

## ПЛАН ЛЕКЦИЙ

### КУРСА «ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ СИЛИКАТОВ И ДРУГИХ ТУГОПЛАВКИХ СОЕДИНЕНИЙ» (с приложением рисунков)

Составитель                      Урханова Л.А.

Рецензент                        Балханова Е.Д.

Подписано в печать 6.11        2003 г. Формат 60х84 1/16.  
Усл. п.л. 1,86, уч.-изд.л. 1,6    Тираж 50 экз. Заказ №151

---

Издательство ВСГТУ. г.Улан-Удэ, ул. Ключевская 40 в

© ВСГТУ. 2004 г.

Министерство образования Российской Федерации

Восточно-Сибирский государственный технологический  
университет

## ПЛАН ЛЕКЦИЙ

### КУРСА «ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ СИЛИКАТОВ И ДРУГИХ ТУГОПЛАВКИХ СОЕДИНЕНИЙ» (с приложением рисунков)

Составитель: Урханова Л.А.

**Улан-Удэ, 2003 г.**

## Общая характеристика курса

Дисциплина «Физическая химия силикатов» относится к циклу специальных дисциплин. Целью дисциплины является обучение студентов основным теоретическим положениям, лежащим в основе проектирования составов и технологии получения различных силикатных и других тугоплавких неметаллических материалов – керамики, цемента, стекла.

Объектом изучения дисциплины является – изучение диаграмм состояния различных силикатных систем; изучение основных свойств силикатов в различных состояниях; теоретические основы важнейших процессов, происходящих при синтезе силикатов и других тугоплавких соединений, в частности, механизму, кинетике этих процессов и технологическим факторам, влияющих на них.

Методические указания содержат 16 стр., 45 рис.

Ключевые слова: кремнезем, кристаллическое состояние вещества, аморфное состояние вещества, кристаллизация, спекание, структура, диффузия, дефект кристаллической решетки, диаграммы состояния.

14. Кешишян Т.Н., Савельев В.Г., Рабухин А.И. Изучение трехкомпонентных диаграмм состояния.-М: МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1978.
15. Кингери У.Д. Введение в керамику.-М.: Стройиздат, 1964.
16. Торопов Н.А., Булак Л.Н. Кристаллография и минералогия.-Л.: Стройиздат, 1972.-503 с.
17. Тыкачинский И.Д. Проектирование и синтез стекол и ситалов с заданными свойствами.-М.: Стройиздат, 1977.-145с.

## **Введение**

Содержание и значение дисциплины «Физическая химия силикатов и других тугоплавких соединений» как теоретической основы силикатных и других тугоплавких материалов. Вклад отечественных ученых в развитие физической химии силикатов и других тугоплавких соединений.

### Тема 1. Химия кремния (2ч.)

Элементарный кремний. Распространение соединений кремния в природе и их значение в технике. Способы получения кремния. Получение монокристаллов кремния высокой чистоты. Свойства и применение кремния.

Соединение кремния с металлами – силициды. Методы получения силицидов. Краткая характеристика свойств и областей применения силицидов магния, кальция, железа и молибдена.

Карбид кремния – карборунд. Получение, свойства и применение карбида кремния.

Кремневодороды. Классификация. Силаны: Получение, свойства и применение моно- и дисилана.

Кремнегалогены. Классификация. Получение свойства и применение простых кремнегалогенов, кремнефтористоводородной кислоты и кремнефторидов натрия, калия, бария и магния. Флюаты и флюатирование.

Кремнийорганические соединения. Классификация и номенклатура. Низкомолекулярные кремнийорганические соединения. Эфиры ортокремневой кислоты. Высокомолекулярные кремнийорганические соединения – силиконы, их получение, свойства и применение.

### Литература к теме 1

(1) с. 5-24; (2) с. 9-22, 441-454; (5) с. 7-24; (6) с. 5-40.

Тема 2 Правило фаз. Однокомпонентные диаграммы состояния.  
Диаграмма состояния системы  $\text{SiO}_2$ . (2ч.)

Понятия: Система, параметры системы, компонент, фаза, степени свободы, вариантность системы, термодинамическое равновесие, правило фаз Гиббса, общие понятия о диаграммах состояния. Применение диаграмм состояния для решения технических задач. Диаграммы состояния однокомпонентных систем с соединениями, имеющими несколько полиморфных модификаций (рис. 1). Полиморфизм. Энантиотропные и монотропные полиморфные превращения (рис. 2,3).

Диаграмма состояния системы  $\text{SiO}_2$  (рис 4). Полиморфные модификации силициума и области их стабильного и метостабильного существования. Последовательность и скорость фазовых превращений в системе  $\text{SiO}_2$ . Изменение плотности и объемное изменение при полиморфных превращениях  $\text{SiO}_2$ . Влияние минерализаторов на фазовое превращение в системе  $\text{SiO}_2$ . Отклонение от равновесных состояний в системе  $\text{SiO}_2$ . Характеристика отдельных полиморфных модификаций и фаз в системе  $\text{SiO}_2$ : кварц, тридимит, кристобалит, кремнеземистое (кварцевое стекло) (рис 5). Значение диаграммы состояния  $\text{SiO}_2$  для химии и технологии силикатов.

Литература к теме 2

(1) с. 24-43, 50-52; (2) с. 106-109, 112-133; (4) с. 10-13; (5) с. 254-259; (6) с. 171-203.

Тема 3 Общие диаграммы состояния двухкомпонентных систем различных типов. Диаграммы состояния систем  $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}-\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}-\text{SiO}_2$ . (6ч.)

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Бобкова Н.М. Физическая химия силикатов и тугоплавких соединений. – Минск: Вышэйшая школа, 1984 .-256 с.
2. Куколев Г.В. Химия кремния и физическая химия силикатов. – М.: Высшая школа, 1966.
3. Куколев Г.В., Пивень И.Я. Задачник по химии кремния и физической химии силикатов. – М.: Высшая школа, 1971.-240 с.
4. Кешишян Т.Н., Савельев В.Г. Практикум по химии кремния и физической химии силикатов.-М.: МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1970.
5. Мануйлов Л.А., Клюковский Г.И. Физическая химия и химия кремния. – М.: Высшая школа, 1962.
6. Физическая химия силикатов. Под редакцией А.А. Пашенко.- М.: Высшая школа, 1986.-368 с.

Дополнительная

7. Аппен А.А. Химия стекла.-Л.: Химия, 1974.-351 с.
8. Бабушкин В.Н., Матвеев Г.М., Мchedlov-Петросян О.П. Термодинамика силикатов.-Л.: Стройиздат, 1972.-351 с.
9. Балкевич В.Л. Техническая керамика.-М.: Стройиздат, 1968.
10. Бережной А.С. Многокомпонентные системы окислов.-Киев: Наукова думка, 1970.-544 с.
11. Бокий Г.Б. Кристаллохимия.-М.: Наука.-1971.
12. Будников П.П., Гинстлинг А.М. Реакции в смесях твердых веществ.- М.: Стройиздат, 1971.-488с.
13. Воронков М.Г., Милешкевич В.П., Южелевский Ю.А. Силоксановая связь.- Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1976.-413 с.

Рисунки к теме II

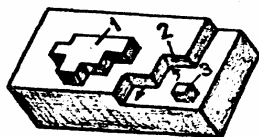


Рис. 42. Рост совершенного кристалла: 1 – двумерный зародыш нового слоя; 2 – ступень роста; 3 – отдельный атом

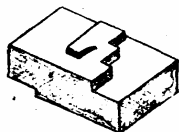


Рис. 43. Спиральная ступень роста, образующаяся за счет выхода на поверхность грани винтовой дислокации

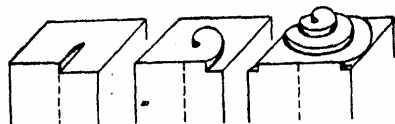


Рис. 44. Схема спиральной ступени при росте грани за счет винтовой дислокации

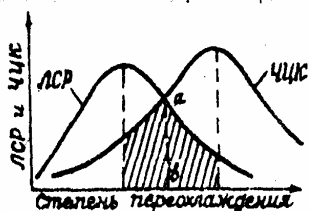


Рис. 45. Линейная скорость роста кристалла (ЛСР) и число центров кристаллизации (ЧЦК) при гомогенном зародышеобразовании в зависимости от степени пересыщения

Общие диаграммы состояния двухкомпонентных систем. Динамический и статический методы построения диаграмм состояния (рис. 6). Диаграммы состояния систем: с эвтектикой (рис. 7); с химическим соединением, плавящимися без разложения (конгруэнтно) и с разложением (инконгруэнтно) (рис. 8, 9); С химическим соединением, разлагающимися или образующимися при изменении температуры в твердом состоянии; с расслоением жидкой фазы (ликвацией); с полиморфными превращениями (рис. 10) с непрерывным и ограниченным рядом твердых растворов (рис. 11, 12). Элементы строения диаграмм состояния двухкомпонентных систем: Кривые ликвидуса и солидуса; точки эвтектики и перитектики. Эвтектический состав и эвтектическая температура. Перетектическая реакция. Пути фазовых изменений при нагревании и охлаждении в двухкомпонентных системах. Правило рычага. Определение количественного содержания фаз с помощью рычага.

Диаграмма состояния системы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  (рис 13). Особенности и краткая характеристика бинарных соединений, существующих в ней. Значение системы для технологии силикатов. Силикаты натрия в гидратированном состоянии. Растворимое и жидкое стекло.

Диаграмма состояния системы  $\text{CaO}-\text{SiO}_2$  (рис 14). Особенности системы и характеристики бинарных соединений, существующих в ней. Метасиликат кальция и его полиморфные разновидности – волластонит и псевдоволластонит. Ортосиликат кальция. Диаграмма состояния однокомпонентной системы  $2\text{CaO}*\text{SiO}_2$ . Полиморфизм  $2\text{CaO}*\text{SiO}_2$ . Трехкальциевый силикат и алит. Значение системы  $\text{CaO}-\text{SiO}_2$  для технологии силикатов.

Диаграмма состояния системы  $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  (рис. 15). Особенности системы и характеристика соединений, существующих в ней. Глинозем и его разновидности - корунд

и технический глинозем. Муллит. Значение системы  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -  $\text{SiO}_2$  для технологии силикатов. Гидросиликаты алюминия. Глинистые материалы и глины.

Диаграмма состояния системы  $\text{MgO}$ -  $\text{SiO}_2$  (рис. 16). Особенности системы и характеристики соединений, существующих в ней. Периклаз. Форстерит и оливировый ряд твердых растворов. Метасиликат магния и его полиморфные разновидности. Пироксены. Значение системы  $\text{MgO}$ -  $\text{SiO}_2$  для технологии силикатов. Гидросиликаты магния – асбест, серпентин, тальк. Значение гидросиликатов магния, как сырья керамической промышленности.

#### Литература к теме 3

(1) с. 97-122; (2) с. 142-157, 163-170, 173-191, 215-139; (5) с. 260-272; (6) с. 204-234.

Тема 4 Общие диаграммы состояния трехкомпонентных систем различных типов. Диаграммы состояния систем  $\text{Na}_2\text{O}$ - $\text{CaO}$ - $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ -  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ - $\text{CaO}$ -  $\text{SiO}_2$ . (6ч.)

Диаграммы состояния трехкомпонентных систем. Пространственное изображение трехкомпонентных диаграмм состояния (рис. 17). Построение трехкомпонентных плоскостных диаграмм состояния и способы изображения. Диаграммы состояния трехкомпонентных систем: с эвтектикой (рис. 18); с двойным и тройным химическими соединениями, плавящимися конгруэнтно и инконгруэнтно (рис. 19, 20, 22, 23); с двойным химическим соединением, разлагающимся при изменении температуры в твердом состоянии (рис. 21); с ликвацией (рис. 22); с полиморфными превращениями (рис. 22). Элементы строения трехкомпонентной диаграммы состояния: треугольник

#### Рисунки к теме 8

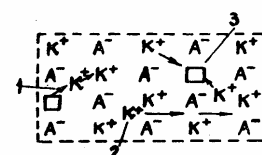


Рис. 38. Диффузия ионов в кристаллической решетке: К – катион, А – анион; 1 – перемещение иона из узла в междоузлие и затем в узел; 2 – перемещение иона по междоузлиям; 3 – перемещение из узла или междоузлия в вакансию

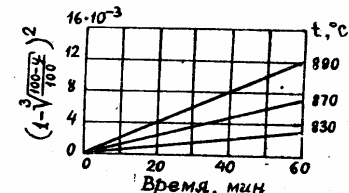


Рис. 39. Кинетика твердофазовой реакции между  $\text{BaCO}_3$  и  $\text{SiO}_2$  при различных температурах

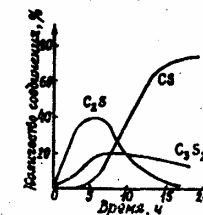


Рис. 40. Последовательность образования соединений в смеси  $\text{CaO}$  и  $\text{SiO}_2$  (1:1) при  $1200^\circ\text{C}$

#### Рисунки к теме 10

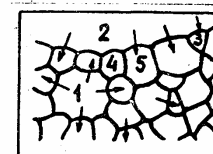


Рис. 41. Схема роста зерен при вторичной рекристаллизации по Бурке (стрелки показывают направление перемещения межзеренных границ)

Рисунки к теме 7

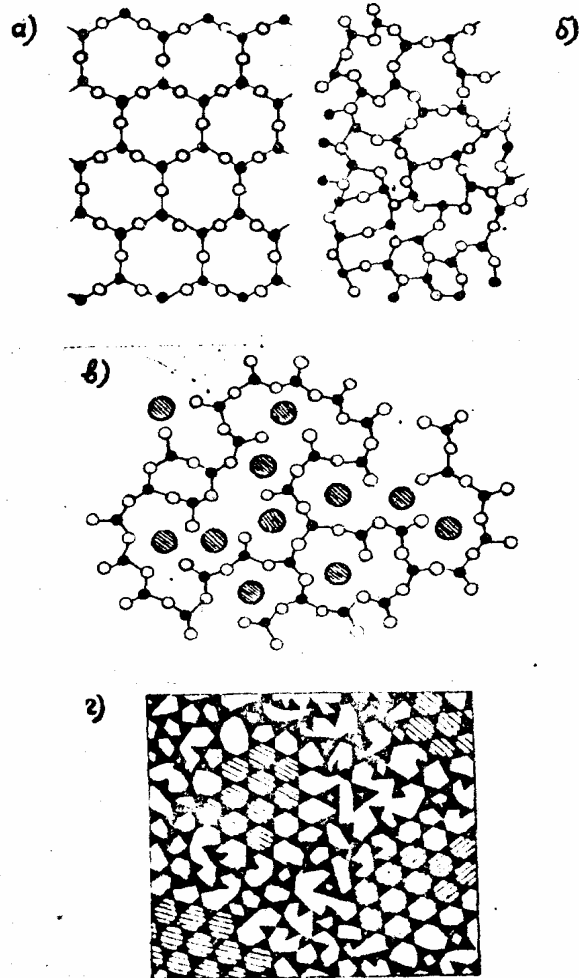


Рис. 37. Схемы структуры: а – кристаллического кварца; б – кварцевого стекла; в – натрийсиликатного стекла (по Захарисену, ● – кремний, ○ – кислород, ○ – натрий); г – кристаллитная структура кварцевого стекла (по Лебедеву, черные треугольники – тетраэдры  $[SiO_4]$ , заштрихованные участки – кристаллиты).

концентраций; изотермы; точка составов химических соединений; пограничные кривые, поля первичной кристаллизации; тройные точки; соединительные прямые; элементарные треугольники. Конгруэнтные и инконгруэнтные пограничные кривые и характер процессов, проходящих вдоль этих кривых. Точки эвтектики, двойного подъема и двойного опускания, характер процессов, проходящих в них. Правила определения: состава первично выпадающей при кристаллизации твердой фазы; температура начала кристаллизации; начального пути изменения состава жидкой фазы при кристаллизации одной кристаллической фазы; направление падения температуры на пограничных кривых; характера пограничных кривых; состава конечных продуктов кристаллизации; конечной точки кристаллизации, точки, в которой путь кристаллизации покидает инконгруэнтную пограничную кривую; дальнейшего пути кристаллизации из точки двойного опускания. Пути фазовых изменений при нагревании и охлаждении трехкомпонентных диаграмм состояния. Определение количественного соотношения фаз по правилу рычага в трехкомпонентных системах за весь путь кристаллизации в данный момент кристаллизации.

Диаграмма состояния системы  $Na_2O-CaO-SiO_2$  (рис. 24). Особенности системы и характеристика тройных соединений, существующих в ней. Девитрит. Значение системы для технологии известково-натриевых силикатных стекол. Использование диаграммы для борьбы с пороком стекла – камнями кристаллизации.

Диаграмма состояния системы  $CaO-Al_2O_3-SiO_2$  (рис. 25). Особенности системы и характеристики тройных соединений, существующих в ней. Геленит, анортит. Твердые растворы геленита с окерманитом (мелилиты) и анортита с альбитом (плаггиоклазы). Значение системы для технологии вяжущих

материалов, огнеупоров и тонкой керамики. Области составов различных силикатных продуктов на диаграмме.

Диаграмма состояния системы  $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  (рис. 26). Особенности системы и характеристика соединений, существующих в ней. Магнезиальная шпинель, кордиерит, сапфирпн. Значение системы для технологии керамических изделий и ситаллов.

Диаграмма состояния системы  $\text{MgO-CaO-SiO}_2$  (рис. 27). Особенности системы и характеристика тройных соединений, существующих в ней. Монтичеллит, мервинит, окерманит, диопсид. Значение системы для технологии шлакопереработки, изучения износа основных огнеупоров и т. д.

#### Литература к теме 4

- (1) с. 122-146; (2) с. 280-307, 309-312, 317-319, 321-322, 333-338; (5) с. 273-285; (6) с. 235-291; (14) с. 3-45.

#### Тема 5 Силикаты в кристаллическом состоянии (4ч.)

Силикаты в кристаллическом состоянии. Особенности кристаллического состояния вещества. Современные методы изучения тонкой кристаллической структуры веществ.

Структура кристаллических силикатов. Особенности структуры силикатов. Кремнекислородные мотивы в структуре силикатов. Изоморфные замещения в структуре силикатов. Роль алюминия в структуре силикатов. Структурные формулы силикатов. Структурная классификация силикатов по типу кремнекислородного мотива. Структура силикатов с изолированными одиночными тетраэдрами  $\text{Si}_4^{4-}$  (рис. 28). Ортосиликаты. Структура силикатов с изолированными группами из тетраэдров  $\text{Si}_4^{4-}$  (рис. 28). Цепочечные силикаты (рис. 29). Метасиликаты. Слоистые силикаты (рис. 30). Слюда,

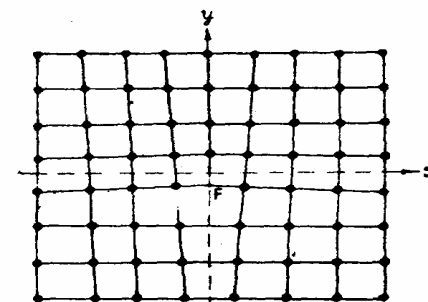


Рис. 34. Краевая дислокация: лишняя атомная плоскость (F) в верхней части кристалла

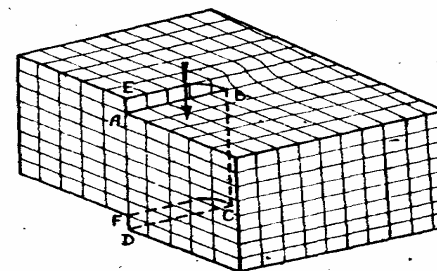


Рис. 35. Образование винтовой дислокации (BC – линия дислокации)

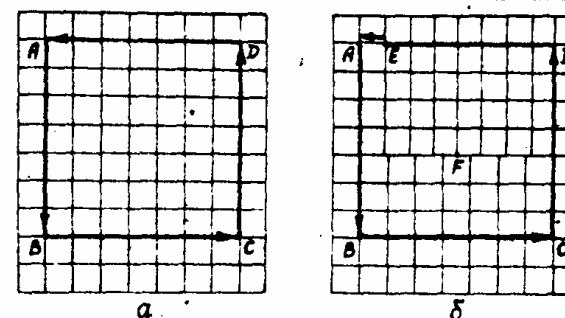


Рис. 36. Вектор Бюргерса (EA) краевой дислокации



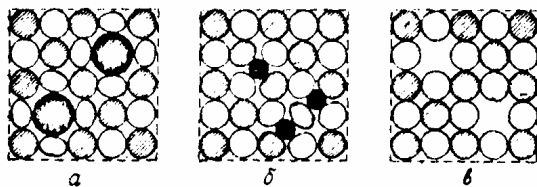


Рис. 31. Схематическое изображение структур твердых растворов; а – замещения, б – внедрения, в – вычитания (черные кружки – инородные ионы)

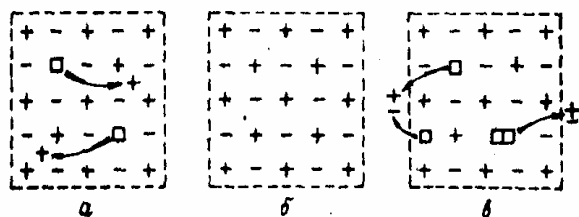


Рис. 32. Схематическое изображение дефектов по Френкелю (а) и Шоттки (в) (б – идеальная решетка)

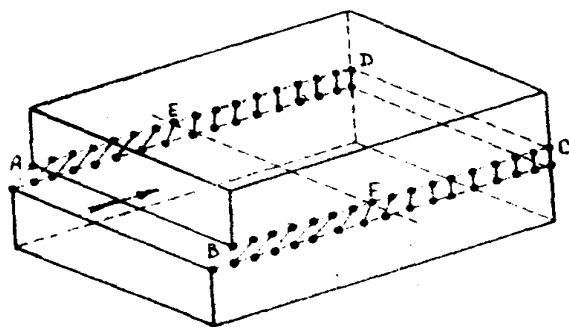


Рис. 33. Образование краевой дислокации (ЕF – линия дислокации)

каолинит, тальк. Каркасные силикаты. Кремнезем, полевые шпаты, цеолиты.

Дефекты кристаллической решетки. Тип и классификация дефектов. Твердые растворы (рис. 31). Классификация твердых растворов. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Отличие твердых растворов от индивидуальных химических соединений. Условия образования твердых растворов. Способы сохранения электронейтральности при образовании твердых растворов. Свойства твердых растворов. Термодинамические условия стабильности твердых растворов. Твердые растворы в силикатных и тугоплавких неметаллических соединениях. Дефекты по Шоттки и Френкелю (рис. 32). Вакансии и атомы, дислоцированные в междоузлиях. Причины образования дефектов по Шоттки и Френкелю, энергия образования и связь между температурой и равновесной концентрацией этих дефектов. Влияние дефектов по Шоттки и Френкелю на ионную проводимость и диффузию в кристаллических телах. Дислокация. Виды дислокаций – краевая и винтовая дислокации (рис. 33, 34, 35). Линия дислокации. Вектор Бюргерса (рис. 36). Плотность дислокации и ее определение по числу ямок травления. Причины образования дислокаций и их свойства – движение, размножение и взаимодействие дислокаций. Влияние дислокаций на свойства кристаллических тел – механическую прочность, пластичность, рост кристаллов, процесс диффузии.

Литература к теме 5

(1) с. 162-182; (2) с. 28-41, 54-73; (5) с. 24-70; (6) с. 41-80.

#### Тема 6 Силикаты в жидком состоянии (2ч.)

Силикаты в жидком состоянии. Жидкое состояние вещества. Теория строения жидкостей. Особенности структуры силикатных расплаво. Степень ассоциации ионов в силикатных

расплавах. Зависимость степени ассоциации от отношения O/Si и энергии связи кислород – катион металла. Вязкость. Уравнение Ньютона. Особенности силикатных расплавов с точки зрения абсолютной величины и температурной зависимости вязкости. Влияние степени ассоциации ионов на свойства силикатных расплавов. Склонность силикатных расплавов к переохлаждению. Зависимость между вязкостью и температурой. Зависимость вязкости от состава силикатных расплавов. Свободная поверхностная энергия, поверхностное натяжение и смачивающая способность силикатных расплавов. Краевой угол смачивания. Зависимость смачивающей способности от величины поверхностного натяжения. Зависимость поверхностного натяжения от температуры и состава силикатных расплавов.

Литература к теме 6

- (1) с. 183-188; (2) с. 85-105; (5) с. 114-126; (6) с. 81-83.

#### Тема 7 Силикаты в стеклообразном состоянии (2ч.)

Силикаты в стеклообразном состоянии. Особенность стеклообразного состояния вещества. Гипотезы строения стекла (рис. 37). Условия образования оксидных стекол по Захариасену и Сану. Оксиды стеклообразователи и модификаторы. Свойства силикатных стекол. Применение правила аддитивности для определения свойств силикатных стекол. Зависимость вязкости силикатных стекол от температуры. Температуры  $T_g$  и  $T_f$ . Аномальный интервал стеклообразного состояния.

Литература к теме 7

- (1) с. 188-204; (2) с. 376-395; (6) с. 86-117; (15) с. 94-106.

#### Тема 8 Реакции веществ в твердом состоянии (2ч.)

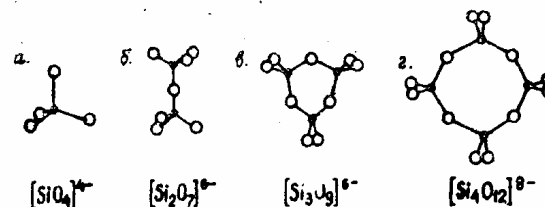


Рис. 28. Некоторые типы кремнекислородных радикалов конечных размеров (черные кружки – кремний, белые – кислород)

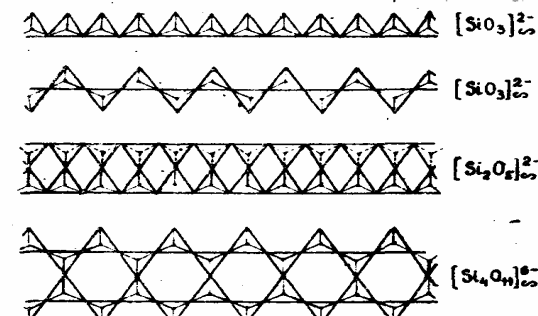


Рис. 29. Некоторые типы цепочечных и ленточных кремнекислородных радикалов (кремнекислородные тетраэдры обозначены треугольниками)

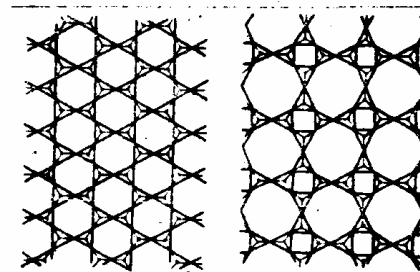


Рис. 30. Некоторые типы слоистых кремнекислородных радикалов состава  $[Si_2O_5]^{2-}$

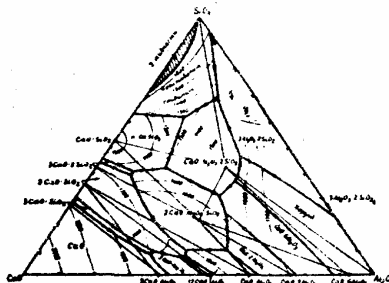


Рис. 25. Диаграмма состояния системы  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$

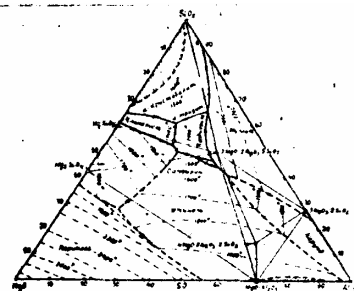


Рис. 26. Диаграмма состояния системы  $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$

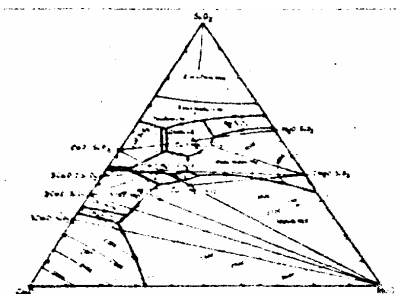


Рис. 27. Диаграмма состояния системы  $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{SiO}_2$

Общие сведения о назначении твердофазных реакций в технологии силикатных и тугоплавких материалов. Виды и механизм диффузии при твердофазовых реакциях (рис. 38). Схема диффузионных процессов на примерах некоторых реакций в твердом состоянии в силикатных системах. Теория Таммана – Хедвала. Кинетика реакций в твердом состоянии (рис. 39). Уравнение Яндера и Гинстлинга – Броунштейна. Особенности реакций в твердом состоянии (рис. 40). Факторы, влияющие на скорость твердофазовых реакций: температура, степень дисперсности и величина площади контакта между зернами порошкообразных материалов, роль жидкой и газообразной фаз при твердофазовых реакциях. Термодинамическая характеристика реакции в твердом состоянии.

#### Литература к теме 8

(1) с. 204-208, 215-218; (2) с. 74-85; (6) с. 132-142.

#### Тема 9 Процесс спекания (4ч.)

Сущность, признак и движущая сила процесса спекания. Виды спекания. Диффузионный механизм твердофазного спекания по Пинесу; механизм других видов спекания. Градиент концентраций вакансий в твердом пористом теле. Кинетика процесса спекания. Коалесценция пор. Критериальный радиус пор. Факторы, влияющие на процесс спекания: температура и продолжительность спекания, дисперсность и гранулометрический состав зернистого тела, дефектность кристаллической решетки, наличие примесей в спекающемся теле. Спекание в силикатных системах и его значение для технологии силикатных материалов и изделий из них.

Литература к теме 9

- (1) с. 208-215; (2) с. 396-406; (6) с. 143-159; (9) с. 61-70; (15) с. 260-272.

#### Тема 10 Процесс рекристаллизации (2ч.)

Сущность, признаки и двигатель процесса рекристаллизации. Первичная и вторичная рекристаллизация. Рост зерен. Схема роста зерен при вторичной рекристаллизации по Бурке (рис. 41). Факторы, влияющие на процесс рекристаллизации: температура, время, размер исходных зерен, наличие примесей, роль дефектов решетки, в частности, дислокация на границе зерен в процессе рекристаллизации. Значение процесса рекристаллизации в технологии силикатных и других тугоплавких материалов.

Литература к теме 10

- (1) с. 208-215; (6) с. 88-94; (9) с. 65-66; (15) с. 250-260.

#### Тема 11 Образование центров кристаллизации и рост кристаллов в жидкой фазе (2ч.)

Гомогенное и гетерогенное образование центров новой фазы. Кристаллический размер зародышей новой фазы. Зависимость изменения свободной энергии системы от размера зародышей новой фазы. Роль межфазовой поверхности при гетерогенном зародышеобразовании. Катализаторы кристаллизации. Рост кристаллов из жидкой фазы. Механизм роста кристаллов из слабо и сильноперенасыщенных расплавов или растворов (рис. 42, 43). Роль дефектов решетки при росте кристаллов. Дислокационный механизм роста кристаллов (рис. 44). Зависимость линейной скорости роста кристаллов и числа образующихся центров кристаллизации от степени переохлаждения расплава (рис. 45).

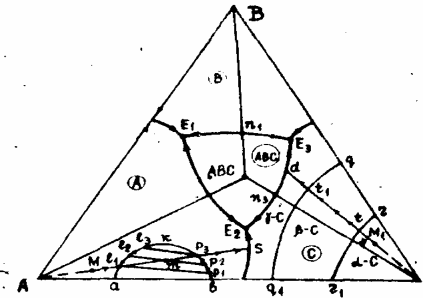


Рис. 22. Диаграмма состояния трехкомпонентной системы с тройным химическим соединением, плавящимся конгруэнтно, с ликвидацией и полиморфными превращениями

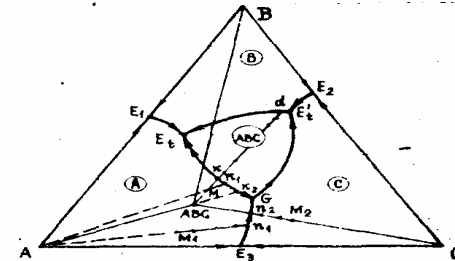


Рис. 23. Диаграмма состояния трехкомпонентной системы с тройным химическим соединением, плавящимся incongruently

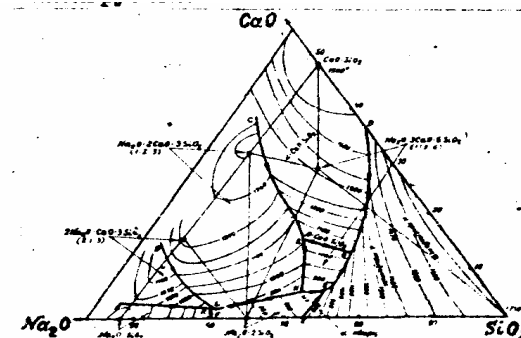


Рис. 24. Диаграмма состояния системы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$

Значение процесса кристаллизации в технологии силикатных и других тугоплавких материалов.

Литература к теме 11  
(1) с. 218-224; (15) с. 203-215.

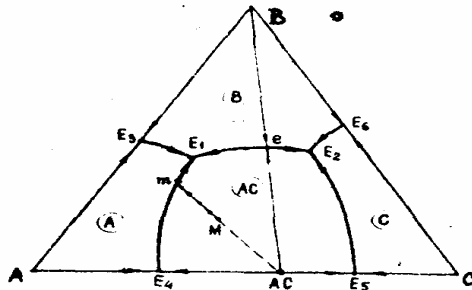


Рис. 19. Диаграмма состояния трехкомпонентной системы с двойным химическим соединением, плавящимся без разложения (конгруэнтно)

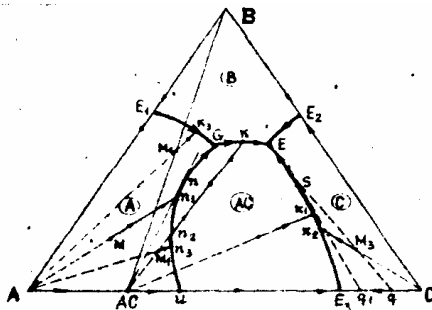


Рис. 20. Диаграмма состояния трехкомпонентной системы с двойным химическим соединением, плавящимся с разложением (incongruently)

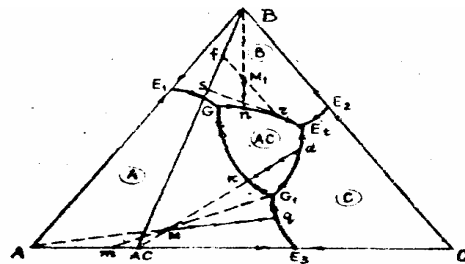


Рис. 21. Диаграмма состояния трехкомпонентной системы с двойным химическим соединением, разлагающимся при нагревании в твердом состоянии

Рисунки к теме 2

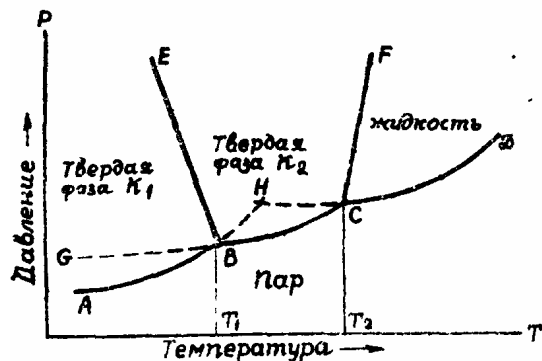


Рис.1. Общая диаграмма состояния однокомпонентной системы

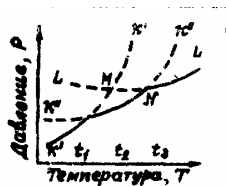


Рис.2. Кривые p-T в системе с энантиотропными превращениями

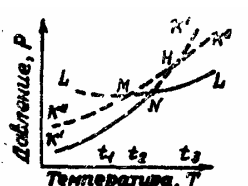


Рис.3. Кривые p-T в системе с монокотропными превращениями

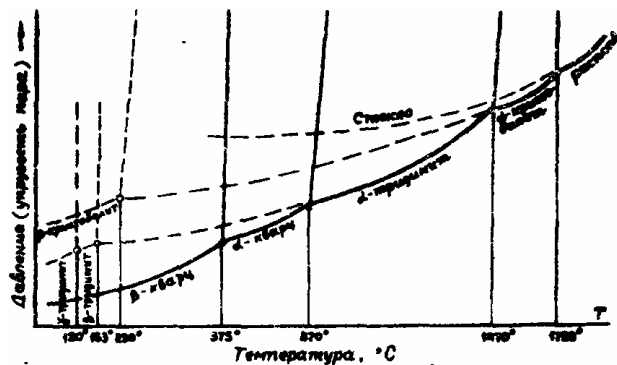


Рис.4. Диаграмма состояния системы  $\text{SiO}_2$

Рисунки к теме 4

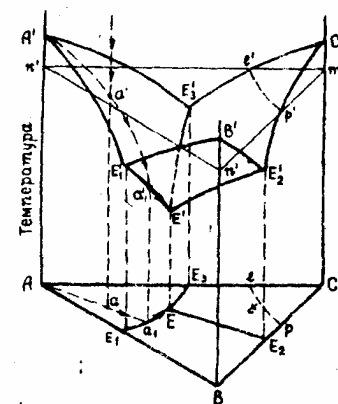


Рис. 17. Пространственная диаграмма состояния трехкомпонентной системы и ее проекция на плоскость равностороннего треугольника

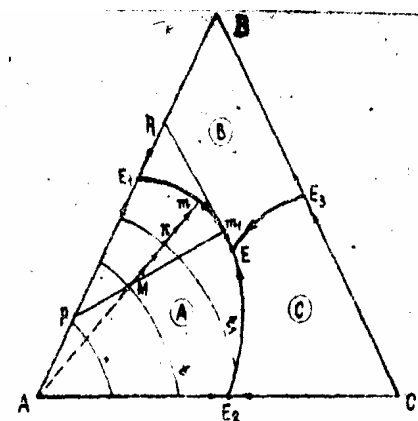


Рис. 18. Диаграмма состояния трехкомпонентной системы с эвтектикой (без химических соединений и твердых растворов)

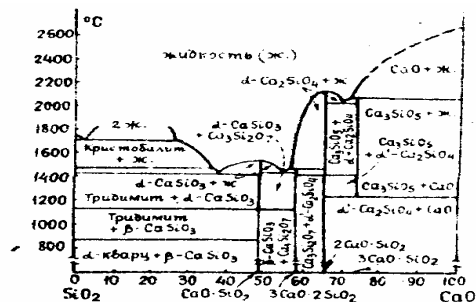


Рис.14. Диаграмма состояния системы  $\text{CaO}-\text{SiO}_2$

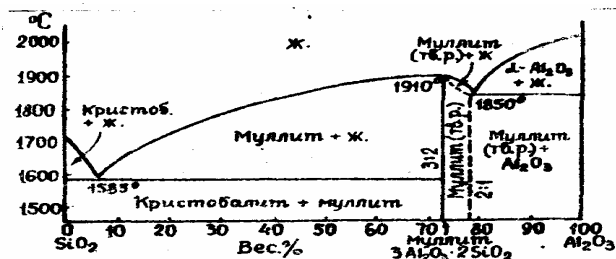


Рис.15. Диаграмма состояния системы  $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$

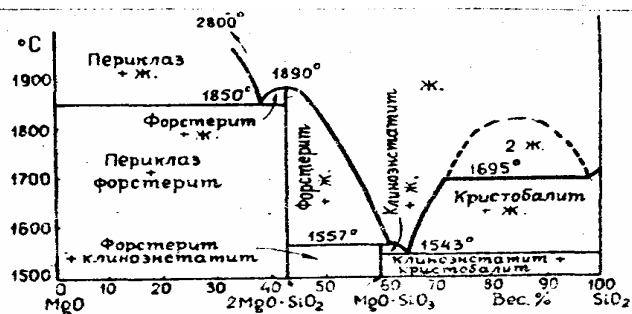


Рис.16. Диаграмма состояния системы  $\text{MgO}-\text{SiO}_2$

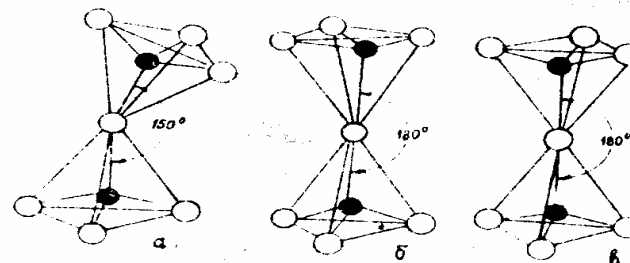


Рис.5. Способы соединения тетраэдров  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  в различных модификациях  $\text{SiO}_2$ :  
а -  $\alpha$ -кварц; б -  $\alpha$  - тридимит; в -  $\alpha$  - кристобалит

Рисунки к теме 3

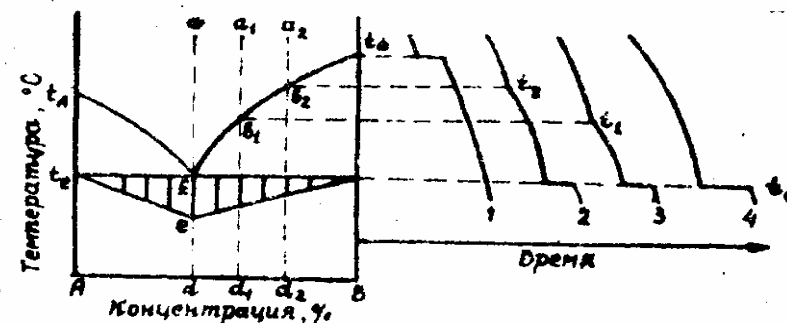


Рис.6. Построение диаграмм состояния двухкомпонентной системы динамическим методом

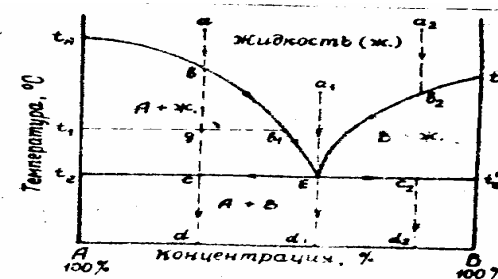


Рис.7. Диаграмма состояния двухкомпонентной системы с эвтектикой (без химических соединений и твердых растворов)

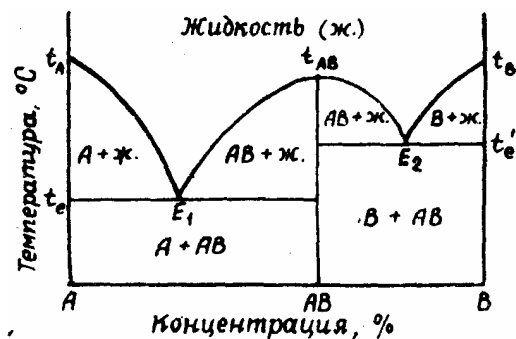


Рис.8. Диаграмма состояния двухкомпонентной системы с химическим соединением, плавящимся без разложения

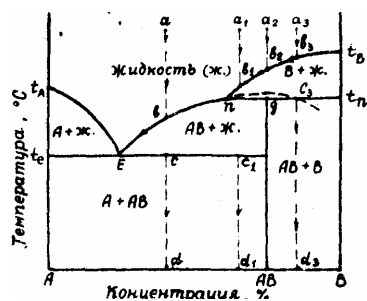


Рис.9. Диаграмма состояния двухкомпонентной системы с химическим соединением, плавящимся с разложением

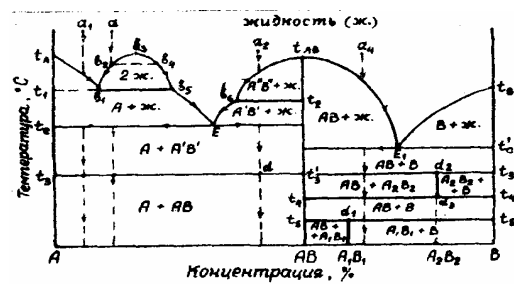


Рис.10. Диаграмма состояния двухкомпонентной системы с химическим соединением, образующимся или разлагающимся при нагревании в твердом состоянии, с ликвацией и с полиморфными превращениями

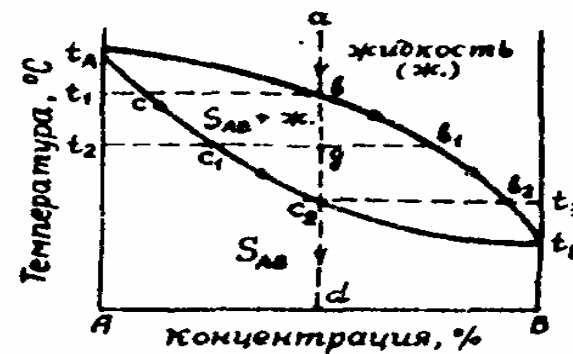


Рис.11. Диаграмма состояния двухкомпонентной системы с непрерывным рядом твердых растворов

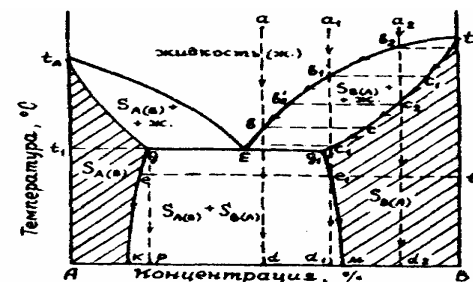


Рис.12. Диаграмма состояния двухкомпонентной системы с ограниченным рядом твердых растворов

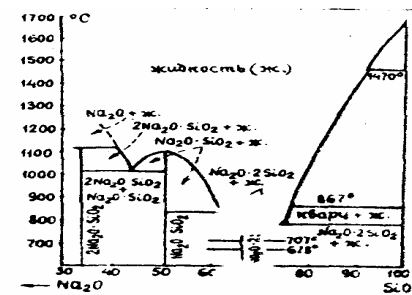


Рис.13. Диаграмма состояния системы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$