

連続的なイオンビームの分析を目的とする飛行時間型質量分析計の開発

(九大院・理) 猿楽峻, 荒川雅, 寺寄亨

TOF mass spectrometer adapted to a continuous cluster ion beam for real-time monitoring the size distribution

(Kyushu Univ.) Shun Sarugaku, Masashi Arakawa, Akira Terasaki

【序】 クラスターの実験研究では、目的のサイズのクラスターをいかに効率よく生成するかが重要な課題の一つである。マグネトロンスパッタ法は輝度の高い金属クラスター源として有用であるが、生成されるクラスターのサイズ分布が、放電パワー、導入ガスの流量、温度など、多くのパラメータによって決まるため、目的のサイズに応じたこれらの調整が欠かせない。サイズ分布をリアルタイムに測定しながら生成条件を最適化できると便利だが、このクラスター源のような連続ビームの質量分析には、通常、四重極質量分析装置が用いられる。つまり、透過する質量数を徐々に掃引しながら測定するため、広い質量範囲の分析には数十秒から数分の時間がかかる。そこで、サイズ分布を短時間で測定できる飛行時間型質量分析計（TOF-MS）に着目し、連続的なイオンビームを分析する際の性能を感度と質量分解能の点から検討し、設計・開発を試みた。

【手法】 電磁場内のイオンの軌道計算ソフトウェア SIMION Version 8.0 (Scientific Instrument Services, Inc.) を用いて、クラスターイオンの飛跡と飛行時間のシミュレーションを行った。図 1 に示す Wiley-McLaren 型 [1] の TOF-MS をモデルとし、その加速領域に連続的なイオンビームをサイズ毎に 10 pA の電流量で入射した。ビームの入射方向として、加速方向に対して (I) 垂直もしくは (II) 同軸の 2 つの場合を考えた。メッシュ状の加速電極 EL1、EL2 には、イオン入射後の瞬間 ($t = 0 \mu\text{s}$) に高電圧を印加し、EL1-EL2 間 (s 領域) および EL2-EL3 間 (d 領域) に発生した一様な電場でイオンを加速して TOF スペクトルを得た。ここで、s 領域の長さは 20 mm とした。次に、EL1 以外の電極に直径 20 mm の開口を設けて電場に勾配を作り、同軸入射の条件 (III) で TOF スペクトルを計算して (I)、(II) と比較した。この時、EL1 の印加電圧は 2 kV に固定し、EL2 の電位を調整して TOF のピーク強度を最適化した。

【結果と考察】 運動エネルギー 10 eV、質量数 100, 200, ..., 2000 の一価陽イオンに対してシミュレーションを行った。(I) の計算では、s 領域中央に直径 2 mm のビームを入射し、この中で加速開始時に加速領域の中心部 20 mm の部分にあったイオンが検出器に到達した。こうして得られた TOF スペクトルを図 2(a) に示す。また (II) の条件では、TOF-MS と同軸に直径 2 mm のイオンビームを入射し、s 領域がイオンで満たされた後に加速を開始した。これから得られた結果を図 2(b) に示した。後者は前者に比べて分解能が低下しているが、この結果は、加速開始時にイオンが s

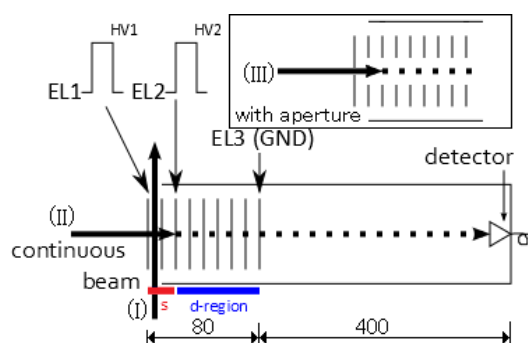


図 1. シミュレーションに用いたモデル。ビームの入射条件として (I)~(III) を検討した。(I) 垂直入射 (s 領域 20 mm, d 領域 60 mm) (II) 同軸入射 (s 領域 20 mm, d 領域 60 mm) (III) 同軸入射で電極に開口を設けた場合

領域の電極間の全体に分布し、加速方向の広がりが大きいためであり、Wiley-McLaren 型 TOF-MS の一般的な特性である。

同軸入射の場合の分解能を改善する方法として、s 領域内の電場を出射側に向かって強くすることを考え、図1(III)のように入口以外の電極に直径20 mmの開口を設けてさらにシミュレーションを行った。図3に計算によって求めたs領域内での加速方向の電場を示す。(a)が開口なし、(b)が開口ありの場合である(電極印加電圧はEL1:2000 V、EL2:1810V)。開口を設けた電極では確かにEL2に向かうに従って電場が強くなっている。この電場勾配を調整して、TOF スペクトルの分解能が向上するかどうかを調べた。具体的にはEL2の印加電圧を変えながら、最も高い分解能が得られる条件を探った。その結果、EL2: 1646 Vにおいて図4のように分解能が高く、ピーク強度が強いTOFスペクトルが得られた。この分解能は $M/\Delta M=1500$ に達し、電極に開口を設けなかった場合($M/\Delta M=200$)に対して大きく向上していた。しかも、ビームを加速方向と垂直に入射する条件での結果(図2(a))と比較しても分解能は開口を設けた場合が上回った。

加速と同軸方向にイオンビームを入射させる今回の条件では、s領域の長さによって、加速するイオンの総量が変わる。このようなイオン総量の増加によって、イオンの検出効率を高めることができると期待される。これは、今後シミュレーションや実験で確かめる予定である。

【まとめ】 今回のシミュレーションでは、Wiley-McLaren 型 TOF-MS に対してイオンビームを同軸方向に入射させるモデルを検討した。分解能の向上を目的として入口を除く全ての加速電極に直径20 mmの開口を設けたところ、s領域の長さ20 mm、EL1:2000 V、EL2:1646 V という条件において、分解能が $M/\Delta M=1500$ に達した。この結果に基づいて装置の製作を進めている。発表ではその進捗状況を合わせて報告する。

【参考文献】

[1] W. C. Wiley and I. H. McLaren, *Rev. Sci. Instrum.* **26**, 1150 (1955).

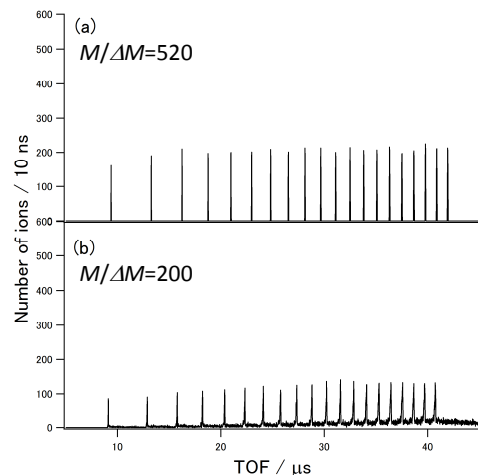


図2 電極の加速方向に対してイオンを(a)垂直に入射させた場合 (b)同軸方向に入射させた場合に得られるTOFスペクトル

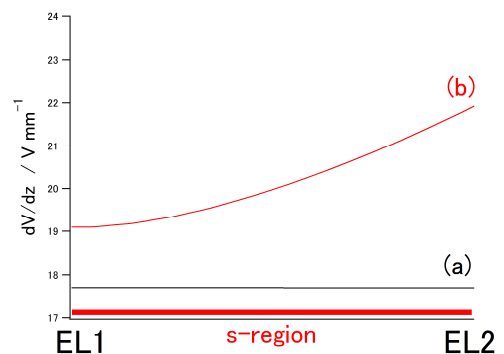


図3 EL1: 2000V, EL2:1810Vにおける電場。それぞれ(a)電極に開口がない場合 (b)開口がない場合。

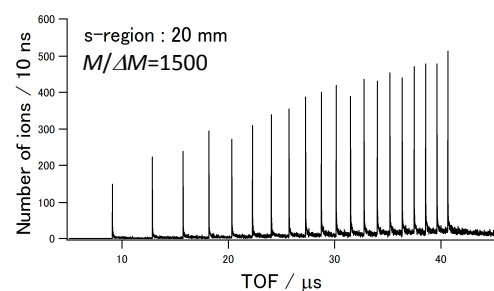


図4 同軸入射の条件で、電極に開口を設けた場合に得られたTOFスペクトル。