

Оглавление

Предисловие английского издания

Историческое введение и основная библиография по проблемам диффузии

Часть 1. Основы диффузии

Глава 2.

Континуальная теория диффузии

2.1 Законы Фика в изотропных средах

2.1.1 Первый закон Фика

2.1.2 Уравнение непрерывности

2.1.3 Второй закон Фика – диффузионное уравнение

2.2 Диффузионное уравнение в разных системах координат

2.3 Законы Фика в анизотропных средах

Литература

Глава 3.

Решения диффузионного уравнения

3.1 Стационарная диффузия

3.2 Одномерная релаксационная диффузия

3.2.1 Решение для тонких пленок

3.2.2 Протяженное пространственное распределение и постоянная концентрация на поверхности

3.2.3 Метод преобразования Лапласа

3.2.4 Диффузия в плоском слое – разделение переменных

3.2.5 Радиальная диффузия в цилиндре

3.2.6 Радиальная диффузия в сфере

Литература

Глава 4.

Теория случайных блужданий и процессы атомных скачков

4.1 Случайные блуждания и диффузия

4.1.1 Упрощенная модель

4.1.2 Соотношением Эйнштейна-Смолуховского

4.1.3 Случайные блуждания по решетке

4.1.4 Коэффициент корреляции

4.2 Процесс атомных скачков

Литература

Глава 5.

Точечные дефекты в кристаллах

5.1 Чистые металлы

5.1.1 Вакансии

5.1.2 Дивакансии

5.1.3 Определение свойств вакансий

5.1.4 Собственные междоузлия

5.2 Бинарные сплавы замещения

5.2.1 Вакансии в разбавленных сплавах

5.2.2 Вакансии в концентрированных сплавах

5.3 Ионные соединения

5.3.1 Дефекты по Френкелю

5.3.2 Дефекты по Шоттки

5.4 Интерметаллиды

5.5. Полупроводники

Литература

Глава 6.

Механизмы диффузии

6.1 Межузельный механизм

6.2 Коллективные механизмы

6.3 Вакансионный механизм

6.4 Дивакансионный механизм

6.5 Непрямой межузельный механизм

6.6 Межузельно-узельные обменные механизмы

Литература

Глава 7

Корреляции в твердотельной диффузии

7.1 Межузельный механизм

7.2 Непрямой межузельный механизм

7.3 Вакансионный механизм самодиффузии

7.3.1 Приблизительная оценка

7.3.2 Столкновения вакансии с меченым атомом

7.3.3 Пространственные и временные корреляции

7.3.4 Вычисление корреляционных коэффициентов

7.4 Корреляционные коэффициенты для самодиффузии

7.5 Стимулированная вакансиями диффузия примесей

7.5.1 Кубические гранецентрированные растворители

7.5.2 Кубические объемноцентрированные растворители

7.5.3 Растворители с алмазной решеткой

7.6 Заключительные замечания

Литература

Глава 8.

Зависимость диффузии от температуры и давления

8.1 Температурная зависимость

8.1.1 Формула Аррениуса

8.1.2 Активационные параметры - примеры

8.2 Зависимость от давления

8.2.1 Активационные объемы для самодиффузии

8.2.2 Активационные объемы для диффузии растворенных атомов

8.2.3 Активационные объемы в ионных кристаллах

8.3 Корреляции между диффузией и объемными свойствами

8.3.1 Параметры плавления и диффузия

8.3.2 Активационные параметры и постоянные упругости

8.3.3 Использование корреляций

Литература

Глава 9.

Влияние изотопного состава на диффузию

9.1 Механизмы с одиночным скачком

9.2 Коллективные механизмы

9.3 Экспериментальные исследования влияния изотопного состава

Литература

Глава 10.

Взаимная диффузия и эффект Киркендала

- 10.1 Взаимная диффузия
 - 10.1.1 Преобразование Больцмана
 - 10.1.2 Метод Больцмана-Матано
 - 10.1.3 Метод Зауэра-Фрейзе
 - 10.2 Собственная диффузия и эффект Киркендаля
 - 10.3 Уравнения Даркена
 - 10.4 Уравнения Даркена-Маннинга
 - 10.5 Микроструктурная стабильность плоскости Киркендаля
- Литература

Глава 11.

Диффузия и внешние движущие силы

- 11.1 Краткий обзор
 - 11.2 Уравнения Фика с дрейфом
 - 11.3 Соотношение Нернста-Энштейна
 - 11.4 Соотношение Нернста-Энштейна для ионных проводников и отношение Хавена
 - 11.5 Уравнение Нернста-Планка – взаимная диффузия в ионных кристаллах
 - 11.6 Сравнение уравнения Нернста-Планка с уравнением Даркена
- Литература

Глава 12.

Термодинамика необратимых процессов и диффузия

- 12.1 Общие замечания
 - 12.2 Феноменологические уравнения изотермической диффузии
 - 12.2.1 Самодиффузия меченых атомов в элементарных кристаллах
 - 12.2.2 Диффузия в бинарных сплавах
 - 12.3 Феноменологические коэффициенты
 - 12.3.1 Феноменологические коэффициенты, коэффициенты диффузии меченых атомов и модели перескоков
 - 12.3.2 Правила сложения – соотношения между феноменологическими коэффициентами
- Литература

Часть 2.

Экспериментальные методы

Глава 13.

Прямые методы изучения диффузии

- 13.1 Сравнение прямых и косвенных методов
 - 13.2 Различные коэффициенты диффузии
 - 13.2.1 Коэффициенты диффузии меченых атомов
 - 13.2.2 Взаимная диффузия и собственные коэффициенты диффузии
 - 13.3 Эксперименты по диффузии меченых атомов
 - 13.3.1 Анализ профиля путем последовательного секционирования
 - 13.3.2 Метод остаточной активности
 - 13.4 Гетероструктуры с контролем изотопного состава
 - 13.5 Вторичная ионная масс-спектрометрия (ВИМС)
 - 13.6 Рентгено-спектральный микроанализ (РСМА)
 - 13.7 Оже-электронная спектроскопия (ОЭС)
 - 13.8 Ионно-лучевые методы анализа: ОРР и МЯР
- Литература

Глава 14.

Механическая спектроскопия

- 14.1 Общие замечания
 - 14.2 Неупругость и внутреннее трение
 - 14.3 Методы механической спектроскопии
 - 14.4 Примеры неупругих явлений, связанных с диффузией
 - 14.4.1 Эффект Снука (релаксация Снука)
 - 14.4.2 Эффект Зенера (релаксация Зенера)
 - 14.4.3 эффект Горского (релаксация Горского)
 - 14.4.4 Механические потери в ионно-проводящих стеклах
 - 14.5 Магнитная релаксация
- Литература

Глава 15.

Ядерные методы

- 15.1 Общие замечания
 - 15.2 Ядерный магнитный резонанс (ЯМР)
 - 15.2.1 Основы ЯМР
 - 15.2.2 Прямые измерения диффузии методом ЯМР с градиентным полем
 - 15.2.3 Релаксационные методы ЯМР
 - 15.3 Мессбауэровская спектроскопия (МС)
 - 15.4 Квазиупругое нейтронное рассеяние (КУНР)
 - 15.4.1 Примеры исследований методом КУНР
 - 15.4.2 Достоинства и ограничения методов МС и КУНР
- Литература

Глава 16.

Электрические методы

- 16.1 Импедансная спектроскопия
 - 16.2 Профилирование методом измерения сопротивления растекания
- Литература

Часть 3.

Диффузия в металлических материалах

Глава 17.

Самодиффузия в металлах

- 17.1 Общие замечания
 - 17.2 Кубические кристаллы
 - 17.2.1 ГЦК металлы –эмпирические данные
 - 17.2.2 ОЦК металлы –эмпирические данные
 - 17.2.3 Интерпретация с учетом моновакансий
 - 17.2.4 Интерпретация с учетом моно- и дивакансий
 - 17.3 Плотнупакованные гексагональные и тетрагональные металлы
 - 17.4 Металлы с фазовыми переходами
- Литература

Глава 18.

Диффузия междоузельных примесей в металлах

- 18.1 «Тяжелые» междоузельные примеси С, N и O
 - 18.1.1 Общие замечания
 - 18.1.2 Экспериментальные методы
 - 18.1.3 Междоузельная диффузия в разбавленных междоузельных сплавах

- 18.2 Диффузия водорода в металлах
- 18.2.1 Общие замечания
- 18.2.2 Экспериментальные методы
- 18.2.3 Примеры диффузии водорода
- 18.2.4 Неклассические изотопные эффекты
- Литература

Глава 19.

Диффузия в разбавленных сплавах замещения

- 19.1 Диффузия примесей
- 19.1.1 «Нормальная» диффузия примесей
- 19.1.2 Диффузия примесей в Al
- 19.2 Диффузия примесей в «открытых» металлах
- 19.2.1 Диссоциативный механизм диффузии
- 19.3 Диффузия растворенных атомов и атомов растворителя в сплавах
- Литература

Глава 20.

Диффузия в бинарных интерметаллидах

- 20.1 Общие замечания
- 20.2 Влияние переходов порядок-беспорядок
- 20.3 B2 интерметаллиды
- 20.3.1 Диффузионные механизмы в фазе B2
- 20.3.2 Пример B2 NiAl
- 20.3.3 Пример B2 Fe-Al
- 20.4 L1₂ интерметаллиды
- 20.5 D0₃ интерметаллиды
- 20.6 Одноосные интерметаллиды
- 20.6.1 L1₀ интерметаллиды
- 20.6.2 Дисилирид молибдена (структура C11_b)
- 20.7 Фазы Лавеса
- 20.8 Правило Cu₃Au
- Литература

Глава 21.

Диффузия в квазикристаллических сплавах

- 21.1 Краткое введение в квазикристаллы
- 21.2 Особенности диффузии в квазикристаллах
- 21.2.1 Икосаэдрические квазикристаллы
- 21.2.2 Десятиугольные квазикристаллы
- Литература

Часть 4.

Диффузия в полупроводниках

Глава 22.

Общие введение в полупроводники

- 22.1 «Полупроводниковый век» и диффузия
- 22.2 Специфические черты диффузии в полупроводниках
- Литература

Глава 23

Самодиффузия в элементарных полупроводниках

- 23.1 Собственные точечные дефекты и диффузия
- 23.2 Германий
- 23.3 Кремний
- Литература

Глава 24.

Диффузия примесных атомов в кремнии и германии

- 24.1 Растворимость и заполнение позиций в решетке
- 24.2 Коэффициенты диффузии и режимы диффузии
 - 24.2.1 Межузельная диффузия
 - 24.2.2 Диффузия легирующих примесей
 - 24.2.3 Комбинированная диффузия примесей
- 24.3 Самодиффузия и диффузия примесных атомов - резюме
- Литература

Глава 25.

Межузельно-узельная диффузия

- 25.1 Комбинированные механизмы диссоциативной диффузии и диффузии с вытеснением
 - 25.1.1 Диффузия, ограниченная потоком собственных точечных дефектов
 - 25.1.2 Диффузия, ограниченная потоком межузельных атомов примеси
 - 25.1.3 Численный анализ промежуточного случая
- 25.2 Механизм диффузии с вытеснением
 - 25.2.1 Основные уравнения и два решения
 - 25.2.2 Примеры диффузии с вытеснением
- 25.3 Диссоциативный механизм диффузии
 - 25.2.2 Основные уравнения
 - 25.2.2 Примеры диссоциативной диффузии
- Литература

Часть 5.

Диффузия и проводимость в ионных кристаллах

Глава 26.

Ионные кристаллы

- 26.1 Общие замечания
- 26.2 Точечные дефекты в ионных кристаллах
 - 26.2.1 Собственные точечные дефекты
 - 26.2.1 Несобственные точечные дефекты
- 26.3 Методы исследования точечных дефектов и транспортных свойств (явлений переноса?)
- 26.4 Галогениды щелочных металлов
 - 26.4.1 Движение дефектов, самодиффузия меченных атомов и ионная проводимость
 - 26.4.2 Пример NaCl
 - 26.4.3 Общие свойства галогенидов щелочных металлов
- 26.5 Галогениды серебра AgCl и AgBr
 - 26.5.1 Самодиффузия и ионная проводимость
 - 26.5.2 Влияние легирования
- Литература

Глава 27.

Суперионные проводники

- 27.1 Проводники с высокой проводимостью по ионам серебра
 - 27.1.1 AgI и родственные простые анионные структуры
 - 27.1.2 RbAg₄I₅ и родственные соединения
 - 27.2 PbF₂ и другие галогенидные ионные проводники
 - 27.3 Стабилизированная двуокись циркония и родственные оксидные ионные проводники
 - 27.4 Перовскитные оксидные ионные проводники
 - 27.5 Натриевый β -глинозем и родственные материалы
 - 27.6 Литиевые ионные проводники
 - 27.7 Полимерные электролиты
- Литература

Часть 6. **Диффузия в стеклах**

Глава 28. **Стеклообразное состояние**

- 28.1 Что такое стекло?
 - 28.2 Диаграмма объем-температура
 - 28.3 Диаграмма превращение-время-температура
 - 28.4 Семейства стекол
- Литература

Глава 29. **Диффузия в металлических стеклах**

- 29.1 Общие замечания
 - 29.2 Релаксация структуры и диффузия
 - 29.3 Диффузионные свойства металлических стекол
 - 29.4 Диффузия и вязкость в сплавах, образующих стекла
- Литература

Глава 30. **Диффузия и ионная проводимость в оксидных стеклах**

- 30.1 Общие замечания
 - 30.2 Экспериментальные методы
 - 30.3 Проникновение газов
 - 30.4 Примеры диффузии и ионной проводимости
- Литература

Часть 7. **Диффузия вдоль каналов ускоренной диффузии и в наноматериалах**

Глава 31. **Каналы ускоренной диффузии в металлах**

- 31.1 Общие замечания
 - 31.2 Диффузионный спектр
 - 31.3 Эмпирические правила зернограницной диффузии
 - 31.4 Диффузия по решетке и микроструктурные дефекты
- Литература

Глава 32. **Диффузия вдоль границ зерен**

- 32.1 Общие замечания
- 32.2 Границы зерен

- 32.1 Мало- и большеугловые границы
 - 32.2 Специальные большеугловые границы
 - 32.3 Диффузии вдоль изолированной границы (модель Фишера)
 - 32.4 Кинетика диффузии в поликристаллах
 - 32.4.1 Кинетический режим типа А
 - 32.4.2 Кинетический режим типа В
 - 32.4.3 Кинетический режим типа С
 - 32.5 Зернограничная диффузия и сегрегация
 - 32.6 Атомарные механизмы зернограничной диффузии
- Литература

Глава 33.

Трубочная диффузия по дислокациям

- 33.1 Модель дислокационной трубки
 - 33.2 Решения для средней концентрации в тонком слое
- Литература

Глава 34.

Диффузия в нанокристаллических материалах

- 34.1 Общие замечания
 - 34.2 Синтез нанокристаллических материалов
 - 34.2.1 Приготовление порошков
 - 34.2.2 Сильная пластическая деформация
 - 34.2.3 Химические методы синтеза и родственные методы
 - 34.2.4 Расстеклование аморфных прекурсоров
 - 34.3 Диффузия в поли- и нанокристаллах
 - 34.3.1 Размеры зерен и режимы диффузии
 - 34.3.2 Эффективные коэффициенты диффузии в поли- и наноматериалах
 - 34.4 Диффузия в нанокристаллических металлах
 - 34.4.1 Общие замечания
 - 34.4.2 Релаксация структуры и рост зерен
 - 34.4.3 Наноматериалы с бимодальной структурой зерен
 - 34.4.4 Границы зерен, образующие тройной стык
 - 34.5 Диффузия и ионная проводимость в нанокристаллических керамиках
- Литература
- Предметный указатель