

多価イオン表面衝突における 発光過程の観測

中村信行研究室
相田裕也

「背景・目的」

我々の研究室では、20~80 価程度という高度に電離した多価イオンの研究を行っている。多価イオンの最大の魅力は、自身が持つポテンシャルエネルギーによる固体表面との反応の豊かさである（多価イオンが持つポテンシャルエネルギーはその価数のイオンを生成する為に必要なイオン化エネルギーの総和として定義される）。多価イオンと固体表面が衝突した際には、固体表面の構造に大きな影響を及ぼすことが多く報告されている。これまで、電子、イオン、中性粒子などの二次粒子放出過程の研究が多く行われているが、固体表面の電子状態励起の観測例はあまり報告されていない。そこで本研究では、蛍光体に多価イオンを照射し、電子励起に伴う発光を観測することで、多価イオンのポテンシャルエネルギーが電子励起に費やされる機構を調べることを目的とした。

「実験」

図 1 に実験装置の概略を示す。イオン源としては、Tokyo-EBIT と呼ばれる多価イオン生成装置を用いた。Tokyo-EBIT で生成した 28~51 価の沃素多価イオンをビームとして引き出し、価数分析磁石で価数分別した後に、穴あき（穴径 1mm）のマイクロチャンネルプレート（MCP）を通し標的試料に照射した。標的試料には、導電性ガラス基板上に成膜された無機蛍光体 P22 (ZnS:Cu, Al) を用いた。照射多価イオンの数は、標的試料から放出される二次電子を穴あき MCP で計測することで決定した。多価イオンが標的に衝突すると多数の二次電子が標的から放出されるため、その信号を検出することで、単一イオンの入射を検知することが出来る。また、標的から放出された光子は標的試料の後ろ側に設置したファイバーで真空チェンバー外に取り出し、電子冷却したフォトンカウンティング仕様の光電子増倍管で検出した。観測された光子の数を照射イオンの数で除することにより、イオン 1 個当たりの発光強度を求め、その価数依存性を調べた。

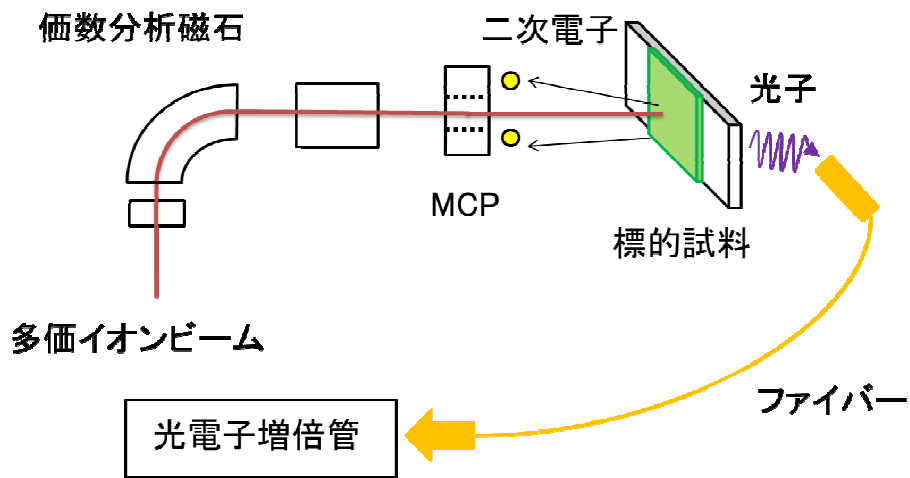


図 1 : 実験装置図

「結果」

実験結果を図 2 に示す。これは、入射多価イオンと放出光子の数を縦軸に取り、価数分析磁石の電流を横軸に取ったものである。この図より、放出される光子の数が低価数領域から高価数領域になるにつれて相対的に大きくなっていることが分かる。また、図 2 の各ピークを積分することで光子の数、照射多価イオンの数を算出し、光子の数を照射多価イオンの数で除することにより多価イオン一個あたりから放出される光子の数（発光収率）を求めた。

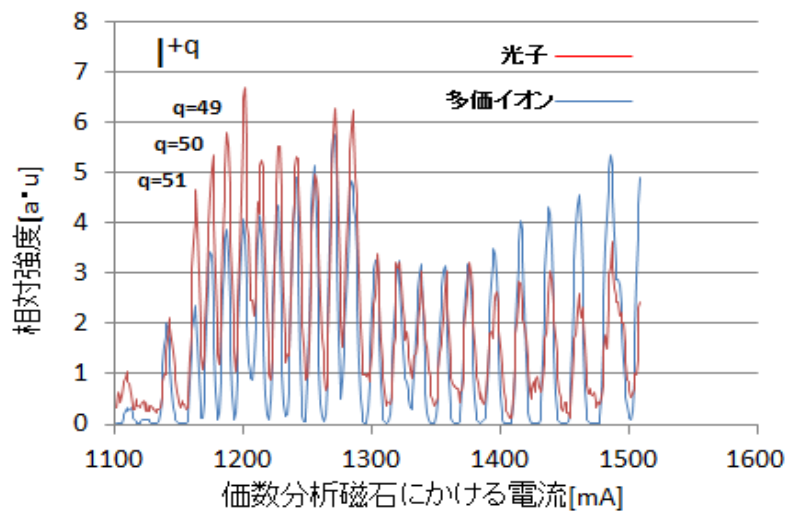


図 2 : 価数スペクトル

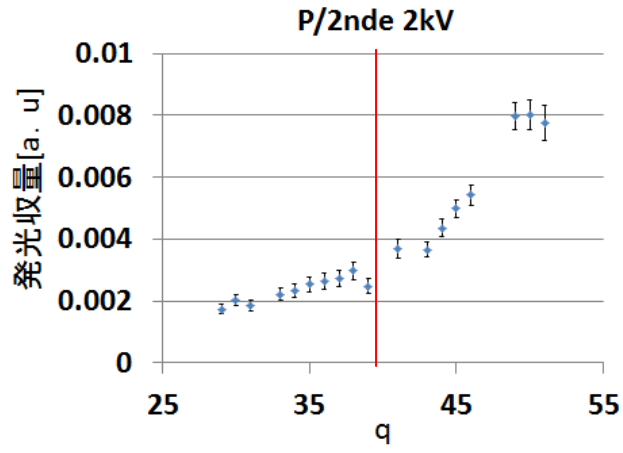


図 3 : 発光収量の価数依存性 (2kV)

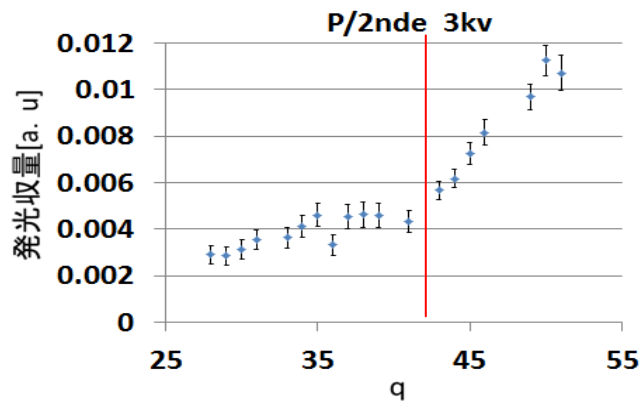


図 4 : 発光収量の価数依存性(3kV)

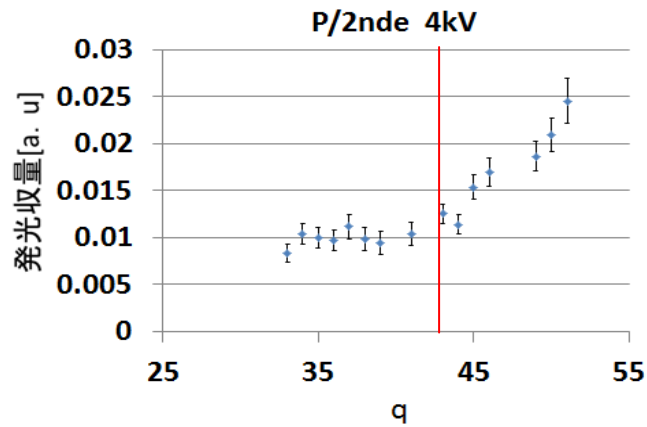


図 5 : 発光収量の価数依存性(4kV)

引き出し電圧 2kV、3kV、4kV のときの結果をそれぞれ図 3、図 4、図 5 に示す。まず、引き出し電圧を大きくすると、つまり運動エネルギーを大きくすると、どの点でも発光収量が大きくなるのがわかった。また、43 価の付近から発光収量が急に増加することが分かった。

I^{43+} は Ne 様イオンであり $[1s^2 2s^2 2p^6]$ の閉殻構造をしている。つまり I^{44+} から高価数領域側では L 殻に電子軌道を持ち始める。L 殻に空席があると、多価イオンの中性化過程で大きなエネルギーを持つ L-X 線や L-Auger 電子を放出する。これより、この大きなエネルギーを持つ L-X 線や L-Auger 電子が蛍光体の電子励起を引き起こし発光強度が増加したのではないかと考えられる。

「今後の展望」

今回の実験は発光収量の相対値であったが、今後は絶対値を得たいと考えている。具体的には観測立体角やファイバーの透過率を考慮した上で、多価イオンの検出効率を正確に評価したいと考えている。今回の実験では二次電子により多価イオンの入射を検知したが、その波高分布に不明な構造が確認された。これにより、二次電子のイベント数が正確に計測されていないのではないかという問題が挙げられた。本実験では、二次電子のイベント数を照射多価イオンの数と考えているため、この問題を解決する必要がある。そこで、図 6 のような阻止電場型のエネルギー分析装置を製作し、二次電子のエネルギースペクトルを測定することで、原因解明のヒントを得ようと考えている。

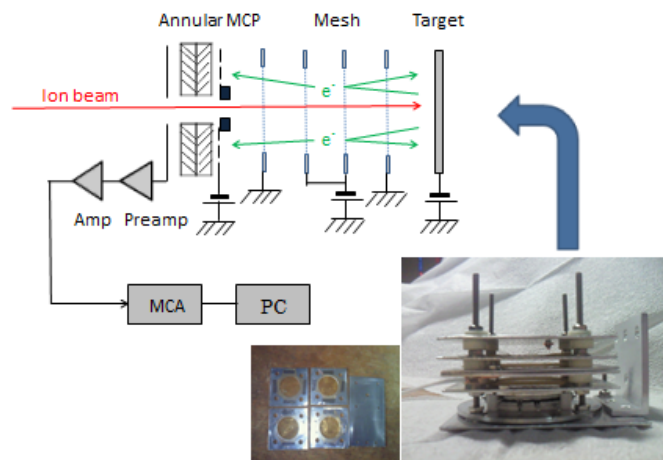


図 6 : 実験装置図