания УНТ.
58. Временная нестабильность скорости роста УНТ.
59. Проблемы воспроизводимого легирования УНТ.
60. Проблемы воспроизводимого выращивания регулярных УНТ.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Квазиодномерный рост УНТ как результат проявления размерного эффекта.
2. Выращивание УНТ электродуговым методом..
2. Выращивание УНТ методом каталитического пиролиза ацетилена.
3. Размерная зависимость кристаллографического направления роста
4. Выращивание УНТ методом химического парового осаждения.

5. Технологический маршрут изготовления регулярных систем УНТ.
6. Выращивание УНТ методом лазерной абляции.
7. Ростовой эффект нуклеации на трехфазной линии.
8. Изменение радиуса нанотрубок в процессе роста.
8. Влияние эффекта Гиббса-Томсона на размерную зависимость скорости роста УНТ
9. Основные принципы управляемого роста. Контроль диаметра и скорости роста нанотрубок.
10. Создание электронно-дырочных структур в УНТ.
11. Хиральность нанотрубок и методы управления хиральностью в процессе роста.
12. Влияние геометрического фактора на рост УНТ.
13. УНТ как армирующие материалы в нанокompозитах и их прочностные свойства.
14. Технология подготовки ростовых подложек для выращивания УНТ
15. Образование изгибов и ветвление УНТ в процессе роста.
16. Причины невоспроизводимости роста УНТ.
17. Электронные и транспортные свойства УНТ.
- 18 ПЖК-механизм роста нанотрубок.
19. . Нерешенные проблемы качества синтеза УНТ.
20. Кинетические закономерности роста УНТ методом каталитического разложения углеводородов.
21. Технология изготовления УНТ с нулевой конусностью.

7.2.6 Методика оценивания при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 10.

1. «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.
2. «Зачтено» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов.

Экзамен для проверки знаний и умений проводится по экзаменационным билетам, каждый из которых содержит 3 вопроса из примерного перечня вопросов и задач для подготовки к экзамену.

3. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент ответил неправильно на все вопросы экзаменационного билета.
4. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент ответил правильно только на 1 вопрос экзаменационного билета.
5. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент ответил правильно только на 2 вопроса экзаменационного билета.

6. Оценка «Отлично» ставится, если студент ответил правильно на все 3 вопроса экзаменационного билета.

Проверка навыков проводится по сданным отчетам лабораторных работ. Оценка «Удовлетворительно» ставится, если сданы отчеты по всем лабораторным работам с нарушением графика сдачи и (или) исправлением ошибок., оценка «Хорошо» - если сданы отчеты по всем лабораторным работам с выполнением графика сдачи и без ошибок, оценка «Отлично» - если отчеты сданы в соответствии с графиком и без ошибок., оценка «Неудовлетворительно» - если отчеты по лабораторным работам не сданы, либо сданы частично.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Общие принципы технологии изготовления и нанотрубок	ПВК-3, ПВК-9	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
2	Электродуговое распыление графита, каталитическое разложение углеводородов, абляция графита с помощью лазерного облучения, Электронно-лучевое испарение графита (кремния и др.)	ПВК-3, ПВК-9	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
3	Электрохимическое анодирование титана	ПВК-3, ПВК-9	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
4	Оборудование и контроль параметров технологического процесса выращивания нанотрубок	ПВК-3, ПВК-9	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....

5	Методы очистки и функционализация углеродных нанотрубок	ПВК-3, ПВК-9	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
6	Особенности структуры, свойства и метрологическое обеспечение исследований нанотрубок	ПВК-3, ПВК-9	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы, курсового проекта или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Раков Э.Г. Неорганические наноматериалы: учебное пособие. – М.: БИНОМ, 2014. – 477 с.

2. Золотухин И.В., Усков И.В., Калинин Ю.Е. Углеродные нанотрубки в полимерах и полупроводниках. Учебное пособие.- Воронеж: ВГТУ, 2009.

3. Рыжонков, Д.И. / Д. И. Рыжонков, В. В. Лёвина, Э. Л. Дзидзигури. Наноматериалы : Учеб. пособие - 2-е изд. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2012. - 365 с. : ил . - 4. Сотникова, О.А. Теплоснабжение: учеб. пособие: рек.

УМО РФ. – М.: АСВ, 2005 - 288 с.

4. О. Н. Болдырева, В. А. Небольсин. Основные понятия современной химии: Учеб. пособие - Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2013. - 249 с. - 174-76.

5. Сергеев Г. Б. Нанохимия : учебное пособие / М.: КДУ, 2007. - 336 с.

6. Верещагина Я.А., Физическая химия наноматериалов . 2016 г. Электронный ресурс
http://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/108104/Ucheb_posobie_FHNM_elektronnoe.pdf?sequence=1

7. Сайт о нанотехнологиях в России <http://www.nanonewsnet.ru/>

8. Российский электронный наножурнал <http://www.nanojournal.ru/>

9. Журнал «Российские нанотехнологии» <http://www.nanorfu.ru/>

10. Учебники, учебные пособия, методические указания в виде электронных версий и презентаций в сети кафедры химии и химической технологии материалов <http://eios.vorstu.ru/> , ЭБС Лайн и др.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Microsoft Word, Microsoft Excel, Internet Explorer, Сайт о нанотехнологиях в России (<http://www.nanonewsnet.ru/>)

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Для проведения лекционных занятий необходима специализированная лекционная аудитория, оснащенная мультимедийным проектором, наличие в аудитории экрана, доски, ноутбука (ауд. 327/1).

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Химия наноматериалов» читаются лекции, проводятся практические занятия, выполняется курсовая работа.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета физико-химических и термодинамических характеристик наноматериалов. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Методика выполнения курсовой работы изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсовой работы должны

своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсовой работы, защитой курсовой работы.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.