

希ガス中性粒子に対するマイクロチャンネルプレートの絶対検出効率測定

(環境計測) 高橋 直也

1. はじめに

本研究室では、核融合炉の設計に関わる研究として、加速金属イオンの電荷移行衝突を調べるための装置を開発し、その反応断面積を調べる研究を行っている¹⁾。この研究では、金属イオンと電荷移行衝突により中性化した金属イオンを、マイクロチャンネルプレート(MCP)検出器を用いて測定する。その際、中性粒子に対するMCPの検出効率に対する知見は不可欠である。一般に検出効率は、加速イオンをMCPとファラデーカップで同時に測定し、ファラデーカップで測定された電流量を用いて補正することで求められる。しかし、中性粒子の電流量は測定が難しいため、現状では中性粒子に対するMCPの検出効率に関するデータはほとんど存在しない。

そこで本研究室では、中性粒子に対するMCPの検出効率の測定法を開発してきた²⁾。本研究の目的は実験装置、測定法の完成と、その開発した装置を用いて、 Ar^0 、 Ne^0 、 Kr^0 に対する絶対検出効率を決定することである。

2. 実験

2.1 MCP

MCPは、ガラスキャピラリ(チャンネル)を多数束ねた構造をしており、それぞれのチャンネルは二次電子増倍管を形成している。そのため、イオンビーム照射による損傷、検出面の汚れによって、検出効率に変化することが報告されている³⁾。そこで本研究では、十年以上使用してきたMCPを新しくきれいな検出面のMCPに交換した。用いたMCPは開口率50%である。開口率とはMCP検出面全面積に対する全チャンネルの開口面積合計の割合である。

2.2 測定

本研究では、keVエネルギーの加速イオンを原子標的に衝突させ、電荷移行反応で中性化した加速イオンと、イオン化した原子標的を同時に測定することで中性粒子に対するMCPの検出効率を求める。詳細は参考文献2)に述べられている。図1に実験装置の概略図を示す。入射イオン X^+ を標的ガスYと衝突させ、1電子移行反応 $X^+ + Y \rightarrow X^0 + Y^+$ を起こす。中性化された入射イオン X^0 はMCP1で検出される。MCP1には入射位置を判別できるW&Sアノード付きMCPを用いた。これにより、デфлекターで偏向された入射イオン X^+ と電荷移行で生じた中性粒子 X^0 を区別することができる。イオン化された標的ガス Y^+ はリペラーと引き出し電極間の電場 E_s 、引き出し電極とフライトチューブ間の電場 E_d によって加速され、MCP2で検出される。MCP2では入

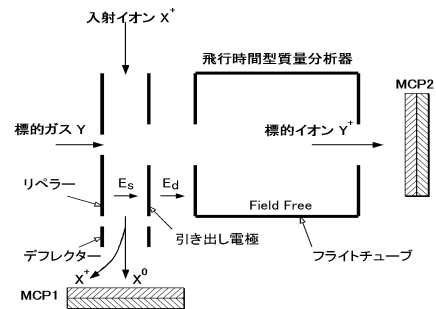


図 1. 実験装置概略図

射イオン X^0 はMCP1で検出される。MCP1には入射位置を判別できるW&Sアノード付きMCPを用いた。これにより、デфлекターで偏向された入射イオン X^+ と電荷移行で生じた中性粒子 X^0 を区別することができる。イオン化された標的ガス Y^+ はリペラーと引き出し電極間の電場 E_s 、引き出し電極とフライトチューブ間の電場 E_d によって加速され、MCP2で検出される。MCP2では入

射イオンが MCP1 に到達した時間をスタートとして、標的イオン Y⁺が MCP2 に到達するまでの飛行時間を測定することで、中性粒子 X⁰ とコインシデンスした標的イオン Y⁺が測定できる。

中性粒子 X⁰ に対する MCP1 の絶対検出効率を D、MCP2 で検出される全標的イオン数を N_R、飛行時間の測定により得られたコインシデンス数を N_T とすると、MCP1 による中性粒子 X⁰ の検出効率は以下のようにして求めることができる。

$$D = N_T / N_R \quad (1)$$

3. 結果

初めに、昨年の試験データの確認をするため、Ar⁰、Ar⁺の検出効率を測定した。結果を図 2 (a) に示す。横軸は入射エネルギー、縦軸は検出効率である。得られた Ar⁰ の検出効率を●、Ar⁺を■で示す。比較のため、昨年の Ar⁰ のデータを○、Ar⁺を□で示す²⁾。測定誤差は 5% 以下である。Ar⁺については誤差の範囲で一致していることがわかる。さらに、今回の測定による Ar⁰ も Ar⁺ の検出効率のエネルギー依存性とほぼ一致している。昨年の Ar⁰ は 2 keV 付近まで加速エネルギーとともに増加しているが、2 keV 付近から緩やかに減少し、本測定と異なっていることがわかる。

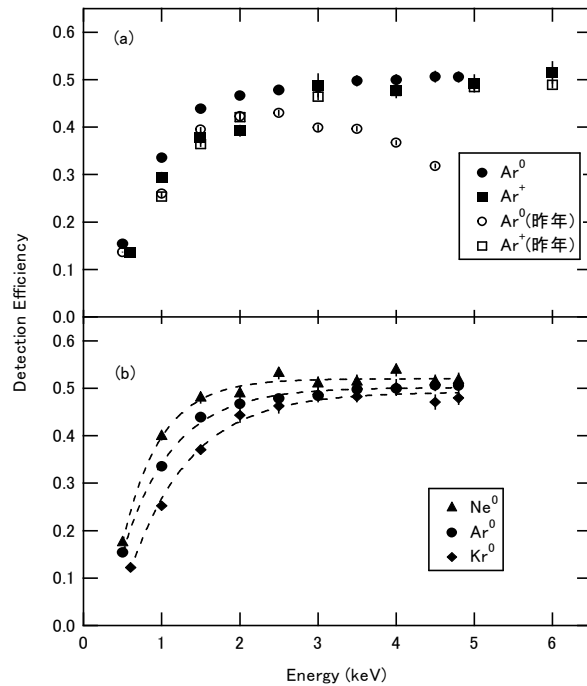


図 2. 検出効率のエネルギー依存

次に Ne⁰、Kr⁰ に対する検出効率の測定を行った。Ar⁰ とともに結果を図 2 (b) に示す。Ar⁰ を●、Ne⁰ を▲、Kr⁰ を◆で示す。測定誤差は 5% 以下である。3 keV 付近まではそれぞれの検出効率はエネルギーとともに一様に増加していく傾向にあり、3 keV 付近からは一定となる。

一般に、低速域(数 100eV~数 10keV)でのイオンに対する検出効率は、エネルギーとともに増加し、開口率程度で一定となることが知られている³⁾。今回の実験から得られたいずれのデータも、絶対検出効率の一定値は指数関数でフィッティングして 51% 程度で、MCP の開口率 50% とほぼ一致している。さらに、2 keV 付近までのそれぞれの検出効率を各エネルギーについて比較すると Ne⁰、Ar⁰、Kr⁰ と質量数が大きくなるごとに検出効率が下がっていることがわかる。

参考文献

- 1) 黒裕二, 低速タングステンイオン-気体衝突における電荷移行断面積に関する研究, 京都府立大学修士論文, (2008)
- 2) 細川俊介, 中性粒子に対するマイクロチャンネルプレート of 検出効率測定, 京都府立大学卒業論文, (2009)
- 3) (株)浜松フォトニクス編, 技術資料 MCP アッセンブリ, (2007)