

目次

第1編

基礎

第1章 量子力学の基礎 (清水 明)

1. はじめに	3
2. 量子力学のための準備	3
3. 量子力学における物理状態	5
4. 量子力学における可観測量	8
5. 測定値	11
6. 時間発展	12
7. 電子と光子	15
8. おわりに	19

第2章 光学の基礎 (岩本 敏)

1. はじめに	21
2. 電磁波としての光	21
3. 光のエネルギー	23
4. 複素屈折率と吸収	24
5. 界面での反射と屈折	25
6. 偏光とその表示方法	27
7. さまざまな光ビーム	30
8. 屈折率の起源と分散	32
9. 群速度と群屈折率	34
10. おわりに	35

第3章 量子光学の基礎 (越野 和樹)

1. 調和振動子	36
----------	----

2. 電磁場と光子	49
3. 原子	51
4. 原子-光子相互作用	55
5. 真空 Rabi 振動	58
6. 自然放出	60
7. Rabi 振動	64

第4章 固体中の電子の基礎 (大矢 忍)

1. はじめに	67
2. 物質の電子構造とバンド理論	67
3. 金属における電子の基礎理論	78
4. 半導体	81
5. 超伝導体	83
6. プラズモン	86
7. 励起子	88

第5章 格子振動の基礎 (野村 政宏)

1. はじめに	91
2. 格子力学モデルによる振動の記述	91
3. 格子振動の量子：フォノン	95
4. フォノン熱伝導	97
5. ほかの量子との相互作用	100
6. フォノンを活用した応用	102

第2編

光と物質の量子相互作用

第1章 光と電子の量子相互作用 (安食 博志)

1. はじめに	109
2. 相互作用ハミルトニアン	109
3. 光と物質系の遷移振幅	116

第2章 コヒーレント相互作用 (田中 耕一郎)

1. はじめに	129
2. 2準位系と光との相互作用	129
3. 光学ブロッホ方程式によるコヒーレント応答	135
4. 回転波近似が適用できないコヒーレント応答	140

第3章 共振器 QED (青木 隆朗)

1. はじめに	143
2. 共振器 QED の基礎	144
3. さまざまな共振器 QED 系	154
4. 量子情報技術への応用	156
5. おわりに	158

第4章 電子と格子の相互作用 (長谷 宗明)

1. はじめに	160
2. 電子-格子相互作用の概要	162
3. 種々の電子-格子相互作用	163

4. 電子-格子相互作用と準粒子の生成	167
5. おわりに	172

第5章 超伝導体の光学応答の基礎と応用 〈田島 節子〉

1. はじめに：超伝導状態の誘電率	174
2. 超伝導ギャップエネルギー	175
3. 超伝導キャリア密度及び磁場侵入長	176
4. きれいな極限と汚れた極限	177
5. 層状超伝導体のジョセフソンプラズマモード	178
6. ダブルジョセフソンプラズマモード (横波ジョセフソンプラズマモード)	180
7. 電子ラマン散乱で見る超伝導応答	183

第6章 強相関電子系 〈米満 賢治〉

1. はじめに	187
2. 電子状態と相互作用	187
3. 低次元電子系	190
4. 実験で観測された光誘起現象	192
5. 理論的枠組み	195
6. おわりに	199

第7章 非線形光学 〈芦原 聡〉

1. はじめに	200
2. 非線形感受率	200
3. 結合波方程式	202
4. 第二高調波発生	202
5. 位相整合	204
6. 3光波混合と和・差周波発生	206
7. 光パラメトリック増幅	207
8. 非線形屈折率効果	210
9. 4光波混合	211
10. まとめ	213

第8章 磁気光学効果・光磁気効果 〈佐藤 勝昭〉

1. はじめに	214
2. 磁気光学効果の基礎と応用	214
3. 光磁気効果	230
4. 光と磁気の最近の展開	233
5. おわりに	234

第9章 光散乱 〈伊藤 耕 三〉

1. 光散乱とは	235
2. 光散乱の理論的基礎	237

3. 光散乱の測定系	242
4. 光散乱の応用例	243

第10章 プラズモニクス 〈石原 一ノ田村 守〉

1. はじめに	245
2. プラズモニクスの基礎となる物理的機構	245
3. プラズモニクスに用いられる機能	248
4. プラズモニクス材料設計と制御	253
5. プラズモニクスの応用例	254
6. 今後の展開	256

第11章 光マニピュレーション 〈笹本 敬司〉

1. 物質に作用する光圧	259
2. 光ピンセット	261
3. 光圧と非線形光学	263
4. 光圧による物質分離・選択技術	264
5. プラズモニックトラッピング	266
6. 光トルクによるナノ物質操作	267
7. 光マニピュレーションの展望	269

第12章 光電気化学 〈立間 徹〉

1. はじめに	271
2. 酸化還元反応	271
3. 電極反応	272
4. 平衡電位と標準電極電位	273
5. Nernst の式	274
6. 平衡電位の測定	274
7. 電位印加による反応	275
8. 過電圧	277
9. 電極反応速度	277
10. 静電過程と酸化還元過程	278
11. 電池と電気分解	278
12. 光電気化学	280
13. 半導体光電気化学	280
14. 色素増感過程	283
15. プラズモン誘起電荷分離	284

第13章 中性原子およびイオンのレーザー冷却 〈向山 敬ノ齋藤 了一〉

1. はじめに	286
2. レーザー冷却の原理	286
3. 量子凝縮の実現と相互作用制御	290
4. 極低温原子気体を用いた量子シミュレーション	291

5. イオンのレーザー冷却と量子技術への応用	294
6. おわりに	296

第3編

各物質・構造における量子相互作用

第1章 バルク半導体 〈深津 晋〉

1. はじめに	301
2. バルク半導体の分類	302
3. バルク半導体の電子状態	302
4. バルク半導体の光学過程	305
5. 外場の効果	311
6. 励起子	313
7. 光学計測	318
8. おわりに	320

第2章 窒化物半導体 〈川上 義一ノ船戸 充ノ石井 良太〉

1. はじめに	322
2. 二元化合物窒化物半導体バルク結晶と光の量子相互作用	322
3. 窒化物半導体量子井戸構造と光の量子相互作用	327
4. おわりに	332

第3章 有機発光の分子設計—TADF からレーザーまで— 〈安達 千波矢〉

1. OLED の進展	334
2. 熱活性化遅延蛍光分子	336
3. 有機レーザー分子	337
4. 光励起下でのレーザー発振特性	339
5. 電流励起有機半導体レーザーデバイスへの展開	340
6. レーザー分子の展開	343

第4章 半導体量子構造 〈平川 一彦ノ太田 泰友〉

1. はじめに	346
2. 半導体ヘテロ構造の種類・分類	346
3. 半導体量子構造の形成	348
4. 半導体量子構造における光学遷移	349
5. バンド間遷移	350
6. サブバンド間遷移	353
7. まとめ	357

第5章 コロイドナノ粒子 〈玉井 尚登ノ江口 大地〉

1. 半導体量子ドット	358
2. 半導体量子ドットの電子構造	358
3. 半導体量子ドットの性質	361
4. 半導体量子ドットの応用—ディスプレイや太陽電池への応用—	371

第6章 二次元物質 〈松田 一成〉

1. はじめに	373
2. 層状二次元物質	373
3. 遷移金属ダイカルコゲナイドの結晶構造と電子状態	374
4. 単層 MoS ₂ の光学遷移と励起子	376
5. 単層 MoS ₂ のバレースピン自由度とバレー選択励起	377
6. 単層 WSe ₂ のバレースピン分極とその制御	378
7. 単層 MoSe ₂ のバレーゼーマン分裂とバレー励起子 (荷電励起子) ダイナミクス	380
8. ツイストした二次元半導体積層ヘテロ構造におけるモアレ励起子とフォノン共鳴	382
9. まとめ	384

第7章 カーボンナノチューブ 〈宮内 雄平ノ西原 大志〉

1. はじめに	385
2. カーボンナノチューブの基礎	385
3. 基礎光物性	387
4. 実際の光学スペクトル	397
5. 非線形光学現象	407
6. おわりに	407

第8章 ハロゲン化金属ペロブスカイト半導体 〈山田 泰裕〉

1. はじめに	410
2. 結晶構造とバンド構造	411
3. 基本的な物性	412
4. 基礎光学特性	414
5. キャリア再結合と発光ダイナミクス	417
6. 電子-格子相互作用	419

7. おわりに 422

第9章 超高速光パルスによる強誘電体の光制御

〈沖本 洋一／板谷 治郎／堀内 佐智雄〉

- 1. はじめに 424
- 2. プロトン移動型強誘電体 424
- 3. 非線形光学効果とフェムト秒レーザーパルス 426
- 4. 高強度中赤外電場振動によるプロトン駆動と強誘電性制御 428
- 5. まとめ 431

第10章 超伝導・強相関材料

〈岸田 英夫〉

- はじめに 433
- 1. 銅酸化物の光学スペクトル 433
- 2. 有機強相関電子系の光学スペクトル 435
- 3. ハロゲン架橋金属錯体 439
- 4. 強相関電子系における時間分解光学測定、非線形光学応答 439
- さいごに 442

第11章 半金属

〈松永 隆佑／森本 高裕〉

- 1. はじめに 444
- 2. バンド構造の成り立ち 446
- 3. 線形光学応答 448
- 4. 光励起キャリアダイナミクス 450
- 5. 非線形光学応答 452
- 6. 光によるトポロジ制御 455
- 7. まとめと展望 456

第12章 量子材料としてのダイヤモンド

〈水落 憲和〉

- 1. ダイヤモンド中の NV 中心と単一スピンの光学的検出 458
- 2. 量子科学技術と量子センサ 458
- 3. NV 中心による量子センサ 459
- 4. 感度と空間分解能 460
- 5. ダイナミックレンジ 461
- 6. ナノダイヤモンド 464
- 7. むすび 465

第13章 メタマテリアル・メタ表面

〈石原 照也〉

- 1. はじめに 467
- 2. 有効媒質という考え方 467

- 3. 負の屈折率媒質とその性質 468
- 4. 超解像とハイパボリック媒質 470
- 5. 誘電体メタマテリアル 471
- 6. 誘電率がゼロに近い媒質 471
- 7. 完全吸収体と放射冷却 471
- 8. メタ表面 472
- 9. 幾何学的メタ表面 473
- 10. 多機能応答 474
- 11. 平面レンズ 474
- 12. 非線形メタ表面 474
- 13. トポロジカルメタマテリアル 475
- 14. 設計と作製 475
- 15. おわりに 476

第14章 フォトニック結晶

〈浅野 卓／山口 真／野田 進〉

- 1. はじめに 477
- 2. 二次元フォトニック結晶スラブと点欠陥共振器 477
- 3. 半導体量子ドットと二次元フォトニック結晶点欠陥共振器の結合系 478
- 4. まとめ 485

第15章 磁性材料 / スピントロニクス材料

〈佐藤 琢哉／山田 貴夫〉

- 1. はじめに 487
- 2. スピントロニクスとマグノニクス 487
- 3. 光を用いた励起方法 489
- 4. 光を用いた検出方法 491
- 5. 光を使って励起検出できるスピントロニクス、マグノニクス現象 492
- 6. おわりに 495

第16章 太陽電池材料

〈岡田 至崇／玉置 亮〉

- 1. はじめに 496
- 2. 量子ドットを用いた中間バンド太陽電池 496
- 3. おわりに 502

第17章 光合成 (人工光合成)

〈阿部 竜／鈴木 肇〉

- 1. はじめに ~光触媒水分解のメカニズムと可視光利用の重要性~ 504
- 2. 水分解用光触媒材料開発の歴史と可視光利用における課題 505
- 3. 植物の光合成を模倣した Z スキーム型水分解系の構築 506

- 4. 単一材料による可視光水分解実現を目指した複合アニオン型光触媒の開発 507
- 5. 特異なバンド構造を持つ安定な可視光水分解用光触媒：層状酸ハロゲン化物 508
- 6. Sillén-Aurivillius 型酸ハロゲン化物材料の拡充とバンド制御 510
- 7. Sillén 型酸ハロゲン化物への展開 512
- 8. マイクロ波伝導度法によるキャリアダイナミクス解析 514
- 9. おわりに 515

第18章 蛍光体材料

〈田部 勢津久／上田 純平〉

- 1. はじめに 517

- 2. ランタノイドイオンのエネルギー準位と遷移 520

第19章 イメージング材料—医療用 X 線検出材料の基礎特性とイメージング応用事例—

〈古澤 直子／中野 寧〉

- 1. はじめに 529
- 2. 医療用単純 X 線画像診断用シンチレータ材料 530
- 3. X 線 CT 造影用金ナノ粒子の特性とその応用 536
- 4. 高輝度蛍光ナノ粒子の特性とその応用 539

第4編

量子相互作用とデバイス

第1章 レーザーの基礎

〈黒田 和男〉

- 1. はじめに 545
- 2. レーザーの原理 545
- 3. レーザー発振理論 547
- 4. レーザーの分類 550

第2章 半導体レーザー

〈宮本 智之〉

- 1. 半導体レーザー概論 553
- 2. 半導体レーザーの発光・光増幅原理 554
- 3. 半導体レーザーの構成と特性 555
- 4. 量子効果構造 557
- 5. 量子井戸構造を用いた半導体レーザー 560
- 6. 低次元量子効果構造 564
- 7. 新たな分野を拓く半導体レーザー 566
- 8. まとめ 567

第3章 ファイバ増幅器・レーザー

〈西澤 典彦〉

- 1. はじめに 568
- 2. ファイバ増幅器 568
- 3. ファイバレーザー 570
- 4. ファイバ非線形の応用 576
- 5. おわりに 577

第4章 自由電子レーザー・X 線レーザー

〈石川 哲也〉

- 1. はじめに 578
- 2. アンジュレータ 578
- 3. 自由電子レーザー 580
- 4. SASE 原理 580
- 5. SASE 型 X 線自由電子レーザー 580
- 6. シーディング 589
- 7. おわりに 589

第5章 発光ダイオード

〈波多腰 玄一〉

- 1. はじめに 590
- 2. 発光ダイオードの基本構造と材料 590
- 3. 可視放射と色度図 591
- 4. 量子井戸 593
- 5. LED の効率 593
- 6. 自然放出再結合と熱平衡状態における黒体放射 597
- 7. 素子構造と電流広がり 599
- 8. 配光特性 599
- 9. 白色 LED 601
- 10. おわりに 603

第6章 非古典光源

〈枝松 圭一〉

- 1. はじめに 604
- 2. 単一光子の発生 604
- 3. パラメトリック下方変換による光子対発生 607

4. 伝令付き光子	609
5. 2光子の干渉と不可識別性	610

第7章 光変調器・光スイッチング素子

〈竹中 充〉

1. 概要	614
2. 光変調器	615
3. 光スイッチング素子	622
4. まとめ	625

第8章 光検出器

〈藤方 潤一〉

1. はじめに	627
2. 光通信用検出器	627
3. pin フォトダイオードの構造	629
4. アバランシェフォトダイオード	630
5. 単一走行キャリアフォトダイオード	630
6. シリコンフォトニクスにおける光検出器	631
7. フラウンツェルディッシュ効果を利用した高感度光検出	633

第9章 超短光パルス

〈緑川 克美〉

1. はじめに	636
2. モード同期によるピコ秒・フェムト秒パルスの発生	637
3. ピコ秒・フェムト秒パルスの増幅：チャープパルス増幅	641
4. ピコ秒・フェムト秒パルスの計測	642
5. アト秒パルス	645
6. おわりに	651

第10章 テラヘルツ光源

〈関根 徳彦〉

1. はじめに	653
2. テラヘルツパルス光源	654
3. テラヘルツ CW 光源	654
4. おわりに	665

第11章 波長変換デバイス

〈栗村 直〉

1. はじめに：量子相互作用に向けた非線形光学効果	666
2. 代表的非線形光学効果	666
3. 分極反転による擬位相整合 (QPM)	667
4. 主な波長変換材料	668
5. 主な波長変換方式	669
6. 量子光学への応用	672
7. まとめ	675

第12章 プラズモニックデバイス

〈高原 淳一〉

1. はじめに	678
2. 原理	679
3. デバイスの構造と機能	685
4. 波長域の拡大	693

第13章 量子ドットのディスプレイ応用 (液晶、有機、量子ドット)

〈和泉 真 / 石田 壯史〉

1. はじめに	696
2. 量子ドットディスプレイについて	696
3. 量子ドットを用いた各種ディスプレイ	700
4. 電流励起型自発光素子 QLED (Quantum Light Emitting Diode) を用いたディスプレイ	703

第14章 プラズモン活用銀析出型エレクトロクロミック素子の環境デバイス応用

〈小林 龍久〉

1. はじめに	707
2. さまざまなエレクトロクロミズム	707
3. 金属電析出型 EC 素子	708
4. 透明・鏡・黒を発現する銀析出型 EC 素子	709
5. LSPR 制御に基づく CMY 三原色の表示可能な銀析出型 EC 素子の構築	710
6. おわりに — 将来展望 —	714

第5編 応用

第1章 光ファイバ通信

〈國分 泰雄〉

1. はじめに	719
2. 光ファイバ通信の大容量化技術の推移	719
3. マルチコアファイバと空間多重通信	722
4. 数モードファイバとモード多重通信	728

5. まとめ	735
--------	-----

第2章 量子情報通信

〈武岡 正裕〉

1. はじめに	738
2. 量子暗号技術	739

3. 量子ネットワークと量子情報理論	745
4. QKD ネットワークから量子インターネットへ	746
5. まとめ	747

第3章 光量子コンピュータ

〈遠藤 護 / 古澤 明〉

1. はじめに	749
2. 量子化された電磁場と量子状態	750
3. 連続量子情報処理による大規模量子計算	754
4. 光子数識別器	757
5. おわりに	759

第4章 量子計測

〈高本 将男 / 香取 秀俊〉

1. はじめに	761
2. 量子計測技術における標準量子限界	761
3. 原子時計	763
4. 光格子時計の高安定度化	767
5. 原子時計の相対論的測地技術への応用	770
6. おわりに	771

第5章 光ファイバセンサ

〈中村 健太郎〉

1. はじめに	773
2. 光ファイバセンサの分類	774
3. 分布型センサ	774
4. 多点型センサ	779
5. 単点型センサ	780
6. 準光ファイバセンサ	781
7. おわりに	781

第6章 量子センサによる生命計測

〈五十嵐 龍治〉

1. はじめに	783
---------	-----

2. 量子センサを用いた生命計測技術	784
3. まとめ	793

第7章 光を用いた室温超核偏極による NMR/MRI 高感度化

〈根来 誠〉

1. はじめに	795
2. NMR の感度と極低温超偏極技術	795
3. ペンタセンを用いた室温超偏極	797
4. 室温超偏極による溶解 DNP	799
5. 室温超偏極技術の発展	800
6. 室温超偏極量子符号化センサ	802

第8章 量子もつれ光を利用した、光量子計測・センシング

〈竹内 繁樹 / 岡本 亮 / 向井 佑〉

1. はじめに	805
2. 量子もつれ状態とは	805
3. 量子力学的な物理過程間の干渉による、2光子量子干渉	807
4. 量子光断層撮像	808
5. 量子赤外吸収分光	812
6. まとめ	816

第9章 光造形と医療応用

〈丸尾 昭二〉

1. はじめに	817
2. 光造形法の原理と特徴	817
3. マルチマテリアル光造形法	822
4. セラミックス 3D 構造体の作製と医療応用	824
5. シリコーン樹脂鋳型を用いたセラミックス 3D 構造体の量産	827
6. 3D プリント・マイクロツールの作製と医療応用	828
7. 今後の展望	830

第6編

計測・分光技術

第1章 分光分析

〈火原 彰秀〉

1. 分光分析の用途と分類	835
2. 分光分析法の基礎的項目	836
3. 簡易分析に向けた分光分析の研究例	838
4. 本章のまとめ	843

第2章 時間分解分光

〈岩井 伸一郎〉

1. はじめに 時間分解分光の歴史と意味	844
2. 時間分解分光の実験手法	845
3. 光キャリアダイナミクス	848
4. コヒーレントフォノン	851
5. 光誘起相転移と強相関電子系	852
6. 光強電場効果とペタヘルツ電子ダイナミクス	854

7. まとめ 857

第3章 X線分光と関連分析法〈河合 潤〉

1. はじめに 860
2. X線光電子回折 860
3. 電子の位相速度と群速度 864
4. コンプトン散乱 866
5. X線ラマン散乱と放射的オージェ効果 868
6. 全反射X線 870
7. 黒体放射 873
8. おわりに 874

第4章 放射光分光 〈尾嶋 正治〉

1. はじめに 876
2. 放射光発生原理 876
3. 放射光実験装置 878
4. 放射光分光法の基礎 880
5. 放射光分光法の応用 885
6. まとめと今後の展望 888

第5章 超解像顕微鏡 〈藤田 克昌〉

1. 光学顕微鏡：光と物質との相互作用を可視化 890
2. 広視野蛍光顕微鏡における超解像 891
3. レーザー走査顕微鏡における超解像 892
4. おわりに 896

第6章 プローブ顕微鏡
光学測定に基づくプローブ顕微鏡

〈岡本 裕巳〉

1. はじめに 898
2. 光学イメージングの概念：光の空間変調の観察 899

3. 空間的に局在した近接場光を発生させる実際的な方法 899
4. 実際の近接場光学イメージング装置 900
5. 関連する顕微イメージング手法 902
6. 励起光の導入と検出：測定モード 903
7. さまざまな光学過程・分光手法を用いた近接場光学イメージングと研究例 904

第7章 プラズモン共鳴を用いたバイオ計測への応用

〈齊藤 真人／民谷 栄一〉

1. はじめに 909
2. バイオセンサとは 909
3. LSPRを用いたバイオセンサ 910
4. ナノインプリント法を用いたLSPRバイオセンサの作成 911
5. 糖鎖高分子を用いたLSPRバイオセンサ 913
6. シングル細胞の動的解析への応用 914
7. 面分光技術を利用したLSPRイメージングによるバイオセンシング 915
8. その他のLSPRバイオセンサ 916
9. さいごに 917

第8章 電磁場シミュレーション

〈市川 裕之〉

1. はじめに 919
2. なぜ電磁場シミュレーションが必要か 919
3. 電磁場シミュレーションの分類 921
4. 時間領域の電磁場シミュレーション：FDTD法 921
5. 周波数領域の電磁場シミュレーション：フーリエモード法 927
6. まとめ 932

※本書に記載されている会社名、製品名、サービス名は各社の登録商標または商標です。なお、本書に記載されている製品名、サービス名等には、必ずしも商標表示（®、TM）を付記していません。