

**Э. Г. Раков**

# НЕОРГАНИЧЕСКИЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ

3-е издание, электронное

Допущено

Учебно методическим объединением по образованию  
в области химической технологии и биотехнологии  
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по специальности  
«Химическая технология материалов современной энергетики»



Москва  
Лаборатория знаний  
2020

УДК 620.22+022.532  
ББК 30.3я73  
Р19

*Серия основана в 2006 г.*

**Рецензенты:**

профессор кафедры химической технологии  
и новых материалов МГУ им. М. В. Ломоносова  
доктор хим. наук Б. М. Булычев

заведующий кафедрой общей химии НИЯУ МИФИ  
доктор хим. наук, профессор В. В. Сергиевский

**Раков Э. Г.**

**Р19** Неорганические наноматериалы : учебное пособие /  
Э. Г. Раков. — 3-е изд., электрон. — М. : Лаборатория  
знаний, 2020. — 480 с. — (Нанотехнологии). — Систем.  
требования: Adobe Reader XI ; экран 10". — Загл.  
с титул. экрана. — Текст : электронный.

ISBN 978-5-00101-741-7

Уникальность данного учебного пособия о получении, свойствах и применении неорганических наноматериалов состоит в том, что оно учитывает специфику и программу подготовки в России химиков-технологов, в частности специализирующихся на материалах для энергетики. Особое внимание уделено терминологии в области нанонауки и нанотехнологии. Приведены сведения о необычных, нетипичных веществах, материалах и способах их получения с целью помочь читателям выработать собственные идеи.

Для студентов и аспирантов, специализирующихся в области нанотехнологии и наноматериалов, а также для преподавателей.

УДК 620.22+022.532  
ББК 30.3я73

**Деривативное издание на основе печатного аналога:** Неорганические наноматериалы : учебное пособие / Э. Г. Раков. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 477 с. : ил. — (Нанотехнологии). — ISBN 978-5-9963-0625-1.

**В соответствии со ст.1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации**

ISBN 978-5-00101-741-7

© Лаборатория знаний, 2015

# Оглавление

Предисловие . . . . .	3
Список сокращений и обозначений . . . . .	6
Глава 1. <b>Основные понятия</b> . . . . .	7
1.1. Твердое тело . . . . .	7
1.2. Понятие о материалах . . . . .	7
1.3. Классификация материалов . . . . .	10
1.4. Нанонаука, нанотехнология и наноматериалы . . . . .	11
<i>Темы для проверки знаний по материалу главы 1 . . . . .</i>	<i>22</i>
Глава 2. <b>Строение основных материалов</b> . . . . .	23
2.1. Монокристаллы . . . . .	23
2.1.1. Структура кристаллов . . . . .	23
2.1.2. Дефекты структуры кристаллов . . . . .	36
2.1.3. Влияние размера частиц на их строение . . . . .	45
2.1.4. Изоморфизм и твердые растворы . . . . .	51
2.1.5. Нестехиометрия . . . . .	54
2.2. Поликристаллы . . . . .	64
2.3. Аморфные тела, стекла и ситаллы . . . . .	69
2.4. Композиты . . . . .	79
<i>Темы для проверки знаний по материалу главы 2 . . . . .</i>	<i>84</i>
Глава 3. <b>Морфология материалов</b> . . . . .	86
3.1. Наночастицы и порошки . . . . .	86
3.2. Покрyтия и пленки . . . . .	92
3.3. Нитевидные наноматериалы . . . . .	95
3.4. Пористые материалы . . . . .	104
<i>Темы для проверки знаний по материалу главы 3 . . . . .</i>	<i>111</i>

<b>Глава 4. Свойства материалов</b>	<b>112</b>
4.1. Общая характеристика наноматериалов	112
4.2. Механические свойства	116
4.3. Термические свойства	130
4.4. Транспортные свойства	142
4.5. Оптические свойства	153
4.6. Магнитные свойства	161
4.7. Химические свойства	169
4.8. Биологические свойства	177
4.9. Другие свойства	180
<i>Темы для проверки знаний по материалу главы 4.</i>	<i>183</i>
<b>Глава 5. Получение наноматериалов</b>	<b>185</b>
5.1. Общий обзор методов	185
5.2. Физические методы	189
5.2.1. Нуль-мерные (изометрические) материалы	189
5.2.2. Пленки и покрытия	213
5.2.3. Нитевидные материалы	224
5.2.4. Пористые материалы	226
5.2.5. Массивные наноструктурированные материалы	228
5.3. Химические методы	234
5.3.1. Нуль-мерные (изометрические) материалы	234
5.3.2. Пленки и покрытия	277
5.3.3. Нитевидные материалы	285
5.3.4. Пористые материалы	291
5.3.5. Функциялизация наночастиц и пористых материалов	298
5.4. Биологические методы	302
5.5. Комбинированные методы	308
5.6. Матричные методы	321
5.7. Нанолитография	335
5.8. Самоорганизация и самосборка	342
<i>Темы для проверки знаний по материалу главы 5.</i>	<i>351</i>

<b>Глава 6. Распространенные и перспективные наноматериалы</b>	<b>354</b>
6.1. Углеродные материалы	354
6.1.1. Общая характеристика	354
6.1.2. Графен	367
6.1.3. Терморасширенный графит	372
6.1.4. Нанотрубки и нановолокна	373
6.1.5. Фуллерены	385
6.1.6. Наноалмазы	388
6.1.7. Пористый углерод	391
6.2. Простые вещества	391
6.3. Оксидные наноматериалы	393
6.4. Карбиды и нитриды	403
6.5. Халькогениды и пниктиды	404
6.6. Наноккомпозиты	405
6.7. Стабилизированные дисперсии наночастиц	405
Темы для проверки знаний по материалу главы 6	410
<b>Глава 7. Наноматериалы в энергетике</b>	<b>411</b>
7.1. Структура энергетики	411
7.2. Основные направления применения наноматериалов	412
7.3. Генерирование энергии	414
7.3.1. Атомная энергетика	414
7.3.2. Топливные элементы	419
7.3.3. Альтернативная энергетика	422
7.4. Передача энергии	427
7.5. Накопление и хранение энергии.	
«Малая» энергетика	428
7.6. Потребление энергии.	
Термоэлектрические генераторы	439
7.7. Перспективы. Новые эффекты и разработки	446
Темы для проверки знаний по материалу главы 7	449
Литература	450
Предметный указатель	462