

目 次

材料学シリーズ刊行にあたって

「材料における拡散」によせて

まえがき	iii
------	-----

第 1 章 拡散の現象論	1
---------------------	----------

1.1	フィックの第 1, 第 2 法則	1
1.2	拡散方程式の解	3
1.3	3 次元座標における拡散方程式	9
1.4	種々の結晶系における拡散係数	10
1.5	拡散研究の歩み	13

第 2 章 拡散の原子論 I—ランダム・ウォークと拡散	25
------------------------------------	-----------

2.1	ランダム・ウォークと拡散	25
2.2	フィックの式の適用限界	28
2.3	平均二乗変位	30
2.4	3 次元結晶の拡散係数	32

第 3 章 拡散の原子論 II—拡散の機構	39
------------------------------	-----------

3.1	いろいろな拡散機構	39
3.2	熱活性化過程と活性化エネルギー	41
3.3	駆動力がある場合の原子の移動	46
3.4	トラッピング効果	49
3.5	ブロッキング効果	52
3.6	パーコレーション	54

第 4 章 純金属および合金における拡散	61
-----------------------------	-----------

4.1	空孔機構による拡散	61
4.2	格子間機構による拡散	71

- 4.3 金属中での不純物原子の高速拡散 76
- 4.4 高水素圧雰囲気での超多量空孔の生成と拡散の促進 79

第5章 拡散による擬弾性—侵入型原子の拡散— 85

- 5.1 侵入型不純物原子の拡散係数の表式 85
- 5.2 音叉の振動持続時間 88
- 5.3 炭素原子を含む鉄の変形挙動 90
- 5.4 固体のモデル表現 92
- 5.5 固体の力学的振動と減衰 94
- 5.6 「内部摩擦」という用語とその意味 98
- 5.7 標準擬弾性固体の周期的応力下での変形挙動 99
- 5.8 炭素原子を含む鉄の緩和現象 102
- 5.9 ねじり振り子法—慣性体を付加した系の振動 107

第6章 拡散における相関効果 113

- 6.1 完全にランダムなウォークと相関のあるウォーク 113
- 6.2 相関係数 115
- 6.3 空孔機構による拡散の相関係数—純金属の場合 115
- 6.4 希薄合金—2次元六方格子の場合 118
- 6.5 希薄合金—面心立方格子の場合(5 ジャンプ振動数モデル) 119
- 6.6 同位体効果と相関係数 123

第7章 ランダム・ウォーク理論の基礎 127

- 7.1 格子におけるランダム・ウォーク 128
- 7.2 相関効果に関する応用 136
- 7.3 ランダム・ウォーク理論の化学反応速度論への応用 140

第8章 濃度勾配下での拡散 147

- 8.1 ボルツマン—マタノの方法 147
- 8.2 相互拡散係数と固有拡散係数 150
- 8.3 カーケンドール効果 152
- 8.4 拡散現象の一般的な定式化 154
- 8.5 流れの駆動力とフィックの第1法則—置換型2元合金を例として 157

- 8.6 相互拡散と熱力学的因子 158
- 8.7 「拡散流は化学ポテンシャル勾配に比例する」 161

第9章 高速拡散路—粒界・転位・表面—に沿った拡散 163

- 9.1 粒界拡散 163
- 9.2 転位拡散 175
- 9.3 表面拡散 179

第10章 さまざまな物質における拡散 185

- 10.1 イオン結晶 185
- 10.2 酸化物 193
- 10.3 超イオン伝導体 195
- 10.4 半導体 198
- 10.5 金属間化合物 206

第11章 電場および温度勾配下での拡散 219

- 11.1 静電場による力と伝導電子による摩擦力 219
- 11.2 純金属中のエレクトロマイグレーション 221
- 11.3 侵入型原子のエレクトロマイグレーション 222
- 11.4 集積回路におけるエレクトロマイグレーション 223
- 11.5 精製法としての応用 229
- 11.6 サーモマイグレーション 232

第12章 多相系における拡散 237

- 12.1 拡散領域に形成される相と相界面 237
- 12.2 拡散対の試料形態と出現する相 239
- 12.3 層成長の速度論 240
- 12.4 シリコンと金属薄膜の拡散対における化合物形成過程 241
- 12.5 核形成に関連する現象 242

第13章 析出と粗大化の速度論 245

- 13.1 無限媒体中の拡散方程式の解 245
- 13.2 析出粒子の成長 246

13.3	マトリックス中の溶質濃度の低下	247
13.4	Wert-Zener の解析	248
13.5	粗大化の理論—オストワルト成長	249
付録 1	3次元座標系における拡散方程式	260
付録 2	指数関数の積分 $\left(\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-x^2} dx \text{ の計算} \right)$	262
付録 3	スターリングの公式の導出	264
付録 4	固体の力学模型	267
A4.1	結合則	267
A4.2	2要素模型	267
A4.3	3要素模型	268
付録 5	標準擬弾性固体の自由減衰振動	270
付録 6	平均二乗変位と相関係数	273
付録 7	不純物拡散の相関係数の計算—面心立方格子の場合—	276
付録 8	化学ポテンシャルについて	280
A8.1	ポテンシャルとは何か?	280
A8.2	理想気体の化学ポテンシャル	280
A8.3	化学ポテンシャルの定義	281
A8.4	粒子1個当たりの化学ポテンシャル	281
付録 9	2元合金の正則溶体モデル	283
A9.1	自由エネルギーの表式の導出	283
A9.2	固溶体の化学ポテンシャル	285
A9.3	溶質原子の活量と活量係数	286
付録 10	核形成過程の基本概念	287
A10.1	エンブリオの形成	287
A10.2	準安定相中のエンブリオ濃度	288
A10.3	核形成速度とその温度依存性	289
A10.4	誤解しやすい点二三	290
付録 11	球対称の場合における拡散方程式の解	292
	演習問題の解答あるいはヒント	295
	拡散に関する書籍, データ集など	303
	索引	307