

# イオン - 表面衝突における 二次電子のエネルギー分析

中村信行研究室  
菊池 浩行

## [実験の背景]

我々の研究室では、多価イオン（多数の電子を剥ぎ取られたイオン）照射による二次電子のスピンの偏極度の測定を計画している。

本研究は、その予備実験として、放出二次電子のエネルギー分析を行うことを目的としている。エネルギー分析により二次電子放出の機構が明らかになるため、後のスピン分析実験で得られる結果を理解する上で大変重要である。

## [目的]

本研究は、擬似半球型分析器を用いた放出二次電子のエネルギー分析装置を立ち上げ、多価イオンによる測定を行う前に、一価イオン照射による放出二次電子のエネルギー分析測定を行い、目的の実験を行うための装置として機能することを確認した。多価イオン照射による放出二次電子のエネルギー分析測定を行うことが目的である。

## [原理]

イオンが固体表面に衝突すると、表面近傍の電子がある確率をもって放出されるが、その放出機構には大別して二種類ある。一つは、イオンから固体中の電子にエネルギーが移行し放出されるもので、エネルギー移行量が入射イオンの速度に比例することからカイネティック放出(kinetic emission)と呼ばれる。もう一つは、イオンの持つポテンシャルエネルギーに起因するものであり、ポテンシャル放出(potential emission)と呼ばれ、Auger 中和過程などはその一例である。

ここで、図1にイオン - 表面衝突における中和過程、電子放出過程の一例を示す。

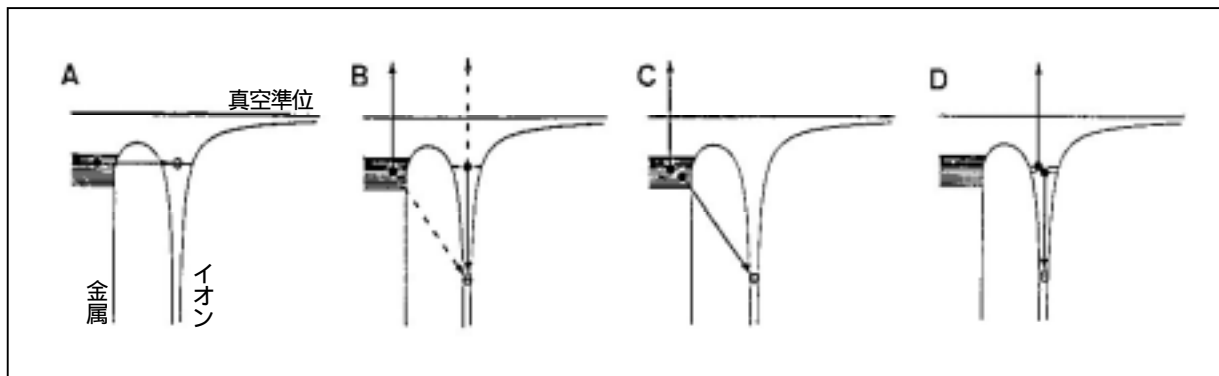


図1、イオン - 表面衝突における中和過程、電子放出過程。  
縦軸はエネルギー、横軸は金属とイオンの距離を示す。

図中の A ~ D はそれぞれ以下のような過程である。

A. 共鳴中性化

金属の Fermi 準位付近の電子が、入射イオンの励起準位に共鳴的に遷移する過程。遷移前後でのエネルギー変化はほとんどなく、直接には電子の放出は起こらない。

B. Auger 脱励起

励起原子(イオン)が脱励起するとき、その脱励起エネルギーを荷電子帯の電子に与えることで電子が放出する。

C. Auger 中性化

金属の伝導体の充満した準位からイオンの空の準位にトンネルする際に、荷電子帯の他の電子に余剰のエネルギーを与えることで電子が放出する。

D. 自動イオン化

二電子励起した原子の原子内 Auger 脱励起過程である。

多価イオンでは、ポテンシャルエネルギーが大きいため、このようなポテンシャル放出が優勢であると考えられる。

[実験装置]

次にエネルギー分析装置について説明する。

図 2 に、エネルギー分析器の原理を示す。今回用いた擬似半球型エネルギー分析器は内球と外球から成る同軸円柱状の極板から構成される。内球と外球に電位差を与え、電子の軌道を偏向させることにより、両極板が作る電場から受ける力と、二次電子のエネルギーによる遠心力が釣り合っている電子のみが検出される。

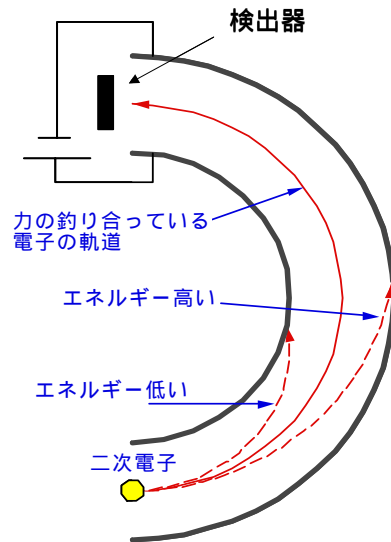


図 2、エネルギー分析原理

図 3 に今回製作したエネルギー分析装置全体の概略図を示す。

イオンビームを照射し、発生した二次電子をエネルギー分析器を用いて選別し、MCP で検出する。

図には無いが、エネルギー分析器の両側面には極板を付け、同心半球と同様な電場にする事により二次電子の軌道を修正し、二次電子の捕集効率を上げている。イオンの入り口には 1mm のアパーチャーを置いているが、その更に 50cm ほど上流にも 1mm のアパーチャーを置くことで、イオンの軌道を制限し、アナライザー電極にイオンが当たることがないようにしている。

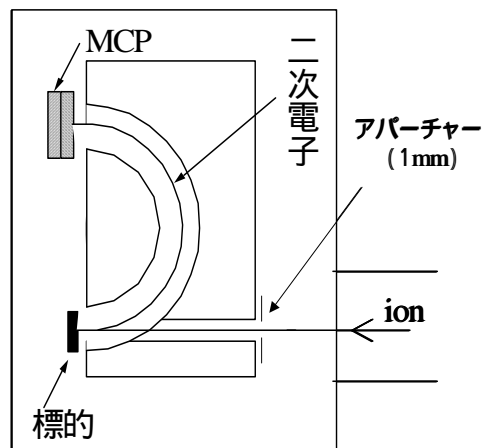


図 3、エネルギー分析装置

## [実験]

装置の試験実験として、一価イオン ( $\text{Ar}^+$ ) を C(グラファイト)に照射した際の放出二次電子のエネルギー分析測定を行った。

標的には、容易に清浄表面を得ることが可能なグラファイトを用いた。

一般に、低価数のイオン照射による二次電子は 0eV から急激に立ち上がり、20eV で最大値をとり 100eV くらいまでには急激に減少することが知られている。

実際に今回得られたエネルギースペクトルを図 4 に示す。横軸は二次電子のエネルギー、縦軸は相対強度を示している。

過去測定されたスペクトルと同様なスペクトルが得られていることから、今回立ち上げた装置が二次電子のエネルギー分析器として機能することを確認した。

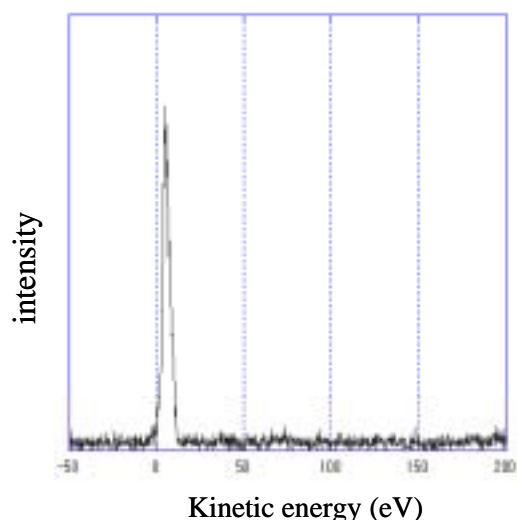
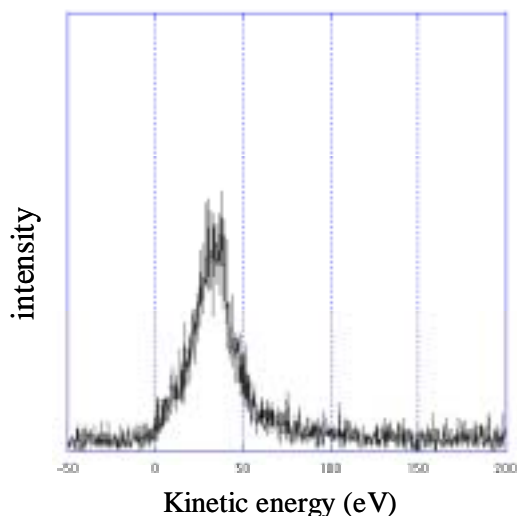


図 4、 $\text{Ar}^+$  (1keV) C における二次電子のエネルギースペクトル

次に、多価イオン ( $\text{Xe}^{52+}$ ) を C(グラファイト)に照射した際の放出二次電子のエネルギースペクトルを測定した。

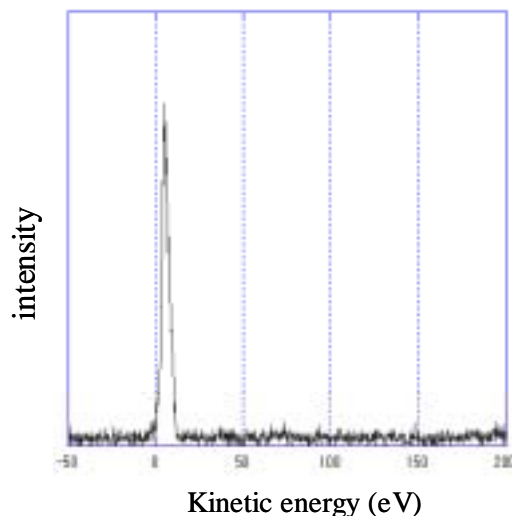
図 5 に  $\text{Xe}^{52+}$  照射におけるスペクトルを示す。比較の為に図 6 として、図 4 のスペクトルを横軸の値を揃えて表示した。(入射イオンの数をモニターしていないため、縦軸は比較することが出来ない)

図 5、図 6 から分かるように、 $\text{Ar}^+$  照射に比べ  $\text{Xe}^{52+}$  照射におけるエネルギースペクトルでは分布に広がりが見られる。以下に  $\text{Xe}^{52+}$  照射におけるエネルギースペクトルに広がりが生じた原因として考えられる事を述べる。



(156keV  $\text{Xe}^{52+}$  impact on C surfaces)

図 5、 $\text{Xe}^{52+}$  C における二次電子のエネルギースペクトル



(1keV  $\text{Ar}^+$  impact on C surfaces)

図 6、 $\text{Ar}^+$  C における二次電子のエネルギースペクトル

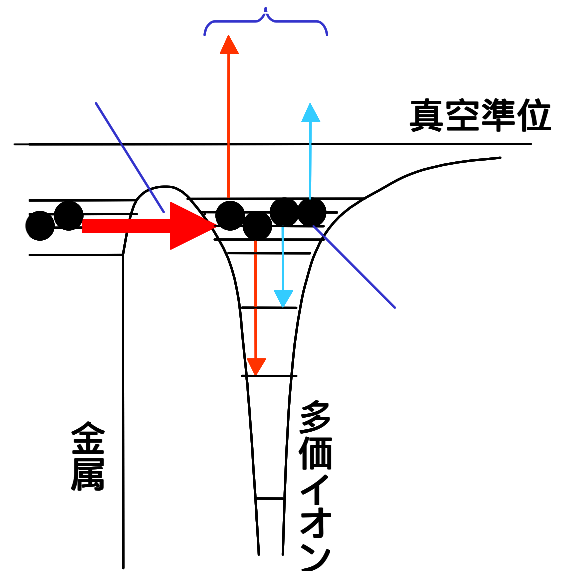
- 、多価イオンは大きなポテンシャルエネルギーを持つため図1における共鳴中性化が起こると、空の準位が多数存在するような主量子数の非常に大きい励起準位に電子が多数取り込まれる。



- 、これらの取り込まれた電子は励起準位にあるため、多数の電子が励起した多電子励起状態になる。



- 、多電子励起状態の後、これらの電子はより低い準位へと脱励起しながら多数の準位間での Auger 過程を経てさまざまなエネルギーを持った二次電子が放出する。



多価イオンにおいて高い励起準位は蜜に存在するため、様々な準位間の Auger 過程によりエネルギースペクトルに広がりが生じたと考えられる。

### [まとめ]

本研究ではまず、放出二次電子のエネルギー分析装置を立ち上げ、一価イオン ( $\text{Ar}^+$ ) 照射により装置の機能を確認した。その後、多価イオン ( $\text{Xe}^{52+}$ ) 照射による放出二次電子のエネルギー分析を行った結果、一価イオンの場合に比べ、分布の広いスペクトルが得られ、この機構を考察した。

今後は、スピン分析実験において標的となる Ni などの磁性体試料を用いて二次電子のエネルギー分析を行う予定である。