

目次

1 章 プラズマ生成入門	1
1.1 気体の絶縁破壊	1
1.2 プラズマ発生による電位分布のひずみ	2
1.3 プラズマ生成とアンテナ結合	4
1.4 高周波帯のプラズマ	6
1.4.1 容量結合プラズマ	6
1.4.2 誘導結合プラズマ	7
1.4.3 磁界を利用する高周波帯のプラズマ	8
参考文献	9
2 章 マイクロ波帯のプラズマの発展と特色	11
2.1 マイクロ波プラズマの発展の概要	11
2.2 マイクロ波放電の研究	12
2.2.1 マイクロ波による電子加熱	12
2.2.2 マイクロ波放電の開始機構	14
2.3 ECR プラズマの出現	18
2.4 表面波プラズマの発展	21
2.4.1 円筒状表面波プラズマ	22
2.4.2 平板状表面波プラズマ	26
2.5 マイクロ波帯プラズマの長所・短所	35
参考文献	37

3章 マイクロ波帯のプラズマ生成の考え方 39

3.1 プラズマ中の波の伝搬・吸収	39
3.1.1 無磁場における伝搬と衝突加熱	39
3.1.2 不均一プラズマ中における共鳴吸収	40
3.1.3 磁場中の波と加熱機構	42
3.1.4 表面波とその吸収	46
3.2 粒子バランスとパワーバランス	47
3.2.1 放電の開始	47
3.2.2 プラズマ中の素過程	48
3.2.3 放電の維持	49
3.3 マイクロ波プラズマの生成法と具体例	50
3.3.1 新規プラズマ源の開発	50
3.3.2 円環スロットアンテナを用いた大口径 ECR プラズマの生成と 基板入射イオンエネルギー分布の観測	54
3.3.3 エバネッセント波の利用	58
参考文献	61

4章 プラズマ生成のモデリングとシミュレーション 63

4.1 マイクロ波プラズマのモデリングと解析	63
4.1.1 プラズマ誘電率, カットオフ密度	64
4.1.2 マイクロ波の分散関係	65
4.1.3 定在波モード	70
4.1.4 有限プラズマにおけるマイクロ波の衝突吸収	72
4.1.5 表面波の励起	75
4.1.6 安定性のモデリング	78
4.2 数値シミュレーション	80
4.2.1 FDTD 法および流体コード	80
4.2.2 超粒子モデル	93
参考文献	104

5章 マイクロ波帯プラズマの実際と応用 107

5.1 ECR プラズマとその応用	107
5.1.1 ゲートエッチング	107
5.1.2 絶縁膜コンタクト孔エッチング	111
5.1.3 配線形成のための金属膜/low-k 膜エッチング	112
5.1.4 まとめ	113
5.2 スロット励起プラズマとその応用	114
5.2.1 スロット励起プラズマ源	114
5.2.2 半導体, 液晶プロセスへの応用	118
5.2.3 周期的ひだ構造のあるスロット励起プラズマ	120
5.2.4 まとめ	122
5.3 マルチスロット励起プラズマとその応用	122
5.3.1 マルチスロット励起と共鳴吸収	122
5.3.2 アンテナとマイクロ波伝搬	123
5.3.3 プラズマ生成と波動	125
5.3.4 TE ₁₁ 円偏波給電によるプラズマ生成	127
5.3.5 電界分布計算と考察	129
5.3.6 まとめ	130
5.4 軸対称励起プラズマとその応用	131
5.4.1 軸対称表面波	131
5.4.2 装置構成とプラズマ特性	132
5.4.3 半導体プロセスへの応用	138
5.5 開口アンテナ励起プラズマとその応用	138
5.5.1 概要	138
5.5.2 実験装置および実験方法	139
5.5.3 電子密度の導入窓誘電率依存性	140
5.5.4 マイクロ波強度の軸方向分布	141
5.5.5 電子エネルギー分布関数の導入窓誘電率依存性	142
5.5.6 レジスタアッシング特性	144
5.6 炭素系薄膜 CVD への応用	146
5.6.1 プラズマ CVD 法によって得られる炭素系薄膜	146
5.6.2 結晶性ダイヤモンド薄膜の気相合成法	146

5・6・3	ダイヤモンド合成用マイクロ波プラズマ CVD 装置の実際	149
5・6・4	アモルファスカーボン膜およびその他の炭素系薄膜の作製	153
5・7	シリコン薄膜作製への応用	159
5・7・1	背景	159
5・7・2	シラン (SiH ₄) RF プラズマ CVD	160
5・7・3	シラン (SiH ₄) マイクロ波プラズマ	162
5・7・4	高密度マイクロ波プラズマの a-Si : H, $\mu\text{c-Si} : \text{H}$ 薄膜高速形成への応用	163
5・7・5	$\mu\text{c-Si} : \text{H}$ の膜質および界面物性決定要因	165
5・7・6	今後の課題	169
5・8	細管内壁コーティングへの応用	170
5・8・1	概要	170
5・8・2	低気圧短ギャップでの磁界中マイクロ波放電	171
5・8・3	直交電磁界中マイクロ波放電の理論	171
5・8・4	直交電磁界中マイクロ波放電の実験	175
5・8・5	走査ミラー磁界形同軸 ECR プラズマ源の開発	177
5・8・6	まとめ	180
5・9	高誘電体薄膜スパッタリングへの応用	181
5・9・1	概要	181
5・9・2	実験装置および方法	182
5・9・3	プラズマ特性	183
5・9・4	薄膜の結晶性	184
5・9・5	膜特性に及ぼすミリ波処理効果	186
5・9・6	まとめ	188
5・10	イオン源への応用	188
5・10・1	ECR イオン源とマイクロ波イオン源	188
5・10・2	マイクロ波放電によるプロズマ生成：インピーダンス整合の重要性	189
5・10・3	工業用マイクロ波イオン源	192
5・11	光源への応用	195
5・11・1	マイクロ波放電ランプの形態	195
5・11・2	マイクロ波放電光源の課題	200
5・12	微量元素分析への応用	201

5・12・1	概要	201
5・12・2	分析用プラズマの要件	202
5・12・3	主な大気圧マイクロ波プラズマソース	203
5・12・4	プラズマの特性	205
5・12・5	分析特性	206
5・13	核融合への応用	209
5・13・1	概要	209
5・13・2	局所加熱条件	210
5・13・3	電子サイクロトロン加熱装置システム	211
5・13・4	電子サイクロトロン加熱による局所加熱	216
	参考文献	217

6章 プラズマ生成のためのマイクロ波技術 225

6・1	マイクロ波基礎技術	225
6・1・1	伝送線路	225
6・1・2	同軸線路	233
6・1・3	導波管	237
6・1・4	その他の伝送線路	239
6・2	マイクロ波電源装置および各種素子	240
6・2・1	マイクロ波電源装置	240
6・2・2	整合装置	243
6・2・3	導波管自動整合装置	245
6・2・4	真空用窓	246
6・2・5	モード変換器	247
6・3	マイクロ波の人体への影響と安全対策	248
	参考文献	251

付録 物理定数と単位換算表 252

索引 253