

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Факультет наук о материалах

УТВЕРЖДАЮ
Зам. декана ФНМ по учебной
работе
_____/А.В. Кнотько /
«__» _____ 2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Фазовые равновесия и термодинамика твердофазных реакций

Уровень высшего образования:

бакалавриат

Направление подготовки:

04.03.02 Химия, физика и механика материалов

Направленность (профиль)/специализация ОПОП:

общий

Форма обучения:

очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Методической комиссией факультета наук о материалах
(протокол №_____, дата)

Москва 2016

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Химия, физика и механика материалов» (программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки) в редакции приказа МГУ от _____20__ г.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО: вариативная часть, естественнонаучная подготовка, курс предназначен для студентов факультета наук о материалах **3-го года обучения (5-й семестр)**, курс является обязательным

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия (если есть):

Химическая термодинамика и кинетика

Математический анализ

Дифференциальные уравнения

Общая химия и химия элементов с основами качественного анализа (в части общей химии)

3. Результаты обучения по дисциплине:

Знать: термодинамические принципы, лежащие в основе построения фазовых диаграмм, принципы сравнительных методов расчета термодинамических величин, равновесных и термохимических методов;

Уметь: применять правило фаз и использовать информацию, присутствующую на фазовых диаграммах, в ходе работы с химической литературой, составить схему термодинамического исследования применительно к конкретной твердофазной реакции;

Владеть: основными принципами применения фазовых диаграмм для выбора условий проведения направленного синтеза неорганических веществ и материалов, основными подходами термодинамики твердофазных реакций;

Иметь опыт: навыки построения фазовых диаграмм для решения химических и физико-химических задач

4. Объем дисциплины составляет 3 з.е. (108 ак.ч.)

5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий:

5.1. Структура дисциплины по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий (в строгом соответствии с учебным планом)

Вид работы	Семестр				Всего
	5				
Общая трудоёмкость, акад. Часов	108				108
Аудиторная работа:	48				48
Лекции, акад. Часов	36				36
Семинары, акад. Часов	12				12
Лабораторные работы, акад. часов					
Самостоятельная работа, акад. часов	60				60
Вид итогового контроля (зачёт, экзамен)	Экз.				

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

Фазовые равновесия

Лекция 1. Правило фаз Гиббса. Фазовые диаграммы (ФД) однокомпонентных систем. Основные понятия: система, фаза, компонент, степень свободы. Вывод правила фаз Гиббса. Однокомпонентные системы. Физический смысл и математическое описание моновариантных

равновесий и тройной точки. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона. Критическая точка. Р-Т и Т-V проекции Р-V-Т фазовой диаграммы на примере воды и иода.

Лекция 2. Применение ФД однокомпонентных систем. ФД углерода. Получение искусственных алмазов. ФД азота. Сжижение воздуха. CO_2 . Свойства сверхкритических флюидов и их применение. Синтез из надкритических растворов. Фазовая диаграмма гелия. Фазовые переходы I и II рода. Построение кривых нагревания при постоянном давлении или объеме. Метастабильные состояния. Ограничения на число степеней свободы.

Лекция 3. Р-Т-х ФД двухкомпонентных систем. Проекция и сечения. (Р-Т), (Т-х) и (Р-х) проекции Р-Т-х - диаграммы бинарной системы: а) с неограниченной растворимостью во всех фазах, б) с эвтектикой, в) с соединением, которое плавится и сублимирует без разложения, г) с соединением, которое плавится с разложением. (Т-х)_Р и (Р-х)_Т сечения ФД двухкомпонентных систем а) с неограниченной растворимостью во всех фазах, б) и с простой эвтектикой.

Семинар 1. Применение правила фаз: нахождение числа компонентов, фаз, числа степеней свободы. Однокомпонентные системы. Построение кривых нагревания (охлаждения) при постоянных Р или V. Построение проекций и сечений Р-Т-х - диаграмм двухкомпонентных систем а) с неограниченной растворимостью во всех фазах, б) с эвтектикой. Контрольная работа №1.

Лекция 4. Р - сечения ФД различных бинарных систем. Терминология. Двухфазные равновесия на диаграммах: V/L, L_1/L_2 , L/S, S_1/S_2 . Азеотроп. Понижение числа степеней свободы при равенстве составов равновесных фаз. Системы с расслаиванием. Бинодальная кривая, верхняя и нижняя критическая температура. Коннода, ликвидус, солидус. Примеры. Трехфазные равновесия (нонвариантные равновесия) эвтектического (эвтектика, эвтектоид, монотектика) и перитектического (перитектика, перитектоид, синтектика) типов. Нонвариантные равновесия с участием газов. Примеры Р-сечений ФД двухкомпонентных систем с ограниченной и неограниченной растворимостью в твердой фазе и наличием соединений и полиморфных модификаций.

Лекция 5. Примеры использования ФД бинарных систем. Термодинамический вывод Т-х сечений ФД из изотерм свободной энергии Гиббса. Конгруэнтно и инконгруэнтно плавящиеся соединения на ФД. Кривые растворимости – линии ликвидуса на (Т – х)_Р – сечениях фазовых диаграмм соль - H_2O . Криогидраты, охлаждающие смеси. Правило рычага. Очистка твердых веществ методом зонной плавки. Экспериментальные приемы построения фазовых диаграмм: дифференциально-термический анализ. Типичные ошибки при построении фазовых диаграмм. Термодинамический вывод Т-х сечений ФД. Примеры.

Семинар 2. Проверочная работа по терминологии. Схематическое построение Р-сечений ФД бинарных систем по известным координатам нонвариантных точек. Схематическое построение Р-сечений ФД по набору изотерм свободной энергии Гиббса. Контрольная работа №2.

Лекция 6. Применение ФД для оптимизации условий выращивания монокристаллов. Представление об основных методах выращивания кристаллов. (Метод Бриджмена, Чохральского, зонная плавка, из раствора в расплаве собственных компонентов (self flux). Получение монокристаллического кремния. Применение фазовых диаграмм. Возможности применения различных методов в зависимости от вида ФД. Область первичной кристаллизации. Особенности синтеза инконгруэнтно плавящихся соединений. Применение флюса. Требования к выбору флюса. Примеры получения монокристаллов железосодержащих сверхпроводников с использованием флюса и методом self flux.

Лекция 7. ФД трехкомпонентных систем. Свойства треугольника составов Гиббса-Розебома. Вид ФД конденсированных трехкомпонентных систем при постоянном давлении для различных типов составляющих бинарных систем (тройная изоморфная система, две бинарные системы образуют ограниченные твёрдые растворы, третья – неограниченный, и т.д.). Поверхности солидуса и ликвидуса. Случай полной нерастворимости в твердой фазе. Изотермы. Области первичной и вторичной кристаллизации на проекции ФД тройной системы ($P=\text{const}$) на треугольник составов. Изотермические сечения.

Лекция 8. Построение политермических сечений ФД трехкомпонентных систем при постоянном давлении. 1. Разрез, параллельный стороне треугольника. 2. Разрез, проходящий от вершины треугольника на противоположную сторону. Диаграмма тройной системы, в которой во всех составляющих двойных системах наблюдается ограниченная растворимость. Вид проекций и сечений. Конгруэнтно плавящееся соединение S на стороне или внутри треугольника составов. О единственности проведения квазибинарного разреза. Примеры.

Лекция 9. Использование ФД трехкомпонентных систем для выбора условий проведения кристаллизации. Тройные водно-солевые системы. Определение состава твердой фазы методом Скрейнмакерса. Изотермы растворимости в тройных водно-солевых системах различной сложности. Область твердых растворов. Выращивание кристаллов из растворов в расплавах. Кристаллизация в ходе изотермического испарения растворителя. Примеры. Получение монокристаллов LiFeAs . Синтез медьсодержащих сверхпроводников. Иттрий-железистый гранат $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$.

Лекция 10. Определение фазовых соотношений в субсолидусной области двух- и трехкомпонентных систем. Триангуляция. Критерий установления равновесия. Стратегия поиска новых фаз в субсолидусной области: интенсивный и экстенсивный подход. Достоинства и недостатки.

Семинар 3. Построение изо- и политермических сечений трехкомпонентных систем. Работа с концентрационным треугольником Гиббса. Триангуляция. Контрольная работа №3.

Лекция 11. Способы графического изображения многокомпонентных водно-солевых систем (Гиббса, Розенбома, Скрейнмакерса, Иенеке). Пути кристаллизации при изотермическом испарении. Образование двойных солей. Конгруэнтный и инконгруэнтный характер растворения. Высаливание. Взаимные системы.

Термодинамика твердофазных реакций

Основные представления термодинамики твердофазных реакций. (лекция- 4 часа)

Особенности термодинамики и кинетики твердофазных реакций.

Роль термодинамического знания при разработке и исследовании поведения материалов. Термодинамико-кинетическая классификация поведения веществ и материалов: стабильные, метастабильные и лабильные системы. Прогноз поведения на основе термодинамических оценок и расчетов, степень достоверности.

Диаграммы устойчивости (диаграммы Джеффа-Ричардсона) оксидов, халькогенидов, пниктидов, галогенидов. Расчет термодинамических функций твердофазных реакций вытеснения по диаграммам.

Константы равновесия, химические потенциалы и активности компонентов в конденсированных системах.

Основные экспериментальные методы исследования термодинамики твердофазных реакций (лекции – 4 часа)

Термохимические и равновесные методы, их соотношение. Точность определяемых величин энергий Гиббса, энтальпий и энтропий. Согласование величин на основе II-го закона термодинамики.

Принципы калориметрии растворения. Составление циклов Гесса для различных твердофазных реакций. Типы калориметров. Растворители. Калориметрия окисления. Возможности калориметрии растворения и окисления, источники погрешностей определяемых величин.

Адиабатическая калориметрия. Сканирующая калориметрия.

Равновесные методы. Метод гетерогенных равновесий в исследованиях оксидов, халькогенидов, пниктидов: принцип, преимущества, пределы применения.

Манометрический метод. Манометр Мак-Леода. Манометр Бурдона. Интервалы применения, примеры исследований.

Эффузионный метод Кнудсена. Принцип, примеры исследований.

Принцип масспектрометрии. Масспектрометрия в сочетании с эффузионным методом.

Изопиестический метод изучения равновесных условий образования соединений и зависимостей активности летучего компонента от состава нестехиометрических соединений.

Метод электродвижущих сил. (Лекции – 8 часов)

Теория метода, Концентрационные цепи 1-го и 2-го рода. Уравнение Нернста.

Числа переноса. Смешанный перенос в электролитах и его следствия для термодинамических исследований. Уравнение Вагнера. Критерии корректного построения гальванических цепей.

Твердые электролиты. Собственная и примесная ионная разупорядоченность. Ионная проводимость легированных оксидов со структурой флюорита, закономерности ее поведения (зависимость от состава, явления старения, границы электролитических областей различных составов). Фториды со структурами флюорита и тисонита, их электролитические свойства.

Катионная проводимость иодида серебра и родственных соединений. Бета-глиноземы, структурные предпосылки возникновения суперионного состояния. Применение твердых электролитов в науке и технике (химические источники тока, топливные элементы, высокотемпературный электролиз).

Исследование термодинамики образования сложных оксидов в цепях с кислород-ионной проводимостью. Доказательство корректности составления цепей на языке химпотенциалов и с помощью реакций на электродах. Определение направления электрохимического переноса. Выбор твердого электролита с использованием диаграмм Джеффа-Ричардсона и границ электролитических областей. Выбор конструкции гальванической ячейки.

Решение задачи с применением фтор-проводящих и катион-проводящих электролитов. Преимущества и недостатки различных вариантов исследования.

Исследование термодинамики образования бинарных соединений (интерметаллидов, боридов, карбидов, пниктидов, халькогенидов, галогенидов) с применением а) фтор-проводящих, б) катион-проводящих, в) кислород-проводящих электролитов. Принципы составления цепей, доказательства корректности, выбор вариантов.

Кулонометрическое титрование как метод исследования термодинамики фаз переменного состава. Принцип метода, его возможности и ограничения. Исследование простых и двойных оксидов, халькогенидов. Применение кулонометрического титрования в технике (мемисторы, таймеры).

Равновесия в 3-х компонентных конденсированных системах с летучим компонентом (графическое отображение, использование диаграмм). (лекция – 4 часа)

Диаграммы химических потенциалов тройных систем. Диаграммы Пелтона-Шмальцрида. Расчет термодинамических функций твердофазных реакций по данным представленным на диаграммах. Построение диаграмм по экспериментальным данным.

Закономерности термодинамики твердофазных реакций. (лекции-4часа)

Термодинамические проявления кислотно-основного характера твердофазных реагентов. Сравнительные методы расчета в термодинамике твердофазных реакций. Правило Келли-Кубашевского и границы его применимости. Закономерности высокотемпературной химии. Структурно-термодинамические корреляции. Изменение свободных энергий, энтальпий и энтропий в рядах изоструктурных соединений (перовскиты и их производные, шпинели, гранаты). Термодинамика твердофазных превращений в свете энергетики координационных полиэдров. Термодинамика аморфных и высокодисперсных состояний. Принцип Данкова-Конобеевского. Эпитаксиальная стабилизация фаз.

Семинары. Составление гальванических цепей для исследования твердофазных взаимодействий методом ЭДС. Использование диаграмм Пелтона – Шмальцрида для термодинамических вычислений. Контрольная работа.

6. Фонд оценочных средств (ФОС, оценочные и методические материалы) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости, критерии и шкалы оценивания (в отсутствие утвержденных соответствующих локальных нормативных актов на факультете)

Вопросы для текущего контроля

1. Правило фаз Гиббса. Физико-химический смысл. Дать определение понятиям система, фаза, компонент, параметр состояния, степень свободы.
2. В результате реакции между компонентами трехкомпонентной системы образовалось 4 фазы. Что можно сказать о достижении равновесия в этом синтезе?
3. При сжатии углекислого газа при комнатной температуре он переходит в жидкое состояние. Почему даже используя очень высокое давление, при комнатной температуре невозможно получить жидкий азот?
4. Какие свойства сверхкритических жидкостей способствуют их применению? Приведите примеры.
5. Применение фазовой диаграммы углерода для выбора условий получения искусственных алмазов.
6. Фазовые диаграммы жидкость–жидкость. Азеотропы с минимумом и максимумом. Принципы фракционной перегонки.
7. Фазовые диаграммы соль-вода. Связь кривых растворимости с ($T-x$)p – сечениями. Криогидраты, Принцип действия охлаждающих смесей.
8. Представление невариантных равновесий эвтектического и перитектического типа на Р-сечениях фазовых диаграмм двухкомпонентных систем
9. Очистка твердых веществ методом зонной плавки. Правило рычага.
10. Привести пример невариантного равновесия в двухкомпонентной системе с участием газов.
11. Принципы термодинамического вывода $T-x$ сечений фазовой диаграммы.
12. Особенности выращивания монокристаллов конгруэнтно и инконгруэнтно плавящихся соединений. Применение фазовых диаграмм для выращивания монокристаллов из расплава. Основные методы получения монокристаллов путем конгруэнтной кристаллизации.
13. Принципы выращивания монокристаллов из раствора в расплаве собственных компонентов (self-flux). Область первичной кристаллизации.

14. Выращивание монокристаллов из раствора в расплаве флюса. Основные критерии выбора флюса. Как должно выглядеть Р-сечение фазовой диаграммы, образованной флюсом с получаемым веществом?
15. Что такое триангуляция? Какова стратегия поиска новых соединений в субсолидусной области?
16. Экспериментальные приемы построения фазовых диаграмм: дифференциально-термический анализ.
17. Свойства треугольника составов Гиббса-Розебома. Тройные водно-солевые системы. Определение состава твердой фазы методом Скрейнемакерса.
18. Тройные водно-солевые системы. Пути кристаллизации при изотермическом испарении.

Письменные задания.

1. Показать фазовые поля, а также линии, отвечающие ди- и моновариантным равновесиям на Р-V проекции Р-V-T фазовой диаграммы воды и иода.
2. Построить кривую нагревания при постоянном давлении (вещество в цилиндре под поршнем) или объеме (вещество в вакуумированной запаянной ампуле). Показать на фазовой диаграмме однокомпонентной системы как меняется давление внутри запаянной ампулы с ростом температуры.
3. По двум известным проекциям Р-T-х - диаграммы бинарной системы построить третью недостающую проекцию ((Р-T), (Т-х) или (Р-х)). Построить сечение этой диаграммы при указанном давлении.
4. Показать фазовые поля и указать, какие неинвариантные равновесия имеются на Р-сечении фазовой диаграммы двухкомпонентной системы. (Рассматриваемые двухкомпонентные системы могут содержать соединения, области ограниченных и неограниченных твердых растворов, полиморфные модификации, области расслаивания)
5. Построить изотермические сечения трехкомпонентной системы при постоянном давлении для указанных температур. Указать фазовые поля.
6. Построить политермические сечения трехкомпонентной системы при постоянном давлении для указанных составов.
7. Построить Р-сечение фазовой диаграммы по набору изотерм свободной энергии Гиббса.

Используя данные о фазовом составе для ряда точек на концентрационном треугольнике составов Гиббса, установить количественный состав тройных соединений и провести триангуляцию.

6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), критерии и шкалы оценивания (в отсутствие утвержденных соответствующих локальных нормативных актов на факультете)

1. Примеры фазовых диаграмм однокомпонентных систем (С, S, H₂O, CO₂). Физический смысл и математическое описание моновариантных равновесий на фазовых диаграммах однокомпонентных систем. Тройная точка, критическая точка.
2. Двухфазные равновесия V/L, L₁/L₂, L/S, S₁/S₂. на Р-сечениях фазовых диаграмм. Азеотроп. Системы с расслаиванием. Бинодальная кривая, верхняя и нижняя критическая температура. Коннода, ликвидус, солидус. Примеры.
3. Трехфазные равновесия эвтектического (эвтектика, эвтектоид, монотектика) и перитектического (перитектика, перитектоид, синтектика) типов на Р-сечениях фазовой диаграммы двухкомпонентной системы.

4. Использование Т-х конденсированных диаграмм для выбора начальных и конечных условий синтеза конгруэнтно и инконгруэнтно плавящихся соединений в двухкомпонентных системах.
 5. Системы с расслаиванием на Р-сечениях фазовых диаграмм двухкомпонентных систем.. Бинодальная кривая, верхняя и нижняя критическая температура. Нонвариантные равновесия с участием двух жидкостей и твердого вещества. Привести примеры.
 6. Возможности применения различных методов выращивания монокристаллов в зависимости от вида Р-сечения фазовой диаграммы двухкомпонентной системы. Область первичной кристаллизации. Особенности синтеза инконгруэнтно плавящихся соединений.
 7. Вид ФД конденсированных трехкомпонентных систем при постоянном давлении для различных типов составляющих бинарных систем. Поверхности солидуса и ликвидуса. Случай полной нерастворимости в твердой фазе. Изотермы.
 8. Понятие об областях первичной и вторичной кристаллизации на проекции фазовой диаграммы тройной системы на треугольник составов ($P = \text{const}$). Изотермические сечения.
 9. Определение фазовых соотношений в субсолидусной области двух- и трехкомпонентных систем. Триангуляция. Критерий установления равновесия. Стратегия поиска новых фаз в субсолидусной области.
 10. Способы графического изображения многокомпонентных водно-солевых систем. Пути кристаллизации при изотермическом испарении. Образование двойных солей. Конгруэнтный и инконгруэнтный характер растворения. Высаливание. Взаимные системы.
1. Роль термодинамического знания при разработке и исследовании поведения материалов. Термодинамико-кинетическая классификация поведения веществ и материалов: стабильные, метастабильные и лабильные системы. Прогноз поведения на основе термодинамических оценок и расчетов, степень достоверности.
 2. Диаграммы устойчивости (диаграммы Джеффа-Ричардсона) оксидов, халькогенидов, пниктидов, галогенидов. Расчет термодинамических функций твердофазных реакций вытеснения по диаграммам.
 3. Константы равновесия, химические потенциалы и активности компонентов в конденсированных системах.
 4. Основные экспериментальные методы исследования термодинамики твердофазных реакций. Термохимические и равновесные методы, их соотношение. Точность определяемых величин энергий Гиббса, энтальпий и энтропий. Согласование величин на основе II-го закона термодинамики.
 5. Принципы калориметрии растворения. Составление циклов Гесса для различных твердофазных реакций. Типы калориметров. Растворители. Калориметрия окисления. Возможности калориметрии растворения и окисления, источники погрешностей определяемых величин.
 6. Адиабатическая калориметрия. Сканирующая калориметрия.
 7. Равновесные методы. Метод гетерогенных равновесий в исследованиях оксидов, халькогенидов, пниктидов: принцип, преимущества, пределы применения.
 8. Манометрический метод. Манометр Мак-Леода. Манометр Бурдона. Интервалы применения, примеры исследований.
 9. Эффузионный метод Кнудсена. Принцип, примеры исследований.
 10. Принцип масспектрометрии. Масспектрометрия в сочетании с эффузионным методом.
 11. Изопиестический метод изучения равновесных условий образования соединений и зависимостей активности летучего компонента от состава нестехиометрических соединений.
 12. Метод электродвижущих сил. Теория метода, Концентрационные цепи 1-го и 2-го рода. Уравнение Нернста.
 13. Числа переноса. Смешанный перенос в электролитах и его следствия для термодинамических исследований. Уравнение Вагнера. Критерии корректного построения гальванических цепей.
 14. Твердые электролиты. Собственная и примесная ионная разупорядоченность.

15. Ионная проводимость легированных оксидов со структурой флюорита, закономерности ее поведения (зависимость от состава, явления старения, границы электролитических областей различных составов). Фториды со структурами флюорита и тисонита, их электролитические свойства.
16. Катионная проводимость иодида серебра и родственных соединений.
17. Бета-глиноземы, структурные предпосылки возникновения суперионного состояния.
18. Применение твердых электролитов в науке и технике (химические источники тока, топливные элементы, высокотемпературный электролиз).
19. Исследование термодинамики образования сложных оксидов в цепях с кислород-ионной проводимостью.
20. Решение задачи с применением фтор-проводящих и катион-проводящих электролитов. Преимущества и недостатки различных вариантов исследования.
21. Исследование термодинамики образования бинарных соединений (интерметаллидов, боридов, карбидов, нитридов, халькогенидов, галогенидов) с применением а) фтор-проводящих. б) катион-проводящих, в) кислород-проводящих. электролитов. Принципы составления цепей, доказательства корректности, выбор вариантов.
22. Кулонометрическое титрование как метод исследования термодинамики фаз переменного состава.
23. Равновесия в 3-х компонентных конденсированных системах с летучим компонентом (графическое отображение, использование диаграмм).
24. Диаграммы химических потенциалов тройных систем. Диаграммы Пелтона-Шмальцрида. Расчет термодинамических функций твердофазных реакций по данным представленным на диаграммах. Построение диаграмм по экспериментальным данным.
25. Термодинамические проявления кислотно-основного характера твердофазных реагентов. Сравнительные методы расчета в термодинамике твердофазных реакций. Правило Келли-Кубашевского и границы его применимости.
26. Структурно-термодинамические корреляции. Изменение свободных энергий, энтальпий и энтропий в рядах изоструктурных соединений (перовскиты и их производные, шпинели, гранаты). Термодинамика твердофазных превращений в свете энергетики координационных полиэдров. Термодинамика аморфных и высокодисперсных состояний. Принцип Данкова-Конобеевского. Эпитаксиальная стабилизация фаз.

7. Ресурсное обеспечение:

7.1. Перечень основной и дополнительной литературы

Основная литература:

1. Новоселова А.В. Фазовые диаграммы, их построение и методы исследования. Москва, МГУ, 1987
2. Зломанов В.П. Р-Т-х диаграммы двухкомпонентных систем. Москва, МГУ, 1980
3. А.М. Захаров. Диаграммы состояний двойных и тройных систем. Москва, Металлургия, 1964
4. Ю.Д. Третьяков, В.И. Путляев. Введение в химию твердофазных материалов. М., МГУ, 2006.
5. А.В. Кнотько, И.А. Пресняков, Ю.Д. Третьяков. Химия твердого тела. М., «Академия», 2006
6. В.А. Киреев «Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций», Химия, 1970 г.

Дополнительная литература

1. В.Я. Аносов, М.И. Озерова, Ю.Я. Фиалков. Основы физико-химического анализа. Москва, Наука, 1976
2. В.П. Древинг. Вопросы и ответы по правилу фаз. Москва, Мир, 1972
3. Л.А. Резницкий, «Кристаллоэнергетика оксидов», М., 1998

4. Третьяков Ю.Д., Х.Лепис «Химия и технология твердофазных материалов», Изд.МГУ, 1985
5. Бабушкин В.И., Матвеев Г.М., Мchedlov-Петросян О.П., «Термодинамика силикатов», Стройиздат, 1972
6. А.Вест, глава « Ионная проводимость и твердые электролиты» в кн.«Химия твердого тела», М., Мир, 1988.
7. Колесов В.П.,«Основы термохимии», Изд-во МГУ, 1996.

7.2. Перечень лицензионного программного обеспечения, в том числе отечественного производства (подлежит обновлению при необходимости)

Не требуется

7.3. Описание материально-технического обеспечения.

аудитория с доской, компьютерный проектор

8. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в Общей характеристике ОПОП.

9. Разработчик (разработчики) программы.

д.х.н., проф. А.Р. Кауль, д.х.н. И.В. Морозов