

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ



НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

Под редакцией доктора технических наук,
профессора В. Е. Борисенко
и доктора физико-математических наук,
профессора Н. К. Толочко

Минск
«Издательский центр БГУ»
2008

УДК 620.3

ББК 30.3я7+30.6я7

Н25

Авторы:

***В. М. Анищик, В. Е. Борисенко, С. А. Жданок,
Н. К. Толочко, В. М. Федосюк***

Рецензенты:

д-р физ.-мат. наук, проф. *Г. И. Маковецкий;*

д-р физ.-мат. наук *А. П. Сайко*

Издано при поддержке

*ГО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению»,
Отделения физико-технических наук НАН Беларуси
и Белорусского фонда фундаментальных исследований*

Нanomатериалы и нанотехнологии / В. М. Анищик [и др.] ; под
Н25 ред. В. Е. Борисенко, Н. К. Толочко. — Минск : Изд. центр БГУ,
2008. — 375 с. : ил., табл.

ISBN 978-985-476-618-8.

В монографии обобщены и систематизированы многочисленные фундаментальные и прикладные знания по разнообразным наноматериалам и нанотехнологиям, дана общая характеристика наноматериалов и нанотехнологий, рассмотрены основные методы исследования наноматериалов, описаны структура и свойства различных видов наноматериалов, области их применения, особенности получения.

Адресуется специалистам в области физики конденсированного состояния, физической химии, микроэлектроники, а также студентам естественнонаучных и технических факультетов вузов, магистрантам, аспирантам и преподавателям.

УДК 620.3

ББК 30.3я7+30.6я7

ISBN 978-985-476-618-8

1В418 530

© НАН Беларуси, 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	6
Глава 1. Общая характеристика наноматериалов и нанотехнологий	9
1.1. Основные понятия и определения.....	9
1.2. Разновидности наноматериалов.....	14
1.3. Фундаментальные электронные явления в наноструктурах.....	19
1.3.1. Квантовое ограничение.....	19
1.3.2. Баллистический транспорт носителей заряда.....	23
1.3.3. Туннельные эффекты	28
1.3.4. Спиновые эффекты	33
1.4. Разновидности нанотехнологий.....	35
1.5. Области применения наноматериалов и нанотехнологий	37
1.6. История развития наноматериалов и нанотехнологий	43
Глава 2. Методы исследования наноматериалов и наносистем	52
2.1. Просвечивающая электронная микроскопия.....	52
2.2. Автоэлектронная и автоионная микроскопия.....	56
2.3. Зондовая микроскопия.....	58
2.3.1. Сканирующая электронная микроскопия.....	62
2.3.2. Сканирующая туннельная микроскопия.....	64
2.3.3. Атомно-силовая микроскопия.....	67
2.3.4. Сканирующая оптическая микроскопия ближнего поля.....	70
2.4. Дифракционный анализ.....	71
2.4.1. Рентгеновская дифракция.....	72
2.4.2. Дифракция электронов.....	75
2.5. Спектральный анализ.....	76
2.5.1. Рентгеновская спектроскопия.....	80
2.5.2. Оже-спектроскопия.....	81
2.5.3. Фотоэлектронная спектроскопия.....	82
2.5.4. Инфракрасная спектроскопия.....	83
2.5.5. Комбинационное рассеяние света.....	84
2.5.6. Люминесцентный анализ.....	84
2.5.7. Радиоспектроскопия.....	85
2.5.8. Мессбауэровская спектроскопия.....	87

Глава 3. Технологии получения наноматериалов и наноструктур ...	89
3.1. Процессы самоорганизации в нанотехнологиях.....	90
3.2. Зондовые нанотехнологии.....	97
3.2.1. Атомная инженерия.....	97
3.2.2. Локальное окисление металлов и полупроводников.....	103
3.2.3. Локальное химическое осаждение из газовой фазы.....	104
3.2.4. Лазерное наноманипулирование.....	105
3.3. Нанолитография.....	107
3.3.1. Электронно-лучевая литография.....	107
3.3.2. Профилирование резистов сканирующими зондами.....	110
3.3.3. Нанопечать.....	111
3.3.4. Сравнение нанолитографических методов.....	114
Глава 4. Нанокластеры и нанокристаллы.....	118
4.1. Нанокластеры.....	118
4.1.1. Упорядоченные нанокластеры.....	118
4.1.2. Неупорядоченные нанокластеры и нижний предел нанокристалличности.....	123
4.2. Нанокристаллы.....	126
4.2.1. Неорганические нанокристаллы.....	126
4.2.2. Органические нанокристаллы.....	140
Глава 5. Фуллерены и нанотрубки.....	142
5.1. Полиморфизм углерода.....	142
5.2. Фуллерены.....	144
5.2.1. Фуллерен C_{60} и его аналоги.....	144
5.2.2. Заполненные фуллерены.....	148
5.2.3. Фуллереновые аддукты.....	152
5.2.4. Гетерофуллерены.....	156
5.2.5. Фуллереноподобные нанокластеры.....	157
5.2.6. Углеродные луковицы.....	158
5.3. Нанотрубки.....	160
5.3.1. Углеродные нанотрубки.....	160
5.3.2. Заполненные углеродные нанотрубки.....	189
5.3.3. Неуглеродные нанотрубки.....	192
Глава 6. Молекулярные наноструктуры.....	193
6.1. Органические молекулы.....	193
6.2. Супермолекулы.....	199
6.3. Биомолекулы.....	204

6.3.1. Нуклеиновые кислоты.....	207
6.3.2. Белки.....	209
6.3.3. Ферменты.....	216
6.3.4. Биомолекулярные комплексы.....	218
6.4. Мицеллы и липосомы.....	222
Глава 7. Консолидированные наноматериалы.....	228
7.1. Нанокристаллические материалы.....	228
7.2. Фуллериты.....	237
7.3. Фотонные кристаллы.....	242
7.4. Наноккомпозиты.....	246
7.4.1. Матричные наноккомпозиты.....	247
7.4.2. Сверхрешетки.....	257
7.5. Нанопористые материалы.....	261
7.5.1. Нанопористые мембраны.....	261
7.5.2. Цеолиты.....	268
7.5.3. Пористый кремний.....	275
7.5.4. Пористый оксид алюминия.....	280
7.6. Наноаэрогели.....	292
Глава 8. Нанопленки и нанопроволоки.....	294
8.1. Полупроводниковые нанопленки и нанопроволоки.....	295
8.2. Магнитные нанопленки и нанопроволоки.....	312
8.3. Алмазоподобные и керамические нанопленки.....	329
8.4. Пленки Лэнгмюра-Блоджетт.....	330
8.5. Металлические нанопроволоки.....	336
Глава 9. Наносuspензии, наноэмульсии и наноаэрозоли.....	340
9.1. Наносuspензии.....	341
9.1.1. Смазочные наносuspензии.....	341
9.1.2. Магнитные наносuspензии.....	351
9.1.3. Лекарственные наносuspензии.....	356
9.2. Наноэмульсии.....	361
9.3. Наноаэрозоли.....	362
Литература.....	364