

永久磁石を用いた高出力マイクロ波放電型イオン源の開発

(環境計測) 黒 裕二

1 はじめに

当研究室では、分子イオンの解離性電離反応や解離性電子捕獲反応を調べている。解離性電離反応や解離性電子捕獲反応の反応確率は分子イオンの振動状態に依存すると考えられるため、分子イオンを振動基底状態に冷却するための静電型イオントラップの開発を進めている。

現在、当研究室にあるトラップに入射するイオンを生成するために用いられる Nier 型イオン源でのイオンビーム電流量は 50 nA 程度である。トラップに入射するイオンの量を増やし、実験効率を上げるためこのイオン源の 100 倍以上の高出力、かつ小型のイオン源の開発を目的とし、マイクロ波放電型イオン源の設計、製作をした。

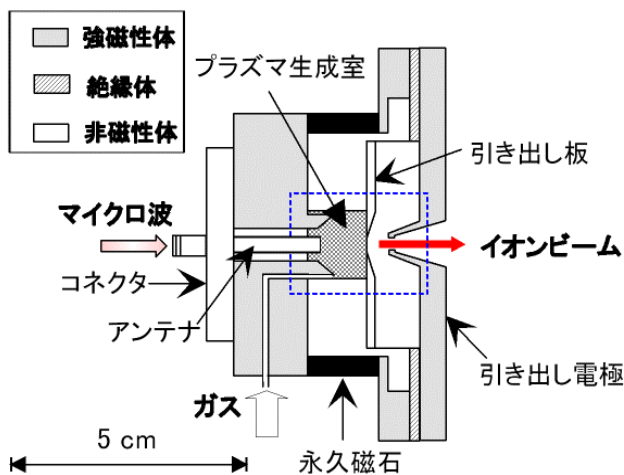


図1 マイクロ波放電型イオン源

2 原理及び設計

2.1 マイクロ波放電型イオン源

マイクロ波によって加速された電子が原子と衝突することで、原子は電離しイオンになる。これを引き出すことでイオンビームを生成する。

マイクロ波放電型イオン源の特徴は電子の供給の際、フィラメントが不要となることである。このためイオン源の連続運転時間が長くなり、またフィラメントを燃やす原因となる酸素のような活性ガスの使用が可能となる。

2.2 開発したイオン源の特徴

図1に今回製作したマイクロ波放電型イオン源の基本構造を示す。

マグネトロンで発生した 2.45 GHz のマイクロ波は、導波管、同軸ケーブル、コネクタ、アンテナへと伝送され、イオン源内のプラズマ生成室に供給される。このプラズマ生成室を覆うように設計したドーナツ型の永久磁石を配置することにより、プラズマ生成室内にビーム軸方向の磁場を生成する。電子はその磁力線に沿ってサイクロトロン運動をするためプラズマ生成室の壁面への衝突を防ぐことができ、電子密度が上がる。これにより、高密度のイオンが生成される。このイオンを引き出し板と引き出し電極との電位差により引き出すことで、イオンビームを生成する。

イオン源を小型にするため、磁場の生成には永久磁石を用いた。その結果、内径 55 mm の 2 inch ダクトに取り付けることができる大きさまで小型化した。永久磁石は同じ大きさの磁場を作るのにソレノイドコイルより小型で済み、また磁場を作るための電力が不要であることも永久磁石を用いる利点と言える。

さらに、プラズマ生成室内に生成する磁場を引き出し電極まで延長するために、非磁性体と強磁性体を組み合わせて用いている。引き出し電極まで磁場を通すことにより、電子と同様にイオンも磁力線に沿って運動するため、イオンを効率よく引き出すことができるからである。そこで、イオン源のメンテナンスのための取り外しが容易になるように永久磁石の表面磁場は 0.1 T にし、プラズマ生成室から引き出し電極にかけてできるだけ大きな磁場を生成することを条件とし、シミュレーションを行い材質と形状を決定した。ガス導入部と引き出し電極の材質に強磁性体の SUS430 を、ベースフランジと引き出し板には非磁性体の SUS304 を採用した。その時のシミュレーション結果を図 2 に示す。図 2 は図 1 の点線で囲んだ部分を拡大したものであり、この図から磁力線が①ガス導入部から③引き出し板の開口部を通過し、④引き出し電極まで伸びていることがわかる。

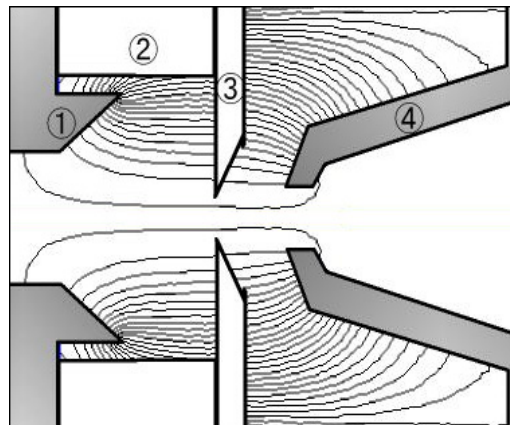


図 2 磁場のシミュレーション結果

- ①ガス導入部 ②ベースフランジ
- ③引き出し板 ④引き出し電極

図 2 は図 1 の点線で囲んだ部分を拡大したものであり、この図から磁力線が①ガス導入部から③引き出し板の開口部を通過し、④引き出し電極まで伸びていることがわかる。

3 イオン源の性能評価および結果

製作したイオン源で Ar イオンを生成し、引き出されるイオン電流量を測定した。今回製作したイオン源の写真を図 3 に示す。イオン源から引き出された発散ビームを収束させるアインツェルレンズを取り付け、このアインツェルレンズの出口にイオンビーム電流量を測定するファラデーカップを配置した。

測定の結果、入射マイクロ波電力 150 W、引き出し電圧 1200 V、レンズ電圧 1130 V、バックグラウンド真空度 4.6×10^{-6} Torr、動作時真空度 3.0×10^{-5} Torr の条件において $7.0 \mu\text{A}$ の電流を得た。これは、当研究室にある Nier 型イオン源で生成した 1.2 keV の Ar イオンビーム電流量の 100 倍以上であり、目的を十分に達成した。

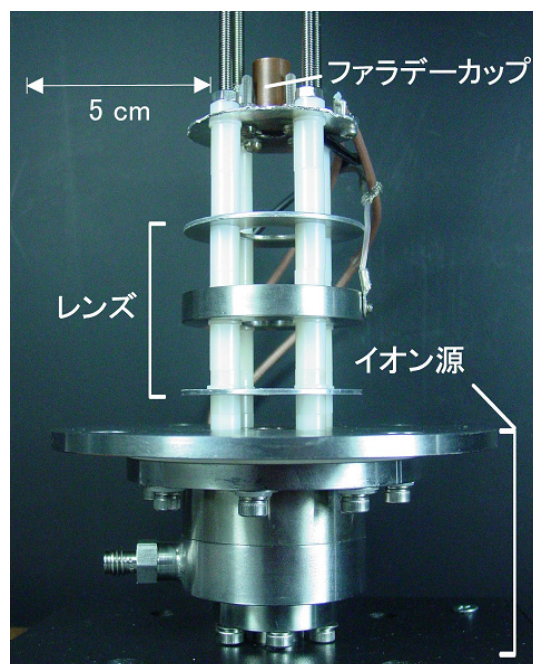


図 3 イオン源