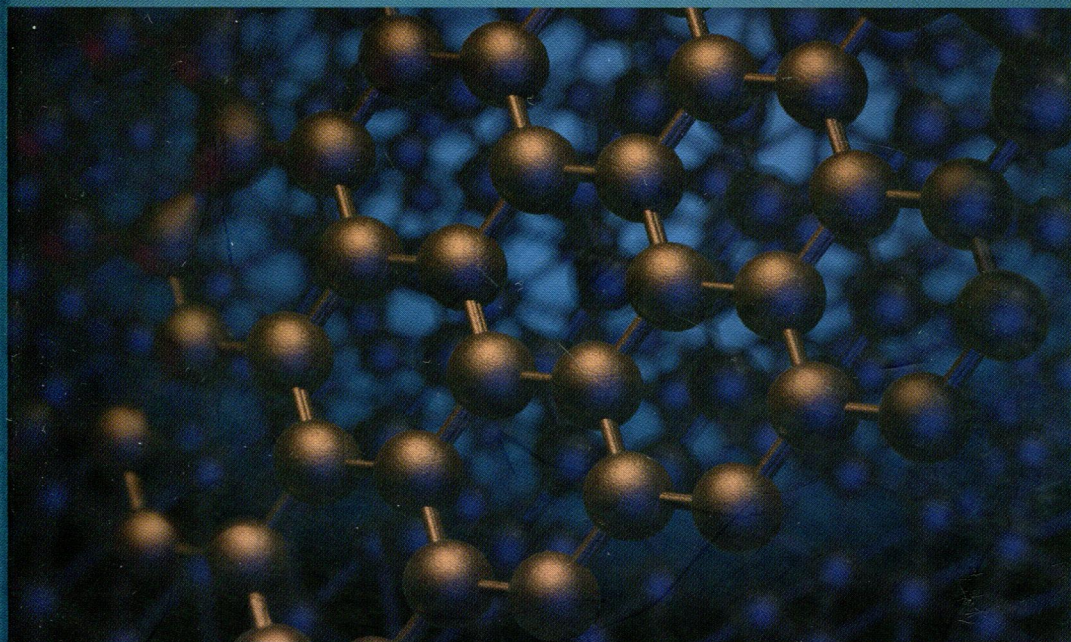


Винников В.П., Генералов М.Б.

МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ



Винников В. П., Генералов М. Б.

Методы получения нанодисперсных порошков

издательство
ПРОФЕССИЯ

Санкт-Петербург

2016

 **ЦЕНТР
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
ПРОГРАММ
ПРОФЕССИЯ**

УДК 621.3.049.76

ББК 30.6я73

Ви41

Винников В. П., Генералов М. Б.

Ви41 Методы получения нанодисперсных порошков. – СПб. : ЦОП «Профессия», 2016. – 240 с., ил.

ISBN 978-5-91884-085-6

Рассмотрены основные методы получения нанодисперсных порошкообразных материалов, а также большое внимание уделено процессам и аппаратам, используемым в химической технологии наноматериалов. Показано влияние размерного фактора на физические и химические свойства наноструктурных изделий, определены условия их хранения. Значительный объем книги посвящен вопросам получения из нанопорошков объемных изделий.

Предназначена для специалистов, научных сотрудников и аспирантов, занимающихся вопросами технологии нанопроductов и их использования в различных отраслях промышленного производства.

УДК 621.3.049.76

ББК 30.6я73

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Информация, содержащаяся в данной книге, получена из источников, рассматриваемых издательством как надежные. Тем не менее, имея в виду возможные человеческие или технические ошибки, издательство не может гарантировать абсолютную точность и полноту приводимых сведений и не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-5-91884-085-6

© Генералов М. Б., Винников В. П., 2016

© ЦОП «Профессия», 2016

© Оформление: ЦОП «Профессия», 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	9
Глава 1. Общие сведения о нанодисперсных системах	13
1.1. Классификация дисперсных систем по агрегатному состоянию.....	13
1.2. Классификация по размерам частиц.....	16
1.3. Классификация по мерности дисперсной фазы...	19
Глава 2. Влияние размерных факторов на свойства наноматериалов	21
2.1. Дисперсные характеристики нанопорошков.....	21
2.1.1. Удельная поверхность частиц	22
2.1.2. Распределение частиц по размерам	24
2.1.3. Средний размер частиц.....	29
2.2. Влияние размера частиц на растворимость и температуру плавления	31
2.2.1. Увеличение растворимости мелких кристаллов	31

2.2.2. Понижение температуры плавления мелких кристаллов	32
2.3. Период кристаллической решетки	33
2.4. Фононный спектр и теплоемкость	34
2.5. Оптические и магнитные свойства	37
2.5.1. Оптические свойства	37
2.5.2. Магнитные свойства	38
2.6. Механические свойства компактных наноматериалов	44
2.6.1. Твердость и прочность наноматериалов	44
2.6.2. Сверхпластичность наноматериалов	49
2.7. Химические свойства наноматериалов	52

Глава 3. Основы физико-химии получения нанодисперсных материалов 57

3.1. Формирование нанопорошков по механизму «сверху вниз»	58
3.1.1. Общие понятия о механизме измельчения твердых тел	58
3.1.2. Энергия, расходуемая на разрушение твердых тел	60
3.2. Формирование наноматериалов по механизму «снизу вверх»	62
3.2.1. Условия образования новой фазы	62
3.2.2. Скорость образования центров кристаллизации	68
3.2.3. Линейная скорость роста кристаллов	71
3.2.4. Размер образующихся кристаллов	73

Глава 4. Механические методы получения нанодисперсных порошков.....	75
4.1. Основные типы устройств для механического измельчения твердых тел	75
4.1.1. Устройства ударно-динамического типа.....	75
4.1.2. Барбанные мельницы	79
4.1.3. Вибрационные мельницы	81
4.1.4. Струйные мельницы	83
4.1.5. Вихревые мельницы.....	84
4.2. Диспергирование суспензий.....	86
4.2.1. Коллоидные мельницы.....	87
4.2.2. Роторные пульсационные диспергаторы.....	89
4.2.3. Гидродинамические акустические аппараты ...	90
4.2.4. Электрогидродинамическое диспергирование	94
Глава 5. Получение нанопорошков в газовой и жидкой фазах.....	97
5.1. Получение наночастиц методом испарения-конденсации.....	97
5.2. Получение наночастиц в газовой фазе.....	103
5.3. Получение наночастиц в жидкой фазе.....	106
5.3.1. Осаждение твердой фазы в растворах	106
5.3.2. Осаждение в расплавах	108
5.3.3. Осаждение при сверхкритических условиях... ..	109
5.3.4. Золь-гель метод	110
5.3.5. Электрохимический метод получения наночастиц	111

Глава 6. Получение нанопорошков с использованием плазмы и взрыва	116
6.1. Плазмохимический синтез	116
6.2. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез	122
6.3. Электроэрозионный метод	127
6.4. Ударно-волновой или детонационный синтез.....	127
Глава 7. Криохимический синтез нанопорошков.....	129
7.1. Общие сведения о криохимической нанотехнологии	129
7.2. Основные процессы криохимической нанотехнологии.....	131
7.3. Механизм структурообразования.....	142
7.4. Кинетика роста кристаллитов	144
7.4.1. Скорость образования центров кристаллизации в гомогенном растворе	144
7.4.2. Кинетика роста кристаллитов	146
7.4.3. Размер образующихся кристаллов	148
7.4.4. Методика расчета и сопоставление с экспериментом	149
Глава 8. Получение объемных изделий из нанодispersных порошков.....	153
8.1. Компактирование нанопорошков давлением ...	153

8.1.1. Физико-химические особенности компактирования нанопорошков	153
8.1.2. Компактирование нанопорошков при статическом силовом воздействии.....	163
8.2. Компактирование нанопорошков при слабом динамическом силовом воздействии	174
8.3. Импульсные способы компактирования нанопорошков.....	182
8.4. Спекание нанодисперсных пористых тел	186
8.4.1. Физико-химические особенности спекания нанодисперсных материалов	186
8.4.2. Спекание с участием жидкой фазы.....	192
8.4.3. Спекание под давлением	193
8.5. Кристаллизация аморфных сплавов	194
Глава 9. Аттестация и сохранения свойств наноматериалов ..	196
9.1. Методы определения размерных характеристик	196
9.1.1. Определение удельной поверхности нанодисперсных порошков	196
9.1.2. Определение среднего размера частиц	200
9.1.3. Распределение наночастиц по размерам	211
9.2. Методы определения элементного состава дисперсных сред.....	214
9.3. Методы анализа фазового состава.....	218
9.4. Методы исследования поверхности наноматериалов	221

9.5. Сохранение свойств наноматериалов	223
9.5.1. Физическая и химическая стойкость наноматериалов.....	224
9.5.2. Самовоспламенение и пирофорность наноматериалов.....	227
9.5.3. Способы стабилизации свойств наноматериалов от внешних воздействий	228
Литературные источники.....	233