

目次

1章 レーザーの歴史

1・1	メーザーからレーザーへ	5	1・2	レーザーの開発	6
1・1・1	メーザーの発明	5	1・3	レーザー応用の発展	6
1・1・2	メーザーの特徴	5		参考文献	8
1・1・3	レーザーの発明	5			

2章 レーザーの原理

2・1	誘導放出による増幅	9	2・3・5	レーザー発振のファンデアポール方程式	19
2・1・1	原子による光の放出と吸収	9	2・3・6	注入同期	19
2・1・2	自然放出と誘導放出	9	2・4	量子論的レーザー理論	20
2・1・3	2準位媒質による光の吸収	9	2・4・1	基礎方程式	20
2・1・4	反転分布と負温度	9	2・4・2	単一モード発振	20
2・2	非線形コヒーレント相互作用	9	2・4・3	気体レーザーの理論	21
2・2・1	2準位原子とコヒーレント光との相互作用	9	2・4・4	光を量子化したレーザーの理論	21
2・2・2	遷移確率	10	2・5	モード同期	22
2・2・3	誘起双極子モーメント	11	2・5・1	光共振器の縦モード	22
2・2・4	誘導放出係数の計算	11	2・5・2	モード同期の方法	22
2・2・5	密度行列	11	2・5・3	モード同期レーザーの特性	22
2・2・6	レーザー媒質の利得と飽和	13	2・6	レーザー光の特性	23
2・3	レーザー発振のレート方程式	16	2・6・1	量子雑音	23
2・3・1	基礎方程式	16	2・6・2	レーザー光のスペクトル幅	24
2・3・2	定常発振	17	2・6・3	量子光学	24
2・3・3	Qスイッチ発振	18		参考文献	24
2・3・4	緩和発振	18			

3章 光共振器とモード

3・1	ガウスビームと伝搬マトリクス	25	3・3・3	共振周波数	30
3・1・1	ガウス波	25	3・4	導波路形共振器	30
3・1・2	波面係数の変換	26	3・4・1	2次元誘電体導波路のモード	30
3・1・3	光線マトリクス	27	3・4・2	モード閉じ込め係数	31
3・2	レーザー共振器の種類と特徴	27	3・4・3	3次元導波路のモード	31
3・3	開放形ファブリ・ペロー共振器	27	3・4・4	共振周波数	32
3・3・1	共振器の安定性	28		参考文献	32
3・3・2	回折損失	29			

4章 レーザー発振器と増幅器

4・1 励起方法.....34	4・2・1 共振器からのレーザー出力の取出し方法...40
4・1・1 放電励起34	4・2・2 最適カップリング条件41
4・1・2 光励起37	4・3 レーザー増幅器.....42
4・1・3 キャリヤ注入励起38	4・3・1 誘導放出を利用した増幅器の増幅特性 ...42
4・1・4 その他の励起法39	4・3・2 光パラメトリック増幅44
4・1・5 レーザー発振器のエネルギー効率39	4・3・3 ラマン増幅器45
4・2 カップリング法.....40	参考文献.....45

目 次

5章 光の概念とコヒーレンス

5・1 レーザー科学における光の概念	51	5・4・3 からみ合い状態	55
5・2 古典論による光の記述	51	5・5 古典論による光のコヒーレンス	56
5・3 量子論による光の記述	52	5・5・1 コヒーレンスの概念	56
5・3・1 場の量子化と光子数状態	52	5・5・2 時間コヒーレンスと空間コヒーレンス	56
5・3・2 光のコヒーレント状態	52	5・5・3 周波数コヒーレンスと波数コヒーレンス	57
5・3・3 光の量子状態とゆらぎ ——波動性と粒子性——	53	5・5・4 高次コヒーレンス	58
5・4 非古典的な光の状態	54	5・6 量子論による光のコヒーレンス	59
5・4・1 直交位相振幅スクイズド状態	54	5・6・1 量子論的相関関数	59
5・4・2 光子数位相スクイズド状態とサブポア ソン状態	55	5・6・2 光子相関とコヒーレンス	59
		参考文献	60

6章 光波の伝搬

6・1 光波の伝搬	61	6・3・7 干渉計	72
6・1・1 波動方程式	61	6・4 光波の回折	73
6・1・2 平面波の伝搬	61	6・4・1 ホイヘンス・フレネルの原理	73
6・1・3 球面波の伝搬	62	6・4・2 フレネル回折とフラウンホーファー回折	73
6・1・4 ガウスビームの伝搬	62	6・4・3 単スリットによる回折	74
6・1・5 誘電体媒質中の光波の伝搬	63	6・4・4 2個のスリットによる回折	74
6・1・6 金属中の光波の伝搬	63	6・4・5 多数のスリットによる回折	75
6・1・7 光波の偏光	63	6・4・6 円形開口による回折	75
6・2 平面波の反射と屈折	64	6・4・7 レンズによるフーリエ変換	76
6・2・1 スネルの法則	64	6・5 近接場光学	76
6・2・2 全反射	65	6・5・1 固体浸レンズによる高分解能化	76
6・2・3 フレネルの反射・透過係数	65	6・5・2 微細構造によるエバネッセント波の発生	77
6・3 光波の干渉	67	6・5・3 微小開口による近接場光学顕微鏡	78
6・3・1 2平面波の干渉	67	6・6 光波の単散乱	79
6・3・2 ヤングの干渉縞	68	6・6・1 ミー散乱理論の展開	79
6・3・3 空間コヒーレンスと時間コヒーレンス	69	6・6・2 ミー散乱理論を利用した粒子径計測	82
6・3・4 等厚の干渉	69	6・6・3 ミー散乱理論の近似としてのレイリー 散乱理論	83
6・3・5 等傾角の干渉	70	6・6・4 チンダル効果	84
6・3・6 多光束干渉	71		

目	次
6・6・5 レイリー・デバイ散乱理論84	6・7・1 クベルカ・ムンク理論による拡散反射 ...87
6・6・6 均質球体からのレイリー・デバイ散乱 ...85	6・7・2 光子輸送理論による拡散反射88
6・7 光波の多重散乱.....87	参考文献.....90

目 次

7章 非線形光学

7・1 非線形分極と非線形光学効果……………97	7・2・1 2次非線形光学定数の絶対値スケール…104
7・1・1 非線形分極……………97	7・2・2 代表的な非線形光学結晶……………104
7・1・2 非線形光学効果……………98	7・2・3 擬似位相整合(QPM)……………108
7・1・3 非線形光学効果のまとめ……………101	参考文献……………109
7・2 非線形光学材料……………103	

8章 高調波発生と光パラメトリック効果

8・1 変換光波の伝搬と位相整合……………110	8・3 導波路を用いた波長変換……………118
8・1・1 非線形分極波とマクスウェル方程式……………110	8・3・1 導波路における位相整合……………118
8・1・2 位相整合……………111	8・3・2 モード位相整合……………119
8・2 バルク結晶による波長変換……………112	8・3・3 チェレンコフ放射型位相整合……………120
8・2・1 2次非線形光学効果を用いた波長変換…112	8・4 高次高調波……………120
8・2・2 バルク結晶における位相整合と波長変換…115	8・4・1 高次高調波の発生機構……………121
8・2・3 集光ビームを用いた波長変換……………117	8・4・2 高次高調波の特性……………122
8・2・4 パルス光の波長変換……………118	参考文献……………124

9章 1次の電気光学効果とフォトリフレクティブ効果

9・1 1次の電気光学効果……………126	9・2・2 フォトリフレクティブ材料……………133
9・1・1 電気光学効果……………126	9・2・3 チタン酸バリウムとその位相共役鏡 への応用……………133
9・1・2 1次電気光学定数とその対称性……………126	9・2・4 ニオブ酸リチウムとそのホログラフィック 光メモリへの応用……………135
9・1・3 非線形感受率との関係……………126	9・2・5 バルクおよび多重量子井戸半導体材料…137
9・1・4 電気光学効果による屈折率変化……………130	9・2・6 有機ポリマー材料……………139
9・1・5 電気光学効果によって生じる現象……………130	参考文献……………140
9・1・6 電気光学変調器……………131	
9・2 フォトリフレクティブ効果……………132	
9・2・1 フォトリフレクティブ効果……………132	

10章 誘導散乱

10・1 4光波混合……………142	10・5 誘導ラマン効果……………147
10・2 自然放出ラマン散乱……………143	10・6 誘導ブリュアン散乱……………147
10・3 ラマン散乱の半古典論……………143	10・7 誘導ラマン分光……………149
10・4 ラマン散乱の量子論……………145	参考文献……………151

11章 その他の非線形光学効果

11・1 非線形屈折率	152	11・2・4 超高分解分光	159
11・1・1 光ファイバ非線形パルス伝搬 ——超広帯域コヒーレント光波の発生——	152	11・2・5 パルス伝搬	159
11・1・2 モノサイクル域の光パルス発生	155	11・2・6 光情報記録	159
11・2 電磁誘導透過	157	11・3 フォトンエコー	160
11・2・1 暗状態	157	11・3・1 $T_1 T_2$ モデル	160
11・2・2 電磁誘導透過	158	11・3・2 確率論的モデル	163
11・2・3 反転分布なしのレーザー	158	11・3・3 動力学的モデル	164
		参考文献	164

目次

12章 固体・気体・液体レーザー

12・1 遷移金属結晶レーザー……………171	12・4・2 マイクロチップ固体レーザー材料 ……207
12・1・1 遷移金属レーザー結晶 ……172	12・4・3 発光材料としての希土類 ……210
12・1・2 Ni^{2+} イオンレーザー ……173	12・5 液体レーザー……………214
12・1・3 Co^{2+} イオンレーザー ……173	12・5・1 色素レーザー ……216
12・1・4 Cr イオンレーザー……………176	12・5・2 無機液体レーザー ……222
12・2 非結晶レーザー……………183	12・6 気体レーザー……………222
12・2・1 Nd:ガラスレーザー……………183	12・6・1 レーザー材料 ……222
12・2・2 石英レーザー材料 ……189	12・6・2 励起方法 ……222
12・2・3 セラミックレーザー ……191	12・6・3 発振波長領域 ……224
12・2・4 プラスチックレーザー ……196	12・6・4 ヘリウムネオンレーザー ……224
12・3 ファイバレーザー……………200	12・6・5 イオンレーザー ……225
12・3・1 ファイバレーザーの構造 ……200	12・6・6 炭酸ガスレーザー ……226
12・3・2 連続発振ファイバレーザー ……202	12・6・7 紫外・真空紫外線分子レーザー ……228
12・3・3 エルビウム添加ファイバ増幅器 ……202	12・6・8 エキシマレーザー ……231
12・3・4 ラマンファイバレーザー ……203	12・6・9 リソグラフィ用レーザー —各光源の研究開発の現状— ……234
12・3・5 フッ化物ファイバレーザー ……203	12・6・10 化学レーザー……………236
12・3・6 ファイバレーザー用のデバイス ……204	12・6・11 ヨウ素レーザー……………237
12・3・7 コヒーレントアレイファイバレーザー…204	12・6・12 中性金属蒸気レーザー……………237
12・3・8 フォトニックファイバとファイバレーザー ……………205	12・6・13 金属蒸気イオンレーザー……………237
12・4 マイクロチップ用レーザー材料……………206	12・6・14 遠赤外分子レーザー……………238
12・4・1 希土類添加レーザー材料の比較 ……206	参考文献 ……238

13章 半導体レーザー

13・1 半導体レーザーの基礎……………249	13・3 光情報処理用半導体レーザー……………266
13・1・1 半導体における誘導放出と光増幅利得…249	13・4 短波長半導体レーザー……………269
13・1・2 半導体量子井戸構造における誘導放出…251	13・4・1 短波長半導体レーザーの材料開発 ……269
13・1・3 半導体レーザーの材料と構造 ……253	13・4・2 GaN 系半導体レーザーの構造および作製 方法 ……270
13・1・4 半導体レーザーの基礎特性 ……255	13・4・3 長寿命化のための転位低減技術 ……271
13・1・5 分布帰還形レーザーと分布ブラッグ反射形 レーザー ……258	13・4・4 青紫色半導体レーザーの特性 ……272
13・2 光通信用半導体レーザー……………260	13・5 面発光半導体レーザー……………272
13・2・1 研究開発の歴史 ……260	13・5・1 面発光レーザーの種類 ……273
13・2・2 光通信用半導体レーザーの基本構造 ……261	13・5・2 垂直共振器形面発光レーザーの特徴 ……273
13・2・3 光通信用半導体レーザーの用途 ……264	13・5・3 面発光レーザーの歴史 ……273
13・2・4 光通信用半導体レーザーモジュール ……266	13・5・4 面発光レーザーの発振条件 ……273

13・5・5	面発光レーザーの製作技術	274	13・7	半導体レーザー関連技術	280
13・5・6	面発光レーザーの性能向上と高機能化	275	13・7・1	半導体レーザーの波長制御技術	280
13・6	その他の半導体レーザー	277	13・7・2	半導体レーザーの波長変換技術	281
13・6・1	特殊な活性層	277	13・7・3	半導体レーザーの利用スイッチ	282
13・6・2	特殊な共振器	278		参考文献	282

14章 高出力半導体レーザー

14・1	高出力半導体レーザーの構成	286	14・4・1	高出力半導体レーザーの加工機への応用	290
14・2	高出力半導体レーザーの アレイ化技術と冷却	287	14・4・2	高出力半導体レーザーの植物工場への 応用	293
14・3	高出力半導体レーザーの コヒーレント化技術	289		参考文献	294
14・4	高出力半導体レーザーの応用	290			

15章 全固体レーザー

15・1	概 要	295		Bragg grating)	309
15・1・1	半導体レーザー励起固体レーザーの特長	295	15・2・9	ファイバ融着技術	309
15・1・2	固体レーザーの基本特性	297	15・2・10	フォトニック結晶ファイバ	309
15・2	ファイバレーザー	305	15・2・11	コヒーレントファイバレーザーアレイ	310
15・2・1	ファイバレーザーとは	305	15・2・12	超短パルスファイバレーザー	311
15・2・2	ファイバレーザーに関係する保存則と 拡大則	306	15・3	マイクロチップレーザー	311
15・2・3	二重クラッドファイバレーザー	307	15・3・1	基本特性	311
15・2・4	エルビウム添加ファイバ増幅器(EDFA)	307	15・3・2	高機能化	314
15・2・5	ネオジウム添加ファイバレーザー	308	15・3・3	高出力化	315
15・2・6	イッテルビウム添加ファイバレーザー	308	15・3・4	その他の応用	318
15・2・7	ラマンファイバレーザー	309	15・4	高出力 DPSS レーザー	319
15・2・8	ファイバブラッグ回折格子(FBG: fiber		15・4・1	高出力 DPSS レーザーの実用性	319
			15・4・2	DPSS レーザーの基本構成	320
			15・4・3	DPSS レーザーの発展	321
				参考文献	323

目次

18章 超短パルスレーザー技術

18・1 超短パルスレーザー光発生原理と概念……………357	18・4・6 モノリシック型モード同期半導体レーザー……………382
18・1・1 超短パルスレーザー技術の現状……………357	18・5 パルス圧縮……………383
18・1・2 光源の特徴と応用の現状……………357	18・5・1 時間レンズ……………383
18・1・3 応用から見た技術動向……………359	18・5・2 実際の光パルス圧縮方法……………384
18・1・4 超短パルスレーザー技術の将来動向……………359	18・5・3 超短光パルス波形整形法……………388
18・2 モード同期固体レーザー……………362	18・6 パラメトリック増幅による超短パルス光発生と絶対位相制御……………390
18・2・1 固体レーザーにおけるモード同期……………362	18・6・1 超短可視光パルス発生……………390
18・2・2 短パルスの特徴とする各種レーザー……………363	18・6・2 超短パルスの絶対位相……………394
18・2・3 高平均出力を特徴とする各種レーザー……………365	18・7 超短パルスレーザーの非線形波長変換……………395
18・2・4 モード同期固体レーザー発振器の関連技術……………366	18・7・1 超短パルス波長変換の基礎……………395
18・3 モード同期ファイバレーザー……………369	18・7・2 位相整合……………397
18・3・1 能動モード同期ファイバレーザー……………371	18・7・3 波長変換における許容波長帯域……………397
18・3・2 受動モード同期ファイバレーザー……………373	18・7・4 結晶による群遅延……………398
18・3・3 最近の進展……………375	18・7・5 結晶によるパルス幅伸長……………398
18・4 モード同期半導体レーザー……………377	18・7・6 フェムト秒光パラメトリック発振器……………398
18・4・1 モード同期半導体レーザーの高信頼化……………377	18・7・7 超短パルス波長変換の周波数領域応用……………399
18・4・2 基本的構造と動作……………378	18・8 THz 電磁波への変換……………400
18・4・3 外部共振器モード同期半導体レーザー……………379	18・8・1 光伝導アンテナによるテラヘルツ電磁波発生……………400
18・4・4 超高速光通信および超高速光計測への応用……………381	18・8・2 非線形光学結晶によるテラヘルツ電磁波発生……………403
18・4・5 光クロック抽出機能……………382	参考文献……………405

19章 レーザー周波数安定化技術

19・1 レーザー波長制御……………412	19・2・2 レーザーのスペクトル形状, 周波数雑音の測定方法……………419
19・1・1 概要……………412	19・2・3 レーザーのスペクトル線幅……………420
19・1・2 波長選択素子……………412	19・2・4 レーザーの周波数制御……………421
19・1・3 注入同期……………415	19・2・5 基準光共振器……………422
19・1・4 レベル同調……………416	19・2・6 周波数制御による狭線幅レーザーの実現例……………423
19・1・5 非線形波長変換……………417	19・3 光周波数標準……………424
19・2 狭帯域レーザー……………418	19・3・1 概要と歴史……………424
19・2・1 レーザー光のコヒーレンスとスペクトル形状……………418	

19・3・2 周波数安定化レーザー	426	19・3・4 光時計(光周波数標準)	431
19・3・3 レーザー周波数計測	429	参考文献	432

20章 横モード制御

20・1 レーザー光の輝度	435	20・3・2 共振器鏡での補償	439
20・2 高輝度レーザー光発振共振器技術	436	20・3・3 SBS鏡による位相補償共振器	439
20・2・1 ハードアパーチャによる基本モードの 選択発振	437	20・3・4 4波混合自己位相共役形共振器	440
20・2・2 ソフトアパーチャ	437	20・4 固体レーザー高輝度化技術	440
20・2・3 不安定形共振器	438	20・4・1 ロッド形レーザーにおける 熱誘起複屈折補償	440
20・3 共振器内位相制御技術	439	20・4・2 励起形状, 媒質形状の工夫	441
20・3・1 共振器内位相制御素子	439	参考文献	442

21章 大出力レーザー技術

21・1 CPA	445	21・3・4 高出力 KrF エキシマレーザーの実際	460
21・1・1 超短パルスの増幅の問題点 ——その歴史——	445	21・4 大出力 Ti:サファイアレーザーシステム	462
21・1・2 CPAの手法	446	21・4・1 発振器	463
21・1・3 増幅器	447	21・4・2 パルス伸延器	464
21・1・4 パルス伸延と圧縮	451	21・4・3 前置増幅器	464
21・2 超高強度ガラスレーザー	455	21・4・4 主増幅器	466
21・2・1 フロントエンド	455	21・4・5 パルス圧縮器	467
21・2・2 主増幅器	456	21・5 光パラメトリックチャープパルス増幅 (OPCPA)	468
21・2・3 パルス圧縮器	456	21・5・1 OPCPAの特徴	468
21・2・4 集光	457	21・5・2 OPCPAの広帯域増幅特性	469
21・3 大出力エキシマレーザー	457	21・5・3 OPCPAの留意点	470
21・3・1 システムの概要	457	21・5・4 OPCPAに用いられる代表的な結晶	470
21・3・2 KrFによる超短パルス増幅の問題点	459	21・5・5 OPCPAの実験例	470
21・3・3 フロントエンドのCPAレーザーと 波長変換	460	参考文献	472

22章 レーザー特性測定技術

22・1 超短パルスレーザーのパルス波形測定	476	22・2 レーザー集光特性の評価	485
22・1・1 超短光パルスの時間領域と周波数領域	476	22・2・1 ガウシアンビームの伝搬と M^2 パラメータ	485
22・1・2 線形相関法	477	22・2・2 波面計測による集光特性の評価	487
22・1・3 SHG 相関計	478	22・2・3 集光特性評価における注意すべき問題	487
22・1・4 繰返し計算による位相再生	481	22・3 フォトンカウンティング計測	488
22・1・5 スペクトル位相の直接測定	483	22・3・1 フォトンカウンティングの原理	488
22・1・6 繰返し光パルス列のタイミングジッタ 測定	484	22・3・2 光検出器	488
22・1・7 絶対位相 ϕ_0 (キャリアエンベロープ位相) の変化の測定	484	22・3・3 フォトンカウンティング計測法	491
		参考文献	494

23章 光検出器

23・1 光電変換検出器	496	23・3・1 ストリークカメラの動作原理	506
23・1・1 光電変換検出器の種類と特徴	496	23・3・2 時間分解能	507
23・1・2 量子型素子の特性	496	23・3・3 ストリークカメラによる計測	507
23・1・3 pin フォトダイオード	498	23・3・4 サンプルング光オシロスコープ	509
23・1・4 アバランシェフォトダイオード	499	23・3・5 超高速現象の計測とその将来	510
23・1・5 光導電型スイッチ	500	23・4 画像検出素子	510
23・1・6 その他の光検出器	500	23・4・1 CCD	510
23・2 遠赤外ミリ波	500	23・4・2 BT-CCDの構造と特徴	513
23・2・1 検出方式と性能指数	501	23・4・3 CMOS イメージセンサ	514
23・2・2 各種検出器	502	23・4・4 フラットパネルセンサ	515
23・3 ストリークカメラ	505	参考文献	517

24章 光学素子

24・1 光学薄膜	520	24・4 光学硝材(アモルファス)	533
24・1・1 光学薄膜の設計	520	24・4・1 赤外・可視領域	533
24・1・2 光学薄膜の製作	521	24・4・2 紫外領域	534
24・1・3 光学薄膜の性能と評価	523	24・5 光学硝材(結晶)	537
24・1・4 使用上の留意点	524	24・5・1 紫外レーザー用光学結晶	537
24・1・5 光学薄膜の高性能化	525	24・5・2 赤外レーザー用光学結晶	541
24・2 光変調素子	526	24・6 レーザー損傷光学薄膜	543
24・2・1 光変調の種類	526	24・6・1 誘電体多層膜のレーザー損傷	543
24・2・2 ポッケルス効果	526	24・6・2 特殊な光学薄膜のレーザー損傷	547
24・2・3 電気光学変調器	527	24・7 レーザー損傷(光学結晶)	548
24・2・4 新しい導波型電気光学変調器	529	24・7・1 光学結晶のレーザー損傷	548
24・2・5 その他の光変調器	529	24・7・2 誘電破壊型の損傷	548
24・3 光学研磨	530	24・7・3 着色現象	550
24・3・1 オスカー式研磨機	530	24・7・4 屈折率異常	550
24・3・2 光学研磨	531	参考文献	551
24・3・3 光学研磨の評価	532		

目次

25章 レーザー工業計測

25・1 レーザー計測	559	25・2 光ファイバ利用計測	570
25・1・1 長さ・変位の測定	559	25・2・1 回転計測	570
25・1・2 角度・角速度測定	562	25・2・2 電流・磁界計測	572
25・1・3 燃焼・流体測定	563	25・2・3 温度計測	574
25・1・4 ガス分析測定	568	25・2・4 ひずみ・振動・圧力計測	576
		参考文献	578

26章 レーザーによる科学計測

26・1 物理基準	581	26・7・1 高エネルギー電子ビームの計測に レーザーが必要とされる背景	599
26・1・1 時間・周波数標準	581	26・7・2 微小な高エネルギー電子ビームの 断面寸法測定	599
26・1・2 長さの計量標準	583	26・7・3 レーザーワイヤ	600
26・2 ナノ計測	585	26・7・4 陽子ビームの断面密度測定	601
26・2・1 近接場光学顕微鏡による超解像	585	26・7・5 その他の応用	602
26・2・2 非線形光学顕微鏡による超解像	586	26・8 重力波計測	602
26・3 テラヘルツ計測	587	26・8・1 重力波の発生	602
26・3・1 テラヘルツ分光計測法	588	26・8・2 検出法	602
26・3・2 テラヘルツ分光計測の応用	588	26・8・3 レーザー光学技術と重力波検出	603
26・3・3 テラヘルツ画像計測法	589	26・9 微量イオン化計測	604
26・3・4 テラヘルツ画像計測の応用	591	26・9・1 レーザーの短パルス化による イオン化効率の改善	604
26・4 コヒーレントフォノン計測	592	26・9・2 鋭い吸収線を用いるときのイオン化効率	605
26・4・1 コヒーレントフォノンの発生	592	26・9・3 真空紫外線を用いる1光子イオン化	605
26・4・2 主な測定法	593	26・10 環境計測	606
26・5 フェムト秒複屈折計測	594	26・10・1 環境計測用レーザー分光分析器	608
26・6 デジタルアーカイブと文化財 —基盤技術としてのレーザー計測—	598	26・10・2 レーザー吸収信号測定技術	609
26・6・1 背景	598	参考文献	611
26・6・2 原理	598		
26・6・3 文化財におけるレーザー計測の利用例	598		
26・7 素粒子物理学におけるレーザー計測	599		

27章 レーザーレーダ(ライダー)

27・1 レーザーレーダの原理	615	27・1・3 目に対する安全性(アイセーフティ)	618
27・1・1 ライダー方程式	615	27・1・4 データの表示方式	618
27・1・2 信号対雑音比と検出方法	618	27・2 ライダーの各種方式	619

27・2・1 幾何光学的散乱を利用するライダー …619	27・3・4 風向・風速測定 ……626
27・2・2 ミー散乱ライダー(ミーライダー) ……619	27・3・5 超高層大気測定 ……627
27・2・3 レイリー散乱ライダー(レイリーライダー) ……………619	27・3・6 大気汚染ガス測定 ……629
27・2・4 高スペクトル分解ライダー ……620	27・3・7 衛星データの補正 ……631
27・2・5 ラマン散乱ライダー(ラマンライダー) ……………620	27・3・8 植物などの測定 ……632
27・2・6 共鳴散乱, 共鳴蛍光ライダー, ボルツマンライダー ……620	27・4 宇宙ライダー……………633
27・2・7 ドップラーライダー ……620	27・4・1 地球大気観測 ……634
27・2・8 差分吸収ライダー(DIAL) ……620	27・4・2 地形高度計測 ……636
27・3 地球環境科学への応用……………621	27・5 航空安全・事故防止などへの応用……………638
27・3・1 雲エアロゾル測定 ……621	27・5・1 測 距 ……638
27・3・2 水蒸気測定 ……625	27・5・2 飛翔時障害物検出 ……639
27・3・3 オゾン層測定 ……626	27・5・3 乱気流検出 ……641
	27・5・4 航空機事故防止 ……642
	27・5・5 ガス事故防止 ……644
	参考文献 ……645

28章 レーザー分光

28・1 概 説……………649	28・4 非線形分光学……………657
28・1・1 レーザー光の特徴 ……649	28・4・1 飽和分光 ……657
28・1・2 レーザー分光法の特徴 ……649	28・4・2 2光子吸収分光 ……658
28・2 線形分光学——1……………650	28・4・3 二重共鳴分光 ……659
28・2・1 固定周波数レーザーを用いた分光法 ……650	28・4・4 4波混合分光 ……660
28・2・2 周波数可変レーザーを用いた分光法 ……652	28・4・5 ラムゼー共鳴とレーザー冷却 ……663
28・3 線形分光学——2(高感度分光法)……………654	28・5 固体分光……………665
28・3・1 周波数変調(FM)分光 ……654	28・5・1 超高速分光——1……………665
28・3・2 長光路吸収セル ……655	28・5・2 超高速分光——2……………670
28・3・3 共振器内分光——I……………655	28・5・3 テラヘルツ分光 ……674
28・3・4 共振器内分光——II ……656	参考文献 ……678
28・3・5 レーザー共振器内分光 ……656	

目 次

29章 光通信	
29・1 概 説	687
29・1・1 光通信の進展	687
29・1・2 光通信の原理と特徴と構成要素	687
29・1・3 光通信の社会生活へのインパクト	689
29・2 光通信主要技術	689
29・2・1 伝送用光ファイバ技術	689
29・2・2 光変復調技術	696
29・2・3 光増幅技術	698
29・2・4 光スイッチ技術	702
29・2・5 光フィルタ・波長多重分離技術	704
29・2・6 コヒーレント光伝送技術	707
29・2・7 短光パルス応用技術	711
29・3 光通信システム	715
29・3・1 方 式	715
29・3・2 基幹系システム	719
29・3・3 国際・海底システム	727
29・3・4 光アクセスシステム	730
29・3・5 光メトロポリタンエリアネットワークシステム	736
29・3・6 光ローカルエリアネットワークシステム	739
29・3・7 光空間通信システム	742
29・4 光通信計測技術	745
29・4・1 OTDR	745
29・4・2 光スペクトラムアナライザ	746
29・4・3 光サンプリング	748
参考文献	750
30章 光メモリ	
30・1 概 説	754
30・2 記録再生方式と光ヘッド	754
30・2・1 光ヘッドの基本機能と構成要素	754
30・2・2 単層・多層ディスク用光ヘッド	758
30・2・3 ホログラフィックメモリと光ヘッド	761
30・3 記録材料と光ディスク	762
30・3・1 光ディスク記録の特徴	762
30・3・2 光ディスクの種類と記録材料	763
30・3・3 光ディスクの製造	766
30・3・4 将来動向	767
30・4 光ディスクメモリシステム	768
30・4・1 各種光ディスクと記録・再生システム	768
30・4・2 CD系のフォーマット	769
30・4・3 MO系のフォーマット	771
30・4・4 DVD系のフォーマット	771
30・4・5 コンテンツ保護技術	773
30・4・6 次世代光ディスクフォーマット	774
参考文献	775
31章 ホログラフィーとスペックル	
31・1 概 説	777
31・2 ホログラフィー	778
31・2・1 基本原理	778
31・2・2 結像特性	780
31・2・3 応 用	781
31・2・4 デジタルホログラフィー	788
31・3 スペックル	789
31・3・1 スペックルとその形成	789
31・3・2 静的な性質	789
31・3・3 動的な性質	793
31・3・4 変位と変形の測定	795
31・3・5 スペックル移動の利用	797
31・3・6 速度測定	798
参考文献	799

32章 空間光情報処理

32・1 概要と役割	801	32・3 超高速時空間光情報処理	805
32・2 空間並列フォトニック情報処理	802	32・3・1 スペクトル分解に基づく時空間変換	805
32・2・1 空間フィルタリング処理	802	32・3・2 時間およびスペクトル分解に基づく 時空間変換	806
32・2・2 並列デジタル光演算	803	32・3・3 応用例	807
32・2・3 光電子融合情報システム	803	参考文献	808
32・2・4 情報可視化技術	805		

33章 画像情報機器・パターンニング機器

33・1 概説	809	33・3・3 青色および緑色の波長変換固体レーザー の構造と性能	815
33・1・1 基本構成	809	33・4 レーザー印刷製版機	815
33・1・2 走査方式	809	33・4・1 イメージセッタ	815
33・1・3 主な性能と装置の実際例	810	33・4・2 ダイレクト刷版作成装置	815
33・2 レーザープリンタ(コンピュータ用)	810	33・4・3 フレキシソCTP	818
33・2・1 レーザープリンタの構成と印字原理	810	33・5 レーザービーム描画装置	818
33・2・2 レーザープリンタの光学系	811	33・5・1 光導波路パターンニング	818
33・2・3 最近の製品と動向	812	33・5・2 周期点列描画	819
33・3 レーザープリンタ(写真プリント用)	813	33・5・3 マイクロフレネルレンズの描画	820
33・3・1 写真用レーザープリンタと インクジェットプリンタ	813	33・5・4 実用LB描画装置	820
33・3・2 MgO-LiNbO ₃ ドメイン反転バルク結晶	814	33・6 バーコードリーダー	820
		参考文献	822

目 次

34章 レーザープロセッシング

34・1 概 説	829	34・4・2 使用者のためのレーザー安全に関する要約	842
34・1・1 レーザー加工の現状	829	34・4・3 作業形態と安全指導	842
34・1・2 レーザー加工の将来展望	830	34・4・4 クラス分けの留意点	842
34・2 レーザー加工の基礎	830	34・4・5 高出力レーザーによる材料加工時の 安全設計留意点	843
24・2・1 レーザー加工の原理	830	34・4・6 迷走ビーム対策	844
34・2・2 レーザー加工の特徴	831	34・4・7 保護めがねの選定	844
34・2・3 レーザー加工に影響する諸因子と 加工の種類	832	34・4・8 使用者の教育・訓練	844
34・3 加工用光源と光学系	836	34・4・9 基本的なレーザー安全設計	845
34・3・1 主な加工用光源の種類と特徴	836	34・4・10 その他の保守点検および組立調整作業	845
34・3・2 加工用光学系	838	参考文献	845
34・4 レーザー加工における安全対策	841		
34・4・1 製造業者への要求事項	842		

35章 レーザー産業応用

35・1 概 説	846	35・4・5 電子回路部品のトリミング	875
35・2 鉄鋼産業重工業での応用	846	35・4・6 ウェーハ・電子部品などのマーキング	878
35・2・1 鉄鋼産業への応用	846	35・4・7 回路基板などの穴あけ	882
35・2・2 重工業分野への応用	849	35・4・8 電子材料のレーザー切断	883
35・3 自動車産業での応用	855	35・4・9 電気・電子部品の精密溶接	884
35・3・1 レーザー溶接の応用	856	35・4・10 磁気周辺装置・機構部品への応用	887
35・3・2 レーザー切断・穴あけ加工および マーキング加工の応用	863	35・4・11 光通信用ガラス材料・デバイスへの応用	890
35・3・3 レーザー表面処理の応用	864	35・5 医療機器製造プロセスへの応用	891
35・4 電気・電子・情報産業での応用	865	35・5・1 医療機器と医療機器産業	891
35・4・1 総 説	865	35・5・2 医療機器におけるレーザー加工応用事例	891
35・4・2 半導体のレーザーリソグラフィ	867	参考文献	894
35・4・3 ポリシリコン膜のレーザー結晶化	872		
35・4・4 フォトマスク・LCDなどのリペアリング	873		

36章 化学への応用

36・1 概 説	898	36・1・2 レーザーの化学応用	899
36・1・1 レーザー化学(全般)関係の著作とレビュー	898	36・2 分子の光解離反応	903
		36・2・1 振動励起による赤外多光子解離過程	903

36・2・2	電子励起による直接解離過程	904	36・5・1	共鳴多光子イオン化, 非共鳴多光子イオン化	913
36・2・3	電子励起による前期解離過程	904	36・5・2	イオン化による微量分析	916
36・2・4	光増感エネルギー移動による分子解離	904	36・5・3	高励起有機分子	917
36・3	強光子場の化学	905	36・6	産業界での化学応用の展望	919
36・3・1	強光子場科学の現状	905	36・6・1	分析技術への応用	920
36・3・2	新しい分子科学	906	36・6・2	レーザー樹脂溶着(ポリマー溶接)とポリマー縫製	920
36・4	ポリマーのレーザー光化学	910	36・6・3	表面改質	920
36・4・1	ポリマーのレーザー光化学の基礎	911	36・6・4	マイクロ化学への応用	921
36・4・2	ポリマーのレーザー光化学の応用	912	参考文献	921	
36・5	多光子イオン化	913			

37章 レーザーアブレーション応用

37・1	概説	925	37・4・1	レーザーピーニング	936
37・2	レーザーアブレーションの基礎	926	37・4・2	レーザークリーニング	939
37・2・1	アブレーションのメカニズム	926	37・4・3	微量元素分析	940
37・2・2	放出粒子のダイナミクス	927	37・5	バイオ・医療分野における応用	941
37・2・3	デブリーの発生と抑制	927	37・5・1	医療器具加工	941
37・3	新材料・デバイスの創製	928	37・5・2	バイオ・医療分野におけるレーザー光源	944
37・3・1	機能性薄膜の作製	928	37・6	先端アブレーション加工	944
37・3・2	ナノ微粒子, ナノチューブなどのナノ構造の創製	931	37・6・1	フェムト秒レーザーアブレーション	945
37・3・3	超伝導デバイスの作製	932	37・6・2	F ₂ レーザーアブレーション	945
37・3・4	量子構造デバイスの作製	933	37・6・3	新手法による加工	946
37・3・5	直接描画システム	934	参考文献	948	
37・4	環境・エネルギー分野における応用	936			

目 次

38章 臨床診断

38・1 光診断の基礎と展開……………957	38・4・3 光トポグラフィーの応用と今後の展望……………967
38・2 拡散光トモグラフィー……………957	38・5 光コヒーレンストモグラフィー……………968
38・2・1 生体内光伝搬とそのモデル化……………958	38・5・1 OCTの進展……………968
38・2・2 拡散光トモグラフィーの原理……………958	38・5・2 OCTの原理……………968
38・2・3 ピコ秒時間分解測定法を用いた計測システム……………959	38・5・3 ファイバ干渉計とOCTの基本特性……………969
38・2・4 ピコ秒時間分解データを用いる画像再構成アルゴリズム……………959	38・5・4 臨床診断応用……………970
38・2・5 ピコ秒時間分解データを活用した拡散光トモグラフィーの再構成画像……………959	38・5・5 OCTの技術展開と今後の展望……………971
38・3 近赤外光による酸素モニターと脳機能計測……………962	38・6 蛍光診断……………972
38・3・1 近赤外光を利用した酸素モニター……………962	38・6・1 蛍光診断の原理……………972
38・3・2 近赤外光を利用した脳機能計測……………963	38・6・2 オプティカルバイオプシー……………973
38・3・3 時間分解分光法による酸素モニター……………963	38・6・3 自家蛍光電子内視鏡装置……………974
38・4 光トポグラフィー……………965	38・7 レーザースペックル血流画像化法……………975
38・4・1 光トポグラフィーとは……………965	38・7・1 測定方法……………975
38・4・2 光トポグラフィーの原理……………966	38・7・2 眼底血流測定……………975
	38・7・3 その他の血流分布測定……………976
	参考文献……………978

39章 治療

39・1 光治療の基礎……………981	39・3・2 石英系ガラスファイバ……………988
39・1・1 治療に必要な生体組織物性……………981	39・3・3 非石英系赤外ファイバ……………989
39・1・2 光治療作用の基礎……………982	39・3・4 中空ファイバ……………990
39・2 各種レーザー治療と治療装置……………982	39・4 新しい医療向けレーザー装置……………991
39・2・1 汎用手術用レーザー治療器……………982	39・4・1 ファイバレーザーの特長……………991
39・2・2 特化したレーザー治療器……………984	39・4・2 ホストガラスの特性……………991
39・3 レーザー治療器用伝送路……………987	39・4・3 各種ファイバレーザー……………992
39・3・1 光ファイバの損失要因……………988	参考文献……………992

40章 遺伝子解析

40・1 蛍光分光法を用いた遺伝子解析……………996	40・2・2 DNAハイブリダイゼーション検出……………999
40・1・1 キャピラリ電気泳動……………996	40・2・3 生体物質の相互作用解析……………1000
40・1・2 DNAマイクロアレイ……………997	40・3 ラマン分光法を用いた遺伝子解析……………1000
40・2 表面プラズモン共鳴を利用した遺伝子解析……………998	参考文献……………1001
40・2・1 SPRセンサ……………998	

41章 タンパク質解析

41・1 ラマン分光によるタンパク質の解析	1003	41・3 レーザーマニピュレーションによる タンパク質の操作	1009
41・1・1 共鳴ラマン分光	1003	41・3・1 光ピンセットのセットアップ	1009
41・1・2 紫外共鳴ラマン分光	1003	41・3・2 タンパク質の操作とナノ測定	1010
41・1・3 時間分解共鳴ラマン分光	1004	41・4 MALDI	1011
41・1・4 タンパク質1分子の共鳴ラマン測定	1005	41・4・1 歴史的経緯	1011
41・2 タンパク質の1分子イメージング	1005	41・4・2 MALDIの原理	1011
41・2・1 1分子可視化技術	1006	41・4・3 MALDI測定の方法	1013
41・2・2 生体分子1分子を見てタンパク質の機能を測る	1007	41・4・4 MALDIによるタンパク質分析	1015
41・2・3 タンパク質1分子の構造のイメージング	1007	参考文献	1016

42章 細胞作用

42・1 フローサイトメータ・セルソータ	1018	(LMD)のがん研究への応用	1025
42・1・1 開発の歴史	1018	42・3・3 LCMにより採取された少数細胞の 分子生物学的解析	1026
42・1・2 用途	1018	42・4 レーザー細胞相互作用	1027
42・1・3 原理	1018	42・4・1 細胞分裂・増殖・再生	1027
42・2 セルトラップ	1020	42・4・2 エネルギー代謝とミトコンドリア機能	1027
42・2・1 オンチップ1細胞計測技術：マイクロ 空間を活用したセロミクス計測システム	1021	42・4・3 神経伝達抑制作用	1028
42・2・2 オンチップ1細胞マイクロ培養システム	1022	42・5 レーザー分子不活性化(CALI)法	1029
42・2・3 光トラップが細胞に与える損傷	1023	42・5・1 タンパク質機能の時空間的解析	1029
42・3 レーザーキャプチャマイクロコピー(LCM), レーザーマイクロダイセクション(LMD)	1024	42・5・2 原理と生体適用	1029
42・3・1 LCM, LMDの概要	1025	42・5・3 実験装置と実験手順	1030
42・3・2 レーザーキャプチャマイクロコピー (LCM), レーザーマイクロダイセクション	1025	42・5・4 適用事例	1031
		参考文献	1031

43章 植物栽培

43・1 植物工場	1033	43・3・1 連続光による生育実験	1036
43・1・1 植物工場とは	1033	43・3・2 LED植物工場での栽培例	1038
43・1・2 実際の植物工場	1033	43・4 光合成とパルス照射	1039
43・1・3 必要な情報	1034	43・4・1 光合成反応	1039
43・1・4 栽培光源	1034	43・4・2 パルス照射実験	1040
43・1・5 半導体素子と未来の植物工場	1035	43・4・3 レーザー植物工場との関連	1042
43・2 栽培光源としてのLEDとLD	1035	43・5 花の開花制御	1042
43・3 レタスの生育実験	1036	参考文献	1043

目 次

44章 レーザー核融合

44・1 概 論	1049	高速点火核融合	1059
44・1・1 レーザー爆縮核融合研究の経緯と現状	1049	44・4 レーザー爆縮	1060
44・1・2 今後の展望	1052	44・4・1 爆縮の必要性	1060
44・2 核融合反応とエネルギー生成条件	1052	44・4・2 アブレーション加速	1061
44・2・1 クーロン力と核力	1052	44・4・3 衝撃圧縮と等エントロピー圧縮	1064
44・2・2 異なる種類の核融合反応	1053	44・4・4 圧縮の一様性	1065
44・2・3 アルファ加熱	1053	44・5 点火・燃焼	1067
44・2・4 制動放射損失	1053	44・5・1 核融合点火と燃焼	1067
44・2・5 ローソン条件	1054	44・5・2 高速点火方式	1068
44・3 レーザープラズマ中の吸収とエネルギー輸送	1055	44・6 レーザー核融合炉	1069
44・3・1 伝搬の吸収とエネルギー輸送	1055	44・6・1 レーザー核融合発電プラントの構成	1069
44・3・2 吸収過程と散乱過程	1056	44・6・2 発電プラントに必要な条件	1069
44・3・3 エネルギー輸送	1059	44・6・3 発電プラントの概念	1072
44・3・4 相対論的レーザープラズマ相互作用と		44・6・4 炉チェンバ	1072
		44・6・5 燃料ターゲット	1074
		参考文献	1077

45章 レーザー核融合用高出力レーザー

45・1 概 論	1081	45・3・1 KrF レーザーの特徴	1092
45・2 高出力ガラスレーザー	1082	45・3・2 システムと構成機器	1093
45・2・1 システム構成	1082	45・3・3 実際の高出力 KrF レーザー	1095
45・2・2 多重パス増幅器とセグメントビーム方式	1089	45・4 炉用レーザー	1095
45・2・3 ビーム均一化と集光照射一様性	1090	45・4・1 炉用固体レーザー	1095
45・2・4 超短パルス発振と超高強度レーザー	1092	45・4・2 炉用 KrF レーザー	1099
45・3 高出力 KrF レーザー	1092	参考文献	1101

46章 レーザープラズマ応用

46・1 概 論	1104	46・3 パルス高輝度放射線と核変換	1110
46・1・1 光・量子放射応用	1104	46・3・1 超高強度レーザーと物質との相互作用	1111
46・1・2 高密度プラズマ応用	1105	46・3・2 パルス高輝度放射線応用	1113
46・2 レーザープラズマ X 線	1105	46・4 レーザーによる粒子加速	1116
46・2・1 EUV-XUV 光源	1105	46・4・1 加速器の原理	1116
46・2・2 XUV-X 線源	1107	46・4・2 プラズマと電子加速	1118
46・2・3 EUV リソグラフィ	1108		

46・4・3	高品質電子ビームの生成	1119	46・6	レーザー衝撃波による物質の状態方程式	1122
46・4・4	イオン加速	1120	46・6・1	アブレーション圧力	1122
46・5	高強度場科学への展開	1120	46・6・2	レーザーを用いた衝撃圧縮実験	1123
46・5・1	レーザープラズマ相互作用による高速電子の発生と γ 線生成	1120	46・6・3	高速フライヤー実験	1123
46・5・2	特に制動輻射による γ 線の生成	1121	46・6・4	水素に関連した状態方程式研究	1124
46・5・3	レーザーコンプトンによる γ 線の生成	1121	46・7	長距離エネルギー伝送応用	1125
46・5・4	相対論工学・高強度場科学の創成	1121	46・7・1	レーザー誘雷	1125
			46・7・2	レーザー推進	1128
				参考文献	1132

目 次

付録1. レーザー用語集	1139	付録2. 市販レーザーの波長	1181
--------------------	------	----------------------	------

付録1. のレーザー用語集は、「レーザー研究」第23巻7号から第31巻12号までに掲載された論文の内容の補足説明として書かれた用語を再編集したものである。編集にあたっては、基本的にほぼ同一内容の用語については一つにまとめてあり、さらに本文との整合性をとるために用語などを統一した。

