

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ТЕХНОЛОГИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ НАНОСТРУКТУРНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ

*Под общей редакцией
академика НАН Беларуси П. А. Витязя
и академика РАН К. А. Солнцева*



Минск
«Беларуская навука»
2011

Технологии конструкционных наноструктурных материалов и покрытий / П. А. Витязь [и др.] ; под общ. ред. П. А. Витязя и К. А. Солнцева. – Минск : Беларус. навука, 2011. – 283 с. – ISBN 978-985-08-1292-6.

Показано развитие представлений о наноструктурных материалах различной размерности и проведен анализ основных подходов к их классификации. Указаны физические особенности формирования специфических свойств конструкционных наноструктурных материалов, покрытий, пленок, волокон и частиц. Рассмотрены основные направления и перспективы их использования с учетом существующих ограничений и расширяющихся возможностей. Изложены традиционные и перспективные методы исследования наноструктур. Представлен комплекс методов системного анализа строения материалов: физико-химический, мультифрактальный и вейвлет-анализ. Дан обзор основных направлений получения конструкционных наноструктурных материалов и покрытий: порошковая металлургия, интенсивная физико-химическая поверхностная обработка, лазерное и ионно-лучевое формирование покрытий.

Предназначена для научных и инженерно-технических работников, преподавателей, студентов и аспирантов, специализирующихся в области материаловедения, обработки конструкционных материалов, проектирования и эксплуатации изделий.

Табл. 17. Ил. 118. Библиогр.: 400 назв.

А в т о р ы:

П. А. Витязь, А. Ф. Ильюшенко, М. Л. Хейфец, С. А. Чижик
(Национальная академия наук Беларуси);
К. А. Солнцев, А. Г. Колмаков, М. И. Алымов, С. М. Баринов
(Российская академия наук)

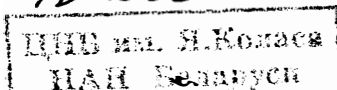
Р е ц е н з е н т ы:

академик НАН Беларуси, доктор технических наук,
профессор А. П. Достанко,
академик НАН Беларуси, доктор технических наук,
профессор О. В. Роман,
доктор физико-математических наук Б. Б. Хина

ISBN 978-985-08-1292-6

© Оформление. РУП «Издательский
дом «Беларуская навука», 2011

16 436 896



ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Часть I. Наноструктурные материалы и покрытия	9
<i>Глава 1. Основы классификации и типы структур наноматериалов</i> ...	10
1.1. Основы классификации наноматериалов	10
1.2. Типы структур наноматериалов	16
1.2.1. Фуллерены, фуллериты, нанотрубки.....	18
1.2.2. Квантовые точки, нанопроволоки и нановолокна	22
<i>Глава 2. Особенности свойств и направления использования наноструктурных материалов</i>	27
2.1. Физические особенности специфических свойств наноматериалов	27
2.2. Основные области применения наноструктурных материалов ...	31
2.2.1. Машиностроение и производственные технологии.....	32
2.2.2. Энергетика и электроника.....	39
2.2.3. Медицина, биотехнологии и военное дело.....	45
<i>Глава 3. Основные методы исследования наноматериалов</i>	51
3.1. Электронная микроскопия.....	51
3.1.1. Просвечивающая электронная микроскопия.....	51
3.1.2. Растровая электронная микроскопия	55
3.2. Спектральные методы.....	58
3.2.1. Электронная оже-спектроскопия	59
3.2.2. Масс-спектроскопия вторичных ионов	60
3.2.3. Лазерный микрозондовый анализ	61
3.3. Зондовые методы диагностики	61
3.3.1. Сканирующая туннельная микроскопия	63
3.3.2. Атомно-силовая микроскопия	67

3.3.3. Латерально-силовая микроскопия.....	72
3.3.4. Силовая спектроскопия.....	77
3.3.5. Наноидентификация и наноизнос.....	83
Глава 4. Физико-химический анализ в процессах синтеза наноструктурных материалов.....	86
4.1. Системное описание строения наноструктурных материалов ..	86
4.2. Основы физико-химического анализа наноструктурных материалов.....	92
4.2.1. Принцип непрерывности свойств физико-химической системы	93
4.2.2. Принцип соответствия модели физико-химической системе ..	95
4.2.3. Анализ топологической модели физико-химической системы..	96
4.2.4. Исследование сингулярных элементов топологической модели.....	101
4.2.5. Самоорганизация структурных изменений и фазовых переходов	103
4.2.6. Анализ диаграмм состояния наноструктурных материалов.....	104
Глава 5. Фрактальное описание и вейвлет-анализ комплекса структур наноматериалов.....	111
5.1. Фрактальная размерность структур.....	111
5.1.1. Фрактальная параметризация и перколяция	113
5.2.1. Трансформация фракталов на поверхностях раздела	115
5.2. Мультифрактальный анализ структур	117
5.3. Описание структур с использованием вейвлет-анализа	120
5.3.1. Определение вейвлета	120
5.3.2. Отображение преобразования.....	122
Часть II. Технологии синтеза материалов и покрытий.....	129
Глава 6. Порошковая металлургия, формирование и деформирование материалов	130
6.1. Получение нанопорошков.....	130
6.1.1. Химическое осаждение из паровой фазы	132
6.1.2. Высокоэнергетический синтез	133
6.1.3. Плазменный синтез и переконденсация.....	135
6.1.4. Осаждение из растворов.....	136
6.1.5. Ультразвуковой распылительный пиролиз	137
6.1.6. Разложение нестабильных соединений.....	138
6.1.7. Восстановительные процессы.....	139
6.1.8. Физическое осаждение из паровой фазы	140

6.1.9. Распыление расплава	143
6.1.10. Механическое размельчение	144
6.2. Формование изделий из нанопорошков	146
6.2.1. Формовка	147
6.2.2. Спекание	148
6.2.3. Спекание под давлением	148
6.3. Аморфизация и пластическая деформация материалов	151
6.3.1. Аморфизационные методы	151
6.3.2. Интенсивная пластическая деформация	154
Глава 7. Формирование ультра- и нанодисперсных частиц	157
7.1. Методы получения наноразмерных порошков оксидокерамики	157
7.1.1. Структура и свойства оксидов и гидроксидов алюминия	159
7.1.2. Механическое диспергирование частиц	164
7.1.3. Химическое формирование нанодисперсных порошков	166
7.2. Формирование ультра- и нанодисперсных алюмооксидных систем	170
7.2.1. Синтез алюмооксидов	171
7.2.2. Ультрадисперсные системы	173
7.2.3. Получение нанодисперсных порошков	177
7.3. Кинетика и термодинамика синтеза в условиях высоких температур и давлений	184
7.3.1. Гидротермальный синтез	184
7.3.2. Способы и режимы синтеза	188
7.3.3. Кинетические и термодинамические параметры реакций	193
Глава 8. Синтез нанокристаллической биокерамики	200
8.1. Методы синтеза нанокерамики	200
8.1.1. Синтез нанокристаллических порошков в растворе желатины ..	204
8.1.2. Синтез нанокристаллов в растворе крахмала	206
8.2. Спеченная нанокристаллическая керамика	208
8.3. Гибридные композиционные наноструктурные материалы	212
Глава 9. Поверхностная физико-химическая обработка	216
9.1. Технологии, основанные на химических процессах	216
9.1.1. Осаждение из парогазовой фазы	218
9.1.2. Осаждение с использованием плазмы тлеющего разряда	219
9.2. Газотермическое напыление	219
9.2.1. Высокоскоростное газоплазменное напыление	221
9.2.2. Плазменное напыление	221
9.3. Технологии, основанные на физических процессах	223
9.3.1. Электротермическое и лучевое испарение	225
9.3.2. Катодное и магнетронное распыление	230

Глава 10. Лазерные и ионно-лучевые методы формирования покрытий	233
10.1. Лазерные методы.....	233
10.1.1. Структура и свойства пленок.....	235
10.1.2. Лазерное осаждение пленок.....	240
10.2. Ионно-лучевые методы.....	248
10.2.1. Ионно-лучевое распыление.....	248
10.2.2. Ионное осаждение.....	249
10.2.3. Ионная имплантация.....	251
10.2.4. Ионно-лучевое перемешивание.....	253
10.3. Формирование ионно-вакуумных покрытий.....	254
10.3.1. Сепарация ионов по массе и заряду.....	255
10.3.2. Мультифрактальный анализ структур в покрытиях.....	257
Заключение	261
Литература	263