

目 次

イオン源のプラズマ物理とビーム生成

1	はじめに	12-1
2	プラズマとは	12-2
2.1	身の回りのプラズマ	12-3
2.2	物質の三態	12-3
2.3	イオンと電子	12-4
3	プラズマの生成方法	12-5
3.1	プラズマ温度とエネルギー分布関数	12-5
3.2	電離による正イオン・電子生成	12-7
3.2.1	反応断面積	12-7
3.2.2	平均自由行程と衝突周波数	12-8
3.2.3	反応レート	12-9
3.3	プラズマ生成・消滅過程とレート方程式	12-10
4	プラズマの基本的な挙動	12-11
4.1	プラズマの形成とDebye遮蔽	12-11
4.2	クーロン衝突	12-13
4.3	プラズマ振動	12-14
4.4	シースポテンシャルの形成	12-15
5	磁場中のプラズマ輸送過程	12-18
5.1	サイクロトロン運動	12-18
5.2	磁場中のドリフト	12-19
5.2.1	$E \times B$ ドリフト	12-19
5.2.2	$\text{grad}B$ ドリフト	12-20
6	イオン源の分類	12-22
6.1	イオンの種類	12-23
6.2	プラズマの閉じ込め方式	12-23
6.2.1	ミラー磁場	12-24
6.2.2	マルチカusp磁場	12-26
6.3	プラズマの放電形式	12-27
6.4	アーク放電型イオン源	12-28
6.4.1	熱電子放出	12-28
6.4.2	電界電子放出	12-29
6.4.3	フィラメント放電型イオン源	12-31
6.4.4	PIGイオン源	12-32
6.4.5	マグネトロン	12-33
6.4.6	デュオプラズマトロン	12-33
6.5	高周波放電型イオン源	12-34
6.5.1	表皮効果	12-34
6.5.2	ECRイオン源	12-36
6.5.3	容量結合型RFイオン源	12-37
6.5.4	誘導結合型RFイオン源	12-37

7	負イオン源	12-40
7.1	負イオンとは	12-40
7.2	負イオン源の物理	12-41
7.2.1	負イオンの体積生成	12-41
7.2.2	負イオンの表面生成	12-43
7.2.3	磁気フィルター	12-45
8	イオンビーム引出し	12-47
8.1	パービアンズとChild-Langmuir則	12-47
8.2	メニスカスの形状	12-49
9	J-PARCのイオン源	12-50
10	さらなるイオン源性能向上のために	12-54
10.1	イオン源プラズマの数値シミュレーション研究	12-54
10.1.1	振動励起準位に対する0次元準定常レート方程式	12-54
10.1.2	電子エネルギー分布関数(EEDF)の計算モデル	12-56
10.1.3	電子の軌道計算	12-57
10.1.4	衝突過程を含めたプラズマ輸送の有次元モデル	12-58
10.2	プラズマの3次元Monte-Carloシミュレーション	12-59
10.2.1	フィラメントイオン源内の3次元電子輸送計算	12-59
10.2.2	J-PARCイオン源内のプラズマ輸送・電磁場計算	12-61
11	おわりに	12-64