

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	13
Введение	15
<i>Джайлс Дэвис</i>	
Глава 1. Новые формы углерода: материалы XXI в.	21
<i>Умберто Терронес, Маурисио Терронес</i>	
1.1. Введение	21
1.2. Новые углеродные наноструктуры: фуллерены, углеродные луковицы, нанотрубки и др.	23
1.2.1. Открытие фуллеренов и их массовое производство	23
1.2.2. От гигантских фуллеренов к графитовым луковицам	24
1.2.3. Углеродные нанотрубки	24
1.3. Будущее углеродных наноструктур: сферы практического применения и новые технологии	32
1.3.1. Источники полевой эмиссии	32
1.3.2. Наконечники сканирующих зондов	33
1.3.3. Литий-ионные аккумуляторные батареи	33
1.3.4. Электрохимические устройства: конденсаторы повышенной емкости и электростатические возбудители	33
1.3.5. Молекулярные сенсоры	34
1.3.6. Нанокompозиты углерод/углерод: соединение и сращивание углеродных нанотрубок	34
1.3.7. Хранение газов и водорода	35
1.3.8. Электронные устройства на основе углеродных нанотрубок	35
1.3.9. Биологические устройства	36
1.3.10. Полимерные композиты на основе углеродных нанотрубок	36
1.3.11. Керамические композиты на основе углеродных нанотрубок	36
1.3.12. Многослойные углеродные нанотрубки с покрытием	36
1.4. Выводы и перспективы	37
Глава 2. Неорганические нанонити	45
<i>Катерина Дукачи</i>	
2.1. Введение	45
2.2. Синтез неорганических наноструктур с высоким соотношением линейных размеров	48
2.2.1. Низкотемпературное химическое осаждение кремниевых нанонитей из паровой фазы	48
2.2.2. Синтез наностержней RuO_2 в растворе	53
2.2.3. Физические методы синтеза наностержней SiC и нанонитей $\text{NiS} - \text{MoS}_2$	56
2.3. Перспективы	61
Глава 3. Многослойные структуры: палитра для создателя материалов	67
<i>Джон М. Молина-Алдарегуйя, Стивен Дж. Ллойд</i>	
3.1. Введение	67
3.2. Мультислои	69
3.3. Электронная микроскопия	72

3.4. Твердые покрытия	73
3.4.1. Мультислои TiN/NbN _x : случай, когда пластическое течение ограничено в пределах каждого слоя	77
3.4.2. Мультислои TiN/SiN _x : случай, когда прерывается столбчатый рост	80
3.4.3. Слои мультислои TiN/SiN _x : случай, когда наблюдается совершенно новое (в массиве не наблюдающееся вовсе) поведение при чрезвычайно малой толщине слоев	81
3.5. Металлические магнитные мультислои	83
3.6. Выводы и перспективы	87
Глава 4. Природа как великий инженер	91
<i>Саймон Р. Холл</i>	
4.1. Природа вдохновляет инженера	91
4.2. Природа помогает инженеру	94
4.3. Природа становится инженером	109
4.3.1. Будущее	109
Глава 5. Супрамолекулярная химия: создание наноразмерных систем «снизу вверх»	115
<i>Филип А. Гейл</i>	
5.1. Введение	115
5.2. Молекулярное распознавание	116
5.3. Самосборка	120
5.4. Самосборка и ковалентная модификация	124
5.5. Супрамолекулярные методы создания молекулярных машин	126
5.6. Выводы	130
Глава 6. Молекулярная самосборка: набор инструментов для конструирования на нанометровом уровне	134
<i>Кристоф Вэти</i>	
6.1. Введение	134
6.2. Функционализированные поверхности	138
6.3. Разветвленные комплексы на основе ДНК	149
6.4. Манипулирование ДНК с использованием электрических полей	154
6.5. Выводы и направления будущих исследований	159
Глава 7. Исследование туннельного транспорта через белки на молекулярном уровне	171
<i>Джейсон Дж. Дэвис, Хан Вэнг, Вэнг Кси, Жианвэй Жао</i>	
7.1. Введение	171
7.2. Молекулярная электроника	173
7.3. Сборка белков на электроактивных поверхностях	175
7.4. Туннельный транспорт электронов через белок при сканирующей туннельной микроскопии	176
7.5. Исследование проводимости белка атомно-силовым микроскопом с проводящим зондом	179
7.5.1. Туннельный транспорт в условиях низкой и умеренной нагрузки	179
7.5.2. Модуляция проводимости белка при умеренной нагрузке	184
7.5.3. Доступ к металлическим состояниям: отрицательное дифференциальное сопротивление	186
7.6. Выводы	189
Глава 8. Два рубежа современной электротехники: размер и частота	197
<i>Джон Каннингэм</i>	
8.1. Введение: размерные и частотные пределы для современных электронных систем	197

8.2. Работа с отдельным электроном	199
8.2.1. Удержание электронов	199
8.2.2. Электронные насосы и вентили	204
8.2.3. Поверхностно-акустические волновые устройства	206
8.3. Пикосекундная электроника	209
8.3.1. Возбуждение и регистрация	209
8.3.2. Передача сигналов	212
8.3.3. Пассивные устройства, фильтры и нагрузка диэлектриком	213
8.4. Перспективы	215
Глава 9. Создание квантовых устройств методом стираемой электростатической литографии	219
<i>Рольф Крук</i>	
9.1. Квантовые устройства	220
9.1.1. Изготовление	221
9.2. Методы сканирующей зондовой литографии	225
9.2.1. Локальное анодное окисление	225
9.2.2. Скрайбирование	226
9.2.3. Манипулирование отдельными атомами	227
9.3. Стираемая электростатическая литография	227
9.3.1. Описание результатов стираемой электростатической литографии	230
9.3.2. Перспективные разработки	234
9.4. Квантовые устройства и сканирующие зонды	234
9.4.1. Квантовые нити	235
9.4.2. «Квантовые бильярды»	237
9.4.3. Квантовые кольца	240
9.4.4. Устройства будущего	241
Глава 10. Сверхбыстрые намагнииты: новый подход к хранению данных	245
<i>Роберт Дж. Хикен</i>	
10.1. Введение	246
10.2. Из чего состоит магнит?	247
10.3. В чем проявляются особенности наномангитов?	249
10.4. Технология записи и факторы ограничения скорости	253
10.5. Наблюдение сверхбыстрой динамики намагниченности	257
10.6. Контроль над прецессией	258
10.7. Оптическая модификация спонтанного намагничивания	261
10.8. Перспективы	263
Глава 11. Микроскопия ближнего поля: наномир в объективе	269
<i>Дэвид Ричардс</i>	
11.1. Введение	269
11.1.1. Потребность в оптической микроскопии на нанометровом уровне	269
11.1.2. Преодоление дифракционного порога	270
11.1.3. Сканирующая оптическая микроскопия ближнего поля	271
11.1.4. Нанооптика: путь к нанометровому оптическому разрешению	272
11.2. Апертурная сканирующая оптическая микроскопия ближнего поля	274
11.2.1. Применение	274
11.2.2. Флуоресцентная микроскопия ближнего поля для светозмиссионных полимерных смесей	275
11.2.3. Остерегайтесь артефактов	276
11.3. Безапертурная оптическая микроскопия ближнего поля: возможность получения оптического изображения в истинно нанометровом разрешении	277

11.3.1. Оптическая микроскопия ближнего поля с металлическим или диэлектрическим зондом	278
11.3.2. «Одномолекулярные» флуоресцентные зонды для сканирующей оптической микроскопии ближнего поля.	279
11.4. Спектроскопия с усилением зондом	280
11.4.1. Рамановское рассеивание с усилением зондом.	280
11.4.2. Флуоресценция с усилением зондом.	281
11.5. Перспективы	282
Глава 12. Маленькие предметы — ярко и четко: распознавание флуоресценции отдельной молекулы*	287
<i>Марк А. Осборн</i>	
12.1. Введение	287
12.1.1. Принципы	289
12.1.2. Зонды	291
12.1.3. Схемы возбуждения	292
12.1.4. Коллимирующая оптика	294
12.1.5. Детекторы	296
12.2. Методы распознавания	298
12.2.1. Распознавание отдельной молекулы по отличительным характеристикам	298
12.2.2. Антигруппировка фотонов	300
12.2.3. Продолжительность флуоресценции	300
12.2.4. Поляризационная спектроскопия	302
12.2.5. Широкоугольная съемка ориентации	303
12.2.6. Флуоресцентная корреляционная спектроскопия	305
12.2.7. Спектральная диффузия	307
12.2.8. Флуоресцентный резонансный перенос энергии	308
12.2.9. Локализация одиночной молекулы	309
12.3. Заключение	311
Предметный указатель	318
Приложение 1. Нанотехнология и наноэлектроника	321
Приложение 2. Нанотехнология — основа шестого технологического уклада	329
Приложение 3. Современные достижения бионаблюдения	355
Приложение 4. Тенденции и тренды в современном научном приборостроении на примере оборудования для сканирующей зондовой микроскопии	373
Приложение 5. Оснащение современных научных центров: элементы последовательной государственной стратегии и социальная ответственность бизнеса	380
Приложение 6. НаноФаб 100 — платформа для создания наносистемной техники	386
Приложение 7. Стандартизованные процессы производства гетероструктур III-N — основа новой компонентной базы твердотельной СВЧ-электроники	391
Приложение 8. Оборудование и технология получения функциональных наноразмерных структур эмиссионной электроники	406
Приложение 9. Технология производства наноустройств с помощью систем электронно-лучевой литографии высокого разрешения	433
Приложение 10. Оптические покрытия на основе нанокompозитной среды Максвелла-Гарнета	453
Приложение 11. Перспективы применения изотопической нанотехнологии в телекоммуникационных системах	478

ПРЕДИСЛОВИЕ

Хотя исследователи используют префикс «нано-» уже более тридцати лет, лишь в последнее десятилетие термины с этой приставкой стали неотъемлемой частью практически любой отрасли науки и техники, включая медицину. Иногда термин «нанотехнологии» используется не совсем по назначению, а скорее как дань общей тенденции, но в целом рост интереса к этой сфере науки во всех отраслях свидетельствует о значительном прорыве в эффективном применении нанотехнологий и наноматериалов на практике. Мы находимся на той ступени, когда стало возможным изменять материалы на молекулярном и атомном уровнях, создавая и контролируя абсолютно новые материалы и процессы, предназначенные для достижения определенных целей. Примерами этого являются достижения в области разработки новых полупроводников для нанoeлектронных устройств и препаратов для лечения наследственных заболеваний. Нанотехнологии дают возможности, которых лет двадцать назад невозможно было и представить. Настоящая книга предназначена для тех, кто всерьез интересуется достижениями в этой области и хочет узнать как о уже существующих возможностях, так и об имеющихся ограничениях, чтобы использовать эти знания для дальнейшего развития науки и технологий.

Изначально термины с приставкой «нано-» в 1970-х годах использовались для обозначения структур с размерами, близкими к нанометру или хотя бы нескольким нанометрам, для проведения грани между ними и микроструктурами. По мере распространения термина «наноструктуры» область обозначаемого им была расширена, и на сегодняшний день в нее включаются структуры размерами до 100 нанометров. Для соблюдения терминологического порядка следует придерживаться этого определения. В данной книге рассматриваются ключевые достижения академической и отраслевой науки в области исследования, создания и контроля структур и процессов на размерном уровне менее 100 нм. Открывает книгу глава, посвященная углероду и различным его молекулярным конфигурациям. Эта и другие главы написаны специалистами в области как искусственных, так и природных структур. В книге рассматриваются наноустройства и перспективы их применения в области информационных и коммуникационных технологий, а также передовые методы анализа и микроскопического исследования, разрабатываемые для изучения этих сверхмалых объектов и манипуляции ими. Отдельные главы посвящены молекулярной самосборке и туннельному транспорту через белки. В этих процессах особо наглядно проявляются достижения нанонауки и техники, раскрывающие внутренние механизмы ключевых природных процессов и дающие возможность управлять ими. Наномир так безграничен и разно-

образен, что ни в какой отдельной книге невозможно дать исчерпывающее описание успехов в его освоении исследователями всех стран, и предлагаемый сборник статей не претендует на полноту. Однако эта книга способна еще долгое время оставаться полезным путеводителем по действительным и потенциальным возможностям наноинженерии для всех, чьи интересы лежат в этой области.

Лорд Броэрс, член Королевского общества Великобритании,
председатель Комитета по науке и технологиям при Палате лордов,
экс-президент Королевской инженерной академии