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　マクスウエ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
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
参 考 文 献 …… 117

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 …… 121
§3.2 ラングミュアプローブ …… 124
3.2.1 シングルプローブの電流-電圧特性 …… 124
3.2.2 電子温度および電子密度の求めかた …… 128
3.2.3 イオン電流による電子密度の決定 …… 133
3.2.4 電子エネルギー分布関数の求めかた …… 136
3.2.5 統一解方式プローブの理論 …… 139
§3.3 連続媒質プラズマ中におけるプローブ測定 …… 141
3.3.1 無衝突プラズマと連続媒質プラズマ …… 141
3.3.2 空間電位における電子電流 …… 143
3.3.3 プローブの電流-電圧特性 …… 144
3.3.4 電子温度および電子密度の求めかた …… 152
3.3.5 プローブ特性の二次微分係数 …… 157
§3.4 ダブルプローブ法 …… 159

3.4.1 ダブルプローブの電流-電圧特性 …… 159
3.4.2 電子温度および電子密度の求めかた …… 161
3.4.3 連続媒質プラズマ中におけるダブルプローブ …… 163
3.4.4 フローティングプローブ法の長所と限界 …… 165
§3.5 トリプルプローブ法 …… 167
3.5.1 プローブによる“瞬間測定” …… 167
3.5.2 トリプルプローブ法の測定原理と測定法 …… 168
3.5.3 イオン電流による誤差の検討 …… 175
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 …… 180
§3.6 プローブによるプラズマ空間電位の決定 …… 184
3.6.1 空間電位の必要性とその決めかた …… 184
3.6.2 RF プローブの特性と適用限界 …… 185
3.6.3 エミッシブプローブによる測定 …… 187
§3.7 磁界中におけるプローブ法 …… 189
3.7.1 磁界中プローブの電流-電圧特性 …… 189
3.7.2 電子温度および電子密度の求めかた …… 190
3.7.3 イオンセンシティブプローブ …… 191
§3.8 反応性プラズマ中におけるプローブ法 …… 191
3.8.1 反応性ガスプラズマのプローブ測定 …… 191
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 …… 192
3.8.3 問題点と解決法 …… 193
§3.9 その他のプローブ法 …… 194
3.9.1 流れプラズマ中のプローブ法 …… 194
3.9.2 レゾナンスプローブ法 …… 196
3.9.3 サンプリングプローブ法 …… 197
§3.10 プローブ法の実際の使用時における諸問題 …… 199
3.10.1 プローブの材質と構造 …… 199
3.10.2 プラズマ固有抵抗の影響 …… 201
3.10.3 プローブの応答速度と汚れの問題 …… 204
参 考 文 献 …… 205

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 ……209
4.1.1 弱電離プラズマの伝播定数 ……209
4.1.2 プラズマの遮断周波数と遮断密度 ……210
§4.2 自由空間透過法によるプラズマの測定 ……211
4.2.1 自由空間法の原理 ……211
4.2.2 電子温度と電子密度の求めかた ……212
§4.3 反射法によるプラズマの測定 ……214
4.3.1 プラズマ境界における電磁波の振舞 ……214
4.3.2 反射法の原理と実際 ……216
§4.4 空胴共振器法 ……219
4.4.1 空胴共振器法の原理 ……219
4.4.2 共振器法の実際とアフタグローの測定 ……220
§4.5 その他の測定法 ……222
参 考 文 献 ……223

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 ……223
§5.2 干渉法による密度の測定 ……223
§5.3 トムソン散乱による温度の測定 ……226
§5.4 スペクトル線幅によるプラズマの測定 ……228
5.4.1 ドップラー幅法 ……228
5.4.2 スタルク幅法 ……228
§5.5 スペクトル線強度比による温度の測定 ……230
5.5.1 局所的熱平衡モデルによる測定 ……230
5.5.2 コロナモデルによる測定 ……231
§5.6 吸収法によるプラズマの測定 ……233

§5.7 線反転法によるプラズマ温度の測定 ……234
§5.8 自己吸収法による準安定粒子密度の測定 ……235
参 考 文 献 ……237

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 ……239
§6.2 炭酸ガスレーザのための CO_2 混合ガスプラズマ ……240
6.2.1 CO_2-N_2-He 混合ガス放電中における負イオンと電子温度 ……240
6.2.2 CO_2-N_2-He 混合ガス放電中における振動温度と小信号利得 ……243
§6.3 PCVD のためのシラン混合ガスプラズマ ……248
6.3.1 シラン(SiH_4)混合ガスプラズマ中の電子温度 ……248
6.3.2 Ar-SiH_4 混合ガス放電中のイオンとラジカル種 ……251
6.3.3 シランガスプラズマの診断 ……253
参 考 文 献 ……258

索 引 ……i～v