**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение
высшего образования

**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)**

**УТВЕРЖДАЮ**
**Директор департамента образования**
**(Проректор по учебной работе)**
**_____ П.Е. Троян**
«___» _____ 2016 г.

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
# ФИЗИКО-ХИМИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Уровень основной образовательной программы** бакалавриат

**Направления подготовки** **28.03.01** «Нанотехнологии и микросистемная техника»

**Профиль** Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике

**Форма обучения** очная

**Факультет** электронной техники (ФЭТ)

**Кафедра** физической электроники (ФЭ)

**Курс** 2 **Семестр** 3

**Учебный план набора 2016 года и последующих лет.**

**Распределение рабочего времени:**

| № | Виды учебной работы | Семестр 1 | Семестр 2 | Семестр 3 | Семестр 4 | Семестр 5 | Семестр 6 | Семестр 7 | Семестр 8 | Всего | Единицы |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Лекции | | | 36 | | | | | | 36 | часов |
| 2. | Лабораторные работы | | | - | | | | | | - | часов |
| 3. | Практические занятия | | | 18 | | | | | | 18 | часов |
| 4. | Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная) | | | - | | | | | | - | часов |
| 5. | Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4) | | | 54 | | | | | | 54 | часов |
| 6. | Из них в интерактивной форме | | | 10 | | | | | | 10 | часов |
| 7. | Самостоятельная работа студентов (СРС) | | | 54 | | | | | | 54 | часов |
| 8. | Всего (без экзамена) (Сумма 5,7) | | | 108 | | | | | | 108 | часов |
| 9. | Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена | | | - | | | | | | - | часов |
| 10. | Общая трудоемкость (Сумма 8,9) | | | 108 | | | | | | 108 | часов |
| | (в зачетных единицах) | | | 3 | | | | | | 3 | ЗЕ |

**Зачет** 3 **семестр**

Томск 2016

Согласована на портале № 1057

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 73 от « 8 » 9 2016 г.

**Лист согласований**

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) направления 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» (уровень бакалавриата), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 6 марта 2015 г. № 177, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры физической электроники от «___» _____ 2016 г., протокол № _____.

**Разработчик:**
Доцент кафедры ФЭ / Е. В. Саврук

**Заведующий кафедрой**
Профессор кафедры ФЭ / П.Е. Троян

Рабочая программа согласована с факультетом, профилирующей и выпускающей кафедрами направления подготовки.

Декан ФЭТ / А.И. Воронин

Зав. профилирующей кафедрой ФЭ / П.Е. Троян

Зав. выпускающей кафедрой ФЭ / П.Е. Троян

**Эксперты:**
Председатель методической комиссии факультета ФЭТ / И.А. Чистоедова

Председатель методической комиссии кафедры ФЭ / И.А. Чистоедова



Согласована на портале № 1057

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Физико-химия наноструктурированных материалов» является формирование современных физико-химических представлений у студентов о приемах и методах, применяемых при изучении, проектировании, производстве и использовании наноструктур, устройств и систем на их основе и включающих целенаправленный контроль и модификацию форм, размеров и взаимодействий с целью получения объектов с новыми физико-химическими свойствами.

Задачами изучения дисциплины являются:

– приобретение знаний в области физической химии процессов синтеза наноматериалов и низкоразмерных структур;

– приобретение навыков решения материаловедческих задач;

– формирование научно обоснованного подхода к изучению свойств наноматериалов и наноструктур;

– формирование научно обоснованного подхода к разработке процессов получения наноматериалов и наноструктур.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

В соответствии с образовательной программой дисциплина «Физико-химия наноструктурированных материалов» относится к обязательным дисциплинам вариативной части (Б1.В.ОД.1).

Основой для изучения дисциплины «Физико-химия наноструктурированных материалов» являются курсы: физика, химия, физика конденсированного состояния.

Основные положения дисциплины «Физико-химия наноструктурированных материалов» должны быть использованы при изучении следующих дисциплин: наноэлектроника, физика полупроводников, физика пленочных наноструктур.

## 3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**3.1. Изучение дисциплины направлено на формирование у бакалавров следующих компетенций:**

– способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности (**ОПК-7**).

**3.2. В результате изучения дисциплины бакалавр должен:**

| Код | Формулировка компетенции | Результаты освоения компетенции в рамках образовательной программы | Результаты освоения компетенции в рамках дисциплины |
|---|---|---|---|
| **ОПК-7** | способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности | *знать* тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности | *знать* основы термодинамики наноразмерных систем;<br>*знать* закономерности термодинамических размерных эффектов;<br>*знать* методы синтеза и исследования свойств наноструктурированных материалов;<br>*знать* факторы, определяющие термодинамические параметры и физические характеристики наноматериалов;<br>*знать* принципы использования термодинамических расчетов для прогнозирования свойств наноразмерных систем |
| | | *уметь* учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности | *уметь* применять полученные знания при теоретическом анализе и экспериментальном исследовании физико-химических процессов, лежащих в основе методов синтеза наноструктурированных материалов;<br>*уметь* применять методы расчета параметров и характеристик наноразмерных систем;<br>*уметь* рассчитывать основные термодинамические параметры наноструктур;<br>*уметь* применять полученные знания для объяснения принципов выбора областей применения наноматериалов |



Согласована на портале № 1057

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | *иметь навыки* использования современных тенденций развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности | *владеть* методами измерения и контроля физических и химических свойств наносистем;<br>*иметь навыки* использования современных методов моделирования свойств наносистем;<br>*иметь навыки* оптимизации технологических процессов синтеза наноматериалов |

## 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет ___3___ зачетные единицы.

| Вид учебной работы | Всего часов | Семестры |
|---|---|---|
| | | 3 |
| **Аудиторные занятия (всего)** | **54** | **54** |
| В том числе: | | |
| Лекции | 36 | 36 |
| Практические занятия | 18 | 18 |
| **Самостоятельная работа (всего)** | **54** | **54** |
| В том числе: | | |
| Подготовка к практическим занятиям (семинарам) | 18 | 18 |
| Подготовка к контрольным работам | 24 | 24 |
| Подготовка к опросам на лекциях и практических занятиях | 12 | 12 |
| **Общая трудоемкость, час** | **108** | **108** |
| **Зачетные Единицы** | **3** | **3** |

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Разделы дисциплин и виды занятий

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Лекции | Практические занятия | Самост. работа студента | Всего час | Формируемые компетенции (ОК, ОПК, ПК, ПСК) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Введение. Историческая справка, основные понятия и терминология | 1 | - | 2 | 3 | ОПК-7 |
| 2. | Классификация нанообъектов | 3 | - | 4 | 7 | ОПК-7 |
| 3. | Термодинамика явлений в наносистемах. Квазиравновесие в наносистемах | 4 | 2 | 6 | 12 | ОПК-7 |
| 4. | Поверхностные явления и межфазные процессы | 4 | 2 | 6 | 12 | ОПК-7 |
| 5. | Идеальная и реальная кристаллические структуры наноразмерных материалов | 4 | 2 | 6 | 12 | ОПК-7 |
| 6. | Кинетика процессов в наноразмерных системах | 4 | 4 | 6 | 14 | ОПК-7 |
| 7. | Электронное строение наночастиц | 4 | 2 | 6 | 12 | ОПК-7 |
| 8. | Особые физические и химические свойства наночастиц и наноструктурированных материалов | 4 | 2 | 6 | 12 | ОПК-7 |
| 9. | Физические и химические свойства неорганических разупорядоченных наноструктур и композиционных материалов | 4 | 2 | 6 | 12 | ОПК-7 |
| 10. | Физические и химические свойства неорганических упорядоченных наноструктур и композиционных материалов | 4 | 2 | 6 | 12 | ОПК-7 |
| | **ИТОГО** | **36** | **18** | **54** | **108** | |



Согласована на портале № 1057

## 5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

| № п/п | Наименование разделов | Содержание разделов | Трудоемкость (час.) | Формируемые компетенции (ОК, ОПК, ПК, ПСК) |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Введение. Историческая справка, основные понятия и терминология | Структура дисциплины. Основные блоки. Предмет изучения. Развитие физики нанотехнологии как науки. Основные понятия и терминология | 1 | ОПК-7 |
| 2. | Классификация нанообъектов | Наноструктурированные материалы и наночастицы. Классификация В. Оствальда по агрегатному состоянию фаз. Классификация по размерам. Классификация по мерности. Классификация Г. Глейтера основных типов структур неполимерных наноматериалов по химическому составу, распределению фаз и форме. Наноматериалы: функциональные, интеллектуальные, нанообъекты, содержащие специфические группы атомов, молекул нанометровых размеров (до 100 нм). Функциональные наноматериалы: низкоразмерные объекты; тонкие слои, пленки; нанопроволоки, полимерные наноматериалы. Интеллектуальные наноматериалы: объемные, полимерные и биоматериалы. Матричные и супрамолекулярные нанокластеры и наноструктуры | 3 | ОПК-7 |
| 3. | Термодинамика явлений в наносистемах. Квазиравновесие в наносистемах | Начала термодинамики, термодинамические потенциалы, теория фазовых равновесий. Термодинамика поверхности. Неравновесная термодинамика, синергетика. Особенности термодинамических свойств наносред. Соотношение площади поверхности и массы нанообъектов. Изменение фазовых равновесий в наноразмерных системах. Уравнение Лапласа. Изменение температуры плавления в наноматериалах. Особенности полиморфных превращений в наносистемах. Изменение пределов растворимости твердых растворов | 4 | ОПК-7 |
| 4. | Поверхностные явления и межфазные процессы | Поверхность, границы, морфология наноматериалов. Доля поверхности в наноматериалах. Поверхностная энергия и ее анизотропия. Поверхностный потенциал Гиббса. Уравнения и характеристики условий термодинамической стабильности межфазных границ в наносистемах. Границы зерен в наноструктуированных материалах. Поверхностное натяжение. Краевой угол и сцепление с поверхностью. О роли вязкости воды при наномасштабировании. Поверхностное натяжение. Эффект лотоса. Адсорбция. Кинетика адсорбции. Зависимость от покрытия, температуры, угла и кинетической энергии. Термическая десорбция. Кинетика десорбции. Десорбционная спектроскопия. Изотермы адсорбции. Нетермическая десорбция | 4 | ОПК-7 |
| 5. | Идеальная и реальная кристаллические структуры наноразмерных материалов | Атомная структура чистых поверхностей. Релаксация и реконструкция. Поверхностные структуры некоторых важнейших полупроводников. Атомная структура поверхностей с адсорбатами. Поверхностные фазы в субмонослойных системах адсорбат-подложка. Состав поверхностных фаз. Фазовая диаграмма. Структурные дефекты поверхности. Модель террас – ступеней – изломов. Дефекты: адатомы, вакансии, дефекты замещения, дислокации, доменные границы. Ступени, сингулярные и вициальные поверхности, фасетки | 4 | ОПК-7 |
| 6. | Кинетика процессов в наноразмерных системах | Поверхностная диффузия. Законы Фика. Диффузия отдельного атома и химическая диффузия. Собственная диффузия и диффузия массопереноса. Анизотропия поверхностной диффузии. Атомные механизмы поверхностной диффузии: прыжковый, атомного обмена, туннелирования, обменный. Экспериментальные методы изучения диффузии: прямое наблюдение за атомами, метод изменения профиля, капиллярные методы, метод островков. Зависимость параметров | 4 | ОПК-7 |



Согласована на портале № 1057

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | химической кинетики от размеров. Скорость реакции. Зависимость скорости реакции от размера частиц. Влияние размера наночастиц на температуру протекания реакции. Кинетика бимолекулярной химической реакции. Кинетические особенности химических процессов на поверхности наночастиц. Учет флуктуаций концентраций. Термодинамический подход к описанию влияния размерных факторов на сдвиг химического равновесия. Пример реакции окисления. Кинетические параметры низкотемпературного окисления нанопорошков металлов. Пороговая температура. Кинетика самовозгорания наноструктурных материалов. Температуры самовозгорания, самовоспламенения. Природа катализа. Площадь поверхности наночастиц. Катализаторы на основе пористых материалов. Локальные химические электронно-стимулированные реакции | | |
| 7. | Электронное строение наночастиц | Поведение электронной подсистемы в наноматериалах. Особенности зонной структуры металлов и полупроводников в нанокристаллическом состоянии. Квантовые ямы, проволоки, точки. Эффекты, обусловленные размерами и размерностью нанообъектов: размерные эффекты. Размерность объекта и электроны проводимости. Потенциальные ямы. Свойства, зависящие от плотности состояний. Экситонные переходы в спектрах нанокристаллических полупроводников. Изменение ширины запрещенной зоны. Оценка размеров наночастиц по спектральным данным | 4 | ОПК-7 |
| 8. | Особые физические и химические свойства наночастиц и наноструктурированных материалов | Зависимость свойств от размера частиц. Особые свойства нанообъектов, обусловленные соизмеримостью их размеров и характерной длиной физических свойств. Особые свойства нанообъектов, обусловленные огромной поверхностной энергии: доля поверхности в наноматериалах, величина поверхностной энергии в наноматериалах. Поверхности и геометрические размеры кристаллов. Поверхность и геометрические размеры нанообъектов. Оптические и электронные свойства наносистем и наноматериалов. Магнитные свойства. Механические и тепловые свойства | 4 | ОПК-7 |
| 9. | Физические и химические свойства неорганических разупорядоченных наноструктур и композиционных материалов | Методы синтеза разупорядоченных твердотельных структур. Метод компактирования при изготовлении наноструктурированного сплава «медь – железо». Получение при быстром отвердевании: газовая атомизация. Гальванический способ. Механизмы разрушения традиционных поликристаллических материалов. Механические свойства наноструктурированных материалов. Основные параметры и их зависимость от размеров. Нормальный и аномальный закон Холла-Петча. Наноструктурированные многослойные материалы. Электрические свойства композиционных материалов. Стекла. Металлические нанокластеры в оптических стеклах. Процессы поглощения и рассеяния в наночастицах. Плазмоны. Пористые стекла. Примеры изготовления наноструктур на их основе | 4 | ОПК-7 |
| 10. | Физические и химические свойства неорганических упорядоченных наноструктур и композиционных материалов | Природные нанокристаллы. Упорядоченные структуры наночастиц в цеолитах и их свойства. Наноструктурированные кристаллы для фотоники. Кристаллическая и зонная структуры фотонных кристаллов. Двумерный фотонный кристалл, его зонная схема. Фотонные кристаллы с линейными дефектами и их зонные схемы. Понятие фотонной силы. Упорядоченные решетки наночастиц в коллоидных суспензиях Эффект полиморфизма. Переход Кирквуда-Алдера. Углеродные наночастицы и нанотрубки. Их строение, получение и разделение. Одностенные и многостенные нанотрубки. Электрофизические свойства. Заполненные углеродные нанотрубки. Капиллярные эффекты. Синтез заполненных нанотрубок. Энергетическая структура ионизованных состояний идеального молекулярного кристалла. Модель Лайонса. Состояния с | 4 | ОПК-7 |



Согласована на портале № 1057

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | переносом заряда. Электронная поляризация молекул кристалла носителями заряда. Роль структурных дефектов в образовании электронных состояний в молекулярных кристаллах | | |

### 5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

| № п/п | Наименование обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин | № № разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| **Предшествующие дисциплины** | | | | | | | | | | | |
| 1. | физика | | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 2. | химия | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 3. | физика конденсированного состояния | + | + | + | + | + | + | + | + | | |
| **Последующие дисциплины** | | | | | | | | | | | |
| 1. | наноэлектроника | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 2. | физика полупроводников | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 3. | физика пленочных наноструктур | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |

### 5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

| Перечень компетенций | Виды занятий | | | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|
| | Л | ПЗ | СРС | |
| ОПК-7 | + | + | + | Опрос на лекции, опрос на практическом занятии, отчет по практической работе, контрольная работа |

## 6. МЕТОДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

### Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

| Методы \ Формы | Лекции (час) | Практические занятия (час) | Всего |
|---|---|---|---|
| *Работа в команде* | | 2 | 2 |
| *Опрос на лекции* | 2 | | 2 |
| *Опрос на практическом занятии* | | 2 | 2 |
| *Презентация с видео и раздаточным материалом* | 4 | | 4 |
| Итого интерактивных занятий | 6 | 4 | 10 |

## 7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Не предусмотрено

## 8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

| № п/п | № раздела дисциплины | Тематика практических занятий | Трудоемкость (час.) | Компетенции ОК, ОПК, ПК, ПСК |
|---|---|---|---|---|
| 1. | **3** | Термодинамика явлений в наносистемах. Квазиравновесие в наносистемах | 1 | ОПК-7 |
| 2. | **4** | Поверхностные явления и межфазные процессы | 1 | ОПК-7 |
| 3. | **5** | Идеальная и реальная кристаллические структуры наноразмерных материалов | 2 | ОПК-7 |
| 4. | **6** | Кинетика процессов в наноразмерных системах | 2 | ОПК-7 |
| 5. | **7** | Электронное строение наночастиц | 2 | ОПК-7 |
| 6. | **8** | Особые физические и химические свойства наночастиц и наноструктурированных материалов | 2 | ОПК-7 |
| 7. | **9** | Физические и химические свойства неорганических разупорядоченных наноструктур и композиционных материалов | 2 | ОПК-7 |
| 8. | **10** | Физические и химические свойства неорганических упорядоченных наноструктур и композиционных материалов | 2 | ОПК-7 |



Согласована на портале № 1057

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 9. | **3** | Контрольная работа № 1 «Термодинамика явлений в наносистемах» | 2 | ОПК-7 |
| 10. | **6** | Контрольная работа № 2 «Кинетика процессов в наноразмерных системах» | 2 | ОПК-7 |

## 9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

| № п/п | № раздела дисциплины | Тематика самостоятельной работы *(детализация)* | Трудоемкость (час.) | Компетенции ОК, ОПК, ПК, ПСК | Контроль выполнения работы |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | **2-10** | Подготовка к практическим занятиям (семинарам) | 18 | ОПК-7 | Отчеты по практическим работам |
| 2. | **3, 6** | Подготовка к контрольным работам | 24 | ОПК-7 | Результаты контрольных работ |
| 3. | **1-10** | Подготовка к опросам на лекциях и практических занятиях | 12 | ОПК-7 | Результаты опросов |

Примеры заданий на практические занятия, контрольные работы, вопросы для опросов на лекциях и практических занятиях и вопросы на зачет приведены в приложении к данной рабочей программе.

## 10. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ

Не предусмотрено

## 11. РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ

**Таблица 11.1. Балльные оценки для элементов контроля дисциплины**

| Элементы учебной деятельности | Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра | Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ | Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра | Всего за семестр |
|---|---|---|---|---|
| Опросы на лекциях | 5 | 5 | 5 | **15** |
| Опросы на практических занятиях | 5 | 5 | 5 | **15** |
| Отчеты по практическим заданиям | 10 | 20 | 10 | **40** |
| Контрольная работа 1 | | 15 | | **15** |
| Контрольная работа 2 | | | 15 | **15** |
| **Итого максимум за период:** | **20** | **45** | **35** | **100** |
| **Нарастающим итогом** | **20** | **65** | **100** | **100** |

**Таблица 11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки**

| Баллы на дату контрольной точки | Оценка |
|---|---|
| ≥ 90 % от максимальной суммы баллов на дату КТ | 5 |
| От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 4 |
| От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 3 |
| < 60 % от максимальной суммы баллов на дату КТ | 2 |

**Таблица 11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку**

| Оценка (ГОС) | Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный зачет | Оценка (ECTS) |
|---|---|---|
| 5 (отлично) (зачтено) | **90 – 100** | A (отлично) |
| 4 (хорошо) (зачтено) | **85 – 89** | B (очень хорошо) |
| | **75 – 84** | C (хорошо) |
| | **70 – 74** | D (удовлетворительно) |
| 3 (удовлетворительно) (зачтено) | **65 – 69** | |
| | **60 – 64** | E (посредственно) |
| 2 (неудовлетворительно), (не зачтено) | **Ниже 60 баллов** | F (неудовлетворительно) |



Согласована на портале № 1057

## 12. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 12.1 Основная литература

12.1.1. Наноматериалы [Текст]: учебное пособие для вузов / Д. И. Рыжонков, В. В. Лёвина, Э. Л. Дзидзигури. – 2-е изд. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 366 с. **(45)**

### 12.2 Дополнительная литература

12.2.1. Основы физической химии: учебник для вузов / В. И. Горшков, И. А. Кузнецов. – 3-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 407 с. (**1)**

12.2.2. Механика материалов и структур нано- и микротехники: учебное пособие для вузов / О. П. Кормилицын, Ю. А. Шукейло. – М.: Академия, 2008. – 215 с. **(1)**

12.2.3. Наноструктуры в электронике и фотонике: пер. с англ. / ред. Ф. Рахман; пер. Ю. А. Заболотная; ред. пер. Е. Л. Свинцов. – М.: Техносфера, 2010. – 343 с. **(1)**

12.2.4. Материалы и методы нанотехнологии: учебное пособие / В. В. Старостин; ред. Л. Н. Патрикеев. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 431 с. **(1)**

### 12.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

12.3.1. Саврук, Е. В. Физико-химия наноструктурированных материалов: Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов направлений подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника», 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника», профиль «Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике» [Электронный ресурс] / Саврук Е. В., Каранский В. В. — Томск: ТУСУР, 2016. — 51 с. — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/6271.

12.3.2. Математический пакет MathCad или Mathematica.

12.3.3. Офисные программы Microsoft Office или Open Office.

### 12.4 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

12.4.1. Образовательный портал в свободном доступе: «Физика, химия, математика студентам и школьникам. Образовательный проект А.Н. Варгина» – Режим доступа: http://www.ph4s.ru/

12.4.2. «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]: информационная система. – Режим доступа: http://window.edu.ru/

12.4.3. «eLIBRARY.RU» [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека. – Режим доступа: http://elibrary.ru

12.4.4. «Научно-образовательный портал ТУСУР» [Электронный ресурс]: научно-образовательный портал университета. – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/

## 13. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации программы учебной дисциплины требуется аудитория, оснащенная мультимедийным проектором.



Согласована на портале № 1057

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение
высшего образования

**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)**

**УТВЕРЖДАЮ**
**Директор департамента образования**
**(Проректор по учебной работе)**
**_____ П.Е. Троян**
«___» _____ 2016 г.

# ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
# ФИЗИКО-ХИМИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

| | |
|---|---|
| **Уровень основной образовательной программы** | бакалавриат |
| **Направления подготовки** | 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» |
| **Профиль** | Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике |
| **Форма обучения** | очная |
| **Факультет** | электронной техники (ФЭТ) |
| **Кафедра** | физической электроники (ФЭ) |
| **Курс** 2 | **Семестр** 3 |

**Учебный план набора 2016 года и последующих лет.**

**Зачет** 3 **семестр**

**Разработчик:**

Доцент кафедры ФЭ / Е. В. Саврук

Томск 2016

Согласована на портале № 1057

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе учебной дисциплины «Физико-химия наноструктурированных материалов» и представляет собой совокупность контрольно-измерительных материалов (типовые задачи (задания), контрольные работы и др.) и методов их использования, предназначенных для измерения уровня достижения студентом установленных результатов обучения.

ФОС по учебной дисциплине «Физико-химия наноструктурированных материалов» используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной «Физико-химия наноструктурированных материалов» компетенций приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

| Код | Формулировка компетенции | Этапы формирования компетенции в рамках образовательной программы | Этапы формирования компетенции в рамках дисциплины |
|---|---|---|---|
| **ОПК-7** | способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности | *знать* тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности | *знать* основы термодинамики наноразмерных систем;<br>*знать* закономерности термодинамических размерных эффектов;<br>*знать* методы синтеза и исследования свойств наноструктурированных материалов;<br>*знать* факторы, определяющие термодинамические параметры и физические характеристики наноматериалов;<br>*знать* принципы использования термодинамических расчетов для прогнозирования свойств наноразмерных систем |
| | | *уметь* учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности | *уметь* применять полученные знания при теоретическом анализе и экспериментальном исследовании физико-химических процессов, лежащих в основе методов синтеза наноструктурированных материалов;<br>*уметь* применять методы расчета параметров и характеристик наноразмерных систем;<br>*уметь* рассчитывать основные термодинамические параметры наноструктур;<br>*уметь* применять полученные знания для объяснения принципов выбора областей применения наноматериалов |
| | | *иметь навыки* использования современных тенденций развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности | *владеть* методами измерения и контроля физических и химических свойств наносистем;<br>*иметь навыки* использования современных методов моделирования свойств наносистем;<br>*иметь навыки* оптимизации технологических процессов синтеза наноматериалов |

## 2. РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЕТЕНЦИИ

### 2.1 Компетенция ОПК-7

**ОПК-7 способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности**

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Содержание этапов формирования компетенции, виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 2.1.



Согласована на портале № 1057

Таблица 2.1 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

| Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| **Содержание этапов** | *знает* тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности | *умеет* учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности | *имеет навыки* использования современных тенденций развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности |
| **Виды занятий** | Лекции;<br>Практические занятия;<br>Групповые консультации | Практические занятия;<br>Самостоятельная работа | Практические занятия<br>Самостоятельная работа |
| **Используемые средства оценивания** | Опросы на лекциях;<br>Опросы на практических занятиях;<br>Практические задания (защита);<br>Контрольные работы;<br>Зачет | Практические задания (выполнение, оформление);<br>Конспекты по темам СРС;<br>Зачет | Практические задания (выполнение, оформление);<br>Конспекты по темам СРС;<br>Зачет |

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам

| Показатели и критерии | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| **Отлично (высокий уровень)** | обладает фактическими и теоретическими знаниями в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости | обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, абстрагирования проблем | контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы |
| **Хорошо (базовый уровень)** | знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области | обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования | берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем |
| **Удовлетворительно (пороговый уровень)** | обладает базовыми общими знаниями | обладает основными умениями, требуемыми для выполнения простых задач | работает при прямом наблюдении |

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

| Показатели и критерии | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| **Отлично (высокий уровень)** | *знает* современные тенденции развития наноструктурированных материалов при проектировании и производстве элементов электроники;<br>*понимает* методы синтеза и исследования свойств наноструктурированных | *умеет* учитывать современные тенденции развития наноструктурированных материалов при проектировании и производстве элементов электроники;<br>*свободно применяет* методы решения нетиповых задач; | *использует* современные тенденции развития наноструктурированных материалов при проектировании и производстве элементов электроники;<br>*свободно владеет* разными способами представления физической информации в |



Согласована на портале № 1057

| | | | |
|---|---|---|---|
| | материалов;<br>*аргументирует* выбор метода синтеза и исследования свойств наноструктурированных материалов;<br>*знает* факторы, определяющие термодинамические параметры и физические характеристики наноматериалов;<br>*прогнозирует* свойства наноразмерных систем в области электроники;<br>*понимает* принципы использования термодинамических расчетов для прогнозирования свойств наноразмерных систем;<br>*физически аргументирует* выбор и план решения задачи;<br>*графически иллюстрирует* задачу | *умеет* применять полученные знания при теоретическом анализе и экспериментальном исследовании физико-химических процессов, лежащих в основе методов синтеза наноструктурированных материалов;<br>*умеет* физически анализировать факторы, определяющие термодинамические параметры и физические характеристики наноматериалов;<br>*умеет* математически описывать термодинамические параметры и физические характеристики наноматериалов;<br>*умеет* рассчитывать основные термодинамические параметры наноструктур;<br>*умеет* анализировать области применения наноматериалов;<br>*умеет* объяснять принципов выбора областей применения наноматериалов | графической и математической форме;<br>*способен организовать* работу в междисциплинарной команде;<br>*демонстрирует способность* корректно давать оценку проделанной работе;<br>*владеет* методами измерения и контроля физических и химических свойств наносистем;<br>*владеет* навыками использования современных методов моделирования свойств наносистем;<br>*владеет навыками* оптимизации технологических процессов синтеза наноматериалов, применяемых при производстве элементов электроники |
| **Хорошо (базовый уровень)** | *знает* тенденции развития наноструктурированных материалов в области электроники в целом;<br>*знает* закономерности термодинамических размерных эффектов;<br>*знает* термодинамические параметры и физические характеристики наноматериалов;<br>*аргументирует* выбор решения задачи;<br>*составляет* план решения задачи | *умеет* проводить основные расчеты термодинамических свойств наносистем;<br>*умеет* применять методы расчета параметров и характеристик наноразмерных систем;<br>*умеет* выбирать области применения наноматериалов;<br>*применяет* методы решения нетиповых задач | *владеет* разными способами представлениями информации;<br>*владеет навыками* работы в междисциплинарной команде;<br>*способен объяснить* закономерности термодинамических размерных эффектов;<br>*способен использовать* методы расчета параметров и характеристик наноразмерных систем;<br>*способен классифицировать* технологические процессы синтеза наноматериалов |
| **Удовлетворительно (пороговый уровень)** | *знает* этапы развития материалов в области электроники;<br>*знает* основы термодинамики наноразмерных систем;<br>*знает* физические характеристики наноматериалов;<br>*знает* свойства наноразмерных систем;<br>*дает* определения основных понятий | *умеет* работать со справочной литературой;<br>*умеет* представлять результаты своей работы | *владеет* терминологией в предметной области знания |



Согласована на портале № 1057

## 3. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются следующие материалы:

– типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в составе: опросы на лекциях; опросы на практических занятиях; практические задания; контрольные работы; самостоятельная работа; зачет.

### 3.1. Опросы на лекциях

**1. Классификация нанообъектов**

Наноструктурированные материалы и наночастицы. Классификация В. Оствальда по агрегатному состоянию фаз. Классификация по размерам. Классификация по мерности. Наноматериалы: функциональные, интеллектуальные, нанообъекты, содержащие специфические группы атомов, молекул нанометровых размеров (до 100 нм). Функциональные наноматериалы: низкоразмерные объекты; тонкие слои, пленки; нанопроволоки, полимерные наноматериалы.

**2. Термодинамика явлений в наносистемах. Квазиравновесие в наносистемах**

Начала термодинамики, термодинамические потенциалы, теория фазовых равновесий. Термодинамика поверхности. Неравновесная термодинамика, синергетика. Особенности термодинамических свойств наносред. Соотношение площади поверхности и массы нанообъектов. Изменение фазовых равновесий в наноразмерных системах. Уравнение Лапласа. Изменение температуры плавления в наноматериалах.

**3. Поверхностные явления и межфазные процессы**

Поверхность, границы, морфология наноматериалов. Доля поверхности в наноматериалах. Поверхностная энергия и ее анизотропия. Поверхностный потенциал Гиббса. Уравнения и характеристики условий термодинамической стабильности межфазных границ в наносистемах. Границы зерен в наноструктуированных материалах. Поверхностное натяжение. Краевой угол и сцепление с поверхностью. Поверхностное натяжение. Эффект лотоса. Адсорбция. Кинетика адсорбции. Зависимость от покрытия, температуры, угла и кинетической энергии. Термическая десорбция. Кинетика десорбции.

**4. Идеальная и реальная кристаллические структуры наноразмерных материалов**

Атомная структура чистых поверхностей. Релаксация и реконструкция. Поверхностные структуры некоторых важнейших полупроводников. Состав поверхностных фаз. Фазовая диаграмма. Структурные дефекты поверхности. Модель террас – ступеней – изломов.

**5. Кинетика процессов в наноразмерных системах**

Поверхностная диффузия. Законы Фика. Диффузия отдельного атома и химическая диффузия. Собственная диффузия и диффузия массопереноса. Анизотропия поверхностной диффузии. Атомные механизмы поверхностной диффузии: прыжковый, атомного обмена, туннелирования, обменный. Зависимость параметров химической кинетики от размеров. Скорость реакции. Зависимость скорости реакции от размера частиц. Влияние размера наночастиц на температуру протекания реакции. Пороговая температура. Кинетика самовозгорания наноструктурных материалов. Температуры самовозгорания, самовоспламенения. Природа катализа. Площадь поверхности наночастиц.

**6. Электронное строение наночастиц**

Поведение электронной подсистемы в наноматериалах. Особенности зонной структуры металлов и полупроводников в нанокристаллическом состоянии. Квантовые ямы, проволоки, точки. Эффекты, обусловленные размерами и размерностью нанообъектов: размерные эффекты. Размерность объекта и электроны проводимости. Потенциальные ямы. Свойства, зависящие от плотности состояний.

**7. Особые физические и химические свойства наночастиц и наноструктурированных материалов**

Зависимость свойств от размера частиц. Особые свойства нанообъектов, обусловленные соизмеримостью их размеров и характерной длиной физических свойств. Особые свойства нанообъектов, обусловленные огромной поверхностной энергии: доля поверхности в наноматериалах, величина поверхностной энергии в наноматериалах. Поверхности и геометрические размеры кристаллов. Поверхность и геометрические размеры нанообъектов.

**8. Физические и химические свойства неорганических разупорядоченных наноструктур и композиционных материалов**

Методы синтеза разупорядоченных твердотельных структур. Получение при быстром отвердевании: газовая атомизация. Гальванический способ. Механизмы разрушения традиционных поликристаллических материалов. Механические свойства наноструктурированных материалов. Основные параметры и их зависимость от размеров. Нормальный и аномальный закон Холла-Петча. Наноструктурированные многослойные материалы. Электрические свойства композиционных материалов.



Согласована на портале № 1057

**9. Физические и химические свойства неорганических упорядоченных наноструктур и композиционных материалов**

Природные нанокристаллы. Упорядоченные структуры наночастиц в цеолитах и их свойства. Наноструктурированные кристаллы для фотоники. Кристаллическая и зонная структуры фотонных кристаллов. Двумерный фотонный кристалл, его зонная схема. Упорядоченные решетки наночастиц в коллоидных суспензиях Эффект полиморфизма. Переход Кирквуда-Алдера. Углеродные наночастицы и нанотрубки. Их строение, получение и разделение. Одностенные и многостенные нанотрубки. Электрофизические свойства. Энергетическая структура ионизованных состояний идеального молекулярного кристалла. Модель Лайонса. Состояния с переносом заряда. Электронная поляризация молекул кристалла носителями заряда.

### 3.2. Опросы на практических занятиях

Какие системы называют дисперсными?
Почему золь можно назвать дисперсной системой?
Какими методами получают дисперсные системы?
Какие признаки характерны для дисперсных систем?
Почему термодинамические системы термодинамически неустойчивы?
Что такое удельное поверхность?
Что такое коэффициент формы?
Выведите соотношение между удельной поверхностью и дисперсностью для сферических частиц?
Чему равен коэффициент формы для кубических частиц?
Что такое поверхностная энергия?
Что такое термодинамика?
Перечислите основные законы термодинамики?
Что такое равновесная термодинамика?
Какие начала термодинамики можно отнести к равновесной?
Что такое температура плавления?
Почему температура плавления поверхности отличается от температуры плавления объемного материала?
Что такое температура Дебая?
Термодинамические основы гомогенного зародышеобразования.
Гетерогенное образование новой фазы.
Плавление двухкомпонентного нанокристалла.
Что такое рассеяние света?
Перечислите основные выкладки с уравнения Рэлея.
Запишите уравнение Рэлея.
Что такое оптическая плотность?
Что такое коэффициент поглощения?
В чем заключается суть аналитической проверки применимости закона Бугера-Ламберта-Бера?
Перечислите основные оптические свойства дисперсных систем.
Как определить размер частицы с помощью метода ультрамикроскопии?
Для каких систем используют явление рассеяния света?
Что такое диффузия?
Основные параметры диффузии?
Что такое коэффициент диффузии?
Что такое седиментация?
Что такое осмотическое давление?
От чего зависит скорость седиментация?
Что такое броуновское движение?
Что является характеристикой броуновского движения?
Законы Фика.
Что такое седиментационное равновесие?
Что такое фононный спектр?
Чем ограничена минимальная частота фононного спектра?
Что такое теплоемкость?
Изобразите график теплоемкости от температуры.
Как соотносятся температура Дебая для наночастиц и массивных кристаллов?
Что такое температура Дебая?



Согласована на портале № 1057

Что такое теплопроводность?
Что такое длина свободного пробега?
Что такое электропроводность?
Что такое работа выхода?

### 3.3. Практические задания

**1. Термодинамика явлений в наносистемах. Квазиравновесие в наносистемах**

Построить распределение зависимости толщины расплавленного слоя для молекулярного кристалла. Если толщина молекулярного кристалла 50 мм. Температура плавления поверхности 1200 К. температуру брать в диапазоне от 400 до 1200 К, с шагом 50 К.

**2. Поверхностные явления и межфазные процессы**

Рассчитать работу образования критического зародыша если поверхностное натяжения составляет 0,003 Дж/м2. Химический потенциал снизился на 1000 Дж/моль.

**3. Идеальная и реальная кристаллические структуры наноразмерных материалов**

Приняв, что в золе серебра каждая частица представляет собой куб с длиной ребра $l = 4 \cdot 10^{-8}$ м, определите, сколько коллоидных частиц может получиться из $1 \cdot 10^{-4}$ кг серебра. Вычислите суммарную поверхность полученных частиц и рассчитайте поверхность одного кубика серебра с массой $1 \cdot 10^{-4}$ кг. Плотность серебра равна $10{,}5 \cdot 10^3$ кг/м$^3$.

**4. Кинетика процессов в наноразмерных системах**

Число сферических частиц гидрозоля золота, находящегося в равновесии в поле силы тяжести, равно 386. Чему равно число частиц в слое, лежащем на $1 \cdot 10^{-4}$ м выше, если средний диаметр частиц равен $6{,}6 \cdot 10^{-8}$ м, температура 19°С, плотность золота равна $19{,}6 \cdot 10^3$ кг/ м$^3$, плотность воды составляет $0{,}998 \cdot 10^3$ кг/ м$^3$.

**5. Электронное строение наночастиц**

Рассчитать удельное сопротивление металлической пленки толщиной 10 нм, и длиной свободного пробега 1 нм. Если сопротивление монокристаллического материала $10^{-5}$ Ом·см.

**6. Особые физические и химические свойства наночастиц и наноструктурированных материалов**

При ультрамикроскопическом исследовании гидрозоля серебра в кювете площадью $5{,}4 \cdot 10^{-12}$ м$^2$ и глубиной пучка света $2{,}5 \cdot 10^{-4}$ м подсчитано 2 частицы. Рассчитайте среднюю длину ребра частицы, принимая их форму за кубическую. Массовая концентрация золя серебра равна 0,02 кг/ м$^3$, плотность серебра составляет $10{,}5 \cdot 10^3$ кг/ м$^3$.

**7. Физические и химические свойства неорганических разупорядоченных наноструктур и композиционных материалов**

Рассчитайте работу образования зародыша, если энергия поверхностного натяжения равна 87 Дж. Снижение химического потенциала составляет 3000 Дж/моль, а радиус получившегося зародыша $10^{-9}$ м.

**8. Физические и химические свойства неорганических упорядоченных наноструктур и композиционных материалов**

Рассчитайте критический размер частицы, если поверхностная энергия натяжения равна 90 Дж, а площадь поверхности 30,61 м$^2$. Снижение химического потенциала 2500 Дж/моль.

### 3.4. Контрольные работы

Контрольная работа № 1 «Термодинамика явлений в наносистемах».
Контрольная работа № 2 «Кинетика процессов в наноразмерных системах».

### 3.5. Конспекты по темам СРС

**1. Классификация нанообъектов**

Классификация Г. Глейтера основных типов структур неполимерных наноматериалов по химическому составу, распределению фаз и форме. Интеллектуальные наноматериалы: объемные, полимерные и биоматериалы. Матричные и супрамолекулярные нанокластеры и наноструктуры.

**2. Термодинамика явлений в наносистемах. Квазиравновесие в наносистемах**

Изменение фазовых равновесий в наноразмерных системах. Уравнение Лапласа. Изменение температуры плавления в наноматериалах. Особенности полиморфных превращений в наносистемах. Изменение пределов растворимости твердых растворов.



Согласована на портале № 1057

**3. Поверхностные явления и межфазные процессы**

О роли вязкости воды при наномасштабировании. Адсорбция. Зависимость от покрытия, температуры, угла и кинетической энергии. Десорбционная спектроскопия. Изотермы адсорбции. Нетермическая десорбция.

**4. Идеальная и реальная кристаллические структуры наноразмерных материалов**

Атомная структура поверхностей с адсорбатами. Поверхностные фазы в субмонослойных системах адсорбат-подложка. Модель террас – ступеней – изломов. Дефекты: адатомы, вакансии, дефекты замещения, дислокации, доменные границы. Ступени, сингулярные и вицинальные поверхности, фасетки.

**5. Кинетика процессов в наноразмерных системах**

Экспериментальные методы изучения диффузии: прямое наблюдение за атомами, метод изменения профиля, капиллярные методы, метод островков. Кинетика бимолекулярной химической реакции. Кинетические особенности химических процессов на поверхности наночастиц. Учет флуктуаций концентраций. Термодинамический подход к описанию влияния размерных факторов на сдвиг химического равновесия. Пример реакции окисления. Кинетические параметры низкотемпературного окисления нанопорошков металлов. Катализаторы на основе пористых материалов. Локальные химические электронно-стимулированные реакции.

**6. Электронное строение наночастиц**

Экситонные переходы в спектрах нанокристаллических полупроводников. Изменение ширины запрещенной зоны. Оценка размеров наночастиц по спектральным данным.

**7. Особые физические и химические свойства наночастиц и наноструктурированных материалов**

Оптические и электронные свойства наносистем и наноматериалов. Магнитные свойства. Механические и тепловые свойства.

**8. Физические и химические свойства неорганических разупорядоченных наноструктур и композиционных материалов**

Метод компактирования при изготовлении наноструктурированного сплава «медь – железо». Стекла. Металлические нанокластеры в оптических стеклах. Процессы поглощения и рассеяния в наночастицах. Плазмоны. Пористые стекла. Примеры изготовления наноструктур на их основе.

**9. Физические и химические свойства неорганических упорядоченных наноструктур и композиционных материалов**

Фотонные кристаллы с линейными дефектами и их зонные схемы. Понятие фотонной силы. Заполненные углеродные нанотрубки. Капиллярные эффекты. Синтез заполненных нанотрубок. Роль структурных дефектов в образовании электронных состояний в молекулярных кристаллах.

### 3.6. Зачет

1. Начала термодинамики, термодинамические потенциалы, теория фазовых равновесий.
2. Термодинамика поверхности.
3. Неравновесная термодинамика, синергетика.
4. Процессы на поверхности: поверхностное натяжение, капиллярные явления.
5. Поверхностная энергия и ее анизотропия.
6. Обработка поверхности и условия сохранения ее свойств.
7. Атомная структура чистых поверхностей. Релаксация и реконструкция.
8. Поверхностные фазы в субмонослойных системах адсорбат-подложка. Фазовая диаграмма.
9. Модель террас-ступеней-изломов. Дефекты: адатомы, вакансии, дефекты замещения, дислокации, доменные границы. Ступени, сингулярные и вицинальные поверхности, фасетки.
10. Адсорбция. Зависимость от покрытия, температуры, угла и кинетической энергии.
11. Термическая десорбция. Кинетика. Десорбционная спектроскопия.
12. Изотермы адсорбции. Нетермическая десорбция.
13. Поверхностная диффузия. Законы Фика. Диффузия отдельного атома и химическая диффузия.
14. Собственная диффузия и диффузия массопереноса. Анизотропия поверхностной диффузии.
15. Атомные механизмы поверхностной диффузии: прыжковый, атомного обмена, туннелирования, обменный.
16. Экспериментальные методы изучения диффузии: прямое наблюдение за атомами, метод изменения профиля, капиллярные методы, метод островков.
17. Механизмы роста на поверхности: Франка-ван дер Мерве, Вольмера – Вебера, Странского – Крастанова.



Согласована на портале № 1057

18. Зарождение и рост островков: режимы зарождения при малых покрытиях, режим промежуточных покрытий, режим агрегации, режим коалесценции и перколяции.

19. Концентрация островков, форма (разветвленные, компактные, фрактальные), распределение по размеру.

20. Коалесценция и дозревание островков. Магические островки, островки вакансий.

21. Кинетические эффекты в гомоэпитаксии. Внутрислойный и межслойный массоперенос. Барьер Эрлиха – Швобеля.

22. Кинетические эффекты в гомоэпитаксии. Рост за счет движения ступеней, послойный и многослойный рост.

23. Эффекты механических напряжений при гетероэпитаксии.

24. Рост пленок в присутствии сурфактантов. Сурфактанты и интерфактанты. Механизмы действия сурфактантов.

25. Объекты нанометрового масштаба и пониженной размерности. Классификация и методы получения нанокластеров и наноструктур.

26. Уравнения и характеристики условий термодинамической стабильности межфазных границ в наносистемах.

27. Кристаллы и кристаллиты, кластеры. Размерные эффекты. Термодинамическая и квантово-статистическая модели кластеров. Оболочечная и структурная модели.

28. Структурные особенности твердотельных наноструктур. Дефекты и напряжения. Структурные фазовые переходы. Механические и тепловые свойства.

29. Матричные и супрамолекулярные нанокластеры и наноструктуры.

30. Оптические и электронные свойства наносистем и наноматериалов.

31. Магнитные свойства наносистем и наноматериалов.

32. Физико-химические эффекты в туннельно-зондовой нанотехнологии. Атомные манипуляции с помощью СТМ.

33. Графен, фуллерены и углеродные нанотрубки.

## 4. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Для обеспечения процесса обучения и решения задач обучения используются следующие материалы (согласно п. 12 данной рабочей программы):

### 4.1 Основная литература

1. Наноматериалы [Текст]: учебное пособие для вузов / Д. И. Рыжонков, В. В. Лёвина, Э. Л. Дзидзигури. – 2-е изд. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 366 с. **(45)**

### 4.2 Дополнительная литература

1. Основы физической химии: учебник для вузов / В. И. Горшков, И. А. Кузнецов. – 3-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 407 с. (**1)**

2. Механика материалов и структур нано- и микротехники: учебное пособие для вузов / О. П. Кормилицын, Ю. А. Шукейло. – М.: Академия, 2008. – 215 с. **(1)**

3. Наноструктуры в электронике и фотонике: пер. с англ. / ред. Ф. Рахман; пер. Ю. А. Заболотная; ред. пер. Е. Л. Свинцов. – М.: Техносфера, 2010. – 343 с. **(1)**

4. Материалы и методы нанотехнологии: учебное пособие / В. В. Старостин; ред. Л. Н. Патрикеев. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 431 с. **(1)**

### 4.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

1. Саврук, Е. В. Физико-химия наноструктурированных материалов: Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов направлений подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника», 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника», профиль «Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике» [Электронный ресурс] / Саврук Е. В., Каранский В. В. — Томск: ТУСУР, 2016. — 51 с. — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/6271.

2. Математический пакет MathCad или Mathematica.

3. Офисные программы Microsoft Office или Open Office.



Согласована на портале № 1057

### 4.4 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Образовательный портал в свободном доступе: «Физика, химия, математика студентам и школьникам. Образовательный проект А.Н. Варгина» – Режим доступа: http://www.ph4s.ru/

2. «eLIBRARY.RU» [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека. – Режим доступа: http://elibrary.ru

3. «Научно-образовательный портал ТУСУР» [Электронный ресурс]: научно-образовательный портал университета. – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/



Согласована на портале № 1057