

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Сибирский федеральный университет

**Э. М. Никифорова  
Р. Г. Еромасов  
А. Ф. Шиманский**

# **ФИЗИКОХИМИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ, КОМПОЗИЦИОННЫХ И НАНОМАТЕРИАЛОВ**

Учебное пособие

Красноярск  
СФУ  
2016

УДК 620.22:539.2(07)  
ББК 30.3я73+24.5я73  
Н627

**Р е ц е н з е н т ы:**

*И. В. Трифанов*, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления качеством и сертификации СибГАУ им. акад. М. Ф. Решетнева;

*Н. И. Павленко*, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник Института химии и химической технологии СО РАН.

**Никифорова, Э. М.**

Н627 Физикохимия керамических, композиционных и наноматериалов : учеб. пособие / Э. М. Никифорова, Р. Г. Еромасов, А. Ф. Шиманский. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2016. – 156 с.  
ISBN 978-5-7638-3577-9

Изложены физико-химические закономерности процессов, протекающих в ходе спекания. Рассмотрена взаимосвязь технологических параметров с микроструктурой и свойствами керамических, композиционных и наноматериалов, описаны методы прогнозирования и регулирования их основных физических и эксплуатационных характеристик.

Предназначено для магистров направлений 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» и 04.04.01 «Химия».

Электронный вариант издания см.:  
<http://catalog.sfu-kras.ru>

УДК 620.22:539.2(07)  
ББК 30.3я73+24.5я73

ISBN 978-5-7638-3577-9

© Сибирский федеральный  
университет, 2016

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ. ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ. ПОРОШКИ .....	5
1.1. Классификация и основные физико-химические свойства твердых тел. Кристаллические и аморфные твердые тела .....	5
1.1.1. Кристаллические твердые тела.....	5
1.1.2. Некристаллические твердые тела .....	14
1.2. Теория кристаллов с дефектами. Разупорядочение в твердом теле.....	18
1.2.1. Типы дефектов. Собственное и примесное разупорядочение .....	19
1.2.2. Термодинамика дефектных кристаллов.....	20
1.2.3. Примесное разупорядочение .....	24
1.3. Явления переноса в кристаллах с дефектами .....	26
1.4. Физико-химические свойства твердых тел в связи с их дисперсностью .....	32
1.5. Капиллярное давление. Уравнение Лапласа .....	36
1.6. Изменение химического потенциала, давления пара и растворимости вещества при искривлении его поверхности.....	38
2. ТВЕРДОФАЗНОЕ СПЕКАНИЕ И СПЕКАНИЕ С УЧАСТИЕМ ЖИДКОЙ ФАЗЫ. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	42
2.1. Твердофазное спекание. Начальная стадия.....	42
2.1.1. Спекание как диффузионный процесс.....	42
2.1.2. Припекание. Формирование контакта при припекании одноименных твердых тел. Возможные механизмы припекания .....	46
2.1.3. Кинетика припекания .....	49
2.1.4. Припекание разноименных тел .....	56
2.2. Твердофазное спекание. Промежуточная и заключительная стадии спекания.....	61
2.2.1. Рост зерен.....	61

## ОГЛАВЛЕНИЕ

2.2.2. Образование изолированных пор и изменение их размеров.....	64
2.2.3. Коалесценция пор .....	66
2.3. Спекание в присутствии жидкой фазы .....	69
2.3.1. Общие сведения.....	69
2.3.2. Кинетика спекания в присутствии жидкой фазы (модель Д. Кингери).....	71
2.3.3. Кинетика спекания в присутствии жидкой фазы (модель Оствальда) .....	75
2.4. Факторы, влияющие на кинетику спекания .....	77
2.4.1. Влияние отклонения от стехиометрии на спекание .....	77
2.4.2. Активирование процесса спекания .....	90
2.4.3. Реакционное спекание.....	94
2.5. Особенности получения композиционных материалов.....	99
2.5.1. Общие представления о композитах .....	99
2.5.2. Термодинамическая совместимость компонентов в композиционных материалах .....	105
2.5.3. Кинетика взаимодействия фаз в композитах .....	106
2.6. Строительные композиционные керамические материалы на грубозернистых техногенных заполнителях.....	118
2.6.1. Особенности формирования структуры и свойств обжиговых керамических композиционных материалов из техногенных продуктов.....	120
2.6.2. Плотность упаковки дисперсных порошковых систем.....	121
3. КЛАССИФИКАЦИЯ И МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОКЛАСТЕРОВ И НАНОСТРУКТУР.....	131
3.1. Общие сведения о наноматериалах.....	131
3.2. Классификация и методы получения нанокластеров и наноструктур .....	134
4. ПОВЕРХНОСТЬ ТВЕРДЫХ ТЕЛ. МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОВЕРХНОСТИ.....	143
4.1. Нуклеация и рост нанокластеров в нанопорах вещества.....	143
4.2. Нуклеация и рост кластеров на основе твердотельных реакций .	148
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	151
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	152