

1. レーザアブレーション

1.1 レーザアブレーションとは	1
1.2 レーザアブレーションの歴史	4
引用・参考文献	9

2. レーザアブレーションの原理

2.1 レーザと固体の相互作用	11
2.1.1 光吸収と緩和	11
2.1.2 相変化	13
2.1.3 シリコンの短時間温度上昇と過渡的熔融層の生成	14
2.1.4 レーザアブレーション過程	16
2.1.5 レーザアブレーションの問題点	18
2.2 電子的過程による原子放出とレーザアブレーション	19
2.2.1 光子の吸収	19
2.2.2 電子励起エネルギーの局在	20
2.2.3 線形過程と非線形過程	23
2.2.4 非線形電子励起欠陥過程の例	23
2.2.5 電子的欠陥過程とレーザアブレーション	25
2.3 金属のレーザアブレーション	26
2.3.1 はじめに	26
2.3.2 加熱蒸発による中性原子放出	27
2.3.3 内殻電子励起によるイオン放出	30

2.3.4	まとめ	33
2.4	セラミックスのレーザアブレーション	34
2.4.1	セラミックスの分解プロセス	34
2.4.2	プラズマとレーザビームの相互作用	35
2.4.3	エキシマレーザの加工特性	37
2.5	高分子材料のレーザアブレーション	39
2.5.1	光の吸収	39
2.5.2	分解過程	41
2.5.3	エッチング深さ	43
2.5.4	レーザ照射後の表面状態	44
2.5.5	まとめ	47
2.6	生体組織のレーザアブレーション	47
2.6.1	生体組織のレーザアブレーションの特徴	47
2.6.2	生体組織の特性	48
2.6.3	生体アブレーション機構	51
2.7	超短パルスレーザによるレーザアブレーション	54
2.7.1	はじめに	54
2.7.2	超短パルスレーザとチャープパルス増幅	55
2.7.3	多光子過程	57
2.7.4	フェムト秒レーザアブレーション	58
2.7.5	まとめ	61
2.8	レーザアブレーションの数値解析モデル	62
2.8.1	はじめに	62
2.8.2	汎用シミュレーション法の必要性和レーザアブレーション	63
2.8.3	CIP 法	64
2.8.4	固体・液体・気体の同時解法	65
2.8.5	レーザ加工	69
2.8.6	まとめ	71
	引用・参考文献	71

3. レーザアブレーションルーム中の動力学

3.1	レーザアブレーションルームとその診断	76
3.1.1	はじめに	76
3.1.2	ブルームの計測	78
3.2	高密度高温ブルーム中の動力学	80
3.2.1	初期ブルームとレーザ相互作用	80
3.2.2	時間分解レーザプラズマ軟 X 線吸収分光法	81
3.2.3	発生ブルームの初期過程	83
3.3	放出粒子の組成と動力学	89
3.3.1	発光分光法による放出粒子の診断	89
3.3.2	質量分析法による放出粒子の診断	92
3.3.3	放出粒子の飛行速度分布	95
3.4	雰囲気ガス中でのブルームの挙動	98
3.4.1	ブルームの画像診断	98
3.4.2	雰囲気ガス圧力によるブルーム構造の変化	101
3.4.3	ブルームの進展	102
3.4.4	雰囲気ガスとの反応	104
3.4.5	クラスタリング反応と凝縮	105
3.4.6	基板の影響	105
3.5	デブリ付着のメカニズム	107
3.5.1	はじめに	107
3.5.2	デブリ付着現象	107
3.5.3	デブリ付着率に対するパラメータの影響	112
3.5.4	デブリ付着量の低減法	113
	引用・参考文献	115

4. レーザアブレーション実験装置

4.1	エキシマレーザ装置	118
-----	-----------	-----

4.1.1	エキシマレーザの発振原理	118
4.1.2	レーザアブレーション用エキシマレーザ	121
4.2	CO ₂ レーザ装置	124
4.2.1	CO ₂ レーザの特徴	124
4.2.2	CO ₂ レーザ技術の開発	125
4.2.3	レーザアブレーション実験のための CO ₂ レーザ装置	126
4.2.4	CO ₂ レーザ装置システム	127
4.3	YAG レーザ装置	128
4.3.1	YAG レーザの特徴	128
4.3.2	Q-swYAG レーザ装置	129
4.3.3	高調波の YAG レーザ装置	130
4.4	レーザアブレーション加工用各種光学システム	133
4.4.1	集光照射系	134
4.4.2	ビームホモジナイザ	136
4.4.3	アッテネータ	138
4.4.4	加工ステージ, ビーム走査系	138
4.4.5	量産加工用高効率加工光学系	139
	引用・参考文献	141

5. レーザアブレーションによる加工および表面改質

5.1	ポリマーのレーザアブレーション加工	144
5.1.1	はじめに	144
5.1.2	表面微細構造の形成	146
5.1.3	ポリマーの表面処理	150
5.1.4	特異場でのレーザアブレーション	151
5.1.5	まとめ	152
5.2	セラミックスのレーザアブレーション加工	152
5.2.1	セラミックスの加工	152
5.2.2	セラミックス加工品質の向上	154
5.2.3	ガラスの加工	156

5.3	金属のレーザアブレーション加工	159
5.3.1	金属に対するレーザアブレーションの応用	159
5.3.2	金属のレーザアブレーション加工プロセス	160
5.3.3	光-音響変換法によるレーザアブレーションしきい値の測定	161
5.3.4	金属のレーザアブレーション加工の例	165
5.4	複合材料のレーザアブレーション加工	169
5.4.1	はじめに	169
5.4.2	サンプル材料	170
5.4.3	エキシマレーザ発振器と光学系	170
5.4.4	実験結果	171
5.4.5	切断加工の例	176
5.4.6	まとめ	176
5.5	エキシマレーザアブレーション加工の産業応用	177
5.5.1	フレキシブルプリント基板の微細精密穴あけ	177
5.5.2	インクジェットプリンタのノズルの穴あけ	178
5.5.3	微細導線の絶縁被覆層除去 (ワイヤストリップング)	179
5.5.4	その他の産業応用	180
5.6	Qスイッチ固体レーザによる電子部品加工	181
5.6.1	レーザトリマ	181
5.6.2	レーザリペア	184
5.6.3	レーザマーキング	188
5.7	YAG レーザ高調波によるレーザアブレーション加工	191
5.7.1	ポリイミドの加工	192
5.7.2	ソーダガラスの加工	194
5.7.3	ワイヤの絶縁被覆除去加工	195
5.8	レーザ表面クリーニング	196
5.8.1	はじめに	196
5.8.2	レーザクリーニングの照射条件	196
5.8.3	レーザクリーニングの現状	198
5.8.4	レーザクリーニング法の多様性, 将来展望	199
	引用・参考文献	200

6. レーザアブレーションによるナノクラスタ作成

6.1 生成機構 I：フラグメンテーション	206
6.1.1 レーザアブレーションの動的過程	206
6.1.2 レーザアブレーションの統一モデル	207
6.1.3 炭素物質のレーザアブレーションと時間空間分解測定	209
6.1.4 ナノクラスタ生成の前駆状態	213
6.2 生成機構 II：気相成長	215
6.2.1 Si のナノクラスタ成長	215
6.2.2 Si アブレーション粒子のクラスタ化，およびナノクラスタ化の計測	216
6.2.3 たい積ナノクラスタの大きさのガス圧およびガス圧たい積場所依存性	220
6.2.4 ま と め	221
6.3 カーボンナノクラスタ：フラーレン	222
6.3.1 C ₆₀ フラーレンの合成	222
6.3.2 窒素ドーピングフラーレンの合成	225
6.3.3 カーボンナノチューブの合成	225
6.3.4 生成機構	226
6.4 Si ナノクラスタ：可視発光と発光機構	229
6.4.1 はじめに	229
6.4.2 シリコンナノ構造の構築	230
6.4.3 ホトルミネセンス	232
6.4.4 ナノ構造 Si からの高効率可視発光	233
6.4.5 ま と め	236
6.5 ナノクラスタのデバイス応用	237
6.5.1 微粒子・ナノクラスタのデバイス応用技術	237
6.5.2 レーザアブレーションによるナノクラスタのデバイス応用技術	239
6.5.3 今後の課題	243
引用・参考文献	244

7. レーザアブレーションたい積法による薄膜形成

7.1 高温超伝導薄膜の形成	247
7.1.1 はじめに	248
7.1.2 Y 系超伝導薄膜	248
7.1.3 Bi 系超伝導薄膜	250
7.1.4 Tl 系超伝導薄膜	251
7.1.5 Hg 系超伝導薄膜	252
7.1.6 薄膜表面の平滑化技術	252
7.1.7 大面積化技術	253
7.1.8 ま と め	254
7.2 機能性酸化物薄膜の形成	254
7.2.1 はじめに	254
7.2.2 PLD による複合酸化物薄膜作成	255
7.2.3 最適化と膜特性	259
7.2.4 機能特性と応用	262
7.3 酸化物薄膜の作成と原子レベル成長制御	263
7.3.1 はじめに	263
7.3.2 どのようにして原子層を制御するか	264
7.3.3 レーザ MBE 法による酸化物セラミックス薄膜成長の原子層制御	265
7.3.4 原子層制御のための基板表面超平坦化と表面構造解析	267
7.3.5 サファイア(単結晶アルミナ)薄膜の 2 次元エピタキシャル成長	268
7.3.6 Si 基板上への酸化物単結晶薄膜の室温成長	270
7.3.7 酸化物人工超格子の作成と電気特性評価	271
7.3.8 ま と め	273
7.4 機能性有機薄膜の形成	273
7.4.1 はじめに	273
7.4.2 レーザアブレーションによる有機薄膜形成技術	274
7.4.3 F ₂ レーザを用いたフッ化物高分子薄膜形成とその機能化	274
7.4.4 レーザアブレーション法による CuPc 薄膜形成と有機デバイス作製	277
7.4.5 ま と め	282

引用・参考文献283

8. レーザアブレーションの医学応用

8.1 角膜のレーザーアブレーション治療289

8.1.1 ArF エキシマレーザによる角膜形成術289

8.1.2 PRK 装置およびその運用条件290

8.1.3 ArF エキシマレーザによる角膜アブレーション機構292

8.1.4 最近の研究293

8.2 動脈硬化病変のレーザーアブレーション治療294

8.2.1 動脈硬化と虚血性心疾患294

8.2.2 種々の冠状動脈狭窄・閉塞病変の治療295

8.2.3 動脈硬化病変とレーザーアブレーション296

8.2.4 レーザ血管形成術の成績とその問題点299

8.2.5 レーザ血管形成術の今後300

8.3 歯硬組織のレーザーアブレーション301

8.3.1 はじめに302

8.3.2 波長 3 μm におけるレーザーアブレーション効果303

8.3.3 波長 10 μm におけるレーザーアブレーション効果304

8.4 髄核，半月板のレーザーアブレーション治療応用306

8.4.1 はじめに306

8.4.2 髄核のレーザーアブレーション治療307

8.4.3 半月板のレーザーアブレーション治療310

引用・参考文献313

9. レーザアブレーションの新しい応用

9.1 レーザの水中照射による金属材料の応力改善316

9.1.1 レーザによる応力改善の原理316

9.1.2 プルームの観測と圧力評価317

9.1.3 YAG レーザによるステンレス鋼表面の応力改善319

9.1.4 産業分野への応用320

9.2 レーザアブレーションによる放射能汚染の除去320

9.2.1 レーザ除去法の原理と特徴320

9.2.2 レーザ除去法に関する研究例322

9.2.3 レーザ除去法の動向と課題325

9.3 レーザアブレーションによる微小立体加工(レーザー旋盤加工法)325

9.3.1 はじめに325

9.3.2 レーザ旋盤加工法326

9.3.3 加工例327

9.3.4 将来の展望328

9.4 レーザアブレーションによる光学素子加工329

9.4.1 レーザアブレーションの光学素子加工への応用329

9.4.2 加工原理330

9.4.3 加工装置330

9.4.4 プラスチック光学素子331

9.4.5 ガラス・石英光学素子334

9.5 レーザアブレーションを用いた固体表面の分析336

9.5.1 レーザアブレーションの元素分析への応用336

9.5.2 LAAF 分光法による固体表面のサブナノメータ分析338

9.6 SOR によるテフロン加工343

9.6.1 テフロン加工用短波長光源343

9.6.2 SOR による光化学的加工344

引用・参考文献348

10. 内外のレーザーアブレーションに関する研究動向

10.1 国内学会における研究動向351

10.2 国際会議における研究動向355

10.3 ドイツにおけるレーザーアブレーション応用動向360