



# 目 次

## 1. レーザー科学と量子エレクトロニクス

1.1	量子エレクトロニクスとメーザー・レーザー	[霜田光一]	1
1.1.1	語義と起源		1
1.1.2	メーザーの発明とその発展		2
1.1.3	レーザーの発明		3
1.2	レーザーの進歩	[霜田光一]	4
1.3	レーザー応用の発展	[霜田光一]	5
1.3.1	レーザー応用の科学		5
1.3.2	レーザーの工学的応用		6
1.4	レーザーの関係する科学技術分野	[霜田光一]	7

## 2. レーザーの基礎

2.1	光の古典論と量子論	[矢島達夫]	9
2.1.1	概 説		9
2.1.2	光の古典論		9
2.1.3	光の量子論		10
2.2	光の放出と吸収	[矢島達夫]	12
2.2.1	光と物質との相互作用		12
2.2.2	2準位系による光波の吸収と放出		13
2.2.3	光子の吸収と放出		14
2.3	レーザーの原理	[霜田光一]	16
2.3.1	反転分布と負温度		16
2.3.2	レーザー増幅		18
2.3.3	レーザーの発振条件		19
2.4	レーザーの理論	[霜田光一]	22
2.4.1	レーザーのレート方程式		22
2.4.2	定常発振出力		23
2.4.3	過渡現象とQスイッチ		25
2.4.4	半古典的理論		27

2.4.5	不均一広がりとラムのくぼみ	30
2.4.6	量子力学的理論	33
2.5	レーザー光の性質	[霜田光一] 36
2.5.1	指向性	36
2.5.2	単色性	37
2.5.3	超短パルス	38
2.5.4	エネルギー密度	38
2.5.5	レーザー光のその他の性質	39
2.6	光のコヒーレンスと統計的性質	[蒲生秀也] 40
2.6.1	コヒーレンスの基礎概念	40
2.6.2	空間的コヒーレンス	43
2.6.3	コヒーレンスの行列理論	45
2.6.4	部分的偏光	46
2.6.5	高次の相関と強度干渉計	48
2.6.6	量子力学によるコヒーレンスと統計	50
2.7	共振器とモード	[田幸敏治] 54
2.7.1	ファブリーペロー干渉計	54
2.7.2	回折効果と横モード	56
2.7.3	共振器の回折損失と安定度曲線	60
2.7.4	共振周波数	61
2.7.5	その他の問題	62
2.7.6	その他の共振器	63
2.8	光の新しい量子状態とゆらぎ	[山本喜久・井元信之] 64
2.8.1	光子の発生と測定における量子限界	64
2.8.2	スクイズド状態と光子数状態	66
2.8.3	スクイズド状態の発生	68
2.8.4	光子数-位相最小不確定状態の発生	70
2.8.5	応用および展望	72

### 3. 非線形光学

3.1	非線形光学の基礎	[松岡正浩] 74
3.1.1	光学的非線形性と非線形光学	74
3.1.2	非線形感受率の対称性	75
3.1.3	非線形感受率の量子論	77
3.1.4	非線形分極からの光波発生	79
3.1.5	位相整合と相互作用長	81

3.1.6	光混合と高次効果	82
3.1.7	多光子過程	83
3.1.8	多重極相互作用による非線形効果	84
3.2	光高調波・和差周波発生・パラメトリック効果	[松岡正浩] 85
3.2.1	結晶による高調波発生	85
3.2.2	結晶による可変波長和差周波発生	87
3.2.3	気体による第3および高次高調波発生	89
3.2.4	気体における2光子共鳴光混合	90
3.2.5	パラメトリック増幅と発振	90
3.3	誘導散乱	[斎官清四郎] 93
3.3.1	誘導ラマン散乱	94
3.3.2	誘導ラマン散乱のダイナミクス	95
3.3.3	反ストークス光および高次のラマン散乱光の発生	95
3.3.4	誘導ラマン散乱の過渡効果	96
3.3.5	分子振動準位の過渡的ラマン分光	96
3.3.6	過渡的誘導ラマン散乱と line narrowing	97
3.3.7	フェムト秒レーザーによる過渡的誘導ラマン散乱	98
3.3.8	誘導ブリルアン散乱	99
3.3.9	誘導熱ブリルアン散乱と誘導熱レイリー散乱	100
3.4	位相共役光学	[丹野直弘] 101
3.4.1	位相共役光学の基礎	101
3.4.2	位相共役波の発生法	102
3.4.3	位相共役光学の応用	104
3.5	多光子過程	[高見道生] 106
3.5.1	高次摂動項	106
3.5.2	多光子吸収	106
3.5.3	ドップラー-フリー多光子吸収	108
3.5.4	多光子放出	109
3.5.5	多光子イオン化	110
3.5.6	赤外多光子吸収	111
3.6	非線形屈折率効果	[斎官清四郎] 112
3.6.1	非線形屈折率の起源	112
3.6.2	自己集束効果	113
3.6.3	自己位相変調	116
3.6.4	パルス急峻化, 自己パルス圧縮	117
3.7	光双安定性	[藪崎 努] 118
3.7.1	履歴特性をもつ光双安定性	118

3.7.2	フォーク形分岐特性をもつ光双安定性	120
3.7.3	2種の双安定性間の関係	121
3.8	光導波路の非線形光学	[中沢正隆・内田直也] 122
3.8.1	導波路中での非線形光学の特徴	122
3.8.2	誘導ラマン散乱(SRS)	124
3.8.3	誘導ブリルアン散乱(SBS)	127
3.8.4	誘導4光子混合(SFPM)	129
3.8.5	第2高調波, 和周波, 差周波発生	130
3.8.6	非線形屈折率現象	131
3.9	非線形コヒーレント過渡光学	[松岡正浩] 135
3.9.1	光学的ブロッホ方程式	135
3.9.2	光章動と自由歳差運動	135
3.9.3	フォトンエコーと過渡的4光波混合	137
3.9.4	自己誘導透過	140
3.9.5	超放射 ASE	142
3.10	光カオス	[池田研介] 145
3.10.1	光双安定系のカオス	145
3.10.2	レーザー系のカオス	148

## 4. レーザー装置

4.1	気体レーザー	151
4.1.1	可視域レーザー	[堀田和明] 151
4.1.2	赤外域レーザー	159
a.	炭酸ガスレーザー	[永井治彦] 159
b.	ヨウ素レーザー	[小原 實] 162
c.	HF(DF)化学レーザー	[小原 實] 164
d.	遠赤外レーザー	[山中正宣] 168
4.1.3	紫外および真空紫外域レーザー	[渡部俊太郎] 175
4.2	固体レーザー	182
4.2.1	固体レーザーの動作機構	[鷲尾邦彦] 182
4.2.2	3準位固体レーザー	[鷲尾邦彦] 186
4.2.3	4準位固体レーザー	187
a.	ネオジウムレーザー	[鷲尾邦彦] 187
b.	波長可変固体レーザー	[藤井義正] 192
c.	その他	[藤井義正] 196
4.3	液体レーザー	[前田三男] 196

4.3.1	概 説	196
4.3.2	色素レーザー	197
4.4	半導体レーザー	202
4.4.1	半導体レーザー，発光ダイオード材料	[永井治男]…202
4.4.2	半導体レーザーの動作機構	[神谷武志]…208
4.4.3	半導体レーザーのコヒーレンス特性と雑音	[大津元一]…212
4.4.4	半導体レーザーの構造と特性	[末松安晴・荒井滋久]…216
4.4.5	長波長赤外半導体レーザー	[篠原宏爾]…226
4.4.6	発光ダイオード	[別府達郎]…228
4.5	新レーザー	232
4.5.1	コヒーレント VUV 光源	[宮崎健創]…232
4.5.2	自由電子レーザー	[河村良行]…238

## 5. レーザーの測定と制御

5.1	波長と周波数の測定	[田中敬一]…242
5.1.1	波長の測定	242
5.1.2	周波数の測定	244
5.2	コヒーレンス特性の測定	[上西克二]…248
5.2.1	光電子相関と光子計数分布	248
5.2.2	光電子相関の測定	250
5.3	時間波形の測定	[土屋 裕]…252
5.3.1	総 論	252
5.3.2	光電検出器とオシロスコープによる方法	253
5.3.3	ストリークカメラによる方法	253
5.3.4	各種のストリークカメラによる測定	255
5.3.5	非線形相関法	256
5.4	出力の測定	[本田辰篤]…258
5.4.1	連続出力の測定	260
5.4.2	光ファイバー系，半導体レーザーの測定	262
5.4.3	パルス出力の測定	262
5.5	利得の測定	[本田辰篤]…263
5.5.1	減衰器法	264
5.5.2	増幅器法	264
5.6	雑音特性の測定	[向井孝彰]…266
5.6.1	レーザーの量子雑音	266
5.6.2	AM 雑音の測定	267

5.6.3	FM 雑音の測定	269
5.7	発振モードの測定と制御	[田幸敏治] 270
5.7.1	横モードの測定と制御	270
5.7.2	縦モードの測定と制御	274
5.7.3	戻り光の影響と利用	275
5.8	周波数安定化と周波数掃引	[秋元義明] 276
5.8.1	安定化レーザーの評価方法	276
5.8.2	レーザー周波数の安定化	276
5.8.3	各種レーザーの安定化	277
5.8.4	周波数掃引	279
5.9	出力安定化	[斉藤 進] 280
5.9.1	出力変動原因と主な対策	281
5.9.2	フィードバック制御による出力安定化	282
5.10	光変調と光偏向	[多田邦雄] 285
5.10.1	光変調の種類	285
5.10.2	光変調の方法	286
5.10.3	光偏向の種類と方法	288
5.11	ピコ秒・フェムト秒光パルスの発生と測定	289
5.11.1	ピコ秒・フェムト秒光パルスの発生法	[石田祐三] 289
5.11.2	色素レーザー	[石田祐三] 290
5.11.3	固体レーザー	[石田祐三] 293
5.11.4	半導体レーザー	[伊藤弘昌] 295
5.11.5	ガスレーザー	[石田祐三] 298
5.11.6	ピコ秒・フェムト秒光パルスの測定法	[石田祐三] 298

## 6. レーザー分光

6.1	レーザー分光の特徴	[高見道生] 306
6.2	各種分光法	306
6.2.1	線形分光法	[高見道生] 306
6.2.2	非線形分光法	309
a.	飽和吸収	[高見道生] 309
b.	2光子(多光子)吸収とイオン化	[高見道生] 311
c.	二重共鳴分光	[高見道生] 312
d.	各種ラマン分光	[平 洋一] 315
e.	偏光分光	[藪崎 努] 318
f.	光ポンピング	[藪崎 努] 319

6.2.3	過渡分光法	322
a.	コヒーレント過渡分光	[松岡正浩]…322
b.	自由誘導減衰(FID)	[松岡正浩]…322
c.	フォトンエコー	[松岡正浩]…323
d.	量子ビート	[端 恒夫]…324
e.	ピコ秒・フェムト秒分光	[松岡正浩]…326
6.3	原子分子の衝突に関連したレーザー分光	[清水忠雄]…331
6.4	固体、表面・界面のレーザー分光	334
6.4.1	固体のレーザー分光	[櫛田孝司]…334
6.4.2	表面・界面のレーザー分光	[潮田資勝]…339
6.5	基礎物理学への応用	343
6.5.1	基礎物理定数の測定	[大井みさほ・浅見茂夫]…343
6.5.2	短寿命同位体核種の分光	[桂川秀嗣]…345
6.5.3	リュードベリ原子の生成と分光	[狩野 寛]…347
6.5.4	レーザークーリング	[清水富士夫]…348

## 7. レーザー化学

7.1	レーザー誘起化学の特徴	[吉原経太郎]…351
7.2	レーザー誘起化学反応の分子動力学	352
7.2.1	状態選択分子の化学反応	[土屋荘次]…352
7.2.2	分子内振動緩和	[土屋荘次]…356
7.2.3	振動高励起状態	[花崎一郎]…358
7.2.4	赤外多光子過程	[花崎一郎]…361
7.3	レーザー高分解能分光	[廣田榮治]…363
7.3.1	固定波長レーザーを光源とした高分解能分子分光法	363
7.3.2	波長可変レーザーを光源とした高分解能分光法	364
7.3.3	研究例	366
7.4	レーザーラマン分光	368
7.4.1	線形ラマン分光	[尾崎幸洋・田隅三生]…368
7.4.2	非線形ラマン分光	[足立幸男・前田史朗]…374
7.5	電子励起状態	378
7.5.1	単一振電準位励起	[伊藤光男]…378
7.5.2	共鳴イオン化分光法	[茅 幸二]…381
7.5.3	励起状態の緩和	[吉原経太郎]…383
7.5.4	電子エネルギー分光	[木村克美]…387
7.6	レーザー光化学反応	390



7.6.1	気相反応	〔小尾欣一〕	390
7.6.2	液相反応	〔宮坂博・平田善則・岡田正・又賀昇〕	395
7.6.3	不均一系の反応	〔増原 宏〕	399
7.6.4	クラスター反応	〔西 信之〕	403
7.7	レーザー光散乱	〔野村浩康〕	406
7.7.1	光散乱の一般論		406
7.7.2	レイリー散乱		407
7.7.3	ブリルアン散乱		408
7.8	レーザー微量分析法		410
7.8.1	レーザー誘起蛍光法	〔井上 元〕	410
7.8.2	多光子イオン化法	〔石橋信彦・今坂藤太郎〕	414

## 8. 光エレクトロニクス技術

8.1	光変調および光偏向デバイス	〔多田邦雄〕	417
8.1.1	電気光学的変調デバイス		417
8.1.2	音響光学的変調・偏向デバイス		420
8.2	受光デバイス		422
8.2.1	概 説	〔神戸 宏〕	422
8.2.2	光伝導素子(PC)	〔神戸 宏〕	424
8.2.3	フォトダイオード(PD)	〔神戸 宏〕	425
8.2.4	アバランシフォトダイオード(APD)	〔神戸 宏〕	426
8.2.5	電子管形受光デバイス	〔林 達郎〕	428
8.2.6	光電管・光電子増倍管	〔林 達郎〕	429
8.2.7	電子管形レーザー計測装置	〔林 達郎〕	431
8.3	非線形光学デバイス	〔梅垣真祐〕	432
8.3.1	非線形光学材料		433
8.3.2	2次の非線形光学効果を用いた非線形光導波路デバイス		435
8.3.3	ファイバー・ラマンレーザーと4光波パラメトリック混合		438
8.4	光コンポーネント技術		440
8.4.1	マイクロ 옵ティックスとは	〔西沢紘一〕	441
8.4.2	マイクロ オプティックス素子各論	〔西沢紘一〕	442
8.4.3	グレーデッドインデックス素子	〔西田信夫・石川 朗〕	452
8.4.4	光ファイバー素子	〔西田信夫・石川 朗〕	454
8.4.5	回折格子	〔西田信夫・石川 朗〕	455
8.4.6	光アイソレーター	〔西田信夫・石川 朗〕	457
8.5	光導波理論	〔川上彰二郎〕	459

8.5.1	平面導波路	459
8.5.2	3次元導波路	462
8.5.3	光ファイバーのモード分類	464
8.5.4	単一モード光ファイバー(分散・偏波)	466
8.5.5	多モード光ファイバー	468
8.5.6	光伝搬のシミュレーション	470
8.6	光ファイバー	472
8.6.1	光ファイバーの製造技術と特性測定	[稲田浩一] 472
8.6.2	光ファイバーケーブルと接続技術	[星川政雄] 475
8.6.3	長波長光ファイバー	[吉田 進] 479
8.7	光導波デバイス	[末田 正] 482
8.7.1	光デバイス用導波路	482
8.7.2	導波形光受動デバイス	484
8.7.3	導波形光制御デバイス	486
8.7.4	光集積回路	488

## 9. レーザー計測

9.1	測距およびイメージセンシング	[橋本 勉] 491
9.1.1	測距装置の概要	491
9.1.2	レーダー方程式	492
9.1.3	測距装置の実用例	493
9.1.4	イメージセンシングの例	493
9.2	レーザーレーダー	[小林喬郎] 494
9.2.1	動作原理と特徴	494
9.2.2	分光計測方式と動作機能	495
9.3	干渉計測	[辻内順平] 498
9.3.1	マイケルソン干渉計	498
9.3.2	トワイマン干渉計	499
9.3.3	干渉計の分類	499
9.3.4	干渉縞の解析	500
9.4	ホログラフィー計測	[辻内順平] 502
9.4.1	ホログラフィーの原理	502
9.4.2	ホログラフィー干渉	503
9.4.3	ホログラフィー干渉による計測	503
9.5	光ファイバーセンサー	[芳野俊彦] 505
9.5.1	光ファイバー機能形センサー	505

9.5.2	光ファイバー伝送線形センサー	507
9.6	分光計測	510
9.6.1	レーザー分光計測の特徴と物質計測	[南 茂夫]…510
9.6.2	試料の発光現象を利用するもの	[南 茂夫]…512
9.6.3	試料のフォトルミネセンス現象を利用するもの	[南 茂夫]…514
9.6.4	試料の吸光現象を利用するもの	[南 茂夫]…515
9.6.5	試料による光散乱現象を利用するもの	[南 茂夫]…516
9.6.6	固体材料評価	[田島道夫]…519
9.7	プラズマ計測	[岡島茂樹・山中正宣]…524
9.7.1	レーザーによるプラズマ計測	524
9.7.2	プラズマ計測例	524
9.8	時間・周波数・長さの標準	[田幸敏治]…531
9.8.1	光の速さ $c$ の測定とメートルの再定義	531
9.8.2	レーザー周波数・波長標準	532
9.8.3	Cs, Rb 周波数標準器とレーザー励起	532
9.8.4	イオン蓄積形周波数標準器	535

## 10. 光 通 信

10.1	光ファイバー通信システム	[島田禎晉]…537
10.1.1	光通信システム総論	537
10.1.2	幹線光伝送	542
10.1.3	光 LAN	544
10.1.4	加入者系光伝送	545
10.2	空間光伝送	[千葉孝雄]…546
10.2.1	大気中光通信	546
10.2.2	宇宙衛星光通信	549
10.3	光 交 換	[阪口光人]…550
10.3.1	光通話路方式	550
10.3.2	システムの検討例	552
10.3.3	今後の展望	554
10.4	コヒーレント光通信	[大越孝敬]…555
10.4.1	コヒーレント光通信の意義	555
10.4.2	歴史的背景	556
10.4.3	ヘテロダイン/コヒーレント方式の定義と分類	556
10.4.4	ヘテロダイン/コヒーレント方式による受信感度の改善	558
10.4.5	ヘテロダイン化による周波数選択特性の改善	560

10.4.6	関連した技術的問題点	561
10.5	光ソリトンと超高速伝送システム	[長谷川晃] 562
10.5.1	光ソリトン	562
10.5.2	光ソリトンの発生と変調不安定	564
10.5.3	光ソリトンの整形	565
10.5.4	光ソリトンを用いた全光学的超高速伝送システム	566

## 11. 光情報処理

11.1	光情報処理の歴史的発展	[辻内順平] 568
11.1.1	コヒーレント光学処理	568
11.1.2	インコヒーレント光学処理	570
11.2	アナログ光コンピューティング	[本田捷夫] 571
11.2.1	定義と特長	571
11.2.2	扱える演算の種類とそれを実現する光学系	572
11.2.3	アナログ光演算の応用	577
11.3	デジタル光コンピューティング	[岡芳樹] 581
11.3.1	デジタル光演算技術	581
11.3.2	並列デジタル光コンピュータ	583
11.4	情報処理用光機能デバイス	[岡田正勝] 591
11.4.1	時系列信号処理用光機能デバイス	591
11.4.2	2次元並列処理用光機能デバイス	595
11.5	光メモリー	[三橋慶喜] 599
11.5.1	光メモリーの特長	599
11.5.2	光ディスク	600
11.5.3	光カード	608
11.5.4	将来の光メモリー	609
11.6	光入出力機器	[稲垣雄史] 611
11.6.1	光走査技術	612
11.6.2	代表的な光入出力機器	613

## 12. エネルギー応用

12.1	レーザー同位体分離	[大山俊之・武内一夫] 618
12.1.1	レーザー同位体分離の特徴	618
12.1.2	ウランの同位体分離	620
12.1.3	その他の同位体分離	626

12.2 レーザー核融合 .....	632
12.2.1 レーザー核融合の物理 .....	[山中千代衛]…632
12.2.2 レーザー核融合の技術 .....	637
a. ドライバー技術 .....	[山中千代衛]…637
b. 慣性核融合炉の技術 .....	[山中千代衛]…640
c. 高出力 KrF* レーザー .....	[宅間 宏]…643
12.3 レーザー加速器 .....	[佐藤 勇]…649
12.3.1 レーザー加速の発展の歴史 .....	649
12.3.2 レーザー加速に期待する高エネルギー物理学 .....	650
12.3.3 レーザー加速器 .....	651

### 13. 材料プロセス技術

13.1 レーザー熱プロセス .....	655
13.1.1 レーザー加熱の特徴 .....	[吉川省吾]…655
13.1.2 マクロプロセス .....	[吉川省吾]…656
13.1.3 マイクロプロセス .....	[吉川省吾]…659
13.1.4 表面処理 .....	[難波 進]…666
13.2 レーザー光化学プロセス .....	670
13.2.1 光化学プロセスの特徴 .....	[豊田浩一]…670
13.2.2 レーザー CVD .....	[豊田浩一]…672
13.2.3 レーザードーピング .....	[豊田浩一]…676
13.2.4 レーザーエッチング .....	[堀池靖浩]…679
13.2.5 レーザー化学合成 .....	[矢部 明]…687
13.2.6 レーザー精製および超微粒子合成 .....	[山本貞明]…691

### 14. 医学・生命科学への応用

14.1 レーザー光と生体の相互作用 .....	[佐藤俊一・稲場文男]…694
14.1.1 低出力光による作用 .....	694
14.1.2 光化学反応による作用 .....	696
14.1.3 高出力光による作用 .....	698
14.2 レーザーによる生体の計測および診断 .....	[佐藤信紘・永野公一]…700
14.2.1 レーザードップラー血流計測 .....	701
14.2.2 生体スペクトル計測 .....	703
14.2.3 レーザー蛍光分析 .....	704
14.2.4 走査形レーザー顕微鏡 .....	708

14.2.5	眼科領域における診断学へのレーザーの応用	709
14.2.6	レーザーホログラフイーの医学応用	710
14.3	レーザーによる治療	[田口喜雄・植木浜一] 713
14.3.1	レーザーの人体に対する作用と各種レーザー装置	714
14.3.2	臨床応用の実際	717
14.4	レーザーの生命科学, 生物学への応用	[榎田孝司] 725
14.4.1	レーザー誘起蛍光分光	726
14.4.2	ラマン散乱	726
14.4.3	超短時間分光	726
14.4.4	顕微分光	726
14.4.5	準弾性光散乱その他	727
14.5	レーザーの遺伝子工学への応用	[粕谷敬宏] 727

## 15. 安 全 性

15.1	レーザーの生体への影響	[小澤哲磨] 731
15.1.1	レーザー光強度と眼障害	731
15.1.2	レーザー光の波長と眼障害	731
15.1.3	レーザー光による事故例	732
15.1.4	レーザー光による皮膚障害	732
15.2	レーザーの安全基準	[小澤哲磨] 733
15.2.1	最大許容露光量	733
15.2.2	レーザーのクラス分け	733
15.2.3	半導体レーザー光源	737
15.3	レーザーの安全対策	[保科直美] 738
15.3.1	レーザー装置メーカーの安全対策	738
15.3.2	レーザー装置ユーザーの安全対策	738
15.3.3	レーザー照射に付随する危険など	740
15.3.4	レーザー装置の安全対策例	741
15.3.5	レーザー保護めがね	741
15.3.6	工場における安全対策	743
	索 引	745
	資 料 編	761