

多価イオンビームラインの製作

山田千樫研究室

北原諒二

1 背景

本研究室は、多価イオンを対象とした実験を行っている。ここで言う多価イオンは中性原子から複数の電子を取り除いたイオンのことであり、非常に高い内部エネルギーを有していることに大きな特徴がある。我々は、Tokyo EBIT と呼ばれる装置を使用して生成された多価イオンをシリコン等の固体表面に照射し、その相互作用による表面変化の研究を行っている。

Tokyo EBIT から取り出した多価イオンは加速され超高真空ビームラインにより照射室に導かれる。これまで既存のビームライン（以下第一ビームライン）を用いて様々な研究が行われてきたが、本研究では新たなビームライン（以下第二ビームライン）の増設を行った。増設した理由は次による。

実験が多種にわたるようになり新たな照射室を設置する必要が生じた。

第一ビームラインには2つの照射室が直列に設置されているが、さらに直列に設置することは実験の都合上好ましくない。

多価イオン - 電子衝突過程の研究のため、異なった電荷状態を持つ複数の多価イオンを同時に観測する価数分析器が必要となった。

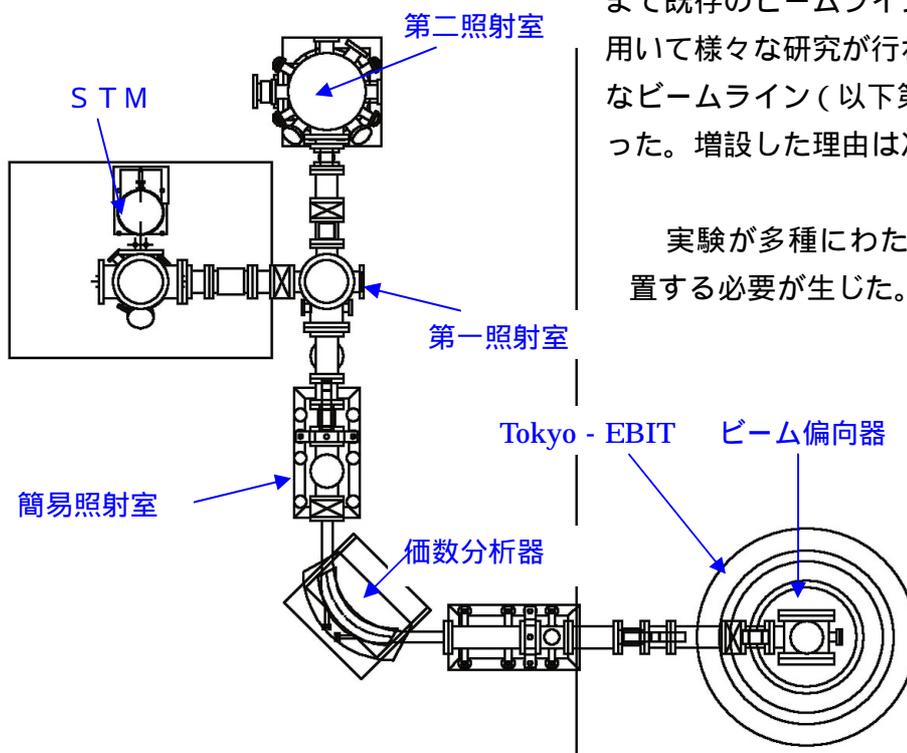


図1 これまでのビームライン

2 第二ビームライン概要

次に示すのが実際に製作したビームラインの概要である。

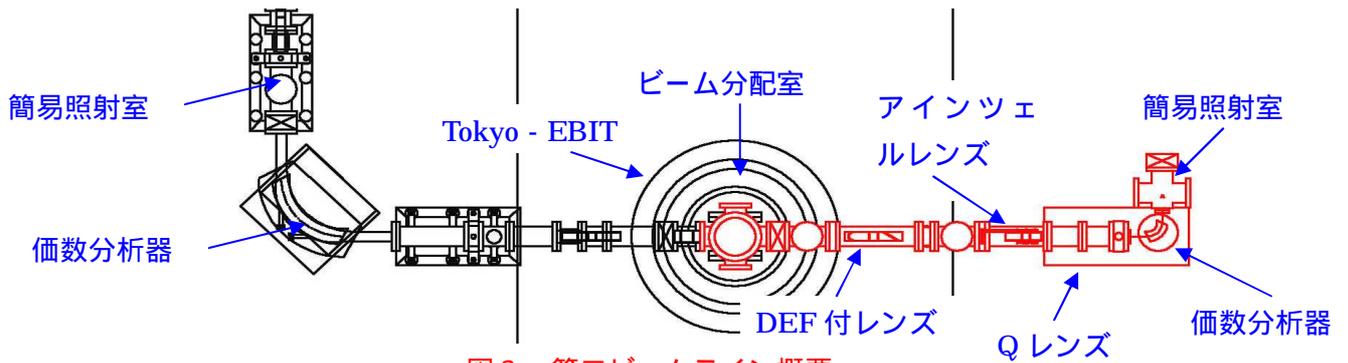


図2 第二ビームライン概要

赤色の部分が新たに製作した部分である。これまでにあったビーム偏向器のかわりにビーム分配室を設置し、主にレンズ、第一ビームラインのものよりも曲率半径を小さくした価数分析器で構成した。

3 構成部品説明

3.1 ビーム分配室

これまで EBIT から取り出したビームを水平方向に曲げ、ビームラインに送っていたビーム偏向器(図3)は、第一ビームラインにしか送ることが出来なかったため新しい分配室を代わりに設置し、第二ビームラインにもビームを供給することが出来るようにした。

また、試験実験用のイオン銃や、今後増設予定である新しいイオン発生装置を接続できるようにした。

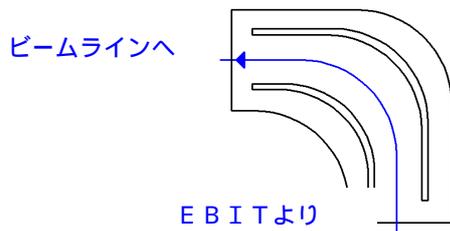


図3 これまでのビーム偏向器

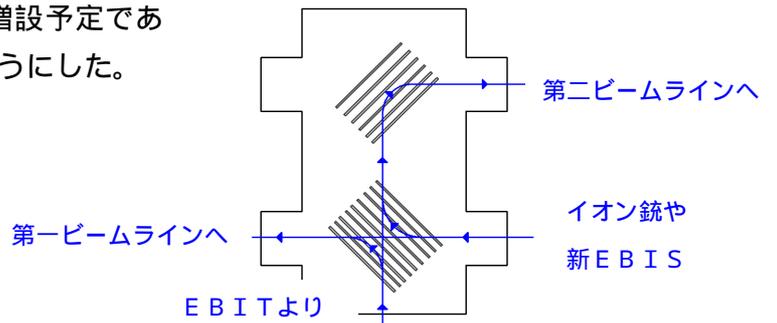


図4 新しく設置したビーム分配室

3.2 アインツェルレンズ

アインツェルレンズは3つの円筒電極で構成される静電レンズである。中心の電極を高電位にし、両端をグラウンド電位にすることで、レンズを通過する前と後とのポテンシャル変化を無くし、ビームの収束を加速と切り離して行うことができる。

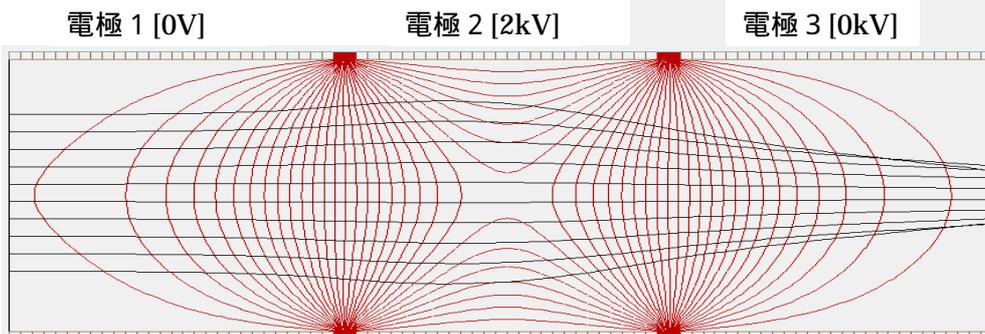
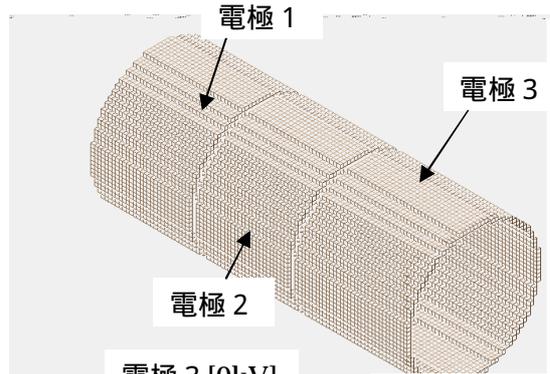


図5 アインツェルレンズ概要(上)。ビームが収束する様子(左)。

赤い曲線が等電位線を表し、黒い線がイオンビームを表す。イオンビームは Ar^{18+} が 3 kV で加速されたときのもの。

3.3 価数分析器

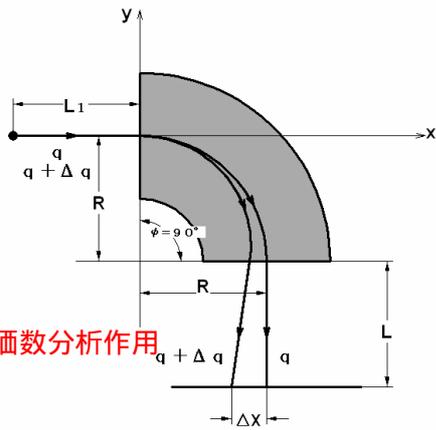


図6 価数分析作用

荷電粒子が磁界中を運動すると、その進行方向とは垂直に力を受ける。

$$F = q\vec{v} \times \vec{B}$$

この力によって荷電粒子は曲げられるが、持っている電荷が高いほど強い力を受けるためそれぞれの価数によって違った軌跡をたどる。このことを利用して価数分析を行う(図6)

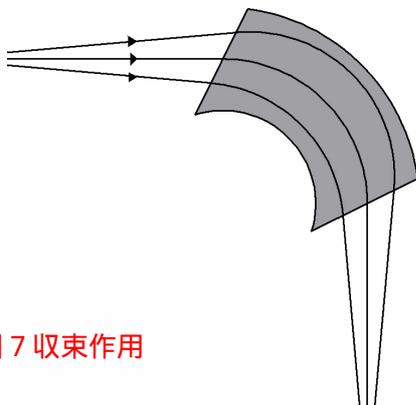


図7 収束作用

また、価数分析器には収束作用もある。実際にビームラインに使用した価数分析器の磁極には図7のようにビームが磁極に対して斜入出射するようなものを用いた。これによって価数分析器は分散方向および分散に垂直な方向の2次元で収束するようになる。

4 ビームライン性能評価実験

第二ビームラインの性能を評価する為に以下の実験を行った。

4.1 Arイオンによる試験

Arの多価イオンをTokyo EBITから引き出し、第二ビームラインの簡易照射室で、検出されるイオン量を調べた。その結果を図8に示す。

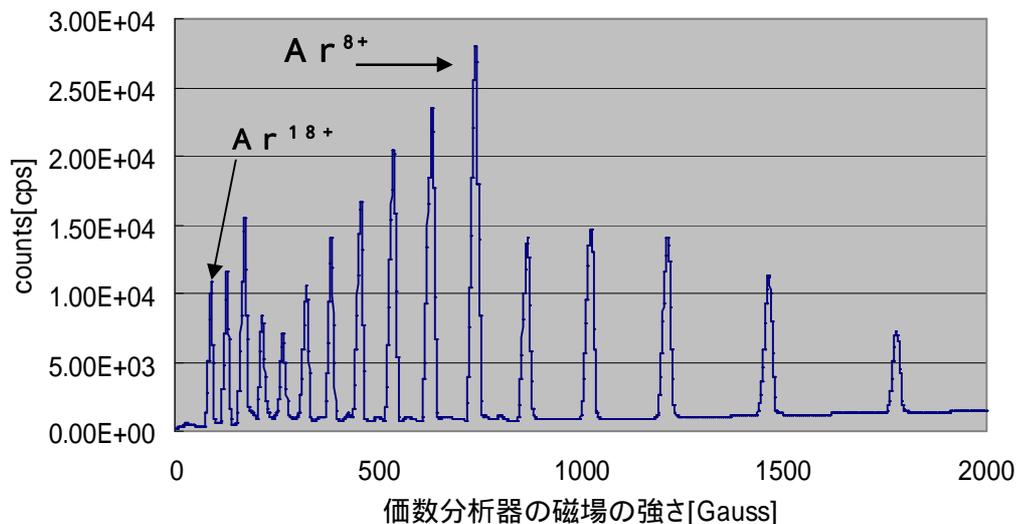


図8 Arイオンの価数分析結果

この実験により1秒間に最大で約3万個のArイオンを検出できた。これは固体表面照射実験や、電子多価イオン衝突実験など多くの実験を行う上で十分な量である。

4.2 価数分析装置の分解能試験

多価イオンをTokyo EBITから引き出し、第二ビームラインの簡易照射室で、イオンの検出した位置と個数を画像で確認できる位置有感型検出器 (Position Sensitive Detector ; PSD) という装置を用いて実験を行った。

図9が第一ビームラインで取得した PSD による画像、図10が第二ビームラインで取得した画像である。第二ビームラインは第一ビームラインに比べて多数の価数のイオンを同時に検出できており、かつ明確に一つ一つの価数のイオンを区別できていることが分かる。

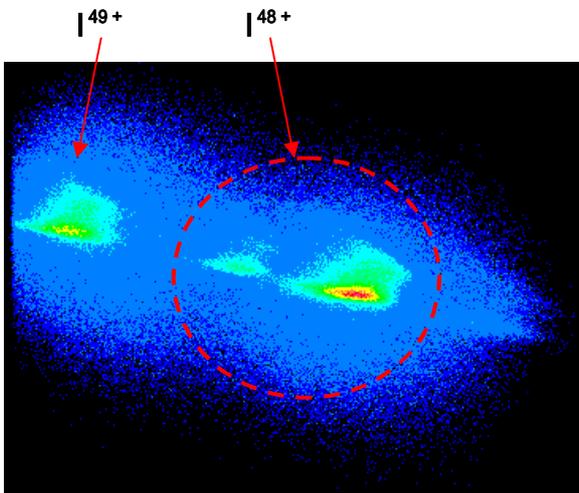


図9 第一ビームラインの PSD によるイオンの像

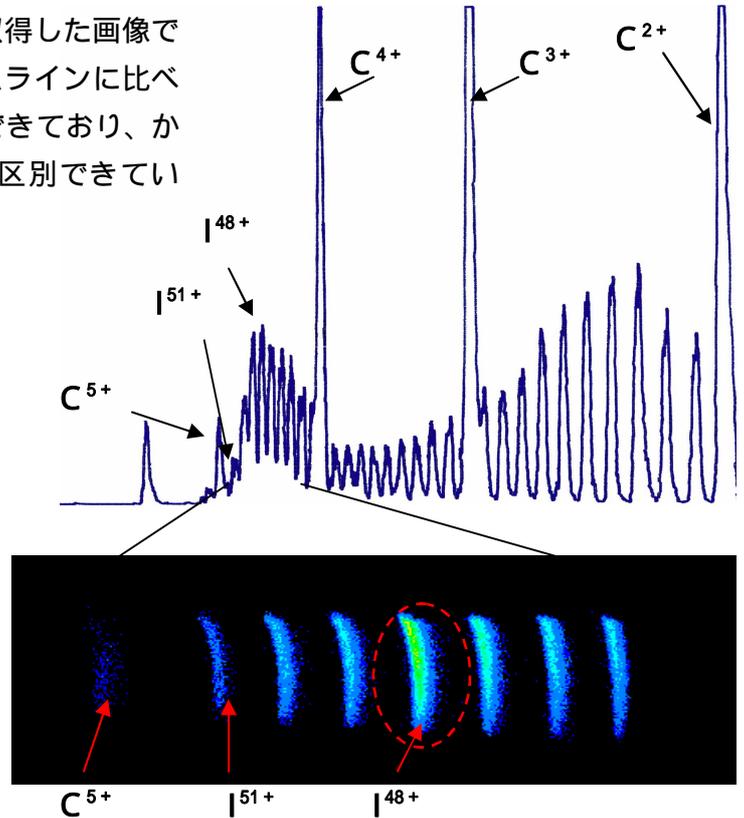


図10 第二ビームライン、 CH_3I の価数分析結果 (上)、PSD によるイオンの像 (下)

5 まとめ

Tokyo-EBIT に新たに多価イオンビームラインを設置した。

5.1 ビームラインの性能を試験した結果

- 多くの実験を行う上で十分な量のイオンを導くことができた。
- 分解能を下げることなく、分散を小さくして複数のイオンを同時に検出することに成功した。

5.2 今後の課題

現在予定されている実験を行う上では支障はないが、第一ビームラインと比較するとイオン量が少ない。第二ビームラインの汎用性を高めるため、より効率的に実験を進めるためにもイオン量を多くする事が今後の課題としてあげられる。