



## 目 次

## 序 文

## 第1章 序論-プラズマの基礎量

§ 1.1 プラズマ研究の歴史 .....	1
§ 1.2 プラズマの定義と種類 .....	3
§ 1.3 プラズマの温度と密度 .....	5
1. 3.1 マクスウェルの速度分布と温度, 密度の定義 .....	5
1. 3.2 陽光柱理論 .....	13
§ 1.4 デバイ長とプラズマ角周波数 .....	18
§ 1.5 イオン鞘と浮動電位 .....	23
1. 5.1 イオン鞘の理論とその具体的計算 .....	25
1. 5.2 浮動電位と浮動電位における鞘厚 .....	33
参考文献 .....	36

## 第2章 プラズマの生成

§ 2.1 序論-電離の方法とプラズマの生成 .....	37
§ 2.2 放電によるプラズマの生成 .....	38
2. 2.1 放電の理論とパッシュエンの法則 .....	38
2. 2.2 グロー放電とアーク放電 .....	42
2. 2.3 定常有極放電プラズマ .....	47
2. 2.4 パルス放電プラズマ .....	58
2. 2.5 高周波放電プラズマ .....	67

iv 目 次

2.2.6 高ガス圧放電プラズマ.....	72
2.2.7 低密度拡散プラズマ.....	77
2.2.8 放電磁化プラズマ.....	85
§ 2.3 熱電離によるプラズマの生成 .....	89
2.3.1 電離平衡におけるサハの式.....	89
2.3.2 接触熱電離プラズマ.....	91
2.3.3 衝撃波プラズマ.....	92
§ 2.4 光電離によるプラズマの生成 .....	97
2.4.1 光電離の理論.....	97
2.4.2 光電離の実験.....	103
2.4.3 レーザ生成プラズマ.....	106
§ 2.5 真 空 技 術 .....	108
2.5.1 真空の定義と真空度の表わしかた.....	108
2.5.2 真 空 装 置.....	109
2.5.3 真空測定法と各種真空計.....	113
2.5.4 実験上の注意と問題点.....	115
§ 2.6 新しいプロセスプラズマの生成 .....	117
2.6.1 ECR プラズマ .....	118
2.6.2 HWP プラズマ .....	119
2.6.3 ICP プラズマ.....	121
参 考 文 献.....	122

### 第3章 プラズマの診断1——プローブ法

§ 3.1 序論-プラズマ診断の意味と診断法の分類 .....	125
§ 3.2 ラングミュアプローブ .....	128
3.2.1 シングルプローブの電流-電圧特性 .....	128
3.2.2 電子温度および電子密度の求めかた.....	132
3.2.3 イオン電流による電子密度の決定.....	137
3.2.4 電子エネルギー分布関数の求めかた.....	140

3.2.5 統一解方式プローブの理論	143
§ 3.3 連続媒質プラズマ中におけるプローブ測定	145
3.3.1 無衝突プラズマと連続媒質プラズマ	145
3.3.2 空間電位における電子電流	147
3.3.3 プローブの電流-電圧特性	148
3.3.4 電子温度および電子密度の求めかた	156
3.3.5 プローブ特性の二次微分係数	161
§ 3.4 ダブルプローブ法	163
3.4.1 ダブルプローブの電流-電圧特性	163
3.4.2 電子温度および電子密度の求めかた	165
3.4.3 連続媒質プラズマ中におけるダブルプローブ	167
3.4.4 フローティングプローブ法の長所と限界	169
§ 3.5 トリプルプローブ法	171
3.5.1 プローブによる“瞬間測定”	171
3.5.2 トリプルプローブ法の測定原理と測定法	172
3.5.3 イオン電流による誤差の検討	179
3.5.4 連続媒質プラズマ中におけるトリプルプローブ法	184
§ 3.6 プローブによるプラズマ空間電位の決定	188
3.6.1 空間電位の必要性とその決めかた	188
3.6.2 RF プローブの特性と適用限界	189
3.6.3 エミッシブプローブによる測定	191
§ 3.7 磁界中におけるプローブ法	193
3.7.1 磁界中プローブの電流-電圧特性	193
3.7.2 電子温度および電子密度の求めかた	194
3.7.3 イオンセンシティブプローブ	195
§ 3.8 反応性プラズマ中におけるプローブ法	195
3.8.1 反応性ガスプラズマのプローブ測定	195
3.8.2 スチレンプラズマ中におけるダブルプローブ特性	196
3.8.3 問題点と解決法	197
§ 3.9 その他のプローブ法	198

3.9.1 流れプラズマ中のプローブ法.....	198
3.9.2 レゾナンスプローブ法.....	200
3.9.3 サンプリングプローブ法.....	201
§ 3.10 プローブ法の実際の使用時における諸問題 .....	203
3.10.1 プローブの材質と構造 .....	203
3.10.2 プラズマ固有抵抗の影響 .....	205
3.10.3 プローブの応答速度と汚れの問題 .....	208
§ 3.11 プロセスプラズマのプローブ計測 .....	209
3.11.1 プロセスプラズマ計測の問題点 .....	209
3.11.2 高周波放電プラズマ中における測定 .....	209
3.11.3 反応性ガスプラズマ中におけるプローブ測定 .....	212
参 考 文 献.....	219

## 第4章 プラズマの診断2——マイクロ波法

§ 4.1 序論-プラズマ中における電磁波の伝播 .....	223
4.1.1 弱電離プラズマの伝播定数.....	223
4.1.2 プラズマの遮断周波数と遮断密度.....	224
§ 4.2 自由空間透過法によるプラズマの測定 .....	225
4.2.1 自由空間法の原理.....	225
4.2.2 電子温度と電子密度の求め方.....	226
§ 4.3 反射法によるプラズマの測定 .....	228
4.3.1 プラズマ境界における電磁波の振舞.....	228
4.3.2 反射法の原理と実際.....	230
§ 4.4 空洞共振器法 .....	233
4.4.1 空洞共振器法の原理.....	233
4.4.2 共振器法の実際とアフタグローの測定.....	234
§ 4.5 その他の測定法 .....	236
参 考 文 献.....	236

## 第5章 プラズマの診断3——光計測法

§ 5.1	光学的方法によるプラズマの測定	237
§ 5.2	干渉法による密度の測定	237
§ 5.3	トムソン散乱による温度の測定	240
§ 5.4	スペクトル線幅によるプラズマの測定	242
5.4.1	ドップラー幅法	242
5.4.2	スタルク幅法	242
§ 5.5	スペクトル線強度比による温度の測定	244
5.5.1	局所的熱平衡モデルによる測定	244
5.5.2	コロナモデルによる測定	245
§ 5.6	吸収法によるプラズマの測定	247
§ 5.7	線反転法によるプラズマ温度の測定	248
§ 5.8	自己吸収法による準安定粒子密度の測定	249
§ 5.9	プロセス用プラズマのラジカル計測	251
	参 考 文 献	254

## 第6章 実用プラズマの諸特性

§ 6.1	プラズマの応用-気体レーザとプラズマプロセッシング	257
§ 6.2	炭酸ガスレーザのための CO <sub>2</sub> 混合ガスプラズマ	258
6.2.1	CO <sub>2</sub> -N <sub>2</sub> -He 混合ガス放電中における負イオンと電子温度	258
6.2.2	CO <sub>2</sub> -N <sub>2</sub> -He 混合ガス放電中における振動温度と小信号利得	261
§ 6.3	PCVD のためのシラン混合ガスプラズマ	266
6.3.1	シラン(SiH <sub>4</sub> )混合ガスプラズマ中の電子温度	266
6.3.2	Ar-SiH <sub>4</sub> 混合ガス放電中のイオンとラジカル種	269
6.3.3	シランガスプラズマの診断	271
	参 考 文 献	276

viii 目 次

索 引.....	277
----------	-----