

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие ко второму изданию.....	5
Глава 1. Введение	11
1.1. Вступление	11
1.2. Появление нанотехнологии.....	14
1.3. Подходы «снизу вверх» и «сверху вниз».....	18
1.4. Основные проблемы нанотехнологии.....	19
1.5. Чему посвящена эта книга	22
Литература	24
Глава 2. Физическая химия поверхности твердых тел.....	26
2.1. Введение	26
2.2. Поверхностная энергия	28
2.3. Химический потенциал как функция поверхностной кривизны	38
2.4. Электростатическая стабилизация.....	43
2.4.1. Поверхностная плотность заряда.....	43
2.4.2. Электрический потенциал вблизи поверхности твердого тела.....	45
2.4.3. Потенциал притяжения Ван-дер-Ваальса	47
2.4.4. Взаимодействие между двумя частицами: теория ДЛФО.....	50
2.5. Стерическая стабилизация.....	54
2.5.1. Растворитель и полимер.....	55
2.5.2. Взаимодействия между полимерными слоями.....	57
2.5.3. Смешанные стерические и электрические взаимодействия.....	60
2.6. Заключение	60
Литература	61
Глава 3. Нульмерные наноструктуры: наночастицы.....	63
3.1. Введение	63
3.2. Формирование наночастиц посредством гомогенной нуклеации.....	64
3.2.1. Основы гомогенной нуклеации.....	65
3.2.2. Дорастивание частиц после нуклеации	70

3.2.3. Синтез металлических наночастиц	75
3.2.4. Синтез полупроводниковых наночастиц	91
3.2.5. Синтез оксидных наночастиц	98
3.2.6. Реакции в газовой фазе	105
3.2.7. Сегрегация твердой фазы	106
3.3. Формирование наночастиц посредством гетерогенной нуклеации ..	110
3.3.1. Основы гетерогенной нуклеации	110
3.3.2. Синтез наночастиц	112
3.4. Кинетически-ограниченный синтез наночастиц	114
3.4.1. Синтез в мицеллах или в микроэмульсиях	114
3.4.2. Аэрозольный синтез	116
3.4.3. Прекращение роста	117
3.4.4. Пиролиз аэрозолей	118
3.4.5. Матричный (темплатный) синтез	119
3.5. Эпитаксиальные наночастицы «ядро в оболочке»	119
3.6. Заключение	122
Литература	123
Глава 4. Одномерные наноструктуры: нанонити и наностержни.....	131
4.1. Введение	131
4.2. Самопроизвольный рост	133
4.2.1. Рост в результате испарения (растворения) – конденсации	133
4.2.2. Рост по механизму «пар–жидкость–кристалл» (ПЖК) или «раствор–жидкость–кристалл» (РЖК)	148
4.2.3. Рекристаллизация под действием напряжения	164
4.3. Матричный (темплатный) синтез	164
4.3.1. Электрохимическое осаждение	165
4.3.2. Электрофоретическое осаждение	176
4.3.3. Заполнение матриц	181
4.3.4. Преобразование с помощью химических реакций	186
4.4. Электроформование волокон	189
4.5. Литография	191
4.6. Заключение	195
Литература	195
Глава 5. Двумерные наноструктуры: тонкие пленки	203
5.1. Введение	203
5.2. Основы роста пленок	204
5.3. Вакуумные технологии	209
5.4. Физическое осаждение из газовой фазы	213
5.4.1. Испарительное осаждение	213
5.4.2. Молекулярно-лучевая эпитаксия	215
5.4.3. Распылительное осаждение	217

5.4.4. Сравнение методов испарительного и распылительного осаждения.....	219
5.5. Химическое осаждение из газовой фазы.....	220
5.5.1. Обычно используемые химические реакции.....	220
5.5.2. Кинетика реакций.....	221
5.5.3. Явления переноса.....	222
5.5.4. Методы химического осаждения из газовой фазы.....	225
5.5.5. Формирование алмазных пленок методом химического осаждения из газовой фазы.....	229
5.6. Осаждение атомных слоев.....	231
5.7. Сверхрешетки.....	236
5.8. Самосборка.....	239
5.8.1. Монослои кремнийорганических соединений или производных алкилсиланов.....	241
5.8.2. Монослои алкантиолов и сульфидов.....	243
5.8.3. Монослои карбоксильных кислот, аминов и спиртов.....	246
5.9. Пленки Ленгмюра-Блоджетт.....	247
5.10. Электрохимическое осаждение.....	251
5.11. Золь-гель пленки.....	253
5.12. Заключение.....	258
Литература.....	258
Глава 6. Примеры наноматериалов.....	264
6.1. Введение.....	264
6.2. Углеродные фуллерены и нанотрубки.....	264
6.2.1. Углеродные фуллерены.....	265
6.2.2. Кристаллы фуллеренов.....	267
6.2.3. Углеродные нанотрубки.....	267
6.3. Микро- и мезопористые материалы.....	274
6.3.1. Упорядоченные мезопористые структуры.....	274
6.3.2. Неупорядоченные мезопористые структуры.....	283
6.3.3. Кристаллические мезопористые материалы: цеолиты.....	288
6.4. Структуры «ядро в оболочке».....	297
6.4.1. Структуры металл–оксид.....	297
6.4.2. Структуры металл–полимер.....	300
6.4.3. Структуры оксид–полимер.....	301
6.5. Органо-неорганические гибриды.....	303
6.5.1. Гибриды 1 класса.....	303
6.5.2. Гибриды 2 класса.....	304
6.6. Интеркаляционные соединения.....	306
6.7. Нанокompозиты и нанозернистые материалы.....	308
6.8. Инвертированные опалы.....	311
6.9. Биоиндуцированные наноматериалы.....	314

6.10. Заключение	315
Литература	316
Глава 7. Наноструктуры, изготовленные физическими методами	327
7.1. Введение	327
7.2. Литография	328
7.2.1. Фотолитография.....	329
7.2.2. Фотолитография с фазовым сдвигом.....	333
7.2.3. Электронно-лучевая литография	335
7.2.4. Рентгеновская литография.....	336
7.2.5. Литография с использованием сфокусированного ионного пучка	338
7.2.6. Литография на нейтральных атомных пучках	341
7.3. Наноманипуляции и нанолитография.....	343
7.3.1. Сканирующая туннельная микроскопия	343
7.3.2. Атомно-силовая микроскопия	346
7.3.3. Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия.....	348
7.3.4. Наноманипуляции.....	350
7.3.5. Нанолитография.....	355
7.4. Мягкая литография	360
7.4.1. Микроконтактная печать.....	361
7.4.2. Литье	362
7.4.3. Наноимпринт.....	364
7.4.4. Перьевая нанолитография.....	367
7.5. Сборка наночастиц и нанонитей	367
7.5.1. Силы, обусловленные капиллярными явлениями	369
7.5.2. Дисперсионные взаимодействия.....	371
7.5.3. Сборка под действием сил сдвигового течения	372
7.5.4. Сборка в электрическом поле.....	373
7.5.5. Ковалентно-связанная сборка.....	373
7.5.6. Сборка в гравитационном поле	374
7.5.7. Темплатная сборка.....	374
7.6. Другие методы изготовления микрообъектов	376
7.7. Заключение	376
Литература	377
Глава 8. Диагностика наноматериалов и их свойства	385
8.1. Введение	385
8.2. Диагностика структуры.....	386
8.2.1. Дифракция рентгеновских лучей	386
8.2.2. Малоугловое рентгеновское рассеяние	389
8.2.3. Сканирующая электронная микроскопия.....	393
8.2.4. Просвечивающая электронная микроскопия	395

8.2.5. Сканирующая зондовая микроскопия	396
8.2.6. Газовая адсорбция	400
8.3. Химическая диагностика	402
8.3.1. Оптическая спектроскопия	402
8.3.2. Электронная спектроскопия	406
8.3.3. Ионная спектроскопия	408
8.4. Физические свойства наноматериалов	410
8.4.1. Точки плавления и постоянные решетки	411
8.4.2. Механические свойства	415
8.4.3. Оптические свойства	420
8.4.4. Электропроводность	430
8.4.5. Сегнетоэлектрики и диэлектрики	439
8.4.6. Суперпарамагнетизм	441
8.5. Заключение	443
Литература	445
Глава 9. Применение наноматериалов.....	452
9.1. Введение	452
9.2. Молекулярная электроника и наноэлектроника	453
9.3. Наноботы	455
9.4. Биологическое применение наночастиц	456
9.5. Золотые частицы – катализаторы	457
9.6. Квантовые устройства, использующие инженерию запрещенной зоны	458
9.6.1. Устройства на квантовых ямах	459
9.6.2. Устройства на квантовых точках	460
9.7. Наномеханика	462
9.8. Излучатели на основе углеродных нанотрубок	464
9.9. Применение наноматериалов в энергетике	466
9.9.1. Фотоэлектрохимические ячейки	466
9.9.2. Литий-ионные аккумуляторы	469
9.9.3. Хранение водорода	473
9.9.4. Термоэлектрики	476
9.10. Применения наноматериалов для охраны окружающей среды.....	479
9.11. Фотонные кристаллы и плазмонные волноводы.....	480
9.11.1. Фотонные кристаллы.....	480
9.11.2. Плазмонные волноводы	482
9.12. Заключение	483
Литература.....	483
Приложения.....	494
Предметный указатель	500