

# 小型イオン源用ビームラインの製作

大谷研究室 原田 祐一郎

〔背景・目的〕

多価イオンとは複数の電子が剥ぎ取られた高電離イオンのことであり、他の粒子に比べ反応性に富む。多価イオンはイオン化エネルギーの総和である膨大なポテンシャルエネルギーを有し、固体表面に近づくと微小時間(<10fs)に電子を奪いつつ表面上の微小な領域(<10nm)にポテンシャルエネルギーを与え、その結果として固体表面の構造をナノオーダーで変化させる。

我々の研究グループでは、Tokyo-EBIT (Electron Beam Ion Trap) と呼ばれる大型イオン源を用いて、生成された多価イオンを用いて固体表面相互作用や分光などの様々な研究を行ってきた。しかし、Tokyo-EBITは高度に電離された重元素多価イオンを用いた研究用に設計されているため、1keV以下の電子ビームでの低価数の多価イオンの生成には適さず、運転も不安定である。

そこで近年、より小型で簡便な EBIT が製作され、中程度の価数を持った多価イオンの分光研究が効率的に行われている。中程度の価数の多価イオンによる固体表面相互の研究も求められているが、小型 EBIT にはビームラインが存在しないため分光研究以外は行われていないのが現状である。そこで小型 EBIT でも固体表面相互作用などの研究を行うためのビームラインを立ち上げることを目的とし、ビームラインのシミュレーションおよび設計を行った。

## Specifications

e-beam energy

100 – 2500 eV

e-beam current

20 mA (max)

Magnetic field

0.2 T (max)

Temperature

77 K (High-Tc SCM)

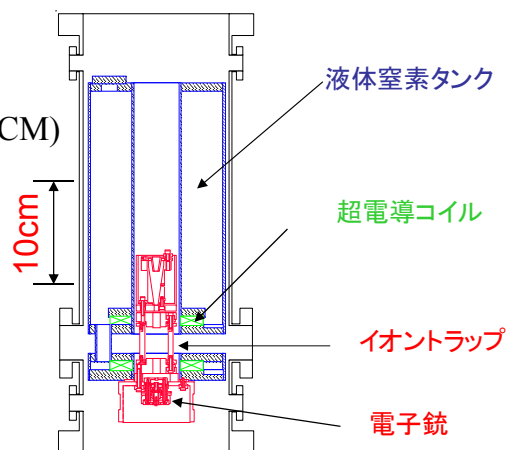
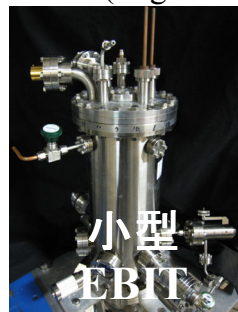
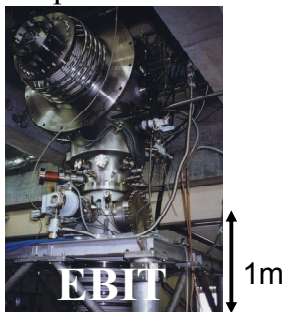


図 1 EBIT と小型 EBIT および小型 EBIT の性能

## 〔原理〕

### イオントラップ

EBIT は、大きく分けて電子銃(e-gun)、ドリフトチューブ(DT)、電子コレクター(e-collector)の3つからなる。DT1とDT3にDT2よりも少し高い電位をかけることにより、下図のようにビーム軸方向に井戸型ポテンシャルを形成する。次に、DTの周りには超伝導コイルが配置されており、その超伝導コイルによりその中心を通る電子ビームが圧縮される。その圧縮された電子ビームによってビームの径方向に空間電荷が生じる。この空間電荷と電場によって形成されるビーム軸方向の井戸型ポテンシャルでイオンをトラップし、トラップ内のイオンを電子ビームにより逐次電離し多価イオンを生成する。

### ビームライン設計

ビームラインにはイオンビームを集束するための静電レンズと様々な価数を持ったイオンを分ける分析磁石が必要である。静電レンズはレンズの通過前後でエネルギーの変わらない等電位空間をもつアインツェルレンズを用いる。アインツェルレンズは、3つの円筒電極で構成されており、中心の電極を高電位にし、両端をグランド電位にすることで、レンズ通過前後のエネルギー変化をなくしている。

また EBIT からのイオンビームには様々な価数を持った多価イオンが混在しているので、価数選別し実験を行うために分析磁石を用いる。

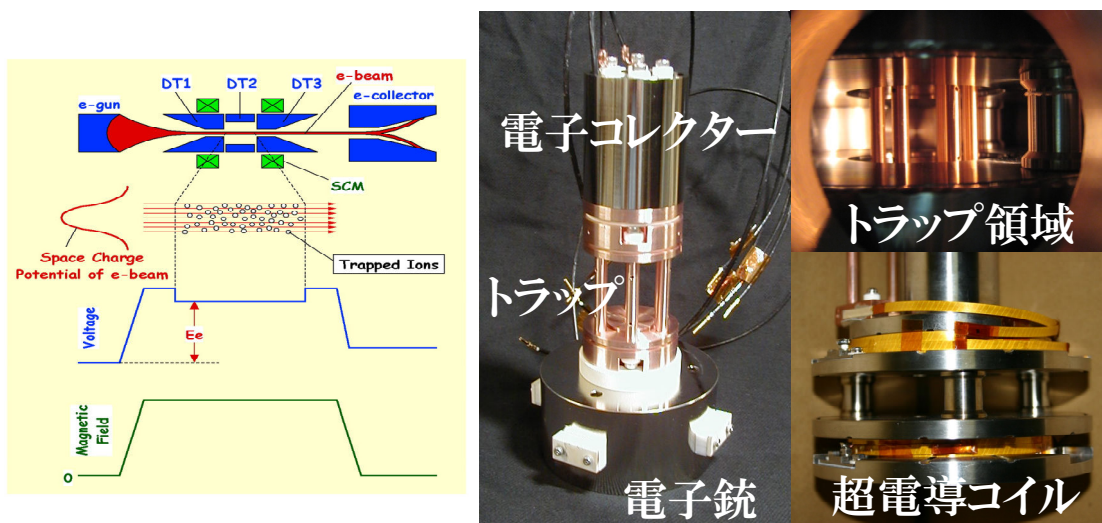


図2 EBIT原理図

## 〔シミュレーション〕

Tricompt および SIMON という市販のソフトを用いて小型 EBIT からもれ出るイオンの軌道を計算した。その後ビームの焦点を DT から 650mm 前後となるようにレンズの位置と印加電圧を変化させシミュレーションを行った。結果としてレンズの位置を DT から 470mm に置くと最適となることがわかった。

次に、より大きな収束効果を与えるためレンズを2枚置き、シミュレーションを行った。この場合は印加電圧を 220V とすると最大の効果が得られることがわかった。

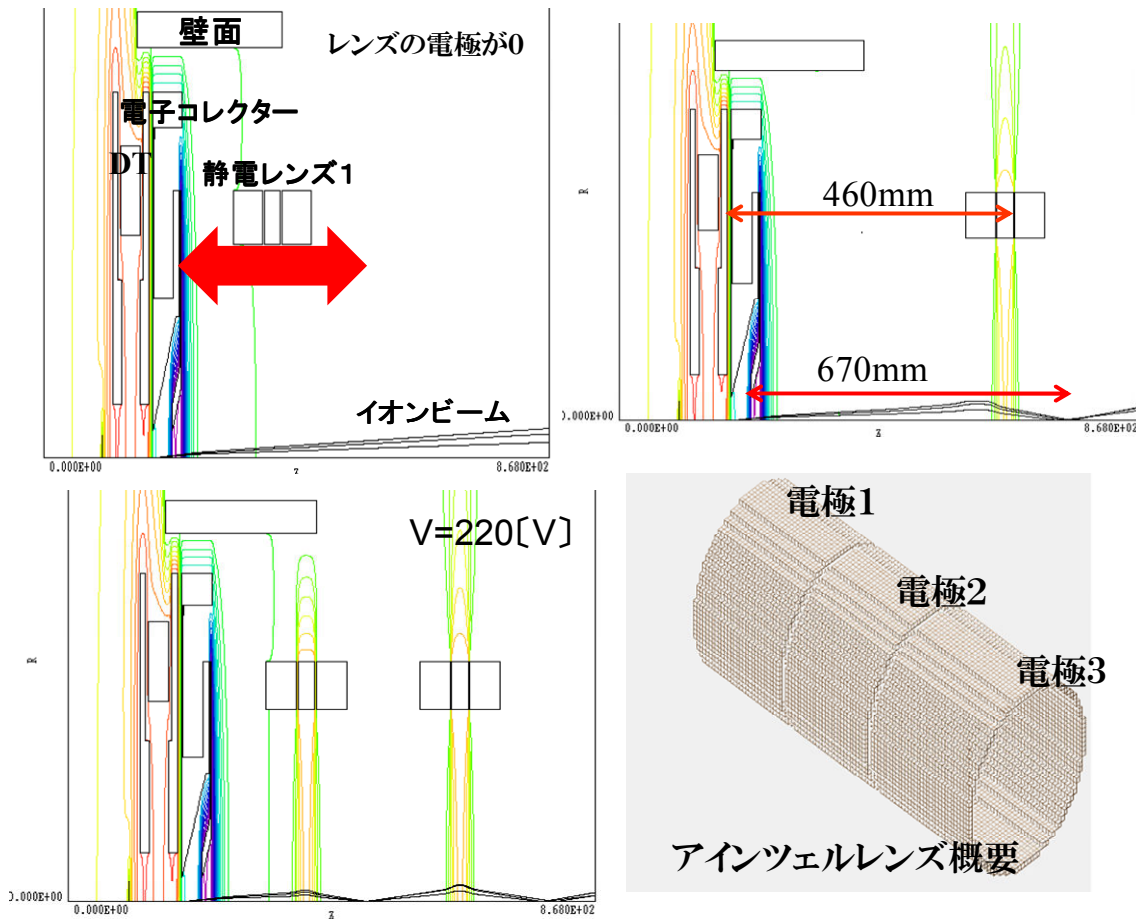


図3 シミュレーション結果およびアインツェルレンズ概要

[分析磁石の計算]

一般的な分析磁石は、前後にスリットを置き必要な価数のみを取り出す。取り出す価数を変えるときは、電流を変えなければならず、装置が大型化してしまう。しかし、ウィーンフィルターの場合、磁場と電場がつりあうように設定でき、永久磁石が使える。よって、装置が軽量、小型化できるので、小型EBITに用いることに適している。

SIMION を用い、既存の分析管を利用した価数選別のシミュレーションを行った。特に今回は小型EBITでよく使用される鉄(Z-26)の多価イオンで中程度の価数である10価の多価イオンがスリットを通過するように電場を調節した。電場を変えることで様々なイオン種かつあらゆる価数の多価イオンの選別が可能である。

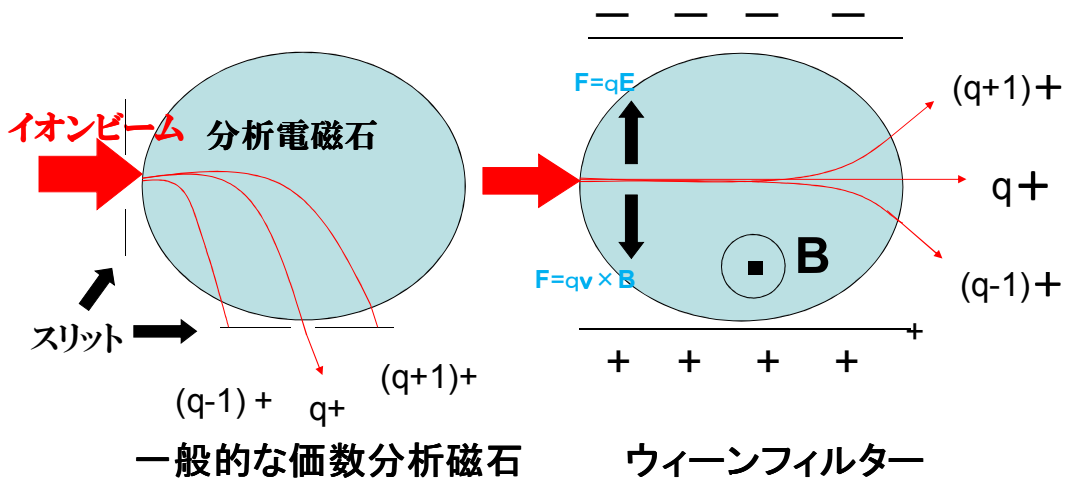


図4 分析磁石とウィーンフィルター

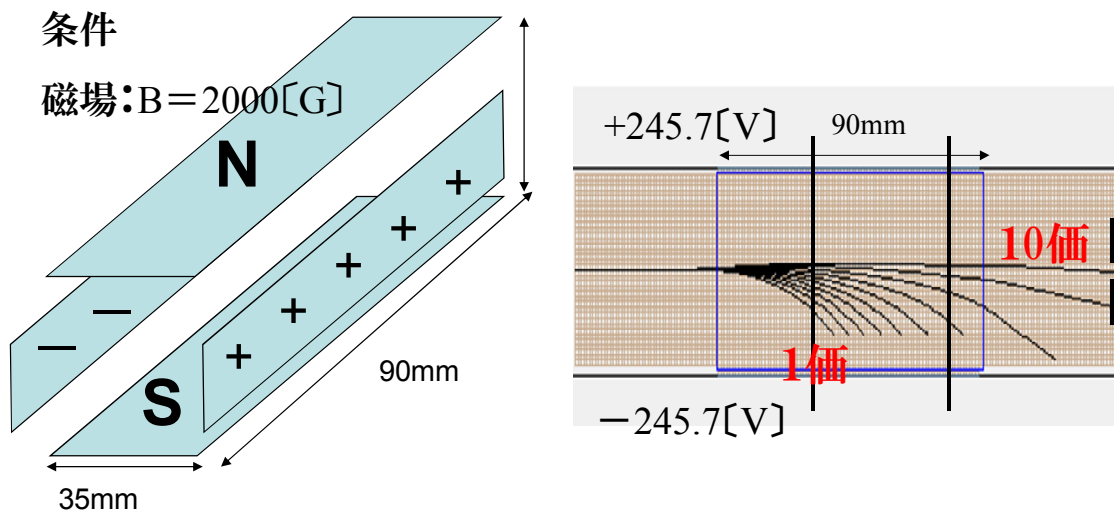


図5 ウィーンフィルター概要およびシミュレーション結果

[まとめ]

小型 EBIT のビームライン製作のためのシミュレーションおよび設計を行った。ビームラインのレンズの位置、電場の大きさに関して最適な値を見積ることができた。また、分析磁石のシミュレーションを行い、スリットを通るように電場を調整した。

今後結果に基づきレンズ、価数分析磁石の製作を行う予定である。その後テストを行い微調整し、小型 EBIT のビームラインを完成させるのが最終目標である。