

多価イオンの二電子性再結合過程の研究

大谷俊介研究室 高橋俊輔

【目的】

多価イオンとは一般に原子から二個以上の電子を取り去ったイオンのことをいう。取り去られた電子の数が q 個のとき、これを q 価の多価イオンという[1]。本実験では W(タングステン、原子番号 $Z=74$)の 64 価程度の多価イオンに対して二電子再結合の観測を行った。

多価イオンと電子との衝突における再結合過程には主に放射性再結合過程(Radiative Recombination:以下RR)と二電子性再結合(Dielectronic Recombination:以下DR)がある。ここでRRとは図 1(a)のように電子エネルギー E_e の電子が束縛エネルギー E_B の準位に捕獲される際に、 (E_e+E_B) のエネルギーを持った光を放出する過程である。一方DRでは、まず図 1(b)のように $E_1=E_2$ が等しいときに、内殻の電子が励起されると同時に自由電子が空の準位に捕獲される。この準束縛状態を経由し、光を放出することにより脱励起する過程がDRである[2]。図 1(b)はL殻の電子がM殻に励起すると同時に自由電子がM殻に捕獲されるDRを示したものであり、一般にLMMと表記される。WのDRに関する共鳴強度などのデータは核融合プラズマにおける放射損出を決定する上で重要なものであり、系統的な測定が望まれている。

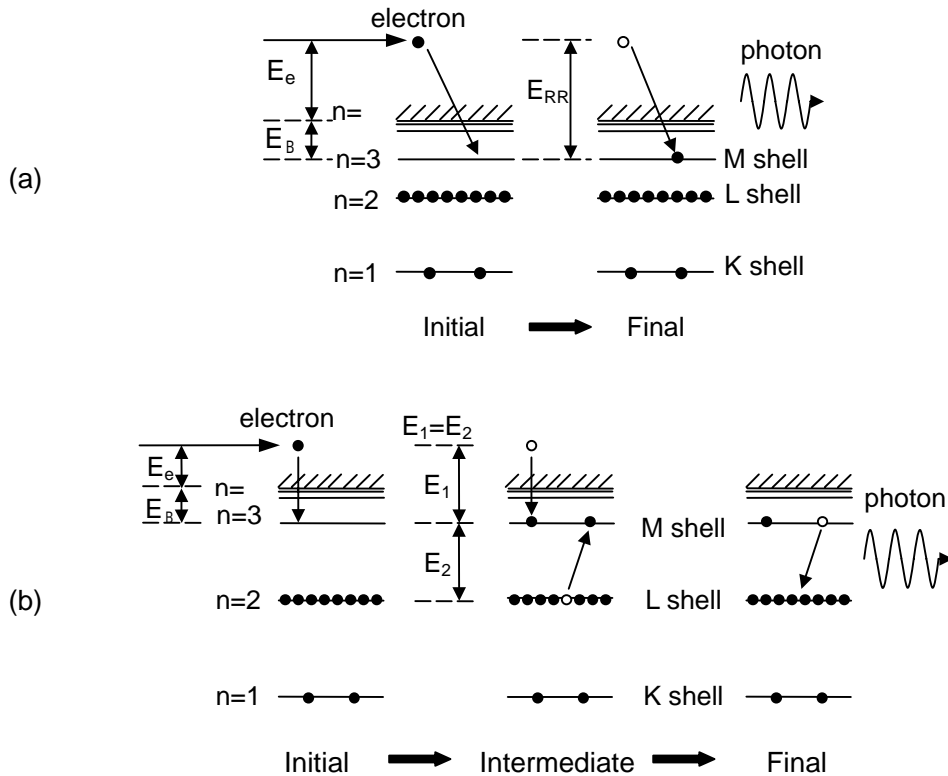


図 1. (a)RR (b)DR LMM

【実験装置】

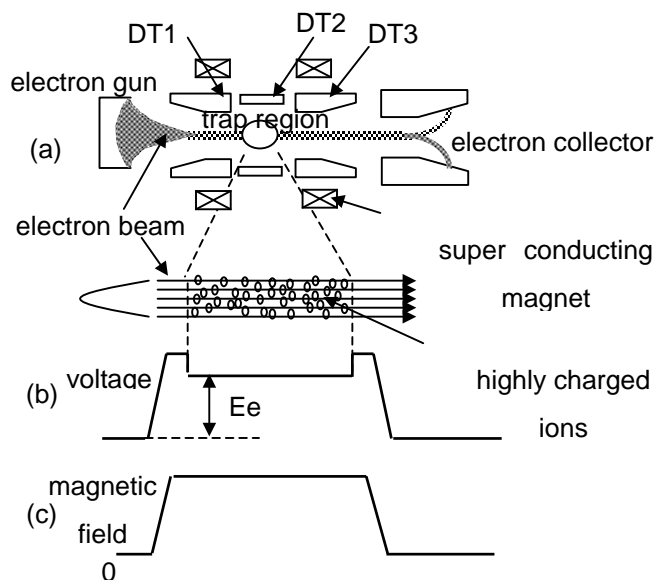


図2. (a)EBIT (b)電位配置 (c)磁場分布

本実験では EBIT(Electron Beam Ion Trap)と呼ばれる多価イオン生成装置を用いた。EBIT は大きく4つに分けると図 2(a)のように電子銃、ドリフトチューブ(DT)、超伝導磁石、電子コレクターから成る。電子銃から出射した電子は図 2(b)のような電位配置によって加速され、超伝導磁石により作られる磁力線に沿って径方向に圧縮されながら DT に入射する。三つに分割された DT の両端には中央よりも高い正電圧が印加されており、DT 2 の領域においてイオンは軸方向に封じ込められる。また、強磁場で圧縮された高密度電子ビームの空間電荷のために、イオンは径方向にも閉じ込められる。このようにしてトラップ内に閉じ込められたイオンに高エネルギー・高密度の電子ビームを衝突させ、逐次電離させることで多価イオンが生成される[1]。

【実験方法】

実験装置のセットアップを図 3 に示す。本実験では W 多価イオン生成のために、揮発性の高い $W(CO)_6$ の蒸気をイオントラップ領域へ導入し、電子ビームエネルギーを適宜調整することで Ne 様 W イオンを生成した。その後、電子ビームエネルギーを共鳴領域において走査しながら、電子ビームに対して 90° の向きに設置されたエネルギー分散型の Ge 半導体検出器により、再結合過程時の X 線を観測した。EBIT の電子ビームエネルギーは W^{64+} の生成エネルギー (14 keV) から DR 観測の共鳴エネルギー (1.5 keV) までを高速走査することで、トラップ領域内の価数分布維持と X 線観測を効率的に行った。

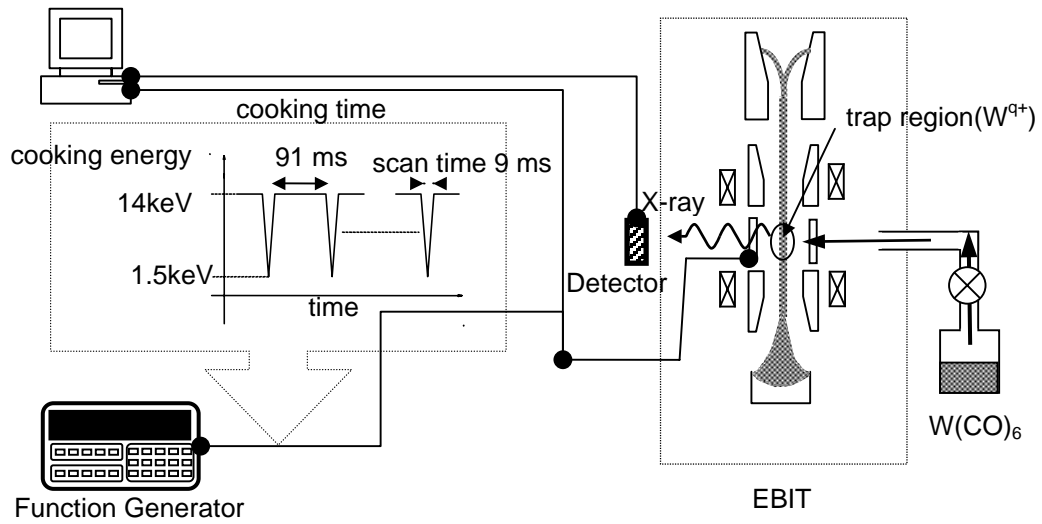


図3. 実験装置のsetup

【実験結果】

図4に本実験で観測された結果を示す。横軸がX線のエネルギー、縦軸が電子ビームエネルギーであり、X線の強度を色で表したものである。

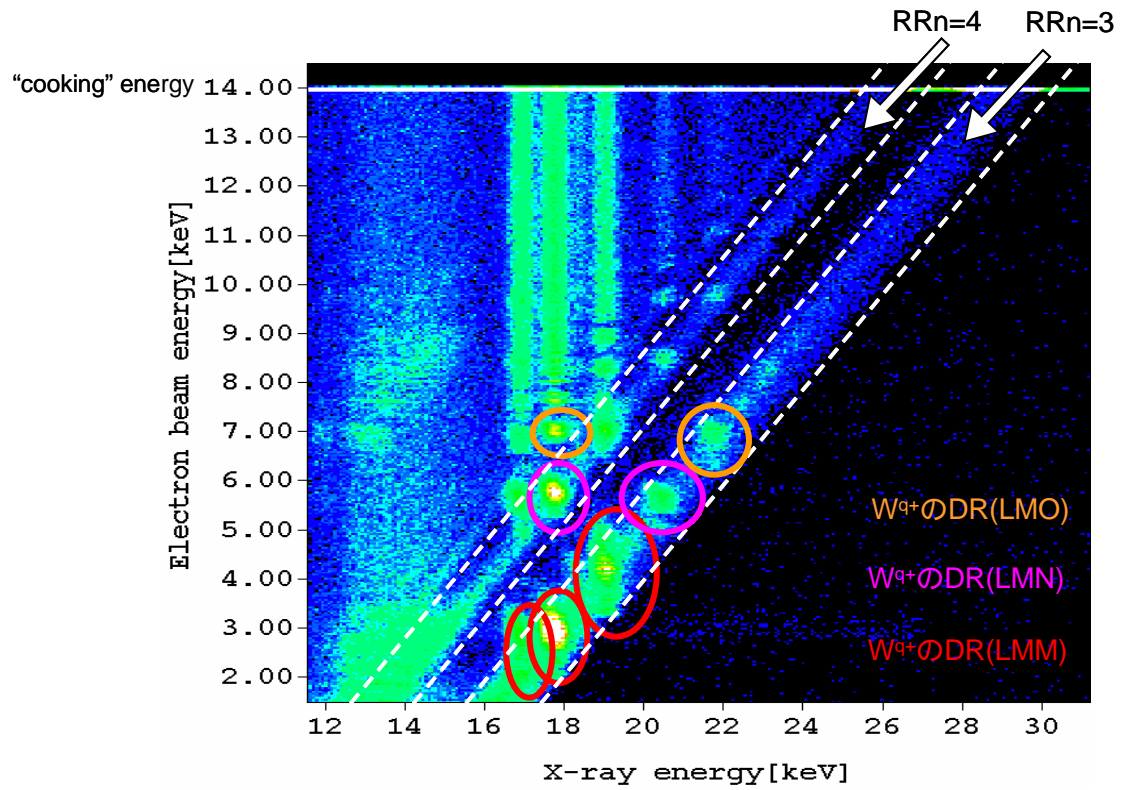


図4. 実験結果1

図に示したように DR の LMM、LMN、LMO をそれぞれ確認することができた。また、点線で囲っているのは $n=3$ および 4 準位に電子が捕獲される RR による X 線である。

図 5 に RR ($n=3$) の X 線の強度を電子ビームエネルギーの関数として表した結果を示す。

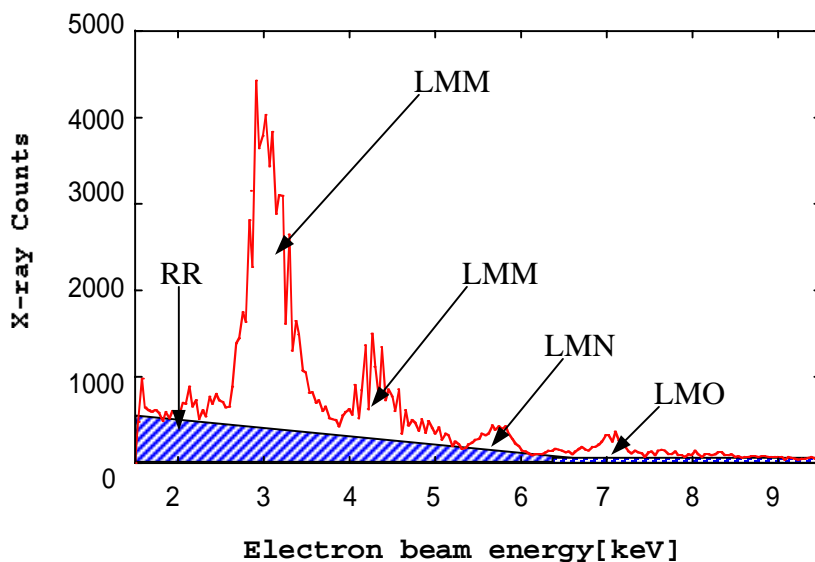


図3. 実験結果2

図に示したように、電子ビームエネルギーに対してゆるやかな依存性を示すのは RR による X 線である。この RR 断面積については信頼のできる計算値を得ることができるため、それに規格化することで DR 断面積を求めることができる。しかし、スペクトルの各ピークには、Ne-like W 以外の様々な価数が含まれている。したがって、DR 断面積を正確に求めるためにはトラップ内の価数分布を調べる必要があり、それは今後行う予定である。

【まとめ】

- W(CO)₆を用いることでWの多価イオンを生成することができた。
- W^{q+}のDRを観測し、W⁶⁴⁺(Ne-like)のDRのLMM,LMN,LMOを確認できた。
- W⁶⁴⁺のDR断面積を決定するため、トラップ内の価数分布を測定する。

【参考文献】

- [1] N. Nakamura, H. Shimizu, and S. Ohtani, J Mass Spectrom. Soc. Jpn. Vol. 49, No. 6 (2001)
- [2] 飛山廣継, 電気通信大学・レーザー新世代研究センター・卒業論文概要集(2004)