

# 小型電子ビームイオントラップを用いた 多価イオンの極端紫外スペクトルの観測

中村 信行 研究室

八鈕 純治

## 背景・目的

Xeは国際熱核融合実験炉(ITER)の周辺プラズマで冷却材として使用されることが検討されているが[1]、十分な冷却効果が得られるか判断するためにはXe多価イオンの放射特性に関するデータが必要となる。

また、XeやSnの多価イオンはEUV領域で強い発光を示すことから、13.5nmの波長を持つ次世代リソグラフィ用光源の候補になっている。Snは13.5nm付近に

UTA(Unresolved Transition Array)と呼ばれる強い発光を持ち、最有力候補となっているが[2]、飛散粒子による装置の汚染等が問題視されているため、Xeの使用も並行して検討されている。効率が良く実用的なりソグラフィ光源の実現のために、XeやSnの多価イオンの基礎原子データが望まれている。

## 装置・実験

電子ビームイオントラップ(EBIT)は軸方向の井戸型ポテンシャルと、径方向に形成される電子ビームの空間電荷ポテンシャルにより、3次元的にトラップしたイオンに電子ビームを照射することで、逐次電離

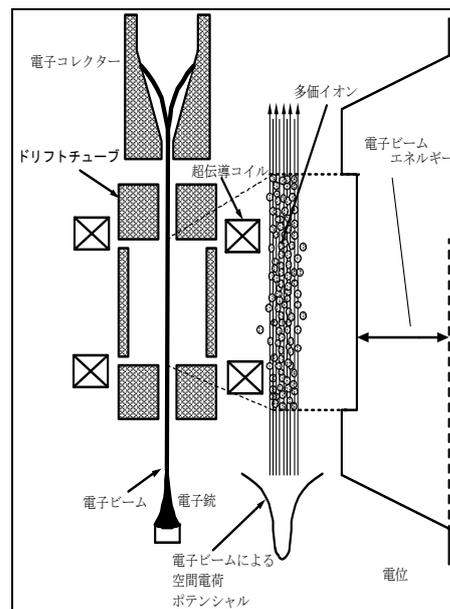


図1.電子ビームイオントラップ原理図

により多価イオンを生成する装置である(図1)。本実験では低電子エネルギーでの運転に適した小型電子ビームイオントラップ(CoBIT)[3]を用いた。CoBITの最大ビームエネルギーは2.5keV、最大電流は20mA、最大中心磁場は0.2Tである。電子ビームエネルギーは200から2500eVの間で自在に設定でき、その値によって生成するイオンの価数を調整することが可能である。

図2に本実験のセットアップを上から見たもの、図3に回折格子の仕様を示す。回折格子は不等間隔凹面回折格子で、溝本数

1200 本/mm、入射角 87°である。CCD は背面照射型で、-70 °Cに電子冷却することにより暗電流を減らし、微弱光も検出できるような仕様となっている。Xe はガス導入機から気体として、Sn は固体をエフージョンセルで 1000°C程度まで加熱し金属蒸気として CoBIT に導入した。ビーム

電流を 10mA に固定し、200 から 1000eV までの範囲で 10eV 刻みで Xe・Sn それぞれのスペクトルのエネルギー依存性を調べた。その結果から UTA の構成や価数の同定、観測例の無い Sn のラインの同定を行った。

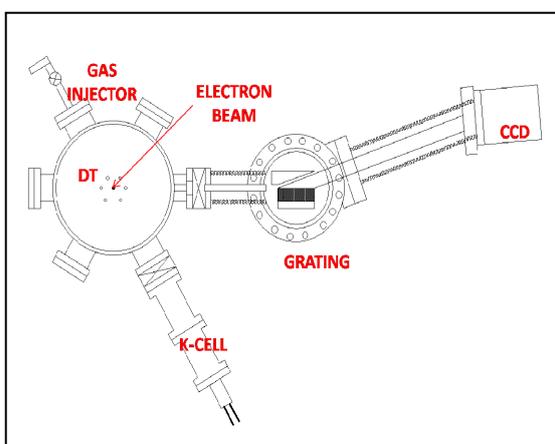


図 2.実験セットアップ

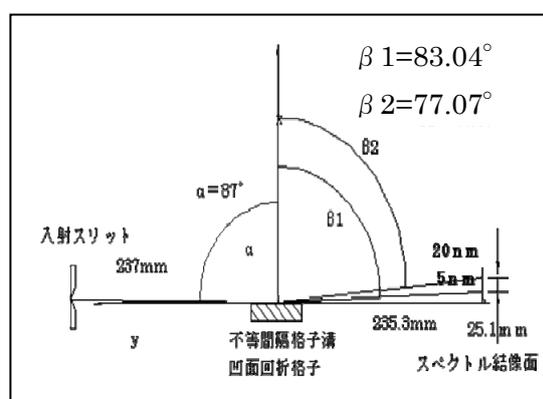


図 3.回折格子の仕様

## 結果

### 1.Xe

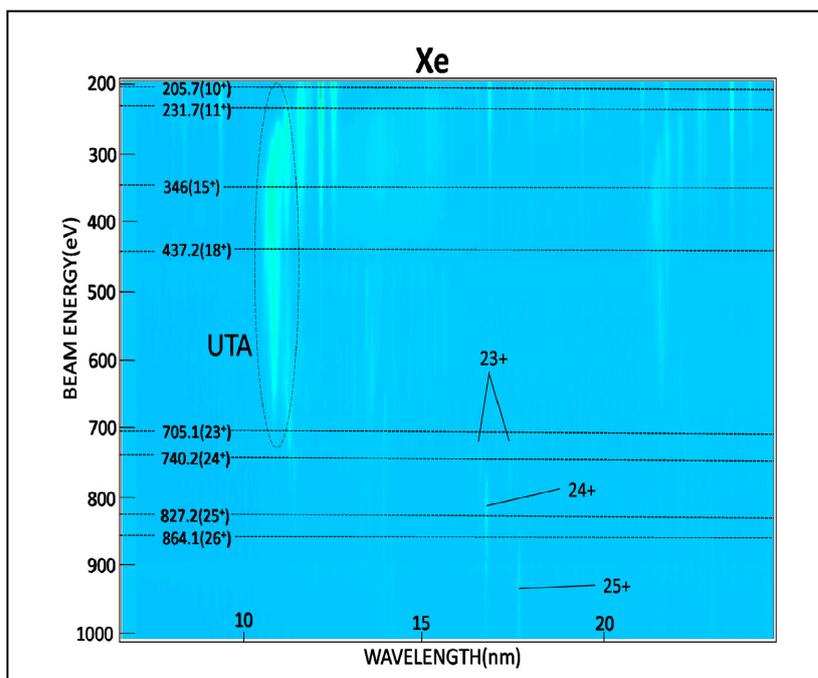


図 4.Xe スペクトルのエネルギー依存性

図4に200から1000eVで得られたXeのスペクトルを、横軸を波長、縦軸をビームエネルギーとして2次元的に示す。破線は各価数のイオンを生成するのに必要なエネルギーを示している。Xeは過去にも測定が行われており、観測されたラインのうちい

くつかは図中に示したように同定されている。200eVから700eVに至るまで11nm付近に強い発光が見られる。これがUTAであるが、今回の結果から10+から23+の多価イオンによる発光であると考えられる。

## 2.Sn

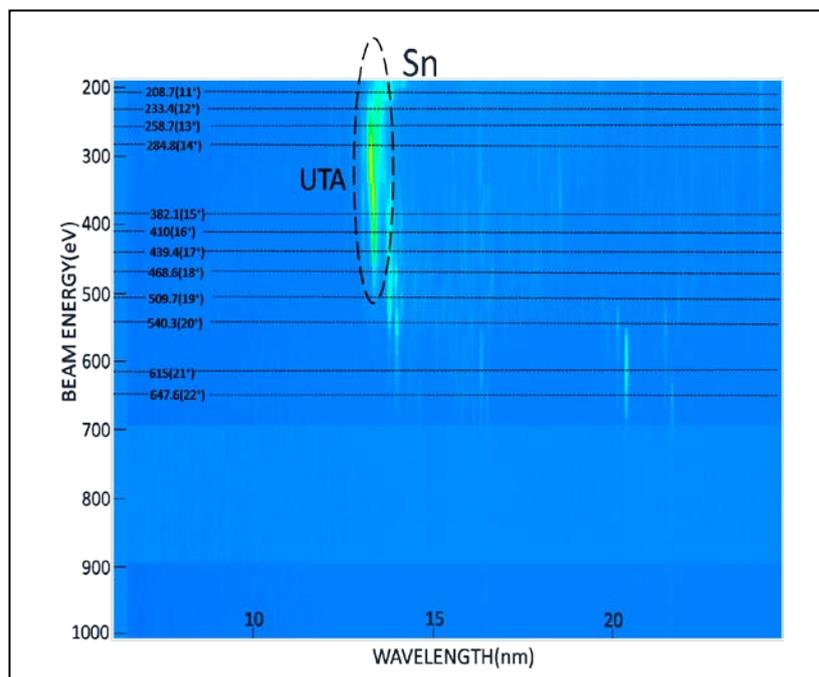


図5.Sn スペクトルのエネルギー依存性

図5に電子エネルギー200eVから1000eVの範囲で得られたSnのスペクトルをやはり2次元的に示す。破線は図4と同様、各価数のイオンを生成するのに必要なエネルギーを示している。740eV以降でラインが見られないのは、閉殻構造を持つNi様イオン(22+)が優勢となり、この波長領域における発光がなくなるためと考えられる。

図5から、SnのUTAは13.5nmにあり、10+から18+程度の価数で構成されていることがわかる。そこで10+が支配的な

200eV、14+が支配的な300eV、15+が支配的な400eV、18+が支配的な500eVでのUTA付近のスペクトルを図6に示した。通常、価数が変わると、遷移波長は大きく変化するが、広い範囲の価数で13.5nm付近の発光が見られていることが分かる。

次に、Xe,SnそれぞれにおいてGa様イオン,Zn様イオン、Cu様イオンが優勢となるエネルギーにおけるスペクトルを図7に示す。等電子系列によるスペクトルであるので、XeとSnのスペクトルは類似している

ことが分かる。そのため、過去に測定例のある Xe との対応により、Sn のラインも同定することができる。今回同定したラインと得られた波長を表 1 に示す。

表 1. Sn の波長と遷移

Sn <sup>q+</sup>	波長(nm)	遷移
19+	20.171	4s-4p
	21.450	
	22.071	
20+	20.428	4s <sup>2</sup> -4s4p
21+	21.847	4s-4p

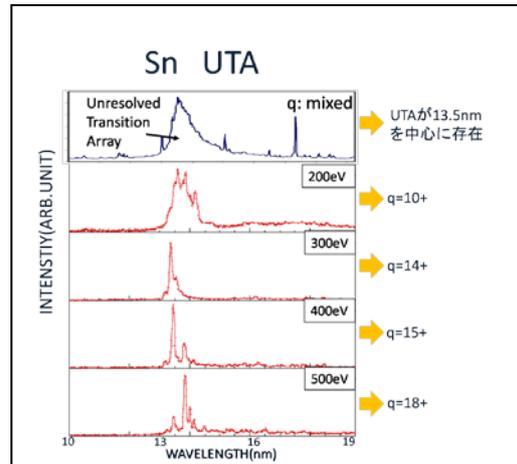


図 6.Sn の UTA の構成価数の一例

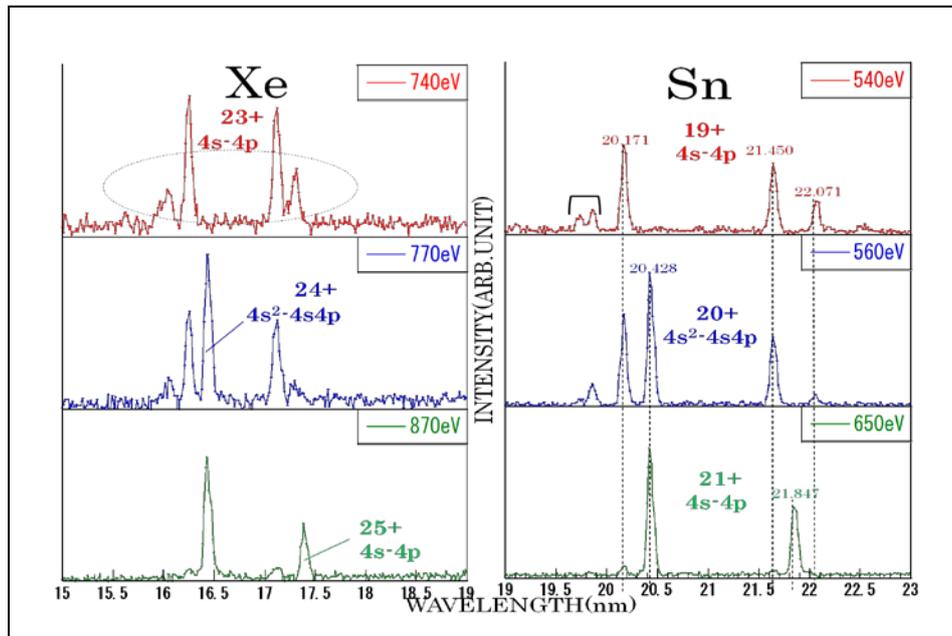


図 7. Sn の波長解析

## まとめ

- Xe と Sn について EUV スペクトルを電子ビームイオントラップを用いて測定した。
- 電子ビーム依存性を 10eV 刻みで測定することで、UTA の構成価数を調べた。
- 等電子系列の Xe のデータと比較し、Sn のいくつかのラインを同定し、波長を求めた。

## 参考文献

- [1]C.Biedermann et al. /Nucl.Instr. and Meth. In Phys.Res.B235(2005) 126
- [2]J.Plasma Fusion Res.Vol.8(2007) 679
- [3] 菊池浩行,修士論文『鉄多価イオン分光用イオン源の製作と評価』(2007)