

加速レンズを用いた静電型イオントラップの性能向上

(環境計測) 中山 卓士

1. はじめに

本研究室では、静電型イオントラップの開発に取り組んできた。トラップには、イオンビームが安定して蓄積軌道を周回するように、ビームの発散を抑えるためのアインツェルレンズが用いられている¹⁾。正イオンを対象とするトラップのアインツェルレンズには、正電圧によって減速レンズとして動作する場合と、負電圧によって加速レンズとして動作する場合がある。本研究室では、減速レンズのほうが加速レンズよりも低い電圧で動作させることができるので、減速レンズを用いたトラップを設計、開発、動作させてきた。

本研究では、蓄積するイオン数を増加させるために加速アインツェルレンズを設計し動作させた。減速レンズと加速レンズを用いた場合のイオンの蓄積数の測定値を、シミュレーション結果と比較し性能を評価した。

2. 加速レンズの概要

トラップは、図 1 に示すように E1 の反射電極、E2 のアインツェルレンズ電極で構成されている。入射されたイオンは、反射電極によって作られたポテンシャルの壁の間を往復運動することによってトラップに蓄積される。 V_M は反射電極、 V_L はアインツェルレンズの印加電圧を示す。

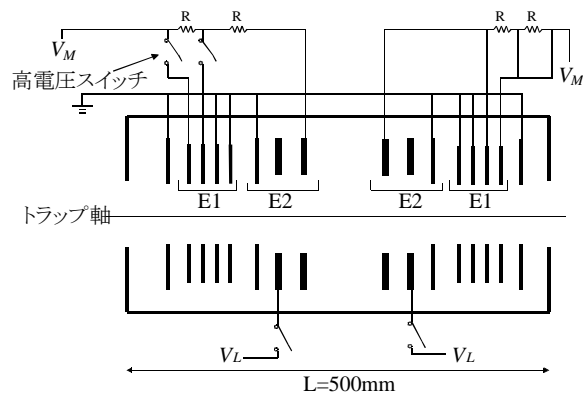


図 1. イオントラップ概要

アインツェルレンズを加速レンズとして用いるために以下の 2 点を検討した。この検討には SIMION Ver8.0 という電場内でのイオン軌道シミュレーションを行うソフトウェアを用いた。

2.1 アインツェルレンズの焦点距離と V_L

本実験室のイオントラップの場合、イオンが安定して蓄積するためのアインツェルレンズの焦点距離 f の条件は、1.2 keV の一荷イオンに対して $35(\text{mm}) \leq f \leq 45(\text{mm})$ である¹⁾。この焦点距離を満たす加速レンズ電圧を SIMION によって求めた。イオンをトラップ軸からの距離-1 mm ~ 1 mm の範囲を等間隔にトラップ軸に平行に 21 発連続で発射し、その収束点とレンズからの距離を f とした。その結果、上記の焦点距離を満たす電圧範囲は $-5300(\text{V}) \leq V_L \leq -4100(\text{V})$ であった。加速レンズの V_L が高圧電源と高電圧スイッチの耐圧を満たしているので加速レンズの製作を行った。

2.2 イオンビームの入射位置及び入射角度に対する蓄積数の依存

減速レンズと加速レンズでイオンの蓄積に対する入射条件の違いを調べるために、イオンをト

ラップの中心(L=250 mm)から、トラップ軸との距離 r (mm)、入射角度 θ (mrad)をそれぞれ変えながら発射し、50 ms 以上生き残ったイオンを蓄積イオンとした。図 2 は $V_L=1130$ V(減速レンズ)及び $V_L=-4700$ V(加速レンズ)に対する、イオンが蓄積される $r-\theta$ の範囲のシミュレーション結果である。図 2 より、加速レンズのほうが減速レンズよりも、蓄積できる r, θ の範囲が広がることがわかった。これは、加速レンズを用いることで、蓄積のためのイオン入射軌道条件の範囲が広がり、イオンの蓄積数の増加が見込めるといえることである。

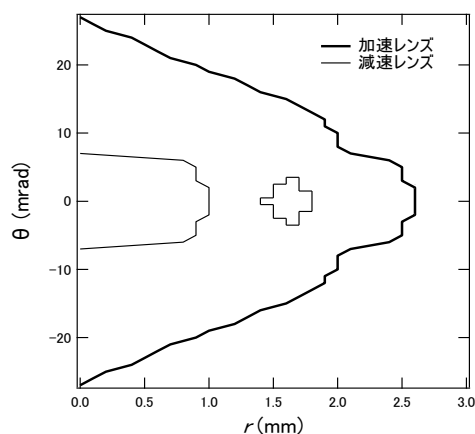


図 2. $r-\theta$ 関係図

3. 実験結果

イオンビーム蓄積実験ではトラップ出口から逃れてきた中性粒子を Micro Channel Plate により、計数率の時間変化として測定している。中性粒子数はトラップ内のイオン個数に比例しているため、中性粒子数の減少率を測定することで間接的にイオントラップ内のイオン個数を計測する。

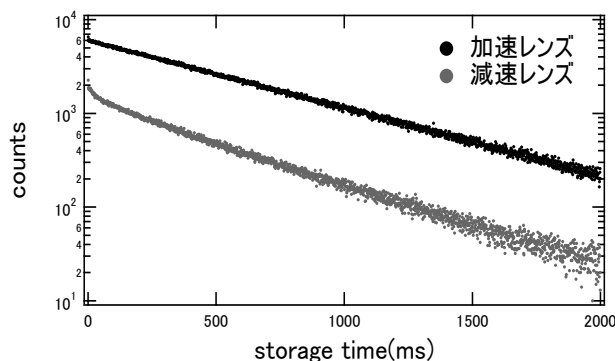


図 3. 蓄積数の比較

図 3 は加速レンズ($V_L=-4300$ V)及び減速レンズ($V_L=1130$ V)を用いた場合の実験結果である。横軸は蓄積時間(ms)、縦軸はその時間における蓄積数を対数で表わしている。図から明らかなように、イオンの蓄積数は減速レンズに比べて加速レンズのほうが増加していることがわかる。蓄積数は時間ごとに積分して足しあげることによって求められ、全蓄積数の比は 2.6 倍であった。

次に、蓄積数比を図 2 のシミュレーション結果より見積もる。実際にトラップ内に入射するビームは、トラップの入り口にある 4ϕ のホールスリットにより成形され、トラップの中心では 5.5ϕ まで発散される。図 2 はトラップの中心から発射したイオンについてのシミュレーションであるため、ここでは入射したビームを $4\phi \sim 5.5\phi$ のような平行ビームと仮定する。一方、図 2 より蓄積可能なビームの半径 r の範囲は $r \leq 2.6$ mm である。よって、 $4\phi \sim 5.2\phi$ のビームの断面積比を蓄積数比と見積もると、2.1 倍 \sim 3.5 倍の比となり、シミュレーション値は実験値と近い結果となった。

以上より、加速レンズを用いることで、蓄積可能なイオンの入射軌道条件の角度と位置の範囲が広がり、イオンの蓄積数の増加が得られた。

参考文献

- 1) 横田敦, 静電型イオントラップ内のイオンビーム蓄積とイオンビーム軌道に関する研究, 京都府立大学修士論文, (2005)