

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Учебник УрФУ

К. Г. Земляной, И. А. Павлова

Фазовые равновесия в ОКСИДНЫХ СИСТЕМАХ

Рекомендован методическим советом
Уральского федерального университета
в качестве учебника для студентов вуза,
обучающихся по направлению
18.03.01 — Химическая технология

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2021

УДК 544.34(075.8)
ББК 24.53я73
3-53

Серия «Учебник УрФУ» основана в 2017 году

Редакционная коллегия серии:

канд. техн. наук, доц. *Е. В. Вострецова*; канд. техн. наук, доц. *О. Ю. Корниенко*; *И. Ю. Плотникова* (ответственный редактор серии)

Рецензенты:

научно-образовательный центр Н. М. Кижнера по направлению «Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» Томского политехнического университета (протокол № 73 от 04.03.2021; заверено д-ром техн. наук, проф. *В. И. Верещагиным*);

Э. Г. Вовкотруб, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. Отдела ЦКП «Состав вещества» Института высокотемпературной электрохимии УрО РАН

Научный редактор — д-р техн. наук, проф. *И. Д. Кащеев*

Земляной, Кирилл Геннадьевич.

3-53 **Фазовые равновесия в оксидных системах : учебник / К. Г. Земляной, И. А. Павлова ; М-во науки и высш. образования РФ. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2021. — 228 с. — (Учебник УрФУ).**

ISBN 978-5-7996-3332-5

Учебник содержит пять глав, в которых изложены сведения о фазовых равновесиях однокомпонентных, бинарных, тройных и четырехкомпонентных систем оксидных и силикатных материалов. Издание включает в себя вопросы по определению порядка кристаллизации различных смесей и расчету количественного и качественного фазового состава различных систем.

Учебник предназначен студентам образовательных организаций, обучающихся по направлению «Химическая технология», «Строительство», специализирующихся в области технологии высокотемпературных неметаллических конструкционных и функциональных изделий и наноматериалов, также может быть использован специалистами, работающими в области силикатных производств и производства материалов и изделий электроники и микроэлектроники.

Библиогр.: 9 назв. Рис. 82. Табл. 11.

УДК 544.34(075.8)
ББК 24.53я73

ISBN 978-5-7996-3332-5

© Уральский федеральный университет, 2021

Оглавление

Предисловие.....	7
Введение.....	8
1. Основные понятия учения о фазовых равновесиях.....	10
Вопросы для самоконтроля к главе 1.....	13
2. Однокомпонентные системы.....	14
2.1. Основные элементы строения.....	15
2.2. Система кремнезема.....	20
Вопросы для самоконтроля к главе 2.....	29
3. Двухкомпонентные системы.....	30
3.1. Пересчет массовых процентов состава системы в молярные и молярных — в массовые проценты.....	31
3.2. Строение диаграммы состояния двухкомпонентной системы.....	33
3.3. Правило рычага. Расчеты по диаграммам состояния.....	35
3.4. Методы построения диаграмм состояния.....	38
3.5. Принципы теоретического расчета диаграмм состояния.....	44
3.6. Типовые диаграммы состояния двухкомпонентных систем.....	45
3.6.1. Диаграмма состояния системы с эвтектикой (CaO—MgO).....	46
3.6.2. Диаграмма состояния системы с химическим соединением, плавящимся без разложения и с полиморфным превращением (Al ₂ O ₃ —TiO ₂).....	54
3.6.3. Аналитические методы расчета фазового состава.....	58

3.6.4. Диаграмма состояния системы с химическим соединением, плавящимся с разложением ($\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3$).....	61
3.6.5. Диаграмма состояния системы с химическим соединением, разлагающимся при нагревании в твердом виде (BeO--SiO_2).....	66
3.6.6. Диаграмма состояния системы с химическим соединением, разлагающимся в твердом виде (CaO--SiO_2).....	67
3.6.7. Диаграмма состояния системы с расслоением в жидкой фазе или с ликвацией ($\text{SiO}_2\text{--TiO}_2$)	72
3.6.8. Диаграмма состояния системы с непрерывным рядом твердых растворов ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{--Cr}_2\text{O}_3$).....	77
3.6.9. Диаграмма состояния системы с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии эвтектического типа (CoO--CaO).....	80
3.6.10. Диаграмма состояния системы с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии перитектического типа ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{--Ga}_2\text{O}_3$).....	84
3.6.11. Система $\text{Na}_2\text{O--SiO}_2$	86
3.6.12. Система MgO--SiO_2	89
3.6.13. Система $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$	91
3.6.14. Система FeO--SiO_2	93
Вопросы для самоконтроля к главе 3.....	95
4. Трехкомпонентные системы	96
4.1. Правило фаз Гиббса.....	96
4.2. Координаты диаграмм состояния	97
4.3. Изображение составов на диаграммах состояния	97
4.4. Правило рычага и центра тяжести в треугольнике концентраций	100
4.5. Построение диаграммы состояния тройной системы с кристаллизацией чистых компонентов	106
4.6. Разбивка диаграмм на элементарные треугольники	108
4.7. Основные типы диаграмм состояния трехкомпонентных систем	111
4.7.1. Диаграмма состояния системы с тройной эвтектикой.....	112
4.7.2. Диаграмма состояния системы с химическим соединением, плавящимся конгруэнтно (без разложения, двойное соединение).....	118
4.7.3. Диаграмма состояния системы с химическим соединением, плавящимся конгруэнтно (без разложения, тройное соединение)	122
4.7.4. Аналитический метод расчета фазового состава	125
4.7.5. Диаграмма состояния системы с двойным химическим соединением, плавящимся инконгруэнтно (с разложением).....	128

4.7.6. Диаграммы состояния систем с пограничной кривой, переходящей из эвтектической в перитектическую или обратно	135
4.7.7. Диаграмма состояния системы с тройным химическим соединением, плавящимся с разложением	140
4.7.8. Диаграмма состояния системы с двойным химическим соединением, разлагающимся при нагревании в твердом состоянии	146
4.7.9. Диаграмма состояния системы с двойным химическим соединением, разлагающимся при охлаждении в твердом состоянии	150
4.7.10. Диаграмма состояния системы с полиморфным превращением твердых фаз	152
4.7.11. Диаграмма состояния системы с ограниченной растворимостью компонентов в жидком состоянии (с ликвацией) ..	155
4.7.12. Диаграмма состояния системы с неограниченной растворимостью всех трех компонентов в твердом состоянии или с непрерывным рядом твердых растворов	159
4.7.13. Диаграмма состояния системы с непрерывным рядом твердых растворов в одной из составляющих двойных систем и эвтектиками в двух других двойных системах	162
4.7.14. Диаграмма состояния системы с двойным химическим соединением, плавящимся без разложения и образующим с третьим компонентом непрерывный ряд твердых растворов	169
4.7.15. Диаграмма состояния системы с двойным химическим соединением, плавящимся с разложением (инконгруэнтно) и образующим с третьим компонентом непрерывный ряд твердых растворов	172
4.7.16. Диаграмма состояния системы с твердым раствором ограниченной растворимости в одной из составляющих двойных систем	176
Вопросы для самоконтроля к главе 4	181
5. Четырехкомпонентные системы	182
5.1. Изображение четырехкомпонентных систем	183
5.2. Диаграмма состояния четырехкомпонентной системы без химических соединений и твердых растворов	186
5.3. Пути кристаллизации на диаграмме состояния четырехкомпонентной системы без химических соединений и твердых растворов	189
5.4. Приведение многокомпонентных диаграмм состояния к трехкомпонентным	192
Вопросы для самоконтроля к главе 5	193

Приложение. Задания для самостоятельной работы и самопроверки	194
Задания к п. 3.1	194
Задания к п. 3.6.1	194
Задания к п. 3.6.2	196
Задания к п. 3.6.3	197
Задания к п. 2.6.4	197
Задания к п. 3.6.5	198
Задания к п. 3.6.6	199
Задания к п. 3.6.7	200
Задания к п. 3.6.8	201
Задания к п. 3.6.9	202
Задания к п. 3.6.10	203
Задания к п. 3.6.11	205
Задания к п. 3.6.12	206
Задания к п. 3.6.13	207
Задания к п. 3.6.14	208
Задания к п. 4.3	209
Задания к п. 4.4	209
Задания к п. 4.6	210
Задания к п. 4.7.1	210
Задания к п. 4.7.2	212
Задания к п. 4.7.3	213
Задания к п. 4.7.4	216
Задания к п. 4.7.5	216
Задания к п. 4.7.6	218
Задания к п. 4.7.7	219
Задания к п. 4.7.8	220
Задания к п. 4.7.9	220
Задания к п. 4.7.10	221
Задания к п. 4.7.11	221
Задания к п. 4.7.13	222
Задания к п. 4.7.14	222
Задания к п. 4.7.15	222
Задания к п. 4.7.16	223
Задачи к п. 4.7	223
Список библиографических ссылок	227