



# 目 次

## 1. プラズマとは

1.1 物質の第4の状態：プラズマ	1
1.2 プラズマの性質	4

## 2. プラズマ生成の原理

2.1 放電現象とプラズマ生成	12
2.1.1 放電現象の基礎	12
2.1.2 低気圧プラズマ	21
2.1.3 高気圧プラズマ	25
2.1.4 熱電離プラズマ	30
2.1.5 光・レーザによるプラズマ生成	34
2.1.6 合成プラズマと接触電離プラズマ	40
2.2 素過程と断面積	43
2.2.1 素過程概説	43
2.2.2 断面積と速度係数	47
2.3 モデリングとシミュレーション	54
2.3.1 粒子シミュレーション	55
2.3.2 位相流体シミュレーション	58
2.3.3 流体シミュレーション	59
2.3.4 拡散形輸送方程式	60
引用・参考文献	61

## 3. プラズマ生成のための要素技術

3.1 真空技術	65
3.1.1 真空排気系	66
3.1.2 真空度測定	69
3.1.3 分析計と脱ガス処理	70
3.1.4 リーク探し	72
3.2 ガスの取扱い技術	73
3.2.1 ガス供給系	73
3.2.2 有毒・危険ガスの取扱い	76
3.3 放電電源技術	79
3.3.1 各種放電電源	79
3.3.2 高電圧電源	81
3.3.3 電流・電圧測定	83
3.4 磁界技術	84
3.4.1 磁界系の設計	85
3.4.2 磁力線	87
3.4.3 導体中の電流密度と冷却	88
3.4.4 磁界コイル用電源	88
3.4.5 電磁力	89
3.4.6 磁界計測	89
3.5 高周波技術	90
3.5.1 高周波電源	90
3.5.2 伝送系	91
3.5.3 結合系	92
3.5.4 高周波電力測定	95
3.6 高出力レーザー技術	96
3.6.1 各種レーザーシステム	96
3.6.2 レーザ光学系	98
3.6.3 レーザ光計測	100

3.6.4 超短パルスレーザ .....	101
引用・参考文献 .....	103

## 4. プラズマ診断

4.1 プラズマの諸物理量とその測定法 .....	105
4.1.1 はじめに .....	105
4.1.2 プラズマを記述する基礎量 .....	105
4.1.3 プラズマ基礎量の代表的な測定法 .....	107
4.2 ラングミュアプローブ法 .....	109
4.2.1 ラングミュアプローブ法の原理 .....	109
4.2.2 各種プローブによる電子温度、密度、空間電位測定 .....	112
4.3 磁気プローブおよび高周波プローブ .....	115
4.3.1 磁気プローブによるプラズマ中/周辺の磁界測定 .....	115
4.3.2 高周波プローブによるプラズマ中の電磁界測定 .....	118
4.4 粒子計測法 .....	119
4.4.1 プラズマ中の粒子の検出による密度、エネルギーの計測 .....	120
4.4.2 ビームプローブによる密度、温度計測 .....	128
4.5 分光法 .....	131
4.5.1 プラズマからの発光 .....	131
4.5.2 分光器と光学系 .....	137
4.5.3 分光法によるプラズマパラメータの決定 .....	146
4.5.4 吸収分光法 .....	150
4.5.5 先進的分光法 .....	151
4.6 レーザを用いた分光法 .....	153
4.6.1 レーザ誘起蛍光法による粒子密度、粒子速度分布、電界の測定 .....	154
4.6.2 レーザ吸収分光法による粒子密度測定 .....	161
4.6.3 レーザ散乱法による測定 .....	164
4.7 干渉法および反射法 .....	169
4.7.1 マイクロ波干渉法による電子密度測定 .....	169

4.7.2	マイクロ波反射法による電子密度計測	172
4.7.3	レーザ干渉法/偏光法による電子密度測定	174
4.7.4	シュリーレン法およびシャドウグラフ法による電子密度測定	176
	引用・参考文献	177

## 5. 材料プロセス用プラズマ

5.1	低温プラズマ (非平衡プラズマ)	184
5.1.1	低温プラズマプロセスの概要	184
5.1.2	低温プラズマの生成・制御法	195
5.1.3	容量結合形高周波プラズマ	198
5.1.4	誘導結合形高周波プラズマ	204
5.1.5	表面波プラズマ	209
5.1.6	マグネトロン形プラズマ	215
5.1.7	ローハイブリッド波およびヘリコン波によるプラズマ生成	220
5.1.8	ECR プラズマ	228
5.1.9	NLD (磁気中性線放電) プラズマ	238
5.1.10	TPD プラズマ	241
5.1.11	MPD アークジェット	245
5.1.12	大気圧グロープラズマ	247
5.2	熱プラズマ (熱平衡プラズマ)	251
5.2.1	熱プラズマプロセッシング	251
5.2.2	直流プラズマトーチ	264
5.2.3	高周波プラズマトーチ	269
5.2.4	マイクロ波プラズマトーチ	272
	引用・参考文献	276

## 6. エネルギー・環境工学へのプラズマ応用

6.1	光源・ディスプレイへの応用	288
6.1.1	照明	288

6.1.2	気体レーザー	291
6.1.3	プラズマディスプレイ	299
6.1.4	紫外光源, 真空紫外光源	302
6.1.5	X線源	304
6.2	粒子ビーム源への応用	306
6.2.1	イオン源	306
6.2.2	中性粒子ビーム	309
6.2.3	粒子加速器	313
6.3	推進機への応用	318
6.3.1	プラズマ推進機の必要性と種類	318
6.3.2	推進機の性能と比推力比較	320
6.3.3	代表的電気推進機の原理	321
6.3.4	核融合推進機	325
6.4	同位体分離への応用	327
6.4.1	遠心分離	328
6.4.2	RFによる同位体分離	330
6.4.3	レーザー同位体分離	333
6.5	核融合への応用	337
6.5.1	プラズマ閉じ込めと核融合	337
6.5.2	超高温プラズマ(磁場核融合)	344
6.5.3	超高エネルギー密度プラズマ(慣性核融合)	367
6.6	環境工学への応用	374
6.6.1	オゾン生成	374
6.6.2	燃焼排ガス処理	377
6.6.3	揮発性有機物処理	382
6.6.4	産業廃棄物処理	397
6.6.5	電気集塵	404
	引用・参考文献	410

## 7. 新しい物理領域のプラズマ

7.1 強結合プラズマ .....	418
7.1.1 プラズマのパラメータ .....	418
7.1.2 強結合プラズマの条件 .....	419
7.1.3 強結合プラズマの特性 .....	423
7.1.4 クーロン結晶と固体・液体の相転移 .....	425
7.1.5 強結合プラズマの文献 .....	426
7.2 ダストプラズマ .....	426
7.2.1 ダストの帯電 .....	427
7.2.2 ダストに働く力 .....	429
7.2.3 実験室系におけるダストプラズマの発生 .....	429
7.2.4 ダストプラズマ中の波動 .....	432
7.3 非中性プラズマ .....	433
7.3.1 非中性プラズマの特徴 .....	433
7.3.2 平衡方程式 .....	435
7.3.3 力の釣合いと密度限界 .....	436
7.3.4 電位分布 .....	437
7.3.5 プラズマの生成と計測 .....	439
7.4 反物質プラズマ .....	440
7.4.1 陽電子プラズマの生成 .....	441
7.4.2 反陽子プラズマ生成とその利用 .....	442
引用・参考文献 .....	443
付 録 .....	446
索 引 .....	449

