超伝導の基礎・目 次

はじめに..... i

第 1 章　超伝導研究史..... 1

第 2 章　超伝導の実験事実..... 5
2.1 完全電気伝導性..... 5
2.2 完全反磁性..... 6
2.3 臨界磁場..... 8
2.4 比熱..... 9
2.5 熱電気効果..... 9
2.6 永久電流・フラクソイドの量子化..... 10
2.7 Josephson 効果..... 10

第 3 章　超伝導の現象論 I －初期の理論..... 11
3.1 超伝導体の熱力学..... 11
3.2 Gorter-Casimir の 2 流体モデル..... 17
3.3 London の現象論..... 21
3.3.1 London 方程式..... 21
3.3.2 London 方程式の解..... 25
[I] 板状超伝導体..... 25
[II] 円筒状超伝導体..... 28
[III] 球状超伝導体..... 33
3.3.3 London 理論の物理的意義..... 38
3.4 Pippard の現象論..... 44

第 4 章　超伝導の現象論 II － GL 理論..... 47
4.1 相転移に関する Landau の一般論..... 47
[I] $\alpha_4 > 0$ の場合..... 50
[II] $\alpha_4 = 0$ の場合..... 53
[III] $\alpha_4 < 0$ の場合..... 54
4.2 超伝導の Ginzburg-Landau 自由エネルギー..... 57
4.3 Ginzburg-Landau 方程式..... 58
4.3.1 Ginzburg-Landau 方程式の導出..... 58
4.3.2 Ginzburg-Landau 方程式の極形式..... 62
4.3.3 磁場のない場合の GL 方程式..... 64
4.4 GL 理論における 2 つの特性長さ..... 66
4.5 GL パラメータと無次元化された GL 方程式..... 69

4.5.1 Ginzburg-Landau パラメータ..... 69
4.5.2 無次元化された Ginzburg-Landau 方程式..... 70
4.6 フラクソイドの量子化..... 72
4.7 表面エネルギー..... 74
[I] $\kappa \ll 1$ の場合..... 82
[II] $\kappa \gg 1$ の場合..... 83

第 5 章　2 種類の超伝導体の磁気的振る舞い..... 88
5.1 第 I 種超伝導体の磁化過程..... 88
5.2 反磁場係数..... 90
[I] 円筒状超伝導体の場合..... 91
[II] 球状超伝導体の場合..... 91
5.3 中間状態..... 92
[I] 球状超伝導体の場合..... 92
[II] 板状超伝導体の場合..... 94
5.4 第 II 種超伝導体の磁化過程..... 98
5.5 第 II 種超伝導体における臨界磁場と混合状態..... 101
5.5.1 下部臨界磁場..... 101
5.5.2 London モデルにおける下部臨界磁場..... 102
5.5.3 上部臨界磁場..... 108
5.5.4 混合状態..... 111
[I] H_{c1}からのアプローチ..... 111
[II] H_{c2}からのアプローチ..... 119
5.6 渦糸の運動..... 135
5.6.1 渦糸に作用する力..... 135
5.6.2 磁束フロー状態..... 136
5.7 渦糸のピン止め..... 139
5.7.1 ピン止めと磁束クリープ..... 139
5.7.2 Anderson-Kim 理論..... 139

第 6 章　微視的理論への準備..... 143
6.1 第 2 量子化..... 143
6.1.1 Bose 粒子に対する数演算子..... 144
6.1.2 Fermi 粒子に対する数演算子..... 148
6.1.3 場の演算子..... 150
[I] Bose 場の演算子..... 152
[II] Fermi 場の演算子..... 156
6.1.4 場の量子論における 3 つの表示..... 159
6.2 自由粒子系の性質..... 162

6.2.1 統計力学の復習 162
6.2.2 自由粒子の分配関数と分布関数 163
[I] Bose 粒子の場合 163
[II] Fermi 粒子の場合 164
6.2.3 状態密度 165
6.2.4 自由 Bose 粒子系の性質 169
6.2.5 自由 Fermi 粒子系の性質 180
6.3 電子－フォノン相互作用 187
6.3.1 格子振動 187
6.3.2 格子振動の量子化－フォノン 192
6.3.3 遮蔽効果 198
6.3.4 電子－フォノン相互作用 206

第 7 章　超伝導の微視的理論 I － BCS-Bogoliubov 理論 215
7.1 電子間の引力相互作用 215
7.2 Cooper 対 216
7.3 対演算子 221
7.4 BCS 基底状態 224
7.5 BCS 還元ハミルトニアンと基底状態エネルギー 230
7.6 励起状態 238
7.6.1 1 粒子励起エネルギー 238
7.6.2 Bogoliubov-Valatin 変換 239
7.7 超伝導状態における熱力学的性質 245
7.7.1 平均場近似 245
7.7.2 有限温度におけるギャップ関数の振る舞い 248
7.7.3 超伝導状態における熱力学的物理量の計算 255
7.8 準粒子の遷移過程 267
7.8.1 準粒子に対する状態密度 267
7.8.2 外場に対する超伝導体の振る舞い 269
7.9 超伝導体の電磁力学 279
7.9.1 弱い磁場に対する電子系の線形応答 279
7.9.2 完全反磁性の条件 295
7.9.3 London 超伝導体による電磁波の吸収 299
7.9.4 Meissner 効果に対する微視的理論 302

第 8 章　超伝導の微視的理論 II － Green 関数法 317
8.1 Green 関数 317
8.1.1 数学的定義 317
8.1.2 物理的定義 318

8.2 有限温度における Green 関数 320
8.3 超伝導の Gor'kov 理論 323
8.3.1 一般的定式化 323
8.3.2 空間的に一様な場合の解 330
8.4 Ginzburg-Landau 方程式の微視的理論からの導出 341

第 9 章　超伝導体におけるトンネル効果 364
9.1 量子力学的トンネル効果 364
9.2 常伝導体／絶縁体／常伝導体接合 366
9.3 常伝導体／絶縁体／超伝導体接合 369
9.4 超伝導体／絶縁体／超伝導体接合における準粒子トンネル 375
9.5 Josephson 効果 383
9.5.1 Josephson 効果の現象論 383
9.5.2 Josephson 接合のエネルギー 390
9.5.3 ゲージ不変な位相差 391
9.5.4 磁場下にある単一 Josephson 接合 392
[I] トンネル電流が反磁性電流に比べ無視できる場合 392
[II] トンネル電流が反磁性電流に比べ無視できない場合 395
[III] 位相差が時間に依存する場合 403
9.5.5 2 つの並列 Josephson 接合系－ SQUID の原理 405
9.5.6 Josephson 効果の微視的理論 409

付録 A　複素関数概論 421
A.1 複素数と複素関数 421
A.2 複素関数の微分 422
A.3 複素積分 423
A.4 留数公式と留数定理の定積分への応用例 425

付録 B　特殊関数 I 428
B.1 ガンマ関数，ベータ関数，ディ・ガンマ関数 428
B.1.1 ガンマ関数 428
B.1.2 ベータ関数 429
B.1.3 半整数値を変数とするガンマ関数 430
B.1.4 D 次元球の体積と表面積の公式 432
B.1.5 ガンマ関数の無限乗積表現 433
B.1.6 ディ・ガンマ関数 435
B.2 Riemann のゼータ関数と Appell 関数 437
B.2.1 Riemann のゼータ関数 437
B.2.2 Appell 関数 439

付録 C　特殊関数 II **440**
C.1 Bessel 方程式と Bessel 関数 440
C.2 Bessel 関数の漸化式と微分公式 445
C.3 Bessel 関数の母関数 447
C.4 変形 Bessel 関数 449
C.5 球 Bessel 関数 452

付録 D　BCS 理論で用いられる積分公式，級数公式の証明 **456**

付録 E　楕円積分と楕円関数 **463**
E.1 楕円積分 463
E.2 楕円関数 465
E.2.1 Jacobi の楕円関数 465
E.2.2 振幅関数 468
E.2.3 Jacobi の楕円関数の微分公式 468
E.2.4 楕円関数の一般的定義 469
E.2.5 楕円ϑ（テータ）関数 470
E.2.6 式 (5.215) の証明 470

付録 F　単位系と物理定数表 **472**
F.1 CGS-Gauss 単位系と MKSA 単位系 472
F.2 物理定数表 473

参考文献 **475**

索引 **483**