

小型電子ビームイオントラップを用いた 多価イオンの可視光分光

中村（信）研究室
細田 賢

【背景】

我々の研究室では、Tokyo-EBIT(Electron Beam Ion Trap)と呼ばれるイオン源により、様々な多価イオンの分光データを測定している。

多価イオンはプラズマの中に多く存在し、特に太陽コロナや核融合実験炉などの高温プラズマには、高度に電離された多価イオンが存在している。プラズマ内の多価イオンの発光を調べることで、そのプラズマの温度や密度をはじめとする様々なパラメータを知ることができる。

そのため、この分光データは天体プラズマや核融合プラズマなどの高温プラズマ診断において非常に重要なものである。

【目的】

Tokyo-EBIT は 100keV 程度の高エネルギー電子ビームで高電離重元素イオンの生成を目的として設計されている。そのため、低エネルギー(1keV 以下)電子ビームでの多価イオンの生成は不安定である。

そこで、本実験では Tokyo-EBIT より小型(電子ビームエネルギーが 1keV 程度)の EBIT を立ち上げ、Tokyo-EBIT では生成が困難であった電子ビームエネルギーが 1keV 以下で生成される、多価イオンの可視光分光を行った。

特にまだ過去に観測例の無い Ba^{11+} の基底状態微細構造間の磁気双極子遷移の測定を行った。

【原理】

EBIT は大きくわけて電子銃、ドリフトチューブ(DT)、電子コレクターの三つからなる。

図1は EBIT の簡単な原理図を示しており、まず DT1 と DT3 に DT2 よりも少し高い電位をかけることにより、図1のようにビームの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。

そして、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とで、イオンをトラップし、電子ビームによる逐次電離によって多価イオンを生成する。

本実験で対象とした Ba^{11+} は、電子銃表面から蒸発した BaO がトラップに混入し多価イオン化したものである。

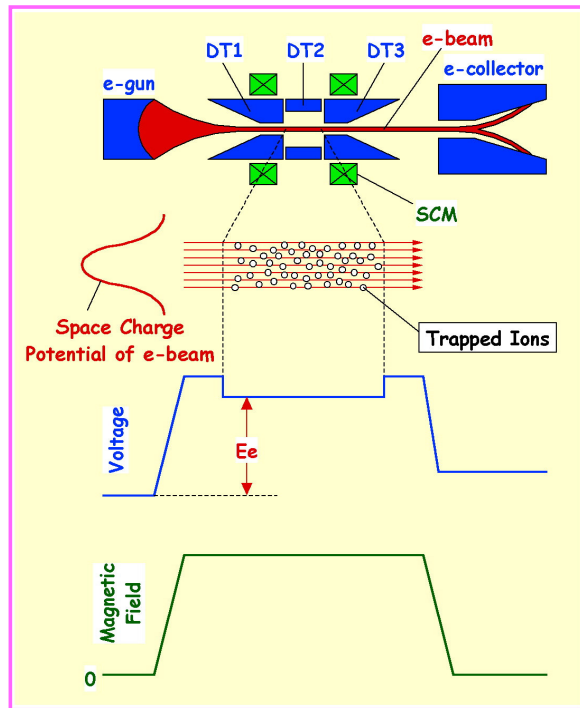


図1 EBIT 原理図

【実験方法】

電子ビームが EBIT の中心を紙面垂直方向に通っており、多価イオンは図 2 の EBIT の中心部で生成される。図 2 に示すように EBIT 内の多価イオンからの発光を両凸レンズで分光器に集光し、分光した光を電荷結合素子(CCD)で検出した。

分光器は、反射型平面回折格子を用いた Czerny-Turner マウントによる分光器を使用した。

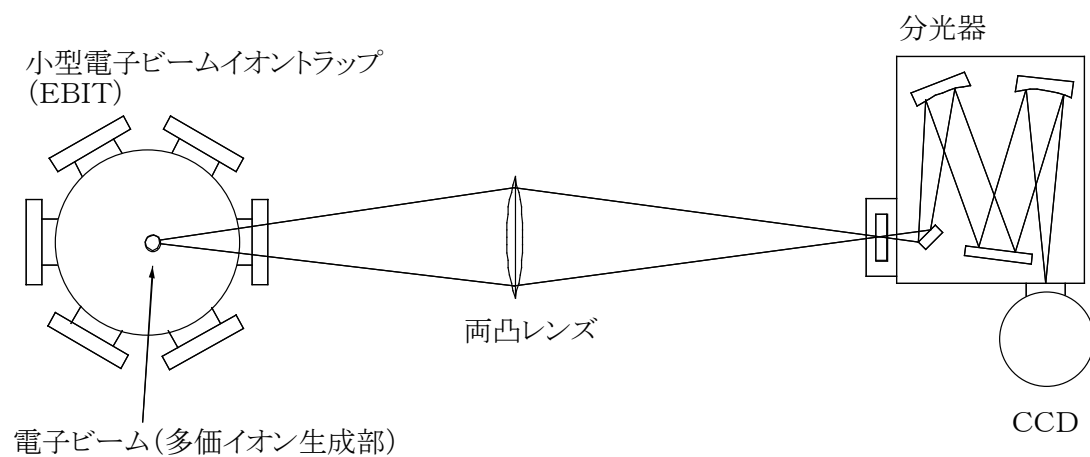


図2 可視光分光実験概略図

【結果】

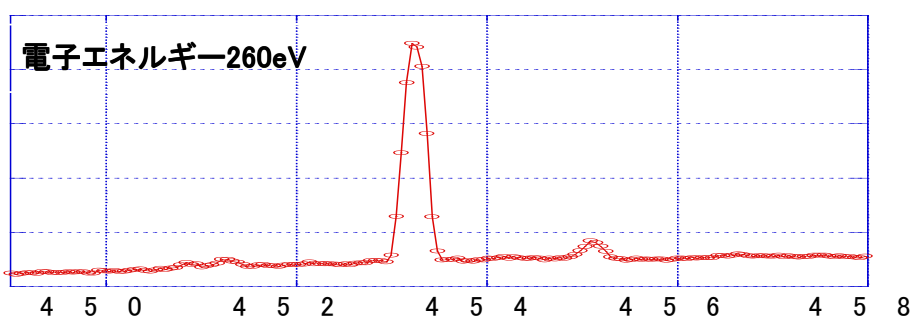
Ba¹¹⁺の基底状態微細構造間(4d⁹ 2D_{5/2}-2D_{3/2})の可視光分光の測定結果を報告する。

この遷移波長の理論値である 453.73nm^[1]の波長を狙って測定した。

分光実験①

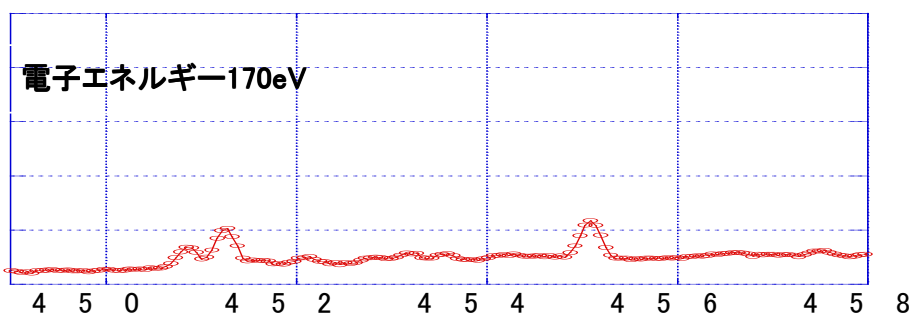
まず、Ba¹⁰⁺の電離エネルギーが 240eV なので、電子ビームエネルギーを 260eV から 170eV まで変化させ、可視光分光測定を行った。

グラフ 3、は電子ビームエネルギーが 260eV の時のものである。この時は 453nm 付近に輝線が現れている。



グラフ 3 波長 (nm)

グラフ 4 は、電子ビームエネルギーが 170eV の時のものである。この時は 453nm 付近の輝線が消えている。



グラフ 4 波長 (nm)

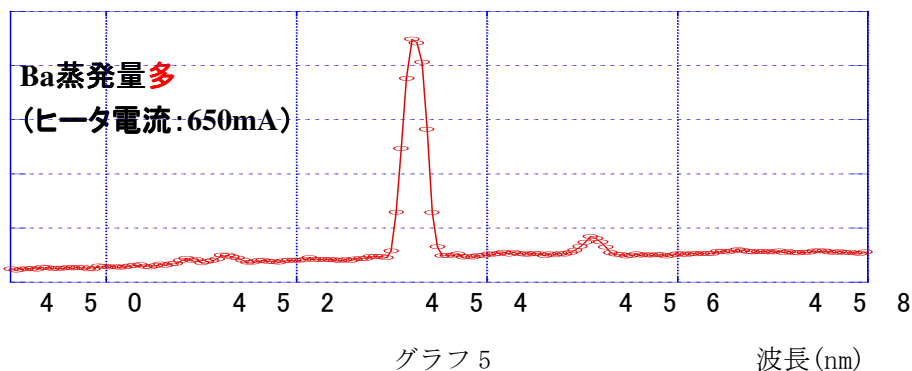
電子ビームエネルギーが、Ba¹⁰⁺の電離エネルギー を超える値の時は 453nm の付近に輝線が現れ、それ以下の時は現れていないのがわかる。

分光実験②

次に、電子銃のヒーターを弱め、EBIT内の Ba を少なくし、同様の測定を行った。

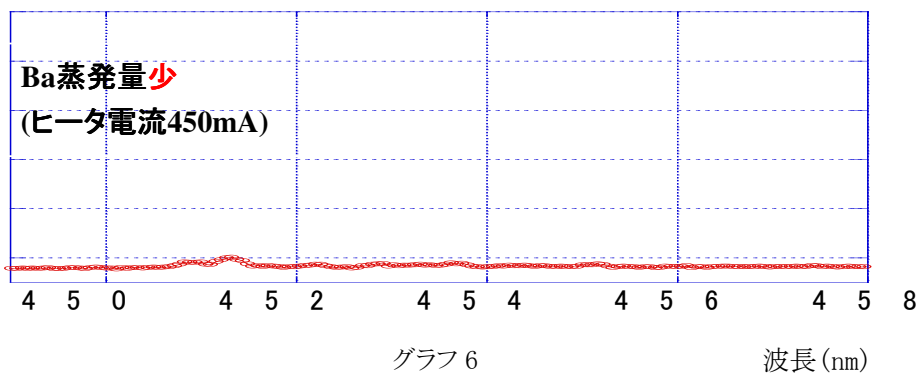
グラフ5は電子ビームエネルギーが 260eV で、Ba の蒸発量が多い時のものである。

この時は 453nm 付近に輝線が現れている。



グラフ 6 は電子ビームエネルギーが 260eV で、Ba の蒸発量を少なくした時のものである。

この時は 453nm 付近の輝線が消えている。



この二つの実験から 453nm 付近の輝線は Ba^{11+} からの発光であると考えられる。

【まとめ】

この波長を見積もった結果は $453.33 \pm 0.14 \text{ nm}$ であった。過去の間接的な測定による実験値 ($453.31 \pm 0.41 \text{ nm}^{[2]}$) に比べ精度が大幅に向上した。そのため計算値の $453.73 \text{ nm}^{[1]}$ と差異が見られた。更なる計算の精度の向上が望まれる。

[1]L.Yong,private communication 多配置 Dirac-Fock(MCDF)法

[2]J.Sugar,J.L.Tech,andV.Kaufman,J. Opt.Soc.Am.73,1077(1983)