

# タングステン多価イオンにおける 可視発光線の遷移寿命

山田研究室

量子・物質工学科 小山田 竜一朗

## [背景と目的]

国際熱核融合炉「ITER」(International Thermonuclear Experimental Reactor)とは、2018年頃の運転開始を目指し、日本を含めた7カ国により進められている超大型国際プロジェクトであり、人類初の核融合炉を実現しようとするものである。このITER内部にプラズマ中の不純物を排出する役割のあるダイバータという部分がある。そのダイバータの材料としてタングステンが用いられる予定であるが、スパッタリングなどによりそのタングステンがITER内部に混入すると多価イオンになり高エネルギーのX線を出すため、プラズマの温度を下げってしまう問題が発生する。そのため、高温のプラズマを維持するためには、タングステンの流入量や経路を分光診断する必要がある。しかしながら、分光診断に必要となるタングステン多価イオンの基礎データ(遷移寿命・遷移波長など)は、3価以上のイオンに対して極めて不足している状況にある。その中でも可視領域のデータはX線や紫外線とは違い、レンズやファイバーなどを使用できるため、プラズマ診断において非常に有用とされているが、唯一の例外を除いて、同定されているラインがない。

そこで、本研究室では、ITERに利用する基礎データ蓄積を目的として電子ビームイオントラップ(EBIT)を用いたタングステン多価イオンの分光測定を行っている。これまでに多くの発光線を観測・同定してきたが、本研究は、それらの発光線の遷移寿命を測定することが目的である。

## [原理]

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、電子コレクターの3つからなる。ドリフトチューブ1(DT1)とドリフトチューブ3(DT3)にドリフトチューブ2(DT2)よりも高い電圧をかけることにより、図1のように電子ビーム軸方向に井戸型ポテンシャルを形成する。また、ドリフトチューブの周りには超電導コイルが配置されており、その中心を通る電子ビームが超電導コイルにより発生する強磁場で圧縮される。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ポテンシャルが生じる。これらのポテン

シヤルで、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。電子ビームが出ている状態では逐次電離が進み、多価イオンが生成・励起され続けるが、電子ビームを遮断すると、磁場によりイオンはトラップされ続けながら脱励起をする。したがって、電子ビームを遮断した後の発光強度の減衰時間を測定することで遷移寿命を測定することができる。

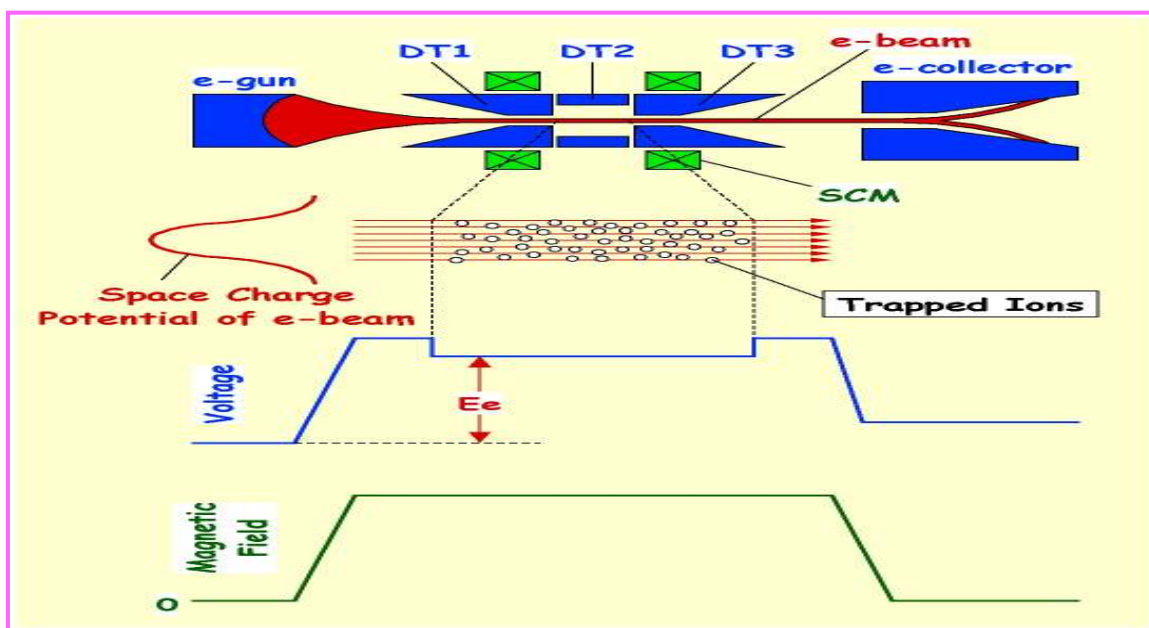


図.1 EBIT 原理図

【実験装置】

本研究で設置した実験装置概略図を図.2 に示す。EBIT の中心部で生成された多価イオンの発光を両凸レンズを用いて、光電子増倍管（Photo Multiplier Tube:PMT）に集光する。その際、目的とする発光線の波長域のみを透過する干渉フィルターを設置している。光電子増倍管によって出力された電気信号をプリアンプとアンプを用いて整形増幅し、シングルチャンネルアナライザー（Single Channel Analyzer:SCA）でノイズ信号と区別した上でマルチチャンネルアナライザー（Multi Channel Analyzer:MCA）に入力し、蓄積している。その際、電子ビームの入切の制御と MCA の測定開始はパルサーにより同期をとっている。このことによって、時間変化による発光強度の増減が確認できる。

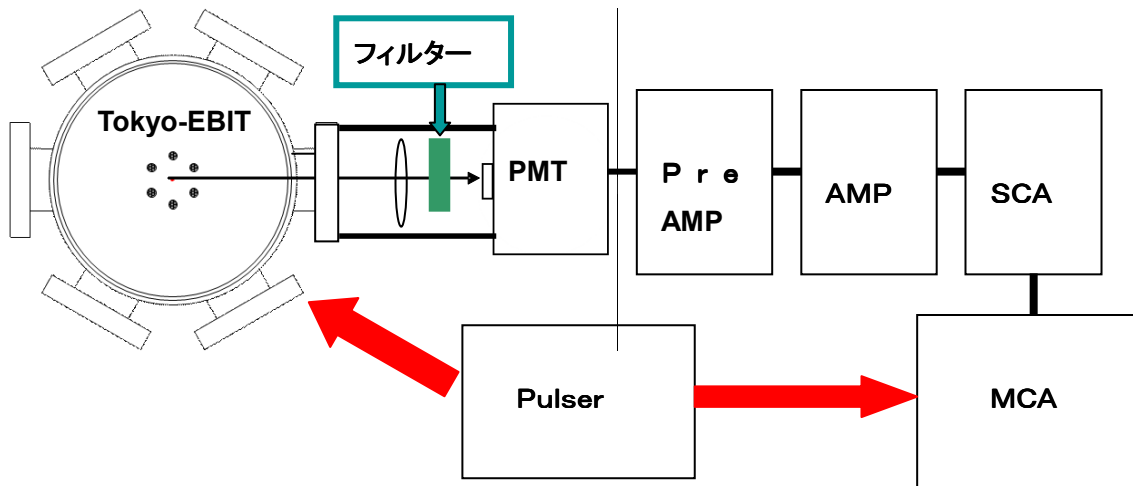


図.2 実験装置概略図

[結果]

組み上げた装置の評価のために、まずは遷移寿命と遷移波長のよく知られている  $\text{Fe}^{13+}$  (530.29 nm) の遷移寿命を測定した。結果を図.3 に示す。また、フィッティングに用いた式を (1) に示す。

$$N(t) = C_1 \exp(-t/t_0) + C_2 \quad (1)$$

ここで、 $C_1$  は  $t=0$  における発光強度、 $t_0$  は減衰時間 (遷移寿命)、 $C_2$  はバックグラウンドである。電子ビームが遮断された瞬間にはトラップ領域から逃れる多価イオンが存在するので、急激に発光強度が落ちる。その部分を除いてフィッティングを行うことで、遷移寿命を求めた。

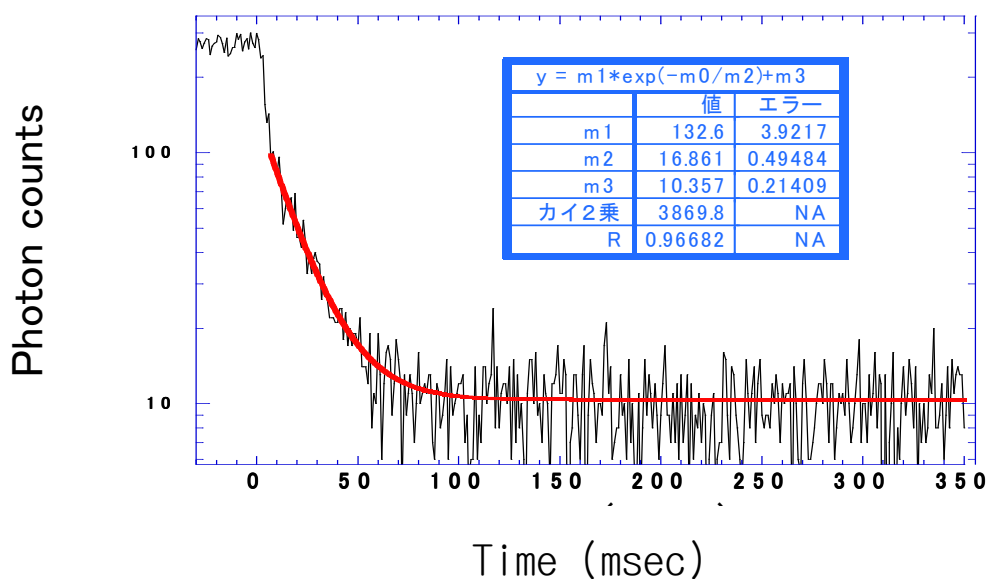


図.3 Fe<sup>13+</sup>の遷移寿命測定結果

今回の測定値は  $16.9 \pm 0.5$  ms であり、過去の測定値 ( $16.726 \pm 20$  ms[3]) と一致するため、今回立ち上げた装置で遷移寿命が測定出来ているということが確認できた。次に、目標とするタングステン多価イオンの遷移寿命を測定した。今回は我々の研究室において同定が進んでいる W<sup>26+</sup>の発光線 (389.41 nm) の遷移寿命を測定した結果を図.4 に示す。

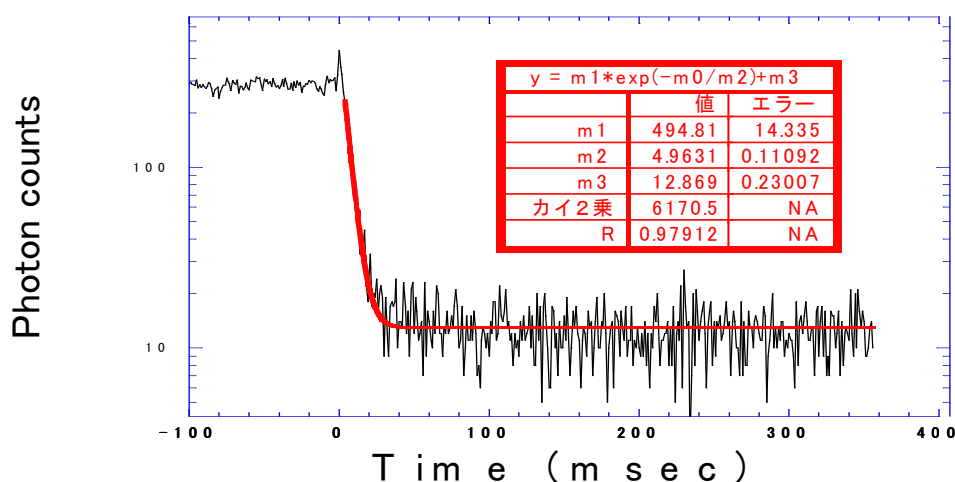


図.4 W<sup>26+</sup>の遷移寿命測定結果

W<sup>26+</sup> (389.41 nm) の測定結果は  $5.0 \pm 0.1$  ms となった。これは理論で予言されている 2.54ms よりも大きな値である。今回使用したフィルターでは、目的とする 389.41 nm の発光線の外、波長の近い W<sup>25+</sup>の発光線も透過している可能性があり、今後の実験で検証する必要がある。

#### [まとめ]

遷移寿命を測定する装置系を立ち上げた。まず、遷移寿命のよく知られている Fe<sup>13+</sup> (530.29 nm) の測定を行い、装置の評価を行った。続いて、W<sup>26+</sup> (389.41 nm) の測定を行い、 $5.0 \pm 0.1$  ms の結果を得た。今後も発光スペクトル測定と同時に遷移寿命を測定し、タングステン多価イオンの基礎データを蓄積する。

#### 参考文献

- [1] 菊池浩行： 電気通信大学 平成 19 年度 修士論文
- [2] 益田周防海： 電気通信大学 平成 14 年度 修士論文
- [3] G.Brenner et al., Phys. Rev., A 75 (2007) 032504