

УДК 536.7 + 541: 539  
ББК 24.5  
К 58

*Рецензенты:*

Липанов А.М. – академик РАН, директор Института прикладной механики УрО РАН  
Заиков Г.Е. – доктор химических наук, профессор, зав. отделом Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН

**Кодолов В.И., Хохряков Н.В.**

К 58      Химическая физика процессов формирования и превращений наноструктур и наносистем : монография. В 2 т. Т. 1. Понятия, классификация, гипотезы, получение и исследование наноструктур и наносистем / В.И. Кодолов, Н.В. Хохряков. – Ижевск : ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2009. – 360 с.

ISBN 978-5-9620-0152-4 (Т. 1)  
ISBN 978-5-9620-0151-7

В книге рассмотрены актуальные вопросы нанохимии, нанофизики, наноматериаловедения и нанотехнологии. Основное внимание уделяется рассмотрению процессов формирования и превращений наноструктур и наносистем. Приводится обзорный материал по некоторым свойствам наноструктур и наноматериалов, а также по модификации композитов наноструктурами. Рассмотрены методы моделирования наноскопических объектов.

Книга предназначена для специалистов, работающих в области нанотехнологий, студентов старших курсов университетов, магистрантов, аспирантов, работников научно-исследовательских институтов и научно-производственных объединений.

УДК 536.7 + 541: 539  
ББК 24.5

ISBN 978-5-9620-0152-4 (Т. 1)  
ISBN 978-5-9620-0151-7

© Кодолов В.И., Хохряков Н.В., 2009  
© ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2009

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |     |
|--|-----|
| <b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....   | 3   |
| <b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....  | 6   |
| Литература к введению.....   | 16  |
| <b>1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ</b>   |     |
| <b>В НАНОМАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ</b> .....  | 17  |
| 1.1. Определение области существования наносистем<br>и наноструктур .....  | 17  |
| 1.2. Наноматериалы и нанокомпозиты .....   | 32  |
| 1.3. Определения и понятия в физике и химии<br>поверхности. Межфазные границы .....  | 39  |
| 1.4. Основные понятия в моделировании<br>наноструктур и наносистем. Нанотермодинамика.<br>Пространственно-энергетические параметры ..... | 49  |
| Литература к главе 1.....  | 61  |
| <b>2. КЛАССИФИКАЦИЯ НАНОСИСТЕМ</b> .....   | 63  |
| 2.1. Наноструктуры. Геометрия и энергетика наночастиц.<br>Зародышеобразование и рост наноструктур .....                                  | 63  |
| 2.2. Нанокристаллы и нанокластеры. Структура<br>углеродных наносистем .....  | 73  |
| 2.3. Как различные теории пытаются объяснить<br>существование наноструктур? Классификация моделей .....                                  | 80  |
| 2.4. Формирование классификационных признаков<br>и схем наноматериалов и нанокомпозитов.....   | 88  |
| 2.5. Что такое нанореакторы и какие они бывают? .....  | 95  |
| Литература к главе 2.....  | 105 |
| <b>3. ГИПОТЕЗЫ И МЕХАНИЗМЫ ОБРАЗОВАНИЯ НАНОСИСТЕМ</b> .....  | 108 |
| 3.1. Анализ существующих гипотез и теорий<br>образования наноструктур и наносистем.....  | 108 |
| 3.2. Анализ условий, при которых образуются<br>наноструктуры определенной формы.....   | 117 |

|  |            |
|--|------------|
| 3.3. Как нанотермодинамика объясняет существование<br>и формирование наноструктур?.....                              | 130        |
| 3.4. Возможность образования наноструктур в матрицах<br>и нанореакторах.....   | 145        |
| 3.5. Энергетические и геометрические параметры матрицы,<br>способствующие образованию наноструктур и наносистем..... | 157        |
| Литература к главе 3.....  | 166        |
| <b>4. СПОСОБЫ И МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОСТРУКТУР.....</b>  | <b>169</b> |
| 4.1. Классификация способов и методов получения наноструктур .....   | 169        |
| 4.2. Получение наноструктурных образований путем<br>механического распыления веществ.....                            | 173        |
| 4.3. Высокотемпературные методы формирования наноструктур.....   | 181        |
| 4.3.1. Электродуговое распыление графита.....  | 182        |
| 4.3.2. Получение наноструктур электродуговым<br>распылением углеродного анода в присутствии<br>катализаторов.....    | 188        |
| 4.3.3. Получение нанопродуктов с помощью<br>лазерного распыления.....  | 197        |
| 4.3.4. Получение нанопродуктов при горении и в плазме.....   | 202        |
| 4.3.5. Пиролитические и термохимические<br>методы получения наноструктур.....  | 208        |
| 4.4. Синтез наноструктур путем компактирования<br>химических частиц на активных поверхностях.....                    | 224        |
| 4.5. Низкоэнергетические (низкотемпературные)<br>способы формирования наноструктур.....                              | 247        |
| 4.6. Методы формирования нанокомпозитов и наноматериалов.....  | 261        |
| Литература к главе 4.....  | 278        |
| <b>5. СПОСОБЫ ВЫДЕЛЕНИЯ, ОЧИСТКИ И ПОДГОТОВКИ<br/>НАНОСТРУКТУР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ.....</b>                | <b>290</b> |
| 5.1. Способы выделения и очистки наноструктур.....   | 290        |
| 5.2. Методы детектирования и исследования наноструктур<br>и наносистем.....  | 307        |

|   |     |
|---|-----|
| 5.2.1. Методы пооперационного контроля и предварительного<br>детектирования наноструктур в процессе их формирования<br>в нанореакторах..... | 308 |
| 5.2.2. Методы определения и исследования наноструктур<br>после их получения и выделения.....  | 313 |
| - Спектроскопические методы исследования наноструктур .....   | 313 |
| - Методы электронной микроскопии в сочетании<br>со спектроскопическими методами.....  | 319 |
| - Дифракционные методы исследования наноструктур<br>в сочетании с методами электронной микроскопии<br>и спектроскопическими методами.....   | 320 |
| - Спектроскопические исследования с помощью<br>фотоэмиссионной и рентгеновской фотоэлектронной<br>спектроскопии .....                       | 332 |
| - Исследования наноструктур с помощью Электронного<br>Парамагнитного Резонанса (ЭПР) .....  | 340 |
| Литература к главе 5.....   | 344 |
| Список обозначений и сокращений.....  | 348 |