

永久磁石を用いた残留ガスモニターの製作

(環境計測) 西村荒雄

1. はじめに

原子、分子衝突実験を行う際に残留ガスの組成を把握するのは、イオンが残留ガスと衝突して励起や振動を起こす原因となり、実験結果に影響を及ぼす可能性があることから、重要である。また、漏れ調べや真空の質の維持、管理を行う上でも重要である。

残留ガス分析計には色々なタイプがあるが、代表的なものに磁場偏向型、四重極型、飛行時間型がある。この中で、磁場偏向型は原理と構造が単純で、残留ガス分析以外にも真空槽の漏れ調べのための、ヘリウム（以下、He）リークディテクターにも使われている。本研究では古い He リークディテクターを改造して残留ガスモニターを製作した。

2. 原理

He リークディテクターは、He ガスを真空槽の外壁に吹き付け、真空槽内に流入する He の量を見ることで漏れを調べる装置である。Fig. 1 の概略図のように、He リークディテクターはまず、フィラメントで発生させた電子でガスをイオン化し

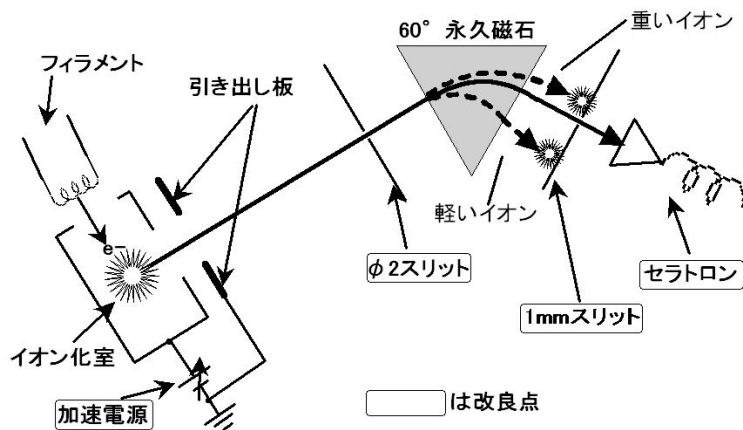


Fig. 1 He リークディテクター概略図

加速し、60° 永久磁石で質量分析を行う。このとき、重いイオンは曲がりきれず、逆に軽いイオンは曲がりすぎてディテクター一部に到達できなくなる。そうしてディテクター部に到達したイオンを電極で受け止め、ビーム電流量を電流計で計測する仕組みとなっている。

3. 改良点

He リークディテクターは元々、真空槽内の He の増減のみを計測する構造であるために、He の分析に特化していた。そのため、加速電圧と磁石の磁場は共に固定である上、He⁺のピークの周辺には他のガスのピークが現れないという理由から、分解能よりも感度を優先している。したがって、He リークディテクターを残留ガスモニターに転用するに当たり、まず次の 2 点を改良した。i) 電源をイオン化室に取り付けて、加速電圧を変化させることで He⁺以外のイオンも分析できるようにした。ii) Fig. 1 に示したように、質量分解能向上のため、イオン源側に φ2 スリット、ディテクター側に 1 mm スリットを取り付けた。

改良の結果、ビーム電流量を計測しながら質量分析を試みたが、スリットを取り付けたことで

ビーム電流量が微小となり、1 nA レンジの電流計でも計測不可能となった。そこで、入射したイオンがはじき出す電子を増倍することにより入射イオンを1個ずつ測定できる、セラトロンを取り付けた。

4. 性能評価実験

製作した残留ガスモニターを用いて真空槽内の残留ガスと、He ガスを加えたときの質量分析を行った。測定は、フィラメント電流 2.7 A、二次電子加速電圧 2.7 kV、残留真空度 2.4×10^{-6} Torr、He ガスを加えたときの動作時真空度 5.3×10^{-6} Torr で行った。結果を Fig. 2 に示す。Fig. 2 は、縦軸が入射カウント数、横軸がイオンの電荷 q と質量 m の比 q/m で表したものである。

この He リークディテクターに使用されていた 60° 永久磁石の中心磁場強度は 1,120 G であった。計算上、 He^+ のピークは加速電圧が 60 V 付近に現れるはずであるが、実際は 227 V 付近で現れた。このずれは 60° 永久磁石のフリンジング磁場に原因があることを、SIMION7.0 でイオンの軌道シミュレーションを行い、確認した。これはフリンジングによって磁場の有効長が長なり、理想的な軌跡より長い間磁場の影響を受けることから、ディテクターに入射するにはより高い加速電圧を必要とすることを示しており、測定結果と合致する。

He^+ のピークを見ると、そのピークの横にもう一つ Fig. 2 で星印(☆)を付けたようなピークが見られる。これと同様なピークは He 以外のガスを加えたときでも、それぞれのピークに隣接して加速電圧を高くした側に現れる。これはイオン源側に取り付けてある $\phi 2$ スリットによって生じた散乱ビームのピークであり、散乱したことでエネルギーを失った結果、加速電圧の高い側にピークが現れたものと考えられる。

Fig. 2 からそれぞれのピークの半値幅 Δm を求め、今回の測定条件での質量分解能 $m/\Delta m$ を見積もると、 CO_2^+ :5.8、 N_2^+ :5.2、 H_2O^+ :8.9、 He^+ :17.5 であった。これより、 He^+ に隣接するピークは分離できているが、 H_2O^+ よりも重いイオンのピークは分離できていない。また、本来磁場偏向型では一定な値であるはずの $m/\Delta m$ が、一定でないのは、前述したフリンジング磁場と、散乱によりイオンが角度を持って磁石に入射することによる影響と思われる。

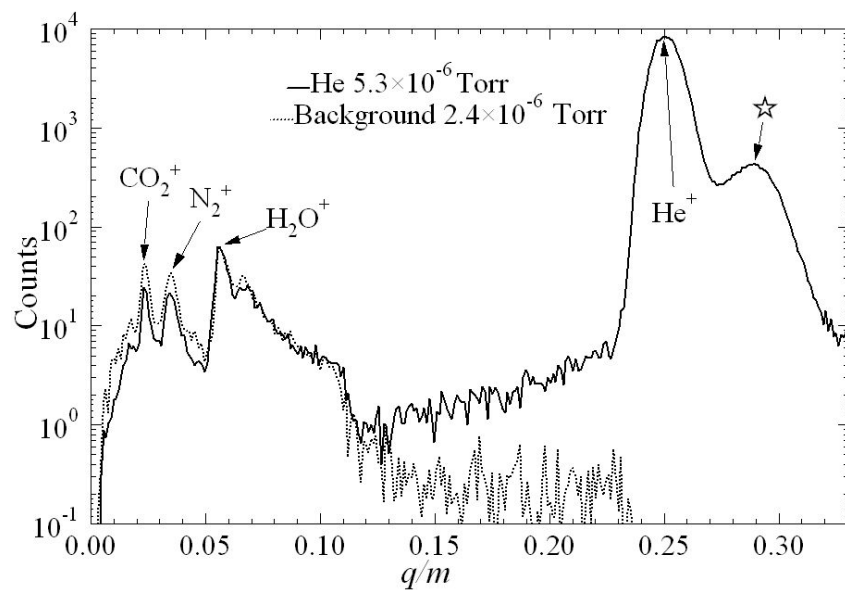


Fig. 2 残留ガス及びHe ガススペクトル