

強制非平衡イオン分光による重元素多価イオンの電子衝突電離断面積測定を試み

佐々木康⁽¹⁾、物部将士⁽²⁾、中村信行⁽²⁾、坂上裕之⁽³⁾、村上泉⁽³⁾⁽⁴⁾、加藤太治⁽¹⁾⁽³⁾
 Sasaki Yasushi⁽¹⁾、Monobe Masashi⁽²⁾、Nakamura Nobuyuki⁽²⁾、Sakaue Hiroyuki⁽³⁾、Murakami Izumi⁽³⁾⁽⁴⁾、Kato Daizi⁽¹⁾⁽³⁾

(1)九州大 (2)電通大レーザー研 (3)核融合研 (4)総研大
 (1) Kyushu Univ (2) ILS/UEC (3) NIFS (4) SOKENDAI

1. 緒言

国際熱核融合実験炉(ITER)では、ダイバータとして優れた特性をもつタングステンを用いた材料研究・開発が進められている。ところが、重元素であるタングステンは数十 keV もの高温に達する炉心プラズマ中でも完全には電離されず、束縛電子による強い光放射が起こるため、炉心プラズマの放射冷却、核融合反応効率の低下、更には炉心プラズマの消滅を引き起こす可能性がある。プラズマ中では、自由電子との衝突によって、タングステンの電離と再結合が起こっており、それぞれの速度のバランスによって、価数分布が決まる。したがって、価数分布を理解するには電子衝突による電離・再結合の断面積データが必要である。ところが、現状では、20 価以上のタングステン多価イオンの電離・再結合断面積の実験データがほとんど存在しないため、理論モデルに頼らざるを得ない。本研究では、これまで実験的に困難であった高階電離多価イオンの電子衝突電離断面積の測定方法を新たに提案する。

2. 実験方法

今回は電通大共同研究で既に実験が行われていた金の多価イオンの結果を使用した[1]。まず、今回の実験に用いる小型電子ビームイオントラップ(通称CoBIT)装置[2]について説明する。電子銃、ヘルムホルツ型の超伝導コイル、3つのドリフトチューブ、電子コレクタで構成されている。中央のドリフトチューブにトラップされたイオンを高密度電子ビームによる逐次電離で多価イオン化する。生成された多価イオンは、超伝導コイルによるビーム軸方向の強磁場、磁場により圧縮された電子ビームの空間ポテンシャルにより径方向に閉じ込められる。また、中央のドリフトチューブ電極の電位を両極より低くして井戸型ポテンシャルを生成し軸方向に閉じ込める。電子ビームエネルギーにより、トラップ領域内のイオンの主な価数を任意に制御することが可能である。

CoBIT内に最大の価数が17価までの金イオンを生成するために電子ビームエネルギーを420eVにして

おく。その後、17価のイオンが電離するためにパルス的に電子ビームエネルギーを480eVにして電離エネルギーより高くすることで17価から18価の金イオンに移り変わる非平衡状態を作る。その際の17価の基底状態($4f^{14}5s^2$)の極端紫外域(EUV)発光線強度と、18価の金イオンの基底状態($4f^{14}5s$)と準安定励起状態($4f^{13}5s^2$)のEUV発光線強度の時間変化を観測する。

3. データの解析方法

本研究ではベイズ主義に基づいてデータ解析の精度の可能性を議論する。また、ベイズの定理における事後確率を最大化させるために、レーベンベルグ・マーカット法で非線型フィッティングを行って解析を行った。

そして、コロナモデルを仮定した上準位と下準位の発光線強度とイオン密度との対応関係を用いて電離断面積を求める。

4. 結果と考察

金イオンの17 価の基底状態($4f^{14}5s^2$)から18 価の基底状態($4f^{14}5s$)への電離断面積と17 価の基底状態($4f^{14}5s^2$)から18 価の準安定状態($4f^{13}5s^2$)への電離断面積を実験データから求めた。また、その結果を理論計算で求めた金イオンの電離断面積と比較した。比較するとどちらの電離断面積も実験値の方が理論値よりも大きくなることが確認できた。この理由として2つの原因が考えられる。1つ目は理論計算で Au^{17+} の基底状態からの電離のみしか考慮していないということ。 Au^{17+} の準安定状態からの電離がどの程度起きているのか考慮する必要がある。2つ目の理由は電子密度を正確に評価できていない可能性があるからだ。本発表では1つ目の理由がどの程度影響を及ぼすかについても報告する予定である。

参考文献

- [1] 物部将士 修士論文 電子ビームイオントラップの電子エネルギー制御による多価イオンの励起・電離過程の研究
 [2] N. Nakamura, H. Kikuchi, H. A. Sakaue, & T. Watanabe, 2008, Rev. Sci. Instrum., 79, 063104.