СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие сенаторов Джозефа Либермана и Джорджа Аллена ... 14

Предисловие редактора ... 15

Сведения о редакторе и составителе сборника ... 20

РАЗДЕЛ I. РУКОВОДСТВО И ОРГАНИЗАЦИЯ

Глава 1. Уроки инновационной политики и коммерциализации, связанные с биотехнологической революцией ... 21
1.1. История биотехнологии ... 22
1.2. Концепция 1. Уроки S-образной кривой ... 25
1.3. Концепция 2. Уроки коммерциализации технических новшеств ... 28
1.4. Общие выводы из анализа S-образных кривых развития любых технологий ... 29
1.5. Общие выводы из анализа коммерческих инноваций в области биотехнологий ... 30
1.6. Будущее нанотехнологии ... 30
Литература ... 33

Глава 2. Нанотехнология и глобальная энергетика ... 34
2.1. Транспортировка и хранение энергии ... 37
2.2. Энергия для всех ... 39

Глава 3. Причудливые, странные и туманные перспективы нанотехнологии. Корабль в Саргассовом море с опасными капризами моды и агрессивными требованиями рекламы ... 40
3.1. Как не ошибиться в поисках успеха? ... 41
3.2. Агрессивная реклама ... 43
3.3. Факторы, затрудняющие прогнозирование ... 46
3.4. Добродетельный круг ... 48
3.5. Превращение науки в технологию и бизнес ... 51
3.6. Возвращение к реальности ... 52
Литература ... 53

РАЗДЕЛ II. УЧАСТНИКИ ГОНКИ

Глава 4. Коммерциализация нанотехнологии. Работает ли закон Мура в микро- и наноэлектронике? ... 54
4.1. Экспоненты технологического роста ... 55
4.2. Закон Мура ... 57
4.2.1. Важность закона Мура ... 58
4.2.2. Проблемы современной парадигмы ... 61
4.3. Молекулярная электроника ... 62

4.4. Коммерциализация нанотехнологии ... 65
4.4.1. Инновации происходят на границе познания ... 66
4.4.2. Хронология событий на рынке нанотехнологий ... 68
4.4.3. Проблема вертикальной интеграции стандартов и технических условий ... 70
4.4.4. Проблемы взаимодействия ... 71
4.4.5. Как выглядит масштабная иерархия в молекулярной нанотехнологии? ... 72
4.4.5.1. Построение структур методом «сверху вниз». «Путь чипа» ... 72
4.4.5.2. Биологический подход, или развитие технологии «снизу вверх» ... 74
4.4.5.3. Поучительный пример — гибридная молекулярная электроника ... 76
4.4.6. Проблемы интеллектуальной собственности в разных моделях бизнеса ... 77
4.5. Системы, программное обеспечение и другие абстракции ... 78
4.5.1. Биологическая муза нанотехнологий ... 79
4.5.2. Ускорители нанотехнологии. Квантовое моделирование и масштабные эксперименты ... 82
4.6. Попытки прогнозирования ... 84
4.6.1. Краткосрочная перспектива, быстрое получение прибыли ... 85
4.6.2. Среднесрочная перспектива ... 85
4.6.3. Далекая перспектива ... 85
4.7. Этические проблемы. Гены, мемы и оцифровывание ... 86
4.8. Заключение ... 87

Глава 5. Инвестиции в нанотехнологию ... 88
5.1. Инвестирование венчурного капитала ... 88
5.1.1. Вложение венчурных капиталов в нанотехнологии ... 89
5.1.2. Нанотехнологические инновационные фирмы ... 90
5.2. Нанотехнологические компании и открытые рынки ... 92

Глава 6. Государственная политика США в области нанонауки и нанотехнологии ... 96
6.1. Национальная нанотехнологическая инициатива (ННИ) и Акт о развитии нанотехнологии в XXI веке ... 98
6.2. Научные исследования и развитие ... 100
6.2.1. Участие федерального правительства в развитии нанотехнологий. Проблема разделения фундаментальных и прикладных исследований ... 102
6.3. Образование и подготовка научных и технических кадров ... 103
6.4. Оборудование и аппаратура ... 104
6.5. Передача технологии ... 105
6.6. Проблема ответственности за развитие нанотехнологий ... 107
6.6.1. Существующее законодательство и ответственное развитие нанотехнологий ... 108

6.6.2. Юридические проблемы организации исследований 108
6.6.3. Проблемы контроля 109
Литература 111

Глава 7. Обзор академических исследований США в области нанотехнологии 112
7.1. Механизмы финансирования исследований Национальным научным фондом США (NSF) 113
7.1.1. Центры по нанонауке и наноинженерии (Nanoscale Science and Engineering Centers, NSEC) 113
7.1.2. Гранты на поисковые работы в области нанотехнологий 116
7.1.3. Национальная сеть нанотехнологической инфраструктуры (National Nanotechnology Infrastructure Network, NNIN) 116
7.1.4. Сеть вычислительной нанотехнологии (Network for Computational Nanotechnology, NCN) 116
7.1.5. Программы образования и подготовки технических кадров 117
7.2. Главные направления исследований, финансируемых ННИ и ННФ 117
7.3. Направления исследований в будущем 123
7.4. Поддержка специальных направлений академических исследований со стороны некоторых ведомств, связанных с ННИ 124
7.5. Заключение 126
Литература 127

Глава 8. Механизмы передачи и использования результатов академических исследований в области нанотехнологий 128
8.1. Не существует стандартных методов передачи технологий! 131
8.2. Почему университеты занимаются передачей технологий? 132
8.3. Как происходит передача технологии? 132
8.3.1. Источники технологии 133
8.3.2. Какими мотивами руководствуется администрация, раскрывая информацию? 134
8.3.3. Необходимость создания атмосферы доверия 134
8.3.4. Особенности академической деятельности и культуры 135
8.3.4.1. Проблема публикации результатов 136
8.3.4.2. Отделы передачи технологий и администрация университетов 137
8.3.5. Варианты деловых отношений 138
8.3.5.1. Лицензирование 138
8.3.5.2. Сотрудничество с профессорско-преподавательским составом и самими исследователями 139
8.3.5.3. Стратегическое партнерство со стартовыми компаниями, связанными с университетами 139
8.3.5.4. Специальные виды финансирования научно-исследовательских работ 140
8.3.5.5. Основные и побочные исследования 140

8.3.6. Риски 140
8.3.6.1. Судебные риски, связанные с лицензированием 141
8.3.6.2. Риски, связанные с научными консультациями 141
8.3.6.3. Другие риски возникновения судебных разбирательств 142
8.4. Заключение 143
8.5. Примечания 143

Глава 9. Проблемы охраны интеллектуальной собственности 145
9.1. Методы защиты прав на интеллектуальную собственность 146
9.1.1. Патенты 146
9.1.2. Коммерческие секреты 148
9.1.3. Торговые марки и фабричные знаки 148
9.1.4. Авторские права (копирайт) 149
9.2. Законодательные (статутные) требования 149
9.2.1. Реализация патентных прав 152
9.2.2. Временное и постоянное использование патентов 153
9.2.3. Вызовы и проблемы, связанные с интеллектуальной собственностью. Ограничения на инновации 154
9.2.4. Судебные разбирательства 155
9.2.5. Проблемы, связанные с финансированием исследований 156
9.3. Заключение 156

Глава 10. Предпринимательство в технологической экосистеме 157
10.1. Биологические аналогии. Львы, тигры и медведи: какую роль играют предприниматели в технической экосистеме? 158
10.2. Сила идеи. Какую идею можно назвать действительно хорошей? 162
10.3. Один человек способен изменить судьбы мира: кем является предприниматель? 164
10.4. Думать о будущем, анализируя прошлое. Что делают предприниматели? 166
10.5. Хорошие, плохие или ужасные. Чего следует ждать каждому предпринимателю? 168
10.6. Стоит ли вообще заниматься предпринимательством и инновациями? 171

Глава 11. Большие корпорации. Технология, бизнес и культура «удачи» 173
11.1. Культура использования возможностей: модели и циклы 174
11.2. Поиски чаши святого Грааля 176

Глава 12. Развитие нанотехнологий в федеральных лабораториях США 179
12.1. Роль и значение федеральных лабораторий 180
12.2. Передача технологий 182
12.3. Заключение 183

РАЗДЕЛ III. МАТЕРИАЛЫ И ПРОИЗВОДСТВО

Глава 13. Наноматериалы 184
13.1. Общее введение и содержание 184

13.2. Наночастицы 186
13.2.1. Применение наночастиц 187
13.2.2. Производство наночастиц 190
13.2.3. Общий обзор состояния производства наночастиц 191
Литература 192
13.3. Углеродные нанотрубки 193
13.3.1. Необычные свойства нанотрубок 195
13.3.2. Проблемы получения и промышленного производства нанотрубок 196
13.3.3. Возможности применения 198
Литература 201
13.4. Нанопроволоки 201
13.4.1. Применение нанопроволок 204
13.4.1.1. Биологические датчики на основе нанопроволок 204
13.4.1.2. Светоизлучающие диоды с пересечением p-n-переходов 204
13.4.1.3. Логические устройства на основе нанопроволок 205
13.4.2. Наноструктуры с полярными поверхностями 206
13.5. Мягкая нанотехнология 208

Глава 14. Нанодатчики: разработки, перспективы и разнообразие применения 213
14.1. Возможности 215
14.1.1. Неотвратимое объединение 216
14.1.2. Методы обработки материалов 218
14.1.3. Разнообразие наноматериалов 218
14.1.4. Новые типы инструментов и приборов 220
14.2. Реальное состояние исследований в настоящее время 220
14.2.1. Реальные проблемы проектирования нанодатчиков 221
14.2.2. Риски коммерциализации 221
14.3. Разнообразие возможностей 222
14.3.1. Физические датчики 222
14.3.2. Химические датчики 223
14.3.3. Биодатчики 224
14.3.4. Датчики массового и военного применения 225
Литература 227

Глава 15. Микроэлектроника 229
15.1. Стратегия производства нанотехнологических продуктов 230
15.1.1. Возможные перспективы 232
15.1.2. Определение синергетических связей 233
15.2. Современное состояние микроэлектронных технологий 235
15.2.1. Перспективные наноэлектронные технологии 240
Литература 249
15.3. Фотоника 249
Общие выводы 253

Глава 16. Адресная доставка лекарств 254
16.1. Использование нанотехнологий для направленной доставки препаратов 256

16.1.1. Наночастицы и направленная доставка препаратов 257
16.1.1.1. Полимерные конъюгаты 258
16.1.1.2. Полимерные мицеллы (самоорганизация структур из полимеров и препарата) 259
16.1.1.3. Полимерные наночастицы (дисперсия или инкапсуляция лекарственных препаратов в полимерных структурах) 260
16.1.1.4. Полиплексы (комплексы полимеров и нуклеиновых кислот, образуемые при взаимодействии с обменом зарядов) 261
16.1.1.5. Липосомы 262
16.1.1.6. Неорганические и металлические наночастицы 263
16.1.2. Имплантируемые устройства доставки лекарственных препаратов 263
16.1.2.1. Нанопористые мембраны 264
16.1.2.2. Биочипы 264
16.1.3. Трансдермальное введение лекарственных препаратов 266
16.2. Тенденции развития методов доставки препаратов 267
Литература 268

Глава 17. Слияние био-нано-информационных технологий 269
17.1. Наблюдение нанообъектов 272
17.2. Возможности манипуляции атомами и молекулами 273
17.2.1. Исследование и описание свойств ДНК/РНК 274
17.3. Другие возможности описания 276
17.4. Интеграция на атомарно-молекулярном уровне 277
17.5. Возникающие и самоорганизующиеся структуры 278
Выводы 281
Благодарности 283
Литература 283

РАЗДЕЛ IV. КОНВЕРГЕНЦИЯ И ИНТЕГРАЦИЯ

Глава 18. Конвергенция и интеграция 285
18.1. Рамки научно-технического развития 286
18.1.1. Возможности 288
18.1.2. Критерии прогресса 290
18.2. Обзор состояния и перспектив промышленности 291
Заключение 294
Литература 295

Глава 19. Этические проблемы, связанные с развитием нанотехнологий 296
19.1. Сущность этических проблем 297
19.2. Этика индивидуального поведения 300
19.3. Некоторые замечания, специфичные для нанотехнологий 301
19.4. Конвергенция технологий 303
19.5. Практические рекомендации 304
Литература 305

ЭПИЛОГ

Глава 20. Инфинитезимальные машины 310
20.1. Мысли о лекции «Внизу полным-полно места» 311
20.2. Какими возможностями мы обладаем сегодня? 312
20.3. Как можно изготавливать крошечные машины? 315
20.4. Какое применение могут иметь эти малые машины? 317
20.5. Электростатические приводы 320
20.6. Подвижные микророботы 321
20.7. Изготовление точных изделий грубыми инструментами 323
20.8. Трение и прилипание 325
20.9. Вычисления с использованием атомов 326
20.10. Обратимость вычислительных и управляющих процессов 327
20.11. Электрон как вычислительная машина 330
20.12. Тепловыделение в квантовых компьютерах 331

Акронимы и аббревиатуры 335

Дополнение. Оборудование для исследований в нано- и микроэлектронике 337

Предисловие редактора

За прошлое столетие технический прогресс неузнаваемо изменил окружающий нас мир. Стоит отметить, что средняя продолжительность жизни возросла вдвое, а транспортные и информационные системы достигли уровня, который казался фантастическим еще пару поколений тому назад. Одной из характерных особенностей современной науки и жизни вообще стало немыслимое ранее ускорение темпов самого развития, постоянное обновление образа жизни, обусловленное научным прогрессом и техническими инновациями.

В наши дни наука вплотную подошла к возможности прямого воздействия на отдельные атомы и молекулы, что создало новое метанаправление развития, получившее общее название нанотехнологии и имеющее огромное значение как для самой науки в целом, так и для промышленного применения. Размеры объектов и связанных с ними процессов, представляющих интерес для нанотехнологии (и предлагаемой книги), составляют 100 нанометров и меньше (напомним, что 1 нанометр = 10^{-9} м, то есть равен одной миллиардной части метра, а для сравнения просто укажем, что толщина человеческого волоса составляет 50 000 нанометров). Основной особенностью новой науки с точки зрения чистой физики является то, что при таких размерах и масштабах перестают работать привычные законы физики (прежде всего, так называемая классическая, или ньютоновская механика), а развитие процессов определяется законами и постулатами квантовой механики.

В некоторых конкретных, причем наиболее передовых областях (компьютерная техника, биотехнология, материаловедение) использование нанотехнологий позволяет уже в ближайшем будущем надеяться на результаты, сопоставимые с тем, что было достигнуто за несколько последних десятилетий. Например, она делает реальным создание сверхмощных компьютеров, очень легких и прочных материалов для авиации, новых лекарственных препаратов против самых опасных болезней, высокоэффективных преобразователей солнечной энергии и т. п. Подчеркну, что речь идет о множестве достижений самого разного масштаба в разнообразных областях науки и техники, то есть о целом «каскаде» или «волне» открытий и применений, а не об одном крупном открытии сверхкрупного масштаба. Историки науки и техники любят использовать термин «новая великая вещь» (подразумевая под этим, например, транзистор или лампу накаливания Эдисона). Нанотехнология обещает нам целый набор новых великих вещей, сводящихся не к существенному изменению окружающего мира и бытовых условий (подобно тому как лампочка Эдисона преобразовала жизнь общества), а к масштабному изменению глобальных принципов наук и технологий. Например, нанотехнологии позволит нам создать систему автоматического управления всем освещением (или даже электроснабжением) в целых городах или регионах, что подразумевает принципиальное изменение жизни общества.

Для больших современных городов, кстати, создание автоматической и «умной» системы управления движения может оказаться столь же важ-

ным событием, что и лампочка Эдисона для освещения индивидуальных жилищ. Не боясь повториться, скажу, что нанотехнология представляет собой не конкретное, одиночное открытие, а целый набор физических явлений и их применений (обусловленных размерными эффектами), используемых в качестве инструментов, приемов или идей в самых разных научных дисциплинах. Именно в этом и состоит основное значение и роль нанотехнологий, поскольку свойства материалов и процессов в наномасштабе существенно отличаются от свойств в привычном нам макроскопическом окружении, что и создает совершенно неожиданные возможности нового применения. Например, наноматериалы могут существенно отличаться от привычных нам веществ по своей реакционной способности (в пересчете на единицу поверхности), вследствие чего их применение в качестве лекарственных препаратов приводит к эффектам, невозможным в классической медицине.

В качестве наглядного примера можно привести строение углеродных соединений, столетиями бывших объектами изучения физики и химии. Общеизвестно, что уголь и алмаз состоят из атомов углерода, а поразительная разница в их свойствах обусловлена лишь строением кристаллической решетки. За последние годы ученые обнаружили, что помимо этих известных форм в нанометрическом масштабе атомы углерода образуют цилиндрические трубки, которые нельзя даже сравнивать по характеристикам с алмазом или углем, поскольку они одновременно прочнее стали и прекрасно проводят электричество. Неудивительно, что за последние десять лет ученые интенсивно занимались такими материалами и уже нашли для углеродных нанотрубок множество фантастических применений в электронике и медицине, так что сейчас основной вопрос заключается лишь в правильном и эффективном внедрении новых открытий. Другой практический пример относится к производству солнечных батарей, о которых читатель наверняка слышал. Основная техническая проблема, связанная с ними, заключается в том, что создаваемый в них поток электронов (электрический ток) необходимо многократно отражать от одной поверхности к другой. Нанотехнология неожиданно позволяет уже сейчас существенно повысить площадь электродов и тем самым значительно увеличить коэффициент полезного действия таких батарей, а также ввести ряд других принципиальных улучшений в работу этих устройств. Не стоит даже говорить о том, что использование более дешевых, безопасных в обращении и экологически безвредных источников электричества может кардинально повлиять на экономику и социальную жизнь общества.

Очень важной особенностью нанотехнологии является то, что размер изучаемых в ней объектов практически совпадает с размерами многих микроорганизмов и (что представляется особо ценным) биологических клеток организма человека, что сразу открывает широчайшие перспективы применения наноматериалов в медицине. Например, нанотехнологии позволяют создать «бомбу» в виде ультрадисперсной частицы (начиненной требуемым препаратом), которая внедряется в намеченные клетки организма и «взрывается» там, выделяя препарат в клетку или систему кровообращения. Уже сейчас слияние нанотехнологий и биотехнологий позволяет проектировать

множество удивительных устройств медицинского назначения (например, есть проект создания устройств, в которых электричество будет вырабатываться не из имплантируемых в организм батарей, а непосредственно на месте, за счет разложения содержащейся в крови глюкозы).

Другой принципиальной особенностью нанотехнологии (создающей одновременно и новые возможности и новые трудности) выступает ее многодисциплинарность, так как нанонаука почти во всех своих проявлениях выступает в качестве объединяющего начала исследований в считавшихся разными науках (химия, биология, материаловедение, физика, вычислительная техника и т. д.). Одной из острейших проблем развития самой нанотехнологии выступает тот очевидный факт, что в каждой из этих наук плодотворно трудятся очень талантливые и независимые люди, владеющие приемами и терминологией собственных отраслей знаний и не желающие менять их. Все знают старую притчу о слепцах, которые пытаются описывать слона, ощупывая разные части его тела (хобот, ноги, хвост), и эта ситуация очень напоминает нынешнее состояние дел в нанотехнологиях. Научная и даже, отчасти, лингвистическая проблема заключается в том, что специалисты из самых разных областей знаний (химики, физики, биологи, материаловеды и т. д.), привыкшие десятилетиями работать на атомно-молекулярном уровне и взаимодействовать с коллегами в рамках своих дисциплин, вдруг оказались вынужденными общаться друг с другом при решении конкретных и совместных задач. Все знают, что многие распространенные термины часто означают разные понятия в разных науках, так как во всех дисциплинах давно установились своя строгая систематика, система парадигм и авторитетов (и даже особый жаргон!), поэтому многие специалисты считают, что для развития нанотехнологии принципиальной сложностью может оказаться проблема общения и выработки общей терминологии. Острота проблемы связана и с тем, что речь идет не только о науках, но и о связанных с ними целых отраслях производства и бизнеса. В качестве редактора и составителя данной книги, я хочу сразу заявить, что ее основная цель сводится именно к организации взаимодействия и сотрудничества исследователей и промышленников, вследствие чего она и составлена из статей и обзоров высокопрофессиональных специалистов и ученых, имеющих богатый опыт общения.

Будущее нанотехнологии обеспечивается талантом и энергией множества людей, уже работающих в этой области и заложивших основы как самой новой науки, так и ее частных приложений. Можно с уверенностью констатировать, что возможности нанотехнологий значительно превосходят все, что привычно вкладывалось в понятие биотехнологий или информационных технологий. Практически проблема состоит в том, что промышленность еще не готова к пониманию и «перевариванию» новых возможностей и открытий, что можно объяснить как недопониманием их смысла, так и неспособностью коммерческого рынка приспособиться к стремительному темпу технического прогресса. Строго говоря, скорость внедрения любых научных открытий определяется некоторым, очень трудным и сложным средним этапом между самим открытием и созданием определенного прототипа возможного его применения на практике (физик

придумал бы для этого некие «коэффициенты трения» между наукой, производством и рынком потребления). Для появления на рынке в качестве полноценного коммерческого продукта каждое научное открытие должно пройти сложные этапы (объединение с уже существующими товарами, общая оценка возможностей, обсуждение проблем контроля и т. д.), после чего реальный рынок реагирует на появление нового товара и «голосует» за него (долларовыми вложениями). Предлагаемая книга создавалась с целью ознакомления возможно большего числа интересующихся нанотехнологиями читателей с реальными перспективами и возможностями этой новой области деятельности.

В связи с этим книга разбита по темам на четыре раздела, объединенных общим замыслом. В первом разделе рассмотрены общие вопросы истории и инновационной политики в области технологий. Глава 1 посвящена самым общим урокам, которые следовало бы извлечь (как самим исследователям, так и инвесторам) из недавней истории развития биотехнологии, также ставшей вехой в развитии науки и связанной с ней промышленности. В главе 2 обсуждаются очень важные для современного мира возможности использования нанотехнологий в энергетике, причем авторы уделяют много внимания тем проблемам, которые неизбежно должны возникнуть после внедрения новых методов. В третьей главе рассмотрены вопросы промышленного применения новых технологий.

Раздел II является, по-видимому, центральным в книге, поскольку посвящен непосредственно тому кругу талантливых людей (ученым и организаторам), чьей волей и знанием осуществляется прогресс в рассматриваемой области. В главах 4 и 5 с экономической точки зрения теоретически рассматриваются абстрактные фигуры и формы деятельности «венчурных капиталистов», то есть предпринимателей, которые учитывают связь технологий и производимых товаров в долгосрочной исторической перспективе и осуществлят вполне реальные капиталовложения в нанотехнологические производства. В главе 6 анализируется роль и текущая деятельность правительства США в качестве координатора эффективного развития новой отрасли науки и промышленности, а главы 7 и 8 посвящены специфической проблеме академических исследований (научно-исследовательских работ в рамках высших научных заведений) и возможностям их последующей коммерциализации, то есть внедрения в реальное производство. Глава 9 показывает, какие проблемы ставит развитие нанотехнологий перед юристами, связанными с патентным и коммерческим правом США. В главе 10 объясняется, почему именно частное предпринимательство должно играть ключевую роль в развитии новых областей и брать на себя риск организации первичных производств, а в главе 11 обсуждаются сложности, которые ожидают крупные корпорации и организации, желающие связаться с новыми технологиями и продуктами. Последняя глава второго раздела содержит краткий очерк деятельности национальных лабораторий США в области нанотехнологий и коммерциализации получаемых ими результатов.

Третий раздел посвящен некоторым конкретным инновационным направлениям в развитии нанотехнологий: материалам (глава 13), наноразмерным датчикам (глава 14), микроэлектронике (глава 15) и так называе-

мой «адресной доставке» лекарственных препаратов в организме (глава 16). В завершающей раздел главе 17 обсуждается теоретическая проблема слияния нанотехнологий с уже существующими биотехнологиями, что в перспективе может означать невиданный расцвет медицины и здравоохранения.

В четвертом разделе рассмотрены самые общие вопросы нанотехнологии, которые уже сейчас волнуют многих исследователей. Речь идет о том, что на наноуровне исследований все известные нам научные дисциплины как-то «сливаются» в единое целое, что не только является новым научным подходом, но и обещает в будущем формирование новой науки, что означало бы революционный прорыв в познании природы (глава 18). С этим связано и беспокойство некоторых ученых относительно этических проблем, которые неизбежно будут возникать по мере развития нанотехнологий (глава 19). Книгу завершает очень интересный эпилог (глава 20), где приведен текст ранее не публиковавшейся беседы на эту тему с легендарным физиком Ричардом Фейнманом, который справедливо считается «пророком» нанотехнологий.

Практические исследования на уровне отдельных атомов и молекул должны привести к серьезным изменениям в жизни человечества, и уже сейчас можно предсказать, что описываемые в книге исследования изменят мир и общество значительно сильнее, чем компьютеры и биотехнологии.

В заключение я хотел бы выразить глубокую благодарность многим людям и организациям, помогавшим мне не только в создании данной книги, но и на протяжении всей моей профессиональной деятельности. Особую благодарность я выражаю своей жене Мириам.

Линн Э. Фостер
Лос-Анжелес, июнь 2005