



Уральский  
федеральный  
университет

имени первого Президента  
России Б.Н.Ельцина

Институт  
естественных наук

**Д. С. ЦВЕТКОВ**

# ТЕРМОДИНАМИКА И СТРУКТУРА ТВЕРДОГО ТЕЛА

Учебное пособие

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б. Н. ЕЛЬЦИНА

А. Ю. Зуев, Д. С. Цветков

# ТЕРМОДИНАМИКА И СТРУКТУРА ТВЕРДОГО ТЕЛА

## Практикум

Рекомендовано методическим советом УрФУ  
в качестве учебного пособия для студентов,  
обучающихся по программе магистратуры  
по направлению подготовки 020100 «Химия»

Екатеринбург  
Издательство Уральского университета  
2012

УДК 539.21(076.5)  
3-93

Рецензенты:

доктор химических наук, заведующий лабораторией  
физико-химических методов исследования Института  
высокотемпературной электрохимии УрО РАН Э. Х. Кур ум ч и н;

кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник  
Института химии твердого тела УрО РАН И. А. Л е о н и д о в

**Зуев, А. Ю.**  
3-93 Термодинамика и структура твердого тела : практикум : [учеб.  
пособие] / А. Ю. Зуев, Д. С. Цветков. — Екатеринбург : Изд-во  
Урал. ун-та, 2013. — 128 с.

ISBN 978-5-7996-0788-3

В практикуме представлены краткие теоретические сведения по курсу «Термодинамика и структура твердого тела» и лабораторные работы, иллюстрирующие основные методы получения твердофазных материалов и экспериментальные подходы к исследованию фазового состава, кристаллической структуры, морфологии, дисперсности и спекания, кислородной нестехиометрии и термодинамики разупорядочения, электрофизических и термомеханических свойств керамических оксидных материалов.

Для студентов магистратуры, овладевающих техникой физико-химического эксперимента.

УДК 539.21(076.5)

ISBN 978-5-7996-0788-3

© Уральский федеральный университет, 2012  
© Зуев А. Ю., Цветков Д. С., 2012

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ОТ АВТОРОВ .....</b>	<b>5</b>
-------------------------	----------

## **1. ОСНОВЫ РЕНТГЕНОВСКОГО ФАЗОВОГО И СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА**

1.1. Спектры излучения .....	8
1.1.1. Поглощение рентгеновских лучей веществом.....	10
1.1.2. Дифракция рентгеновских лучей .....	12
1.2. Фазовый анализ. Определение кристаллической структуры вещества.....	12
1.2.1. Методы ручного качественного рентгеновского фазового анализа .....	15
1.2.1.1. Методика рентгенофазового анализа с использованием указателя Ханавальта .....	17
1.2.1.2. Методика рентгенофазового анализа с использованием указателя Финка.....	19
1.2.2. Количественный рентгеновский фазовый анализ .....	20
1.2.2.1. Определение содержания фазы в многофазной композиции методом добавок (внутреннего стандарта) .....	21
1.2.2.2. Определение содержания фазы в многофазной композиции методом внешнего стандарта .....	22
1.3. Элементы кристаллографии .....	23
1.3.1. Элементы симметрии .....	25
1.3.2. Индексы плоскости .....	27
1.4. Индицирование дифрактограммы .....	28
Лабораторная работа № 1 .....	29

## **2. СИНТЕЗ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ И НАНОПОРОШКОВ**

2.1. Газофазный синтез (конденсация паров) .....	39
2.2. Плазмохимический синтез .....	45
2.3. Осаждение из коллоидных растворов .....	48
2.4. Термическое разложение и восстановление .....	51
2.5. Механосинтез, детонационный синтез и электровзрыв .....	53

Лабораторная работа № 2. Часть 1 .....	58
Лабораторная работа № 2. Часть 2 .....	60

### **3. МЕТОДЫ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

3.1. Термогравиметрический анализ .....	68
Лабораторная работа № 3 .....	72
3.2. Дилатометрия.....	77
Лабораторная работа № 4 .....	89

### **4. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

4.1. Теоретические основы .....	97
4.1.1. Электропроводность сложных оксидов.....	99
4.1.2. Измерение электропроводности.....	104
4.1.3. Измерение термо-ЭДС .....	107
Лабораторная работа № 5 .....	109
4.2. Определение парциальных проводимостей и чисел переноса носителей заряда .....	111
4.2.1. Метод Тубандта .....	111
4.2.2. Метод кислородной проницаемости.....	113
4.2.3. Метод блокирующих электродов (ионных фильтров) .....	117
4.2.4. Метод ЭДС .....	119
4.2.5. Поляризационный метод.....	120
Лабораторная работа № 6 .....	122

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ НА ИСТОЧНИКИ..... 125**

## ОТ АВТОРОВ

Как самостоятельная наука химия твердого тела стала формироваться только во второй половине прошлого века. Ее возникновение предопределили две взаимосвязанные причины — необходимость понимания явлений, протекающих в твердых телах, и бурное развитие материаловедения, вызванное острой потребностью в создании новых материалов.

Сегодня химия твердого тела — это общепризнанная дисциплина наряду с физикой твердого тела и физической химией. Ее предметом является установление традиционной для химии взаимосвязи в цепочке «состав — структура — свойства вещества» с учетом особенностей твердого состояния, а основная задача заключается в поиске способов создания новых функциональных твердофазных материалов с требуемыми для эффективного практического применения свойствами: оптическими, сегнетоэлектрическими, эмиссионными, фотоэлектрическими, пьезоэлектрическими, электрофизическими, магнитными, механическими, каталитическими и другими.

Под составом вещества в химии твердого тела понимают не только традиционное для химии вообще стехиометрическое соотношение основных его компонентов, но и отклонения от стехиометрии, в том числе и очень малые (на пределе обнаружения).

Под структурой вещества понимается реальная структура твердого тела, т. е. не только определенный порядок в расположении составляющих данное тело частиц, описываемый с помощью идеальной модели — кристаллической решетки, но и нарушения этого порядка, которые называются дефектами.

Одни целевые свойства твердотельных материалов в большей степени определяются их кристаллохимическими особенностями и в меньшей — дефектами, для других решающее значение имеют дефекты, выступающие в роли носителей данных свойств. По этой

План выпуска 2012 г. Подписано в печать 27.12.2012.  
 Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times.  
 Уч.-изд. л. 7,0. Усл. печ. л. 7,44. Тираж 50 экз. Заказ № 2400.

Издательство Уральского университета  
 620000, г. Екатеринбург, ул. Тургенева, 4.

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ.

620000, г. Екатеринбург, ул. Тургенева, 4.

Тел.: +7 (343) 350-56-64, 350-90-13.

Факс: +7 (343) 358-93-06.

E-mail: [press.info@usu.ru](mailto:press.info@usu.ru)