

# 多価イオンの可視分光測定（1）

量子・物質工学科 中村信行研究室 栗原渉

## 1. 背景

多価イオンとは原子から電子を2個以上剥ぎ取ったイオンのことを言い、取り去る電子の個数が $q$ 個のとき、これを $q$ 価の多価イオンと呼ぶ。

我々の研究室では、電子ビームイオントラップ (Electron Beam Ion Trap:EBIT) [1] により生成した多価イオンを用いて様々な研究を行っている。本研究は、我々の研究室で最近立ち上げた小型EBIT(図1) [2]を用いて多価イオンの可視分光測定を行った。

多価イオンは生成に非常に高いエネルギーが必要であるため、高温プラズマ中に多く存在し、その分光データは様々なプラズマ研究やプラズマ診断において大変重要である。例えば、鉄多価イオンは太陽コロナのコロナ加熱機構の解明のために、タングステン多価イオンは核融合研究の進展のために原子データが望まれている。



図1. 小型EBIT

## 2. 目的

これまで、小型EBITでは主に極端紫外線 (Extreme Ultra Violet:EUV) 領域での分光測定が行われてきた。本研究では小型EBIT

での実験の幅を広げるため、可視分光器の設置を行った。その分光器を用いて、鉄やタングステンの多価イオンに対して未知のラインの探索・同定、様々な条件下におけるライン強度比を測定することを目的とした。

## 3. 装置・原理

前述の目的を満たすためには、できるだけ広い波長範囲を一度に観測できることが望ましい。さらにEBIT内部での多価イオンの発光は非常に微弱であるため、明るく効率的な分光器を用いる必要がある。そのため本研究では、研究室に既存であったプリズム型分光器を用いることにした。

### 3.1 分光器

分光器はHILGER&WATTS社のプリズム型分光器(図2)を用いた。この分光器に使用されている天然水晶プリズム(石英)は底辺が15cmと非常に大きく、微弱なラインを効率良く測定するのに最適であると考えた。しかし、この分光器は記録部分にフィルムを用いる方式であり、光量が非常に少ない分光測定には適さないと考えられたため、検出器として液体窒素冷却型CCD (Charge Coupled Device)を用いることとした。



図2. プリズム型分光器

### 3.2 検出器

使用した CCD は Princeton Instruments 社の LN/CCD-1000-PB/VISAR(図 3)であり、ピクセル数は  $1100 \times 330$ 、ピクセルサイズは  $24 \mu\text{m}$  である。



図 3. 液体窒素冷却型 CCD

## 4. 設置・試験

### 4.1 CCD の取り付け

分光器のフィルムのマウント部(図 4)を取り外し、CCD マウントを自作して CCD を取り付けた。図 5 (a) (b)に CCD 取り付け後の写真を示す。



### 4.2 分光器の小型 EBIT への設置

小型 EBIT に分光器を設置した様子を図 6 に示す。分光器全体を小型 EBIT に対して前後、左右(垂直、平行)方向に微調整できるように微調 XY ステージ上に設置した。

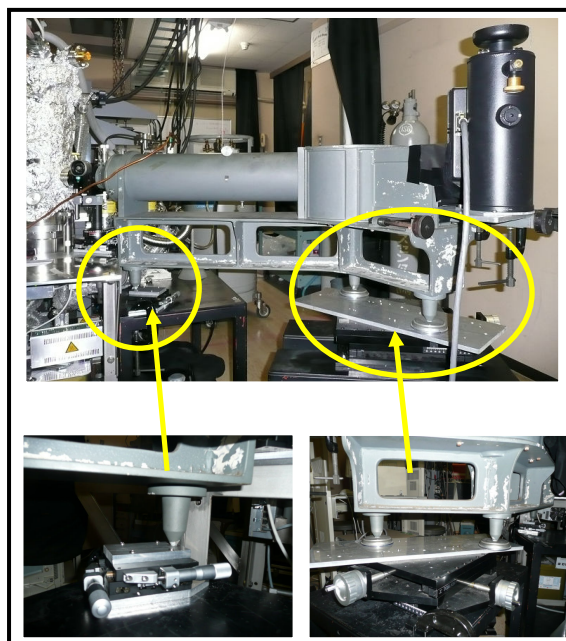


図 6. 小型 EBIT に分光器を設置した様子

図 7 に分光器の概略図を示す。分光器は図のようにスリット、コリメーター、プリズム、レンズから成り、それぞれに位置や角度の調整機構がついており焦点面を調整できるようになっている。水銀ランプなどを用いてレンズ系や CCD 位置の調整を行い、焦点面が CCD 素子上に一致するように最適化した。

小型 EBIT と分光器の間には両凸レンズを置き、多価イオンからの発光を分光器のスリットに集光するように調整した。ただし、スリット前に可視領域を透過し赤外領域を吸収する熱線吸収フィルターを置くことにより小型 EBIT 内部のフィラメントからの熱放射を遮光した。

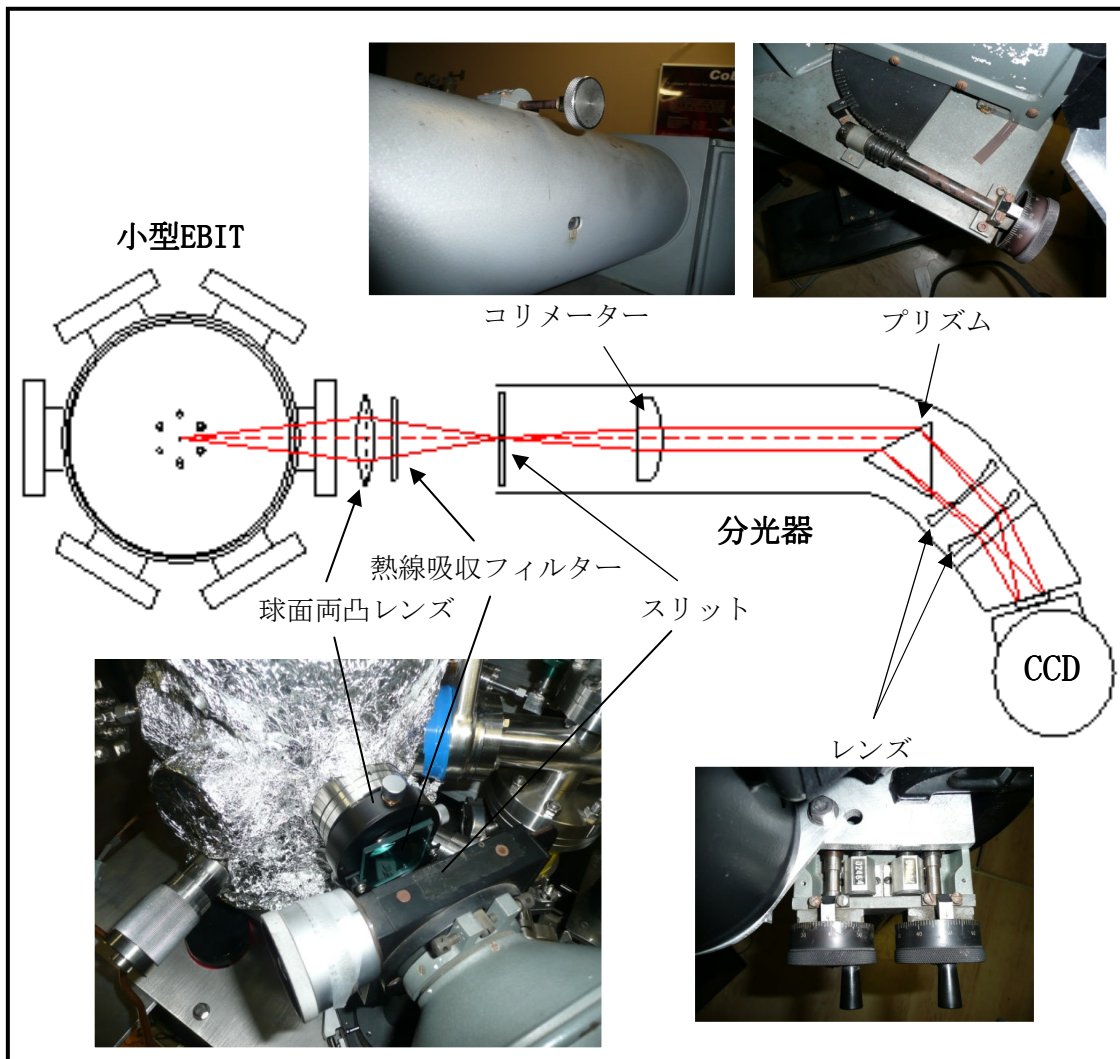


図 7. 小型 EBIT とプリズム分光器

## 5. 分光器の評価

設置した分光器の評価を行うために、鉄多価イオンを用いて可視分光測定を行った。鉄は、有機金属化合物のフェロセン ( $C_{10}H_{10}Fe$ ) をガス導入を通して小型 EBIT チェンバー内部に導入した。また、波長の較正には Hg, He, Ar, Kr, Xe の標準ランプから観測されるスペクトルを用いた。

図 8 に観測された鉄多価イオン  $Fe^{13+}$  の ( $3s^22p \ ^2P_{1/2} - \ ^2P_{3/2}$ ) 遷移による 530.2nm の

発光スペクトルを示す。電子ビームエネルギーは 400eV、電子電流 10mA、測定時間 10min、スリット幅 0.3mm とした。この発光線は太陽コロナの中で最も強いラインの 1 つである。

以前、同様の可視分光測定を回折格子型分光器でも行っている。その測定時とはレンズ系が異なるため定量的には比較することは難しいが、今回設置したプリズム型分

光器は非常に明るく、以前は観測に1時間程度かかっていたスペクトルがわずか数分で観測できるようになった。

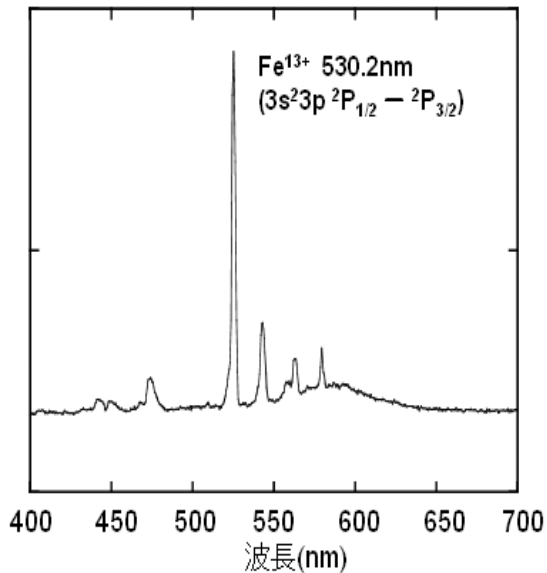


図 8. Fe<sup>13+</sup>の発光スペクトル

## 6. まとめ

小型 EBIT での可視分光測定を目的として、可視分光測定用の分光器の設置を行った。既存のプリズム型分光器のフィルムのマウント部を改造し、CCD に付け替えることで小型 EBIT からの微弱な発光の可視分光測定が可能となった。

鉄多価イオンの可視分光測定及び分光器の評価を行った結果、以前使用した回折格子型分光器に比べ非常に明るいことが分かった。

## 7. 今後の課題

現在、分光器の分解能は約 0.9nm と良くはない。マニュアルに記載されている分散曲線から、原理的には CCD の 1 ピクセルに

相当する 0.5nm の分解能は得られるはずである。今後は、CCD の位置・角度、レンズ系及び分光器全体の位置の調整を行うことで分解能を良くしていきたいと考えている。

## 参考文献

- [1] 中村信行, 大谷俊介 : 日本物理学会誌 52(1997). 919
- [2] 菊池浩行 : 電気通信大学 平成 19 年度 修士論文