

多価イオンの可視分光測定(2)

中村信行研究室 山内崇裕

背景と目的

原子から電子を取り除くと正のイオンができるが、この電子を 2 個以上取り去ったものを正の多価イオンという。取り去られた電子の個数が 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(EBIT)と呼ばれるイオン源を用いて多価イオンの分光データを測定している。EBIT はトラップされたイオンに電子ビームを照射し、逐次電離することにより多価イオンを生成する。

国際熱核融合実験炉「ITER」(International Thermonuclear Experimental Reactor)とは、2018 年頃の運転開始を目指し、日本・欧州連合(EU)・ロシア・米国・韓国・中国・インドの七極により進められている超大型国際プロジェクトであり、人類初の核融合実験炉を実現しようとするものである。この実験炉の一部であるダイバータは、核融合で発生するヘリウムや不純物粒子を排出する装置であり、最も熱負荷の高い部分である。プラズマからの高エネルギー粒子の入射により、ダイバータの構成元素がスパッタリングによりプラズマに混入し、混入した不純物が多価イオンとなって高エネルギーX線を出し、プラズマの温度を下げるという問題が発生する。そのため高温のプラズマを維持するためには、不純物多価イオンの放射特性を知ることが大変重要である。特にダイバータ材として有力候補となっているタングステンの多価イオンについては分光データが不足しており、特に診断に有用な可視域のラインの探索が望まれている。そこで本研究では、可視域におけるタングステン多価イオンの未知のラインの探索を目的とし、小型 EBIT を用いて可視分光測定を行った。

電子ビームイオントラップ(EBIT)[1]

図 1 に EBIT の原理図を示す。EBIT は大きく分けて電子銃、ドリフトチューブ(DT)、電子コレクターの三つからなる。イオントラップであるドリフトチューブは 3 つの円筒電極から成り、中心に両端に比べ低い電位を与えることで電子ビーム軸方向に井戸型ポテンシャルを形成し、イオンをトラップする。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発生する強磁場でその中心を通る電子ビームを圧縮する。その圧縮された電子ビームによって形成される径方向の空間電荷ポテンシャルによりイオンは径方向にもトラップされる。トラップしたイオンを電子ビームによる逐次電離によって多価イオン化する。EBIT で生成・トラップされるイオンの価数分布は、その電子ビームエネルギーで生成しうる最高価数のイオンのあたりに集中するという特性がある。

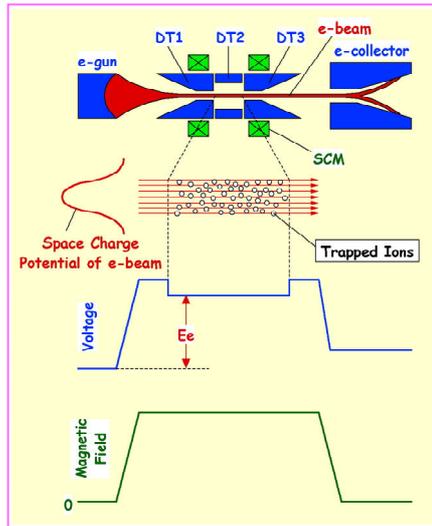


図 1.EBIT 原理図

実験

多価イオンは図 2 の小型 EBIT[2]の中心部で生成される。多価イオンからの発光を両凸レンズで可視分光器に集光し、分光した光を窒素冷却型 CCD にて検出した。分光器は、今回新しく設置したプリズム型分光器を使用した。電子ビーム電流 10mA、測定時間 10 分とし、電子ビームエネルギーを変化させ測定を行った。

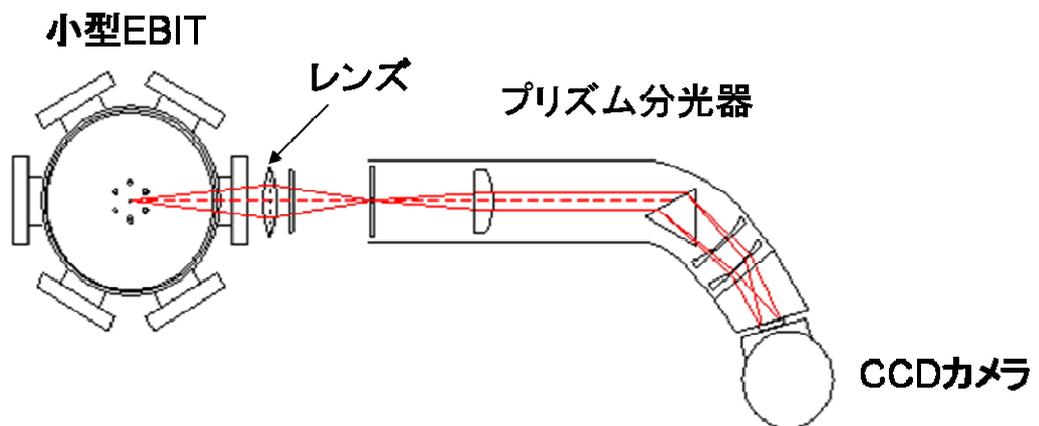


図 2.実験装置概略図

結果

電子ビームエネルギーを変化させながら、波長領域 380nm から 480nm において測定したスペクトルを図 3 に示す。横軸は波長、縦軸は相対強度、各スペクトルの左側には電子ビームエネルギー、右側にはその電子ビームエネルギーにて生成可能なタングステンの最大価数を示す。

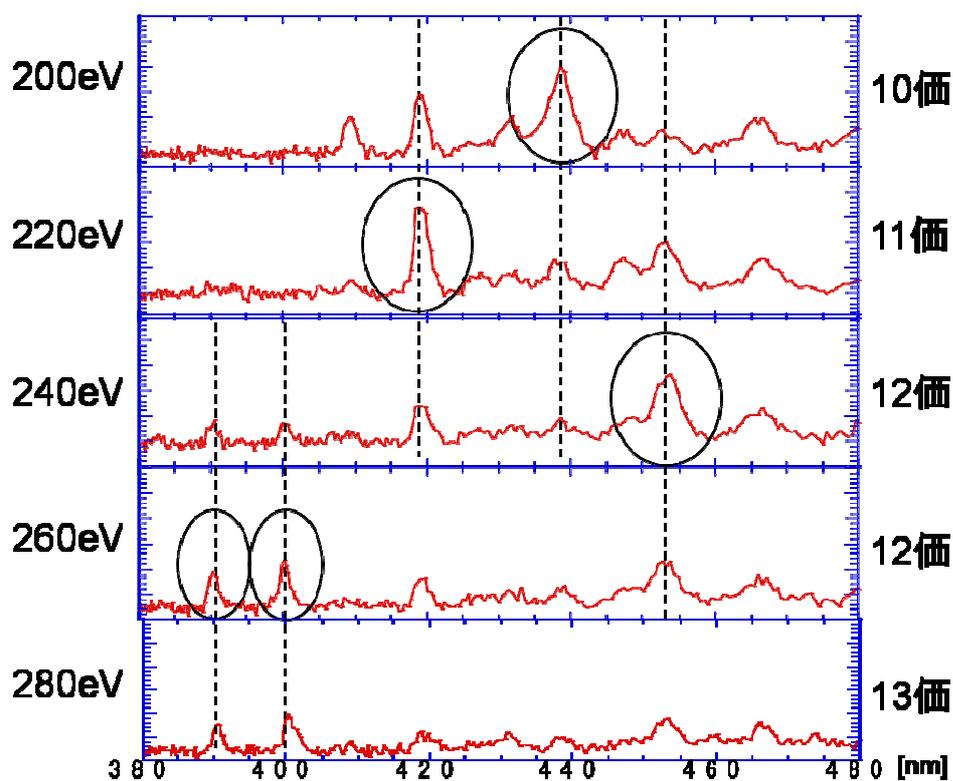


図 3.200eV から 280eV におけるスペクトル

200eV から 240eV において、420nm 付近のラインは 220eV のときに最も相対強度が大きくなり、240eV のときには小さくなっていることより、11 価程度のタングステンの多価イオンのラインだと考えられる。同様に、200eV から 280eV において、445nm 付近のラインは 240eV のときに最も相対強度が大きくなり、280eV のときには小さくなっていることより、12 価程度のタングステンの多価イオンのラインだと考えられる。測定結果をまとめたグラフを図 4 に示す。

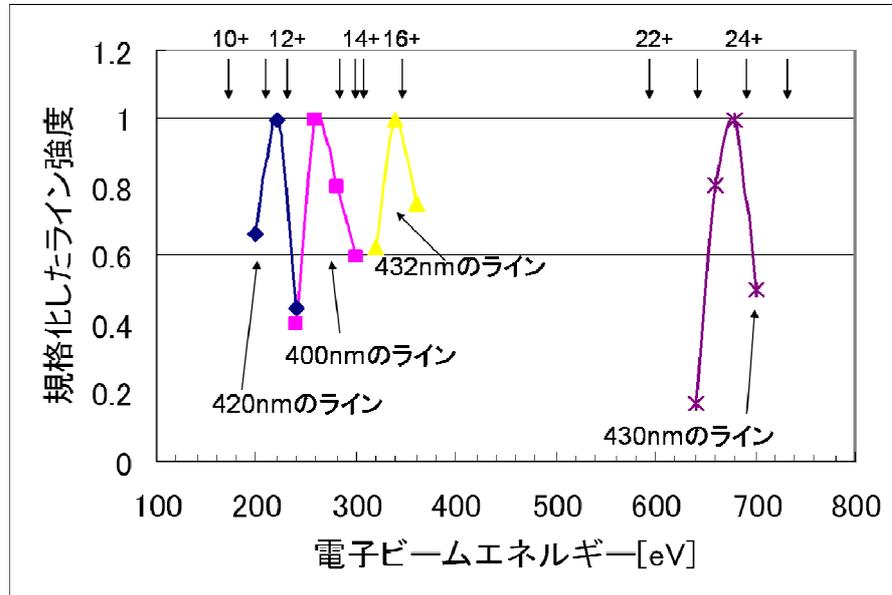


図 4.測定結果

横軸に電子ビームエネルギー、縦軸に規格化したライン強度、上の矢印はその電子ビームエネルギーにて生成可能な価数を示す。グラフには4つのラインを示したが、それぞれ12価程度、13価程度、16価程度、24価程度のタングステン多価イオンからの発光であると考えられる。

まとめ

小型イオン源に新たに設置した分光器で多価イオンの可視分光測定を行うことができた。過去に観測例のない、10価から24価程度のタングステン多価イオンのスペクトルを観測することができた。

今後の展開としては、エネルギー依存性をさらに細かく測定する、他の実験データや理論計算などと比較する等によりラインを同定することが挙げられる。

参考文献

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