

多価イオン照射による金属表面からの二次電子放出

量子物質工学科 大谷研 0413039 菊地 佑磨

1. 背景

多価イオンとは、中性原子から電子を二個以上増加、もしくは減少させた正負のイオンのことである。しかし、本研究においては多価イオンとは原子から複数の電子を取り去り、高度に電離した正の高価数イオンである。このような多価イオンは1価イオンや中性粒子・光子とは異なる特徴を有している。その1つが大きなポテンシャルエネルギーを持つことである。

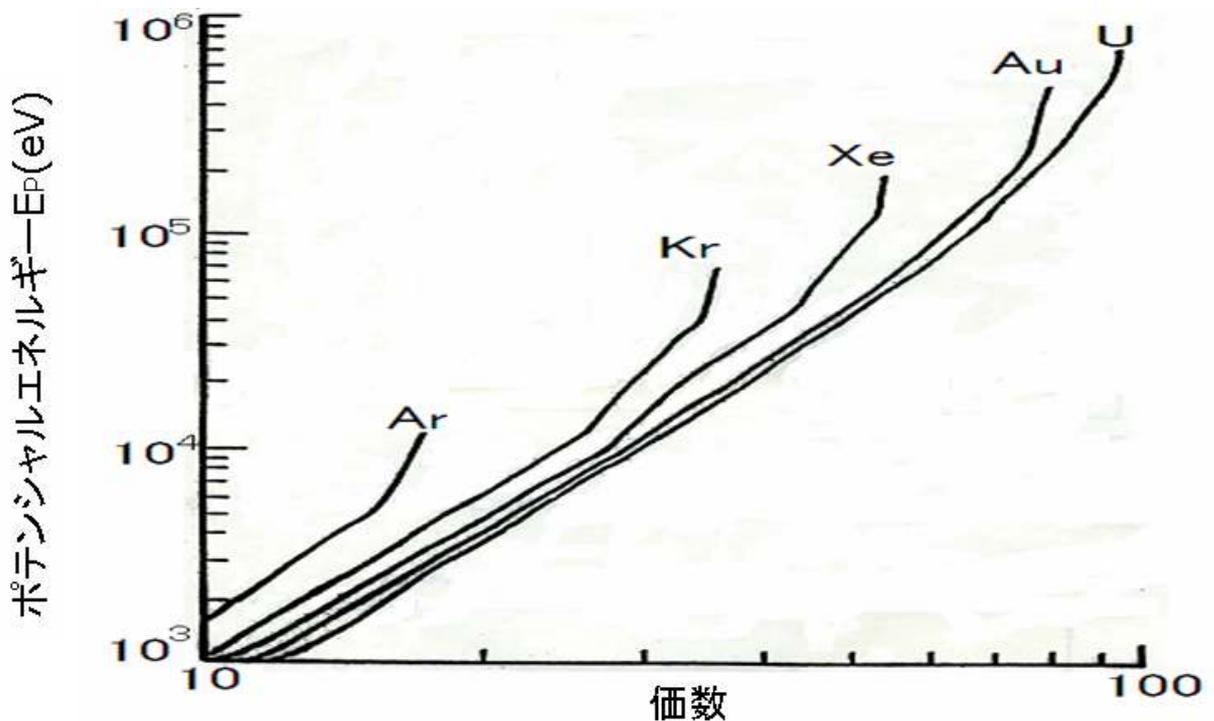


図1 ; 多価イオンのポテンシャルエネルギー

図1に示す多価イオンのポテンシャルエネルギーは価数に応じて増加し、原子番号 Z のとき電子を $Z-1$ 個、 Z 個取り去った水素様多価イオンと裸の多価イオンは特に大きなポテンシャルエネルギーを持っている。

二次電子とは、一般に電子、イオンあるいは光子等を固体表面に照射した際に出る電子のことを言う。二次電子放出率は照射する粒子のもつ運動エネルギーに依るもので、粒子に高い運動エネルギーを与えれば、多くの二次電子を放出する。1価イオン1個を固体表面に照射することで放出される二次電子放出率は0.1~1であるのに対し、多価イオンのそれらは、高価数になるにしたがって、その数は数十~数百にもなると報告さ

れている。その理由として、多価イオンの場合には二次電子発生機構が他の粒子の時とは本質的に異なるためである。先に述べたように多価イオンは膨大なポテンシャルエネルギーを持っているため、二次電子放出の際にはポテンシャルエネルギーによる寄与も考える。

ポテンシャルエネルギーによる主な寄与として考えられるのは Auger 崩壊である。Auger 崩壊について簡単に説明する。多価イオンが固体に近づくと固体内電子が多価イオンの無数の空の準位に捕獲され、多数の電子が同時に励起状態にあるような中空原子（イオン）を形成する（図 2）。その後先に述べた Auger 崩壊により真空中に電子が放出される。更に、励起状態にゆるく束縛された電子が固体表面に突入する際にはじき出される他、固体内を進む過程において内殻 Auger 電子を放出する

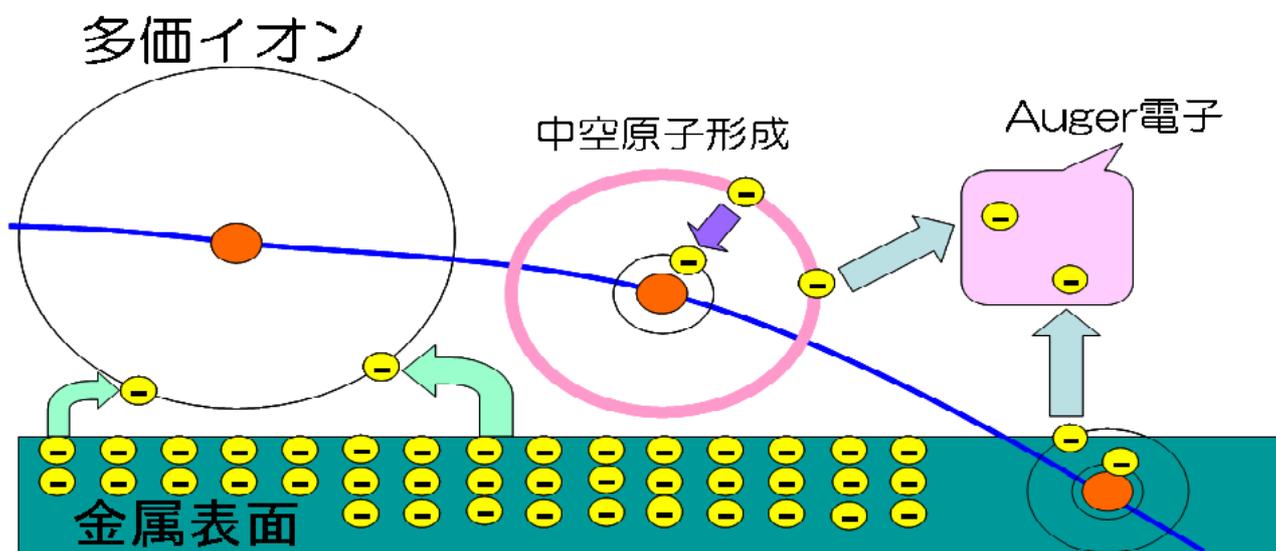


図 2 ; 多価イオンによる二次電子放出過程

2. 目的

前述のように、多価イオンを金属表面に照射すると、入射イオンが 50+ 程度の多価イオンであれば、イオン一個あたり 100 個以上の二次電子が放出される事が知られている。しかし、その放出率の系統的に測定例は極めて少ない。二次電子放出率は、今後多価イオンを扱う本研究室において様々な研究に必要な値であると考えられ、実際に、自作したスピナー分析器への二次電子の捕集効率や測定時間の見積もりなどを行う際の重要なパラメータとなる。そこで、本研究の目的としては二次電子の放出率を系統的に調べることを目的としている。

3. 実験内容

本実験では標的をニッケル ($Z=28$) とし、ニッケルにヨウ素 ($Z=53$) とビスマス ($Z=83$) の多価イオンを照射した際の二次電子放出率を求めるための装置を設計した。

図3に二次電子放出率測定実験概略図を示す。ヨウ素とビスマスの多価イオンをEBITで生成し、その多価イオンビームをレンズやデフレクターで絞り、価数分析磁石で特定の価数イオンのみを引き出しチャンバー内に照射する。図4にチャンバー内の測定系を示す。その多価イオンを1.5mmのアパーチャーを通し、今回のサンプルであるニッケルに照射する。そのときニッケルに流れる電流を電流計で測定する(I_t)。また、標的を下げることにより、後方にあるMCPで多価イオンの数をカウントした(N_{HCI})。その値を価数と電子素量 e とから二次電子の電流(I_{HCI})を求め、そこから二次電子放出の電流値が求まる($I_{SE}=I_t-I_{HCI}$)。そこから二次電子の個数が求まる(N_{SE})。それらの値から放出率を求めた。二次電子放出率は $\gamma = \frac{N_{SE}}{N_t}$ で表され、一つの多価イオン当りの二次電子の個数である。

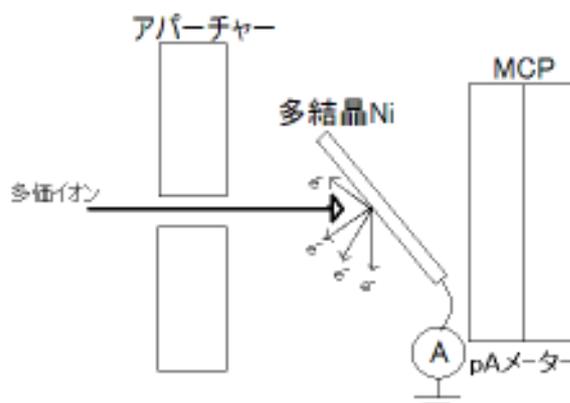
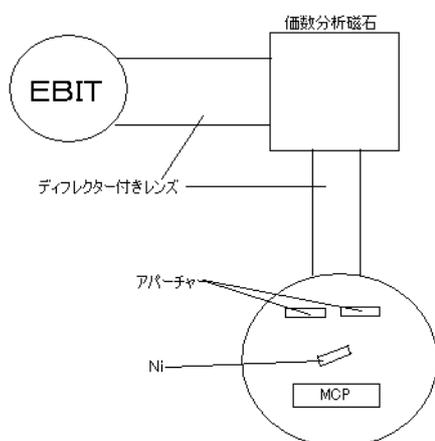


図3；二次電子放出測定実験概略図

図4；チャンバー内の概略図

照射イオンエネルギーは $q \times 3 \text{ keV}$ であり、真空度は $2 \times 10^{-7} \text{ Pa}$ で実験を行った。ヨウ素の最大 count は $1 \times 10^5 \text{ cps}$ 、ビスマスは $2.5 \times 10^4 \text{ cps}$ であった。また、ヨウ素の価数は $10 \sim 44$ 価、ビスマスは $35 \sim 66$ 価の範囲で測定した。

4. 測定結果

測定結果のグラフを図5に示す。今回の測定では、二次電子放出率は I^{40+} で 100、 Bi^{60+} で 200 を超える。ヨウ素の 37 価とビスマスの 38 価がほぼ同じ二次電子放出率をとっている。また価数の増加に従い二次電子放出率が増加していることから、二次電子放出率の価数依存性をみることができる。

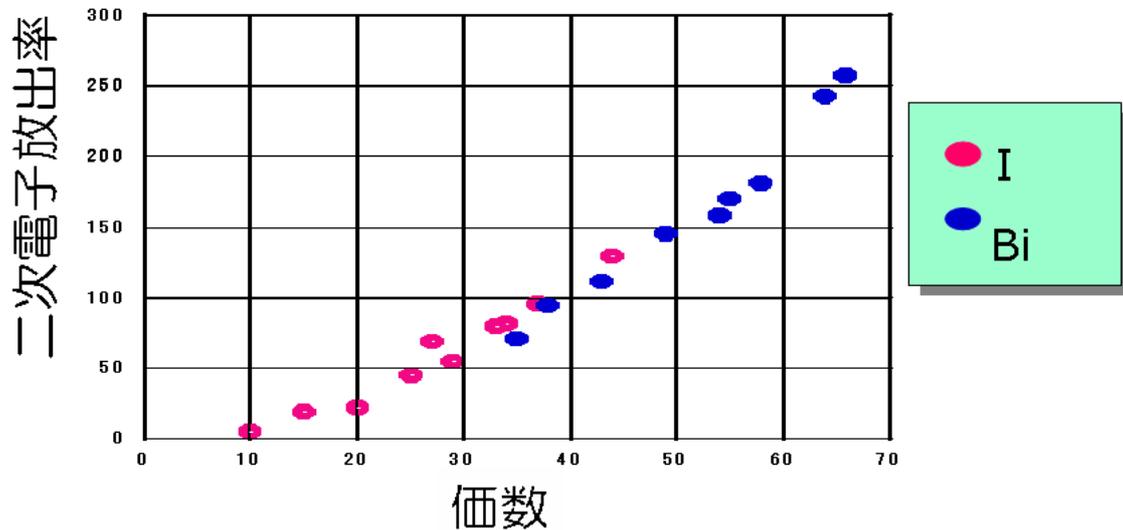


図5；二次電子放出率の入射イオン価数依存性

5. まとめ

二次電子放出率は工業的に重要なパラメータである。そこで今回、Tokyo-EBIT を用いてヨウ素 ($z = 53$) とビスマス ($z = 83$) の多価イオンを生成し、ニッケルを標的し二次電子放出率を調べた。ヨウ素は10～44価、ビスマス35～66価の多価イオンを使用した。その結果、ニッケルを標的とした二次電子放出率は I^{40+} で100、 Bi^{60+} で200を超え、系統的に価数による依存性が強く見られた。 I^{37+} と Bi^{38+} でほぼ同じ二次電子放出率を示した。このことから、ポテンシャルエネルギーよりも価数に依存していると考えられる。

6. 今後の予定

今回の実験からヨウ素とビスマスでは、二次電子放出率の似た価数依存性がみられた。今後は異なる多価イオンや標的を使用し同様な価数依存性を持つか調べたい。また、価数の他にイオンの照射角度や速度依存性がないか調べ、系統的な二次電子放出機構を測定していく予定である。