

ブラウン管電子銃を用いたイオン源の製作

(環境計測学) 西岡 涼

1. はじめに

本研究室においてビーム実験で使用するイオン源は電子衝撃型の Nier 型と呼ばれるイオン源である。Nier 型イオン源はイオン生成室にガスを導入し、フィラメントから熱放出された電子を加速後、衝突させることでイオンを生成する。生成されたイオンは引出電極とイオン生成室の間の電位差でイオンビームとして引き出される。本研究室では希ガス多価イオンを用いたビーム実験を予定しているが、現状のフィラメントでは電子エネルギーが低く、高くするとフィラメントとイオン生成室との間で放電が生じるという問題がある。そこでイオン生成室と独立した外部に置くことでイオン生成室と絶縁でき、外部から電子ビームとしてイオン生成室に入射できる電子銃を電子源に用いることを考えた。本研究ではその予備実験としてブラウン管電子銃を用いてイオン源の製作を行った。

2. 装置概要

このブラウン管電子銃は G1、G2、G3、G4、G5 電極、陰極部そしてフィラメントで構成されており G1、G2、G3~G5 電極はそれぞれ加速、引出、レンズ電極である。電子銃とイオン源との間に電気的な絶縁をするために絶縁体であるフランジに電子銃を取り付け、それを十字のダクトでイオン生成室と直角に配置した。そのときの G5 電極とイオン生成室との間の距離は 38 mm であった。製作したイオン源全体の概略図を図 1 に示す。ブラウン

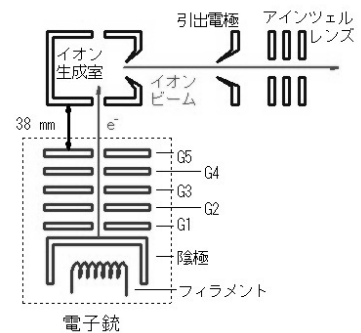


図 1 装置概略図

管電子銃はフィラメントによって温められた陰極金属からの熱電子を加速後、レンズによって集束ビームを作る。その集束された電子ビームはイオン生成室の入射窓を通過し、イオン生成室内部に導入されたガスと衝突し、イオンを生成する。この場合、イオン生成室内のイオンの生成量は、イオン生成室内のガス密度が一定であれば、イオン生成室に入射する電子量に比例する。はじめに述べたように、生成されたイオンは引出電極とイオン生成室の間の電位差でイオンビームとして引き出される。引き出されるイオンビーム量は生成されるイオンの数に比例する。

3. 実験

電子ビームがイオン生成室の長方形($1 \times 3 \text{ mm}^2$)の窓に入射するよう、電子銃のビーム軸と窓の中心を手動で合わせる必要がある。ここではじめに、ブラウン管用電子銃の電子ビームを G5 電極からイオン生成室までの距離である 38 mm の位置に集束できるかどうかの実験を行った。次に、電子ビームをイオン生成室の窓に入射できるように電子銃のビーム軸をイオン生成室の窓に

合わせられるかどうかの確認をする実験を行い、そのときのイオン生成室に入射する電子ビーム電流量の測定も行った。

まず、電子銃の G5 電極から 38 mm の位置に電子ビームを集束できるかどうかの実験を行った。電子ビーム径を測定するために自作した蛍光板を用いた。結果は電子ビーム径 0.6 mm で、電子銃の G5 電極から 38 mm の位置に集束させることができた。この時の電子銃の動作時実験値は加速電圧 (G1 電極、陰極) -2 kV、レンズ電圧 (G4 電極) -2.1 kV、引出電圧 (G2 電極) 40 V であった。G3、G5 電極はグラウンドに繋いだ。この時フィラメントにはこのブラウン管電子銃の規定最大値 75 mA の電流を流した。これで電子ビームを電子銃の G5 電極から 38 mm の位置で集束でき、イオン生成室の $1 \times 3 \text{ mm}^2$ の窓に入射できることが分かった。この時の電子ビーム電流量は 0.2 nA であった。

次に、電子銃のビーム軸をイオン生成室の窓に合わせられるかどうかの確認をする実験を行った。電子ビームがイオン生成室の内部を通過して外部に出たところに金属板を設置し、イオン生成室本体とその金属板に流れる電流値を測定した。電子銃の動作時実験値はフィラメント電流 75 mA、加速電圧 4 kV、レンズ電圧 4 kV、引出電圧 40 V に設定し、G3、G5 電極はグラウンドに繋いだ。この時の電子ビーム電流量は 0.8 nA であった。また、ビーム径は 0.8 mm であった。この実験値で実験を行ったところ、イオン生成室本体に電流は流れず、金属板だけに 0.8 nA の電流が流れた。これは電子ビームがイオン生成室本体に衝突せず、イオン生成室に入射していることを示している。よって電子銃のビーム軸とイオン生成室の窓の位置を合わせることができた。

4. 性能評価

電子ビームがイオン生成室に入射できる位置に電子銃を設置できたことが分かったので、イオン生成室にガスを導入し、1.2 keV のイオンビームを生成する実験を行った。ガスはアルゴンガスを使用し、検出器はセラトロンを用いて、イオンの数をカウンタで測定した。動作時真空度は 3.8×10^{-6} Torr で、ガスを流したときの真空度は 2.0×10^{-5} Torr であった。最大イオンビーム電流量になるよう、イオン源の動作時実験値をレンズ電圧 1090 V に設定し、電子銃の動作時実験値はフィラメント電流 75 mA、加速エネルギー 2.7 keV、レンズ電圧 4 kV、引出電圧 40 V に設定した。このときイオンの最大カウント数は 1.0×10^5 個/s だったので最大イオンビーム電流量は 0.02 pA であることが分かった。

セラトロンを接続しているダクトに 1.5 mm のスリットを入れてイオンビームをさらに絞り、分析磁石を用いて質量分析を行った。結果を図 2 に示す。m/q が 40、20、18 のピークはそれぞれ Ar^+ 、 Ar^{2+} 、 H_2O^+ である。また Ar^+ の質量数より高いところのピークは散乱によるものであると考えられる。 Ar^+ と Ar^{2+} のピークはそれぞれ 2438 と 167 で、エネルギーが 2.7 keV の電子による Ar^+ と Ar^{2+} の電離断面積の比 15:1 と誤差の範囲で一致している。

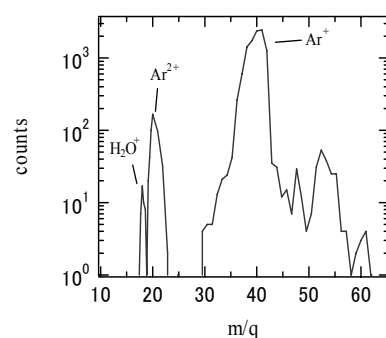


図2 イオンビーム質量分析