

多価イオン照射による固体表面からの スパッター現象

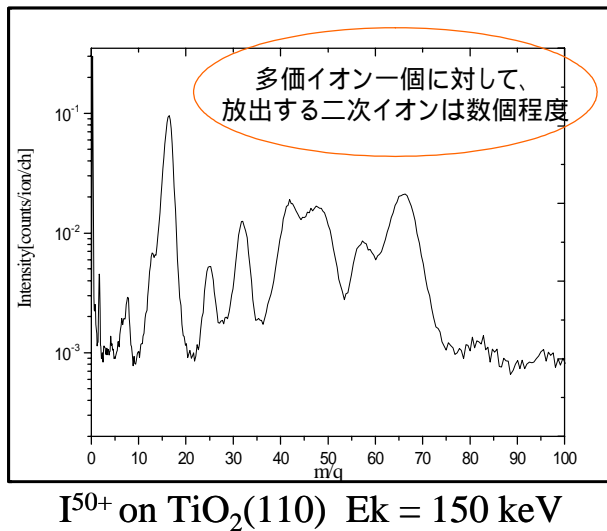
大谷俊介研究室 渦輪 和哉

[背景と目的]

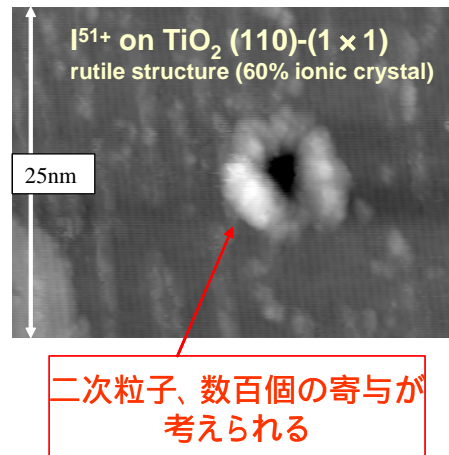
多価イオンとは一般的には2価以上の電荷をもった正負のイオンのことであるが、我々の研究室で扱っている多価イオンは、膨大なポテンシャルエネルギーを有する、高度に電離した正のイオンのことである。このような多価イオンを固体表面に照射すると、多価イオンが持つポテンシャルエネルギーの一部が固体表面に付与され、二次粒子（電子、イオン、中性粒子）や光子が放出される。その結果、様々な表面構造変化が引き起こされる。

この多価イオンと固体表面の衝突過程を簡単に説明する。まず多価イオンが固体表面に近づくと、多価イオンの無数の空の準位に、固体表面から多数の電子が移行する。すると多数の電子が同時に励起状態にあるような、中空原子が形成される。その後、中空原子は、オージェ過程や光放出をくり返し脱励起する。

次に図1としてヨウ素多価イオンとTiO₂表面に対する過去の研究例を示す。まず、(a)はTOF-SIMS (Time Of Flight- Secondary Ion Mass Spectrometry) により観測された2次イオンの質量分析結果である。(b)はSTM (Scanning Tunneling Microscope) により観測された照射痕である。まず、TOFスペクトルのイオン収量より多価イオン一個あたりに放出される2次イオンの数は数個程度であることが分かる。これに対し、STM像からは数百個程度の粒子が表面から脱離していると考えられている。これらの結果から、2次粒子の多くはイオンでなく中性で脱離していることが分かる。多価イオンに電子を奪われ正イオンとなった固体表面内粒子が、真空中へ飛び出す際に中性化していると考えられる。2次イオンの生存確率は2次イオンのエネルギーに依存しており、エネルギー分析を行うことで生存確率の推定が可能となる。そこで、本研究では多価イオン照射によって放出される2次イオンのエネルギー分析を目的とし、今回新たにエネルギー分析装置と質量分析装置とを組み合わせた装置を製作し、その評価を行った。



(a) TOF スペクトル



(b) STM により観測された像

図 1 : 2 次イオン収量測定結果

[装置図と原理]

今回作製した 2 次イオン測定装置を図 2 に示す。2 次イオン測定装置はイオン化室 (Ionizer)、エネルギー分析部 (Energy Analyzer)、飛行管部 (TOF-Tube) の 3 つから構成されている。多価イオンによる実験では 2 次イオンを測定するが、装置の試験では Ar などのガスを使用する。その際には、まずイオン化室でフィラメントから熱電子をとばし、中性原子をイオン化する。イオンはエネルギー分析部でエネルギー選別され、その後、飛行時間により質量分析される原理になっている。また、下の図はエネルギー分析装置のシミュレーションで、右に各レンズの名称を示した。このエネルギー分析装置では Bandpass 電極と Cylindrical Lens が、エネルギーフィルターとしての役割を果たしている。このシミュレーションの場合、イオンはうまく曲げられて、エネルギーフィルターを通過している。

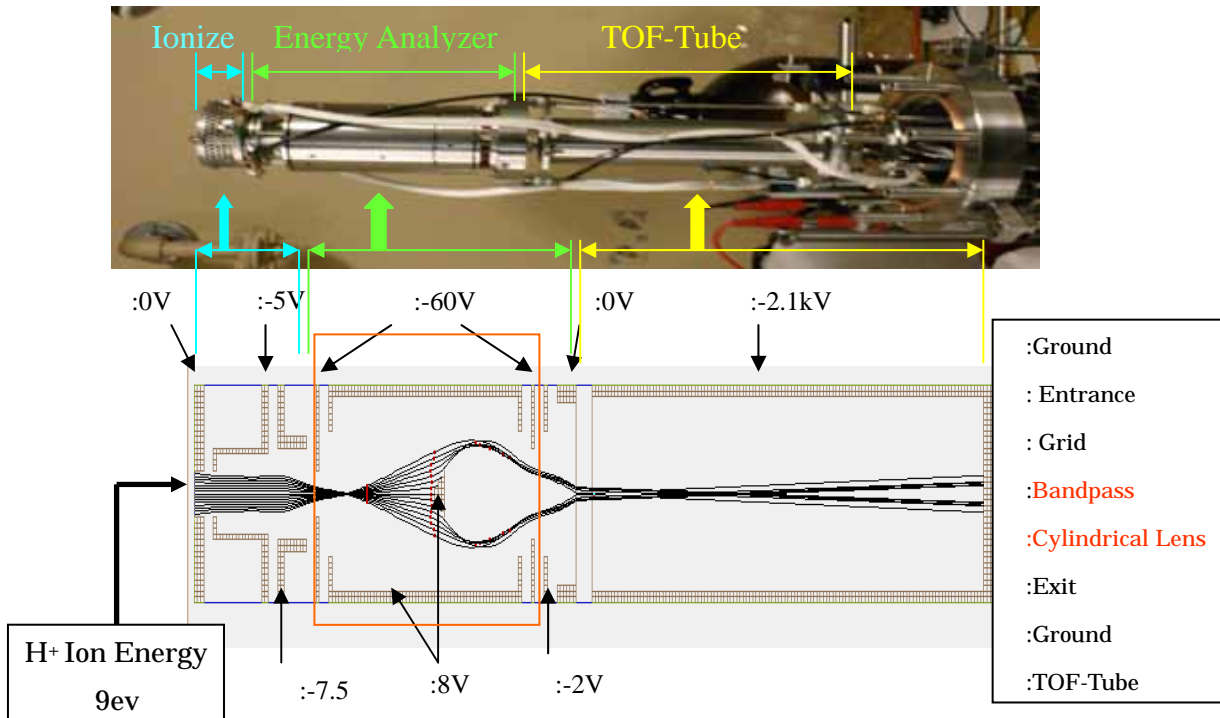


図 2 :装置図とシミュレーション

[実験]

まず、エネルギー分析装置の機能確認として、残留ガスのエネルギーを変化させ、2次イオンのカウント数を測定した。図3にその結果を示す。横軸の Grid 電圧はエネルギーフィルターに入ってくるイオンのエネルギーに相当する。グラフを見てわかるように、Grid 電圧つまりイオンエネルギーを変化させていくと(他のレンズの電位は一定のまま)、ある一定のエネルギーを持ったイオンのみが、エネルギーフィルターを通過していることがわかる。つまり、エネルギー分析装置としての機能を果たしていることが確認できた。次に、残留ガスおよび Ar ガスを導入し質量分析装置の機能確認を行った。飛行時間測定のために、Exit 電極にパルス電圧をかけ、イオンビームをパルス化した。図4にその結果を示す。Ar を入れたときとそうでないときのスペクトルを比較すると Ar を入れたときには $m/q=40$ 付近でピークが見られた。すなわち、エネルギー分析後、質量分析できていることが確認できた。

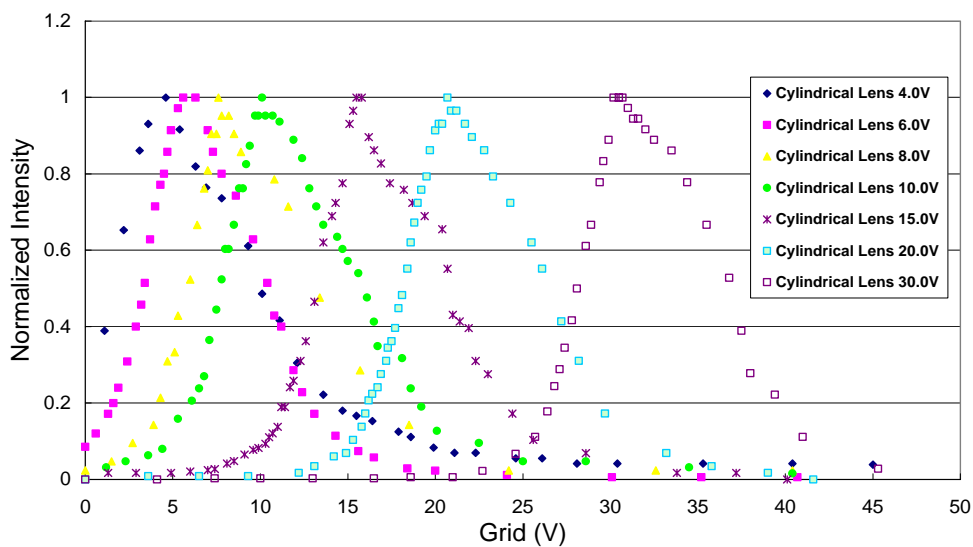


図 3 : エネルギー分析装置の機能確認

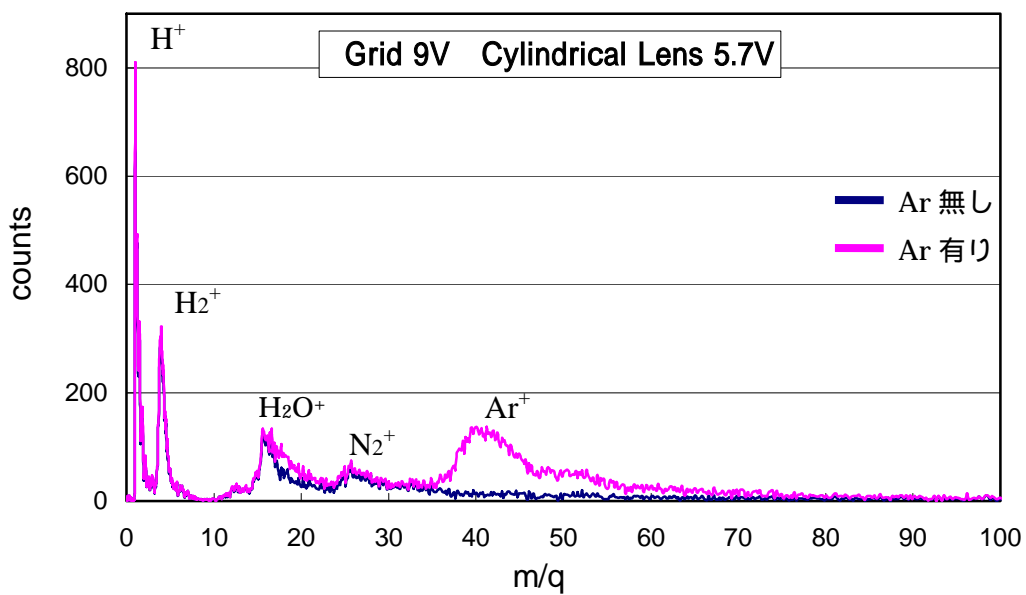


図 4 : TOF スペクトル

[まとめ]

以上の結果より質量分析装置とエネルギー分析装置の機能を確認することができ、二次イオン分析装置としての機能確認ができた。今後はエネルギー分析装置の分解能を上げ、多価イオン照射においてエネルギー選別された二次イオンの TOF スペクトル観測を目標としている。