

# 目 次

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 1. 結晶の構造, X 線構造解析 .....         | 1  |
| 1.1 X 線で構造を解析する .....           | 1  |
| 1.2 格子と逆格子 .....                | 3  |
| 1.3 デバイ・シェラー法 .....             | 4  |
| 1.4 ブラベー格子と空間群 .....            | 6  |
| 1.5 構造因子と形状因子 .....             | 9  |
| 1.5.1 Si の構造因子 .....            | 11 |
| 1.5.2 GaAs の構造因子 .....          | 12 |
| 1.5.3 原子形状因子 .....              | 13 |
| 1.6 構造解析のまとめと展開 .....           | 13 |
| 2. エネルギーバンド, 光電子分光 .....        | 17 |
| 2.1 エネルギーバンドの概念 .....           | 17 |
| 2.1.1 金属, 絶縁体, 半導体 .....        | 18 |
| 2.2 ブロッホの定理 .....               | 19 |
| 2.3 エネルギーバンドの計算法 .....          | 20 |
| 2.3.1 ブロッホ関数 .....              | 20 |
| 2.3.2 平面波を使ったエネルギーバンドの求め方 ..... | 21 |
| 2.3.3 タイトバインディング法 .....         | 24 |
| 2.4 簡単なエネルギーバンド計算の例 .....       | 25 |
| 2.4.1 1 次元原子鎖のエネルギーバンド .....    | 25 |
| 2.4.2 単位胞に 2 つ以上の軌道がある場合 .....  | 27 |
| 2.5 状態密度 .....                  | 28 |

|       |                          |    |       |                                |     |
|-------|--------------------------|----|-------|--------------------------------|-----|
| 2.6   | 角度分解光電子分光                | 30 | 6.    | 光と物質の相互作用, レーザー                | 83  |
| 3.    | 格子振動, 中性子非弾性散乱           | 35 | 6.1   | 電磁波と物質                         | 83  |
| 3.1   | 格子振動の量子「フォノン」            | 35 | 6.2   | 電磁場による摂動ハミルトニアン of 導出          | 85  |
| 3.2   | 1次元の原子の格子振動              | 36 | 6.3   | 光の吸収の確率: 時間に依存する摂動論            | 88  |
| 3.3   | 音響フォノンと光学フォノン            | 37 | 6.4   | レーザーの仕組み                       | 90  |
| 3.4   | 縦波と横波                    | 38 | 6.5   | フェルミのゴールドンルール, レーザー冷却の原理       | 91  |
| 3.5   | 振動の非調和性                  | 39 | 6.6   | 誘導放出と自然放出, フォノンの放出と吸収          | 94  |
| 3.6   | 中性子(X線)非弾性散乱             | 40 | 6.7   | 金属の光吸収, ドループ吸収                 | 96  |
| 4.    | 固体中の電子物性, 走査トンネル分光       | 46 | 6.8   | 複素誘電率: 電子のプラズマ振動               | 98  |
| 4.1   | 金属, 半導体, 絶縁体             | 46 | 6.9   | 復元力を感じる電子の複素誘電率, ドループ・ローレンツモデル | 101 |
| 4.2   | 半金属, 周期律表, 元素            | 48 | 7.    | 電子電子相互作用, 共鳴X線散乱               | 108 |
| 4.3   | 有効質量とホール                 | 49 | 7.1   | 多電子波動関数, 反対称の起源, スレーター行列式      | 108 |
| 4.4   | フェルミエネルギー                | 51 | 7.2   | 交換相互作用—行き来があれば反発も増える—          | 112 |
| 4.5   | 自由電子, 状態密度               | 52 | 7.3   | 相関相互作用, ハートリー・フォック近似を越えて       | 114 |
| 4.5.1 | フェルミエネルギーの見積もり           | 54 | 7.4   | 電子電子相互作用と磁性                    | 115 |
| 4.6   | 自由電子の圧力と体積弾性率            | 55 | 7.4.1 | 運動交換相互作用                       | 115 |
| 4.7   | 電子密度を表すパラメータ $r_s$ と原子単位 | 57 | 7.4.2 | 二重交換相互作用                       | 117 |
| 4.8   | 電子比熱                     | 59 | 7.5   | 磁性の検出, X線共鳴散乱法                 | 119 |
| 4.9   | スピン常磁性(パウリ常磁性)           | 60 | 8.    | 電子格子相互作用, ラマン分光, 超伝導           | 124 |
| 4.10  | 走査トンネル分光                 | 62 | 8.1   | 電子格子相互作用が引き起こす現象               | 124 |
| 5.    | 磁性, SQUID                | 66 | 8.2   | 電子格子相互作用の概念                    | 125 |
| 5.1   | 磁性の分類                    | 66 | 8.3   | ラマン散乱                          | 127 |
| 5.2   | 常磁性体の磁性                  | 67 | 8.4   | フォノンの赤外吸収                      | 130 |
| 5.3   | キュリーの法則                  | 72 | 8.5   | ポーラロン: フォノンの衣を着た電子             | 132 |
| 5.4   | 全角運動量 $J$ の求め方, フントの規則   | 72 | 8.6   | コーン異常: フォノンのソフト化               | 133 |
| 5.5   | 軌道角運動量の消失                | 74 | 8.7   | 超伝導                            | 135 |
| 5.6   | 強磁性(キュリー・ワイス則)           | 75 | 8.7.1 | 2つの電子間に働く相互作用                  | 136 |
| 5.7   | 磁化率の測定法, SQUID           | 77 | 8.7.2 | 超伝導ギャップ                        | 139 |
|       |                          |    | 8.7.3 | BCS状態, クーパー対                   | 140 |

|       |                              |     |
|-------|------------------------------|-----|
| 8.7.4 | 超伝導状態の特徴, マイスナー効果            | 141 |
| 9.    | 物質中を流れる電子, スピントロニクス          | 150 |
| 9.1   | 電流の巨視的イメージ, 微視的イメージ          | 150 |
| 9.2   | 移動度                          | 152 |
| 9.3   | オーミック伝導, 非オーミック伝導            | 154 |
| 9.4   | 接触抵抗と4端子法, ホール効果             | 157 |
| 9.5   | 量子伝導度, ランダウワーの式              | 158 |
| 9.6   | オームの法則に従う伝導                  | 161 |
| 9.7   | 局在効果, 後方散乱における電子波の干渉, 磁気抵抗効果 | 163 |
| 9.8   | スピントロニクス                     | 166 |
| 索 引   |                              | 171 |