

多価イオン 固体表面衝突における スパッタリング測定のための MCP 検出効率測定

中村信行研究室 小松崇徳

[初めに]

一般に、加速した中性粒子やイオンが固体表面と衝突する際、固体中の粒子が表面から放出される過程をスパッタリングと呼ぶ。

我々の研究では、EBIT (Electron Beam Ion Trap) と呼ばれるイオン源で生成された多価イオンを固体表面に衝突させた際のスパッタリング過程を調べている。多価イオンによるスパッタリングでは運動エネルギーではなく、多価イオンの持つ膨大な内部エネルギーによりスパッタリングが起こるといった興味深い現象を示す。

[研究目的]

我々の研究室では、多価イオン 固体表面衝突におけるスパッタリング測定の実験が進められており、スパッターされた2次イオンを Micro Channel Plate を用いて検出している。本研究の目的は、MCP の検出効率を求め、絶対的な2次イオン収率を求めることである。

[スパッタリング測定]

本実験では水素終端されたSi (Si(100)2×1-H) にXeの多価イオンを入射させ、入射多価イオンの価数依存性を調べた。

図1の装置を用いて TOF-SIMS (Time Of Flight - Secondary Ion Mass Spectroscopy) と呼ばれる方法により、2次イオンの飛行時間スペクトルを測定し、放出された2次イオンを観測した。

2次イオン収率は

$$\frac{\text{(放出イオン数)}}{\text{(入射イオン数)}}$$

で与えられる。

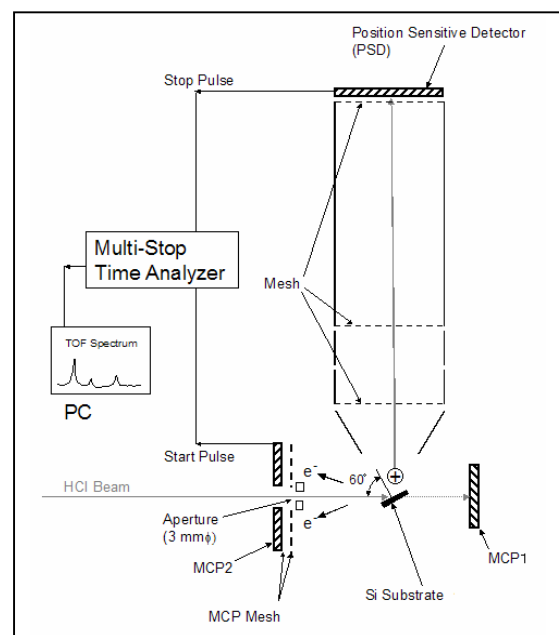


図1.TOF管

図2に本実験における結果を示した。価数の累乗に比例して収率が高くなっている事が分かった。また、プロトンの収率が他の2次イオン収率に比べて極めて高い値をとっていることがわかる。

この図2の縦軸は実験で得られたイオンの信号数を入射イオン数で割ったものであるが絶対的な収率を求めるには、以下のことを考慮しなくてはならない。

- ・ TOF 菅のメッシュの透過率
- ・ MCP の検出効率

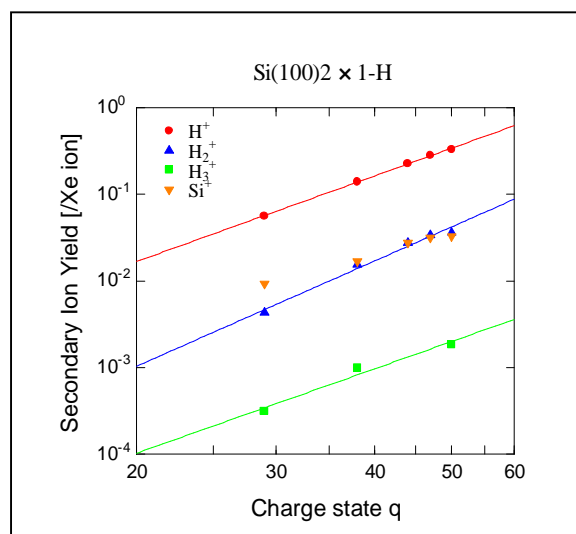


図2 : Xe^{+q} を $Si(100)2 \times 1-H$ に照射した時の2次イオン収率の価数依存性

メッシュの透過率はカタログ値より1枚当たり78%である。しかし、MCPの検出効率は製造会社、型番などによりそれぞれ固有の値を持つ。よって、検出効率を調べる測定を行った。

[検出効率測定]

検出効率を測定するための装置を製作した。図3にその概略図をのせた。ファラデーカップ(FC)で測定する電流値と狭幅スリットを通過したイオンの信号数との比較により検出効率を求める。MCP やその後の信号処理回路の分析所要時間(deadtime)中に複数個のイオンが入射することを避けるため本実験では、これを無視するためにスリットを通過するイオン数が1個以下になるように、ディフレクターに印加する電圧を制御した。その波形を図4に示した。

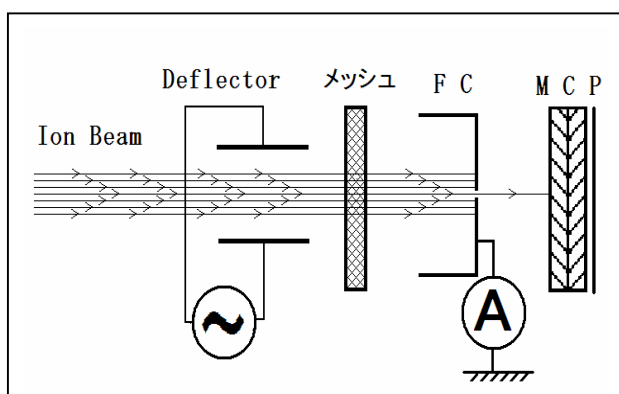


図3 : 検出効率測定装置概略図

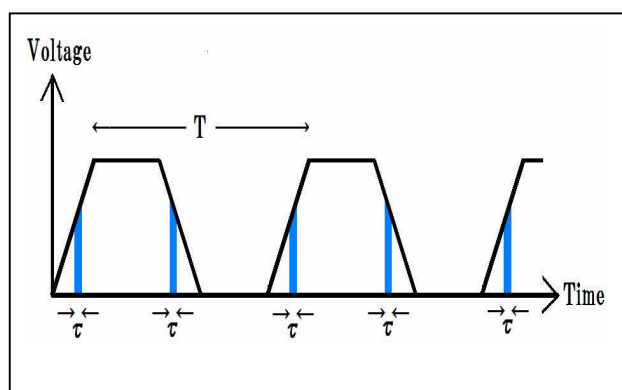


図4 : 印加電圧

[実験原理]

FCの電流値 : I 電荷素量 : e 価数 : q イオン数 : N_f (cps)
とすると

$$N_f = I / (q \cdot e) \text{となる。また測定条件を}$$

ビームの直径 : D スリット幅 : d スリット通過時間 :
1回のスキャンで通過するイオン数 : n

とすると、 n は

$$n = (d / D) \cdot N_f$$

よって1秒あたりのイオン通過個数 N_0 は

$$N_0 = 2 \cdot (1 / T) \cdot n$$

となり、この値を絶対数とする。MCPで検出した積算カウント数を N_m とくと、検出効率 は

$$= N_m / N_0$$

であたえられる。

[実験結果]

本実験では Ne^+ のイオンビームを用いて、測定を行った。実験条件を以下に示した。

ビームの直径 $D = 2.0$ [mm]
スリット幅 $d = 0.1$ [mm]
スリット通過時間 $= 1$ [μs]
周波数(電圧) $1 / T = 1000$ [Hz]
FC測定値 $I = 2.0$ [pA]

実験条件より N_0 を計算すると、

$$N_0 = 600 \text{ (cps)}$$

このときのMCPの積算カウント数は $N_m = 400$ (cps)を示していたので、検出効率 は

$$= N_m / N_0 = 67 \text{ [%]}$$

と求まった。

[まとめ]

- Xe^{q+} ($28 \leq q \leq 50$) $\text{Si}(\text{Si}(100)2 \times 1\text{-H})$ の衝突においてスパッターされる2次イオンをTOF-SIMSで観測した。
- Ne^+ の検出効率測定を行った。

そして、検出効率とメッシュの透過率を考慮して、図5の収率を補正したものを図3に示した。 Xe^{50+} を入射した際にはプロトンの収率が1に極めて近い値をとることがわかった。

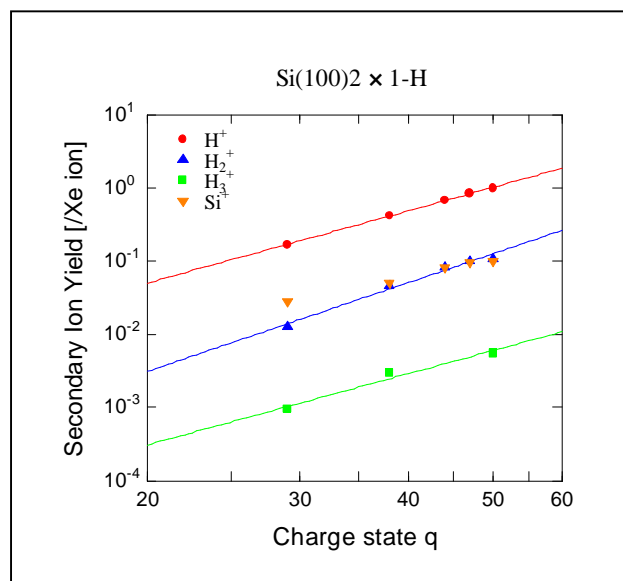


図5 : 補正した2次イオン収率

[今後の課題]

本実験ではビームを振る際に、FCに入りきれなかったビームの一部がMCPに入射してしまったため、その分をバックグラウンドとして、検出効率を求めた。

振られたビームがMCPに入射しないよう工夫することで、より正確な測定になると思われる。

また、今回は実験環境の都合上もあって、 Si^+ に質量の近いイオンである Ne^+ の検出効率を測定した。その結果を全てのイオンの収率の補正に適用したが、一般に検出効率はイオン種により異なる。そのため他のイオン種についても同様に調べなくてはならない。

さらに、絶対的な2次イオン収率を知るには、MCPへのイオン同時入射を考慮しなくてはならない。現在の実験装置では、MCPに同時に複数個イオンが入射した場合でも、信号(パルス)は1つしか得られない。

MCP検出効率測定の精度を上げる事と、多種のイオンにおいて検出効率を測定する事に加えて、イオン同時入射の際のパルス波高の分析を行い、より正確な絶対収率をもとめることが今後の課題である。