

高速クラスタービームによる炭素薄膜からの二次電子放出

中川創平、宇野鳴記、間嶋拓也、齊藤学¹、土田秀次¹

京都大学大学院工学研究科原子核工学専攻

¹京都大学大学院工学研究科附属量子理工学教育研究センター

1. はじめに

高速クラスタービームが物質に入射すると、クラスターを構成する原子の近接効果により、様々な効果が生じる^[1]。近接効果には、二次イオン収率の増大や、生体分子がフラグメント化せず無傷のままイオン化する割合の増大があり、生体分子の二次イオン質量分析(SIMS)への応用が期待されている。二次イオン発生には二次電子が関係していると考えられており、本研究は二次電子と二次イオン発生の因果関係を明らかにし、高速クラスターイオンを用いた生体分子のSIMSで、より高い二次イオン収率や無傷のイオンの収率を上げる条件を解明することを目的とする。

本発表では、高速クラスタービームにより発生する二次電子に着目し、炭素薄膜から放出した二次電子のエネルギースペクトルについて議論する。

2. 実験

図1に実験装置の概略図を示す。実験は京都大学大学院工学研究科附属QSECの2.0MVタンデム型ペレットロン加速器を用いて行なった。原子あたり0.6MeVの炭素、シリコンクラスタービーム(クラスターサイズ $n = 1 - 6$)を加速し、 $1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ の炭素自立薄膜標的に入射させた。クラスタービームを分解させずに分析チャンバーまで導入するため、ビームラインやチャンバーの真空度はそれぞれ $3 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ 、 $5 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ 以下に保った。また、測定前に試料後方のSSDでビームのエネルギーを測定し、クラスタービームが輸送中に分解せずに分析チャン

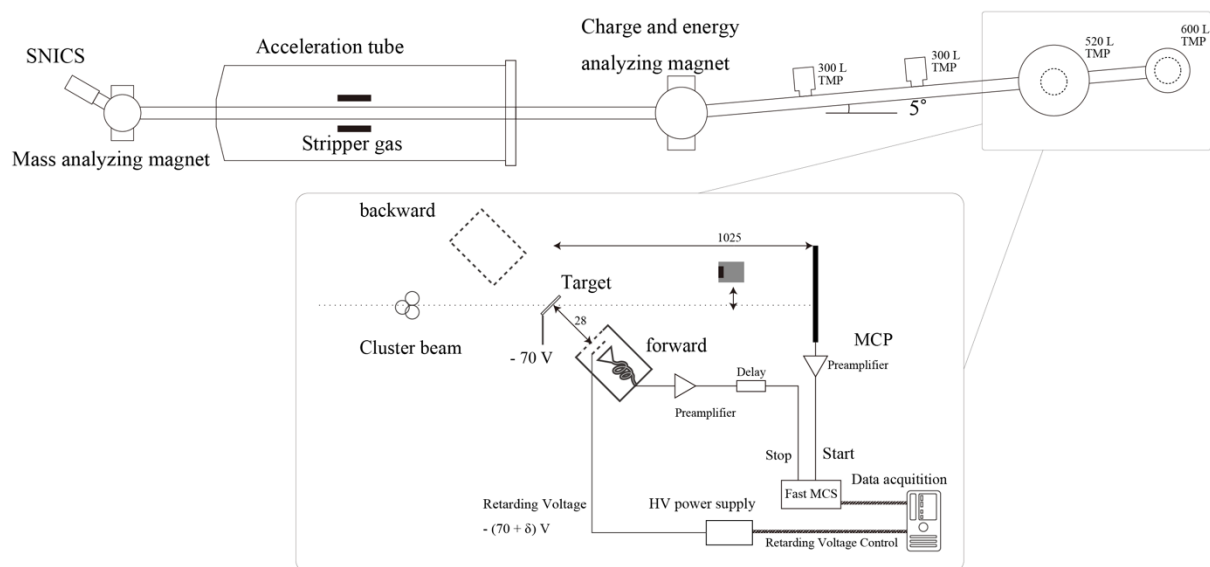


図1. 実験セットアップ

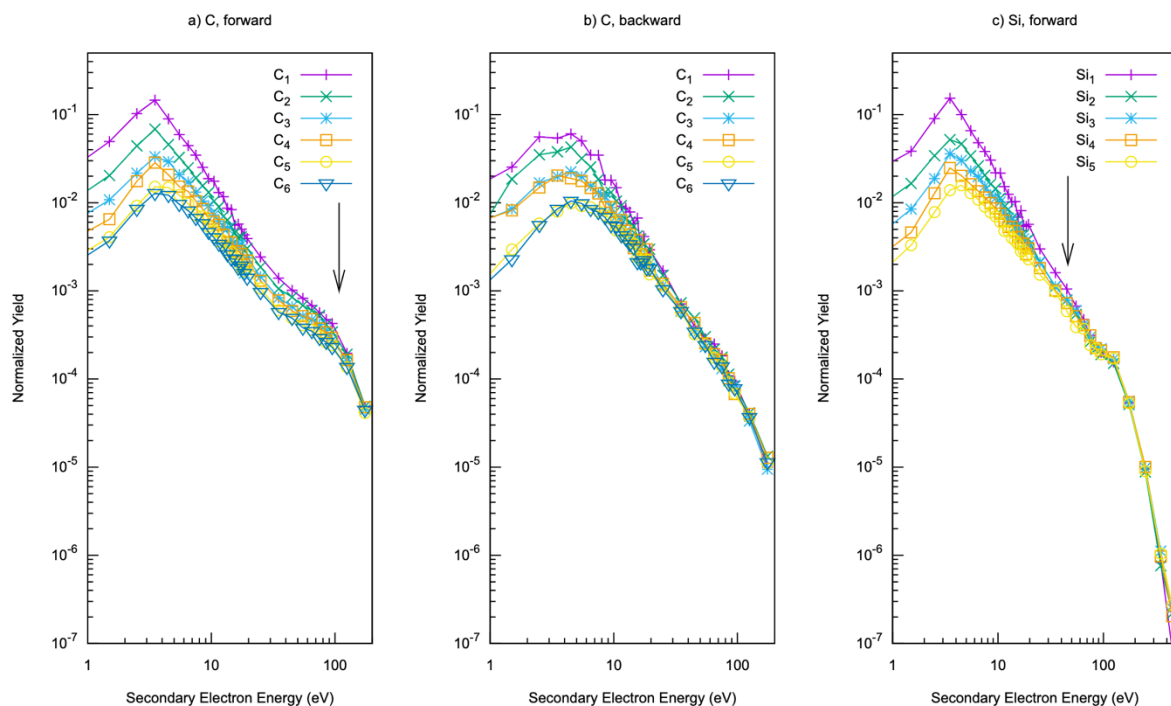


図 2. 測定した二次電子スペクトル。矢印は、バイナリー電子の最大エネルギーに相当するエネルギーを示す。

バーに導入されていることを確認した。前方、後方に発生した二次電子を阻止電場型の分光器で分光し、標的を透過したビームを MCP で測定した。バックグラウンド電子の影響を低減するため、透過ビームをスタート信号、二次電子をストップ信号とした同時測定を行った。分光器の阻止電圧や Fast-MCS のデータ取り込みを LabVIEW で制御し、二次電子のエネルギーを繰り返し測定することで、標的の表面状態による経時変化の影響を低減した。

3. 結果と考察

図 2 に、二次電子のエネルギースペクトルを示す。横軸に二次電子のエネルギー (eV) をとり、縦軸は二次電子収量をとった。二次電子収量は、クラスターサイズ n で規格化しており、クラスターを構成する一原子あたりの収量を示している。30 eV 以下の低エネルギー二次電子は、クラスターサイズの増加に伴い、減少しており、負のクラスター効果が見られる。本発表では、低エネルギー二次電子の負のクラスター効果を、クラスター構成原子あたりの有効電荷が減少するモデル^[2]を用いて考察する。

前方に放出された 30 - 100 eV の二次電子は、後方に放出された同じエネルギー領域の二次電子よりも増加している。この増加は、前方放出の二次電子にのみ観測されることや、二次電子のエネルギー領域から考えると、前方で増加した 30 - 100 eV の二次電子は、入射粒子と標的電子の二体衝突により発生したものと考えられる。本発表では、バイナリー電子放出過程の詳細や、クラスター衝突による放出モデルについて議論する。

[1] Yvon Le Beyec, International Journal of Mass Spectrometry and Ion Processes 174, 101–117 (1998).

[2] Kaneko, T., Ihara, K. & Kohno, M. Nucl. Inst. Methods Phys. Res. B 315, 76–80 (2013).