

低速小型多価イオンビーム装置の開発 イオンビーム偏向器、及びビームプロファイルモニター

(環境計測) 太田哲朗

1. はじめに

本研究室では、低速小型多価イオンビーム装置を開発している。イオンビーム装置はイオン源から質量・電荷分析器(ウィーンフィルター)まで開発済みであり、現在、2 原子分子イオンの解離現象を調べるため、イオントラップの開発を行っている。イオントラップは、一定時間電場内でイオンビームを往復運動させ、空間内に閉じ込める装置である。イオンビームのトラップ効率は入射ビーム位置や角度に強く依存する。そのため入射位置を精度よく制御できるイオンビーム偏向器が必要である。また、イオンビームの制御を行うためにはそのビーム位置や形状を知らなくてはならない。ビームを効率よくイオントラップに入れるためにビーム位置や形状の測定は不可欠であり、トラップされた後のビームの形状を知ることによってトラップ内のビーム軌道の評価ができることと期待される。現状ではトラップ内のビーム軌道を知るにはシミュレートで推測する以外の方法はない。これらを踏まえて本研究ではイオンビーム偏向器、ビームプロファイルモニターを開発した。

2. イオンビーム偏向器

ビーム軌道が変化する理由の一つとして、ウィーンフィルターのフリンジングの効果が挙げられる。ウィーンフィルターは直行する電場と磁場を用いて特定の電荷・質量比のイオンのみを直進させる。しかし、電場と磁場のフリンジングの効果により、クーロン力とローレンツ力が完全には相殺せず、ビーム軌道を偏らせる。使用しているウィーンフィルターは小型であり、フリンジング効果が相対的に大きく寄与する。低速のビームであればこの影響は大きい。これらのことからイオンビーム偏向器が必要となってくる。

図 1 に示すように、開発したイオンビーム偏向器には静電型を用いた。イオンビーム偏向器は 2 組の同じサイズの平行電極板からなる。2 組の平行電極板に同じ大きさで逆向きの電場をかけることによりビームは図に示すように平行移動する。

イオントラップに効率よくビームを入れるためには、垂直、水平方向で数mm程度の平行移動距離が必要となる。装置のサイズをできる限り小型にするために電極板のサイズを 30 mm の正方形、平行電極板間を 20 mm、平行電極板からもう一つの平行電極板距離までの距離を 20 mm にした。この設計で電極板間の電位差を 100 V にすれば 4 mm 程度の移動距離を得ることができる。

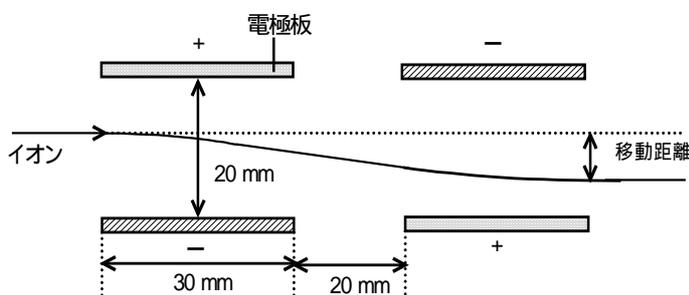


図 1 偏向器によるビームの軌道

3. ビームプロファイルモニター

検出器は大きく分けて MicroChannel Plate(MCP)とアノードから構成されている。

MCP は内壁を抵抗体とした非常に細いガラスパイプを多数束ねた 2 次元構造をしている。このガラスパイプはチャンネルと呼ばれ、チャンネルに入った粒子の衝突により内壁から出た 2 次電子は MCP の両端にかけられた電圧により生じた電場により加速される。再び壁にぶつかり、さらに 2 次電子を放出する。この過程を幾度となく繰り返すことにより出力側に多数の二次電子が放出される。1 枚の MCP では電子の利得は、MCP の両端にかけられた電圧にも依存するが、約 10^4 であり、開発した検出器では MCP を 3 段重ねで、利得を約 10^8 とした。粒子が最初の MCP のチャンネルに入り 2 次電子が増倍される。2 枚目の MCP のチャンネルには 2 次電子はある程度の広がりを持って入る。3 枚目の MCP を通過した後、2 次電子は電子雲としてアノードに到達する。使用した MCP は直径 50 mm、厚さ 1 mm である。

アノードは図 2 に示すような形をした電荷分割形であり、3 つの電極から成る。V 字形の電極(Wedge)は Y 方向に幅が狭まっていき、受け取られる電荷は Y 軸方向に比例して減少する。また、帯形の電極(Strip)は X 方向に幅が広がっていき、Strip で受け取られる電荷は X 軸方向に比例して増加する。アノ

ードに至る電子雲の広がり方が3つの電極を十分に覆う大きさであれば、電子雲の中心座標は図2に示す式で表すことができる。以上のようなことからこのアノードはWedge & Strip anodeと呼ばれている。アノードのサイズは直径48mmである。

イオンビームがMCPのチャンネルの外壁にあたっても2次電子が放出される。このように放出された2次電子が隣り合う別のチャンネルに逆戻りすることで位置分解能が悪くなる。この現象を防ぐために2次電子を吸収する電極(Electron Absorber)をMCPの前に設置した。Electron Absorberはアルミニウム製で内径44mm、厚さ1mmである。この電極に1枚目のMCPに比べ30V高い電圧を与え、放出された電子を吸収した。

Q_W : Wedgeにより集められた電荷

Q_S : Stripにより集められた電荷

Q_M : Middleにより集められた電荷

紙面に対して水平方向をX軸、奥行きをY軸とする。

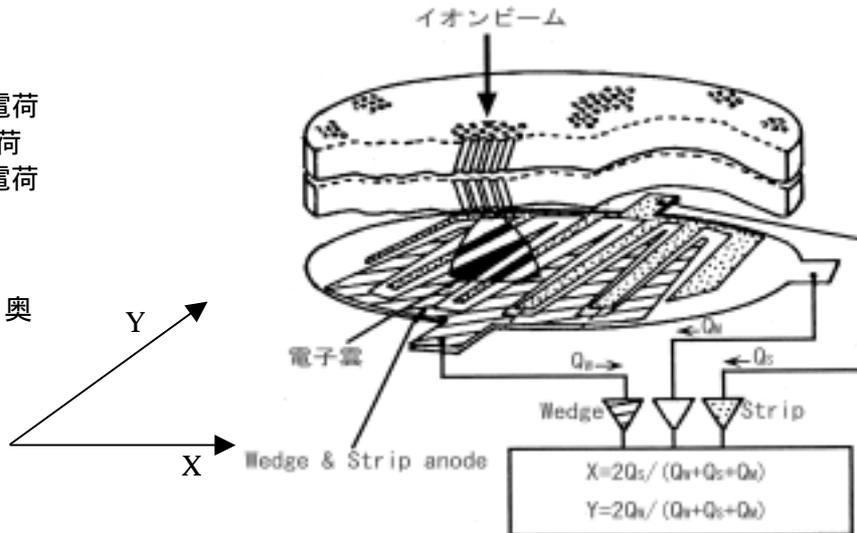


図2 検出器の概念図

4. 性能テスト、及び実験

アノードからの Q_W 、 Q_S 、 Q_M の3つの信号は増幅され、パルス整形されAnalog-Digital Converter(ADC)に送られる。その後、コンピュータにリストモードで保存される。

プロファイルモニターの性能を評価するために Electron Absorber に銅メッシュのシート(メッシュ幅0.42mm、16 mesh/inch)をおき、ビーム径約1mmのAr⁺ビームを垂直、水平方向に振り、メッシュの形をモニタリングした。結果を図3に示す。色が濃い点ほどビーム量の多いことを表している。垂直、水平方向ともよい線形性を示している。このテスト結果から位置分解能は0.2mmより小さいことがわかった。

上記のテスト結果に基づき、イオントラップ試験用のAr⁺ビームの形状を測定した。電圧1.2kVで加速したAr⁺ビームをウィーンフィルターで選択した後、矩形スリットで整形した。図4は垂直、水平方向に対してビーム量を高さにとった図である。図に示すように垂直方向に広がったビームに見える。また、ビーム量の最も多い点が2つに分裂していることがわかる。ビームサイズは垂直方向で約1.4mm、水平方向で約0.6mmであった。

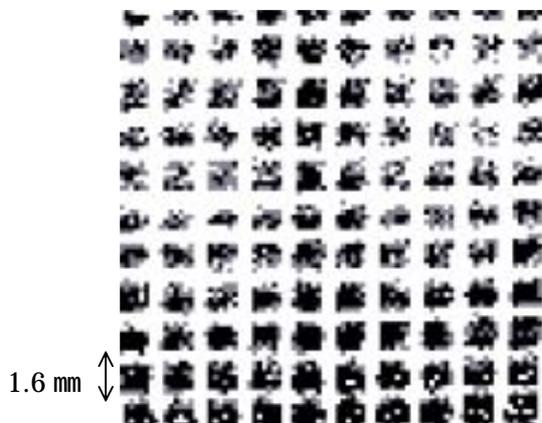


図3 メッシュの像

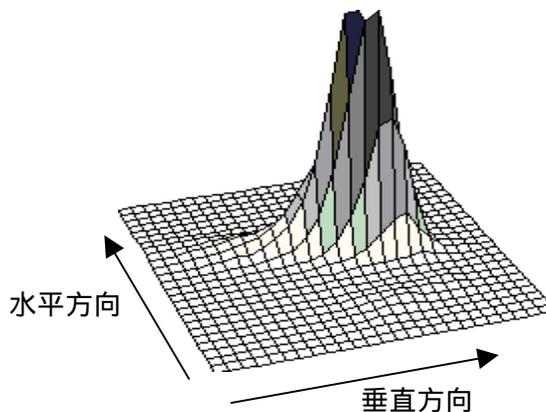


図4 Ar⁺ビームの形状