

飛行時間法を用いた2次イオン質量分析器の設計及び開発

(環境計測) 横山 卓司

1) はじめに

本研究室では、これまでに環境中における微量元素分析の応用として、銅寛永銭など古銭の考古遺物の産地推定を行ってきた。考古遺物の産地推定の方法に、鉛の同位体を分析する方法が知られている。これは地域ごとに鉛の同位対比が異なることを利用したものである。¹⁾ 本研究の目的は、鉛の同位体分析が可能な飛行時間型(Time of Flight:TOF)2次イオン質量分析器を開発することである。

2) 設計概要

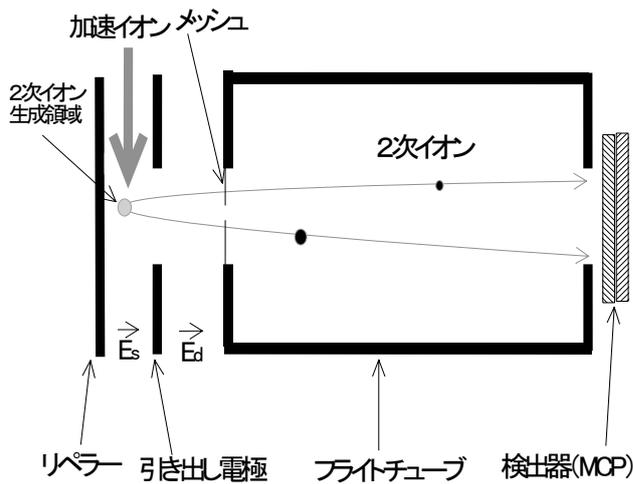


図1 設計概略図

図1に装置の概略図を示す。リペラーと引き出し電極の間には電場 E_s 、引き出し電極とフライトチューブの間には電場 E_d が加えられている。図の2次イオン生成領域におかれた試料を加速イオンで衝撃することによって試料からの2次イオンが生成する。生成した2次イオンは電場 E_s 、 E_d により加速され、フライトチューブ内の無電場領域を飛行し、検出器に到達する。このとき、2次イオンの飛行時間は質量数と電荷に依存するので、2次イオンの飛行時間を測定することで質量分析が可能となる。

- 鉛の同位体は ^{204}Pb 、 ^{206}Pb 、 ^{207}Pb 、 ^{208}Pb であり、鉛の同位体を分離するのに必要な質量分解能は $M/\Delta M \approx 200$ である。この質量分解能を達成するために、以下の点に注意して設計した。
- ・ 実験で使用する真空チャンバーに収まるように飛行時間分析器の全長が128 mmになることを目指した。
 - ・ 衝撃用の加速イオンビームは約1 mmの幅があるため、2次イオンの生成位置に、ばらつきが生じる。イオンの初期生成位置によって飛行時間に差が生まれ、これが分解能の低下をまねく。この飛行時間を最小にするように装置の各電極間の距離と電場 E_s 、 E_d の大きさを決定した。²⁾
 - ・ フライトチューブの入り口の孔には、電場の歪みによる2次イオンの発散を抑えるためのメッシュをはった。

- ・ 衝撃用の加速イオンは電場 E_s によって図の引き出し電極の方に曲げられる。 E_s が大きすぎると、引き出し電極に加速イオンは衝突する。引き出し電極との衝突がおきないように電場 E_s を考慮した。

以上の条件を満たすように、リペラーと引き出し電極間の距離は 4 mm、引き出し電極とフライトチューブ間の距離は 12 mm、フライトチューブの長さは 102 mm、各電極間の電場 E_s 、 E_d の値を $E_s=1.0 \times 10^5$ V/m、 $E_d=2.0 \times 10^5$ V/mに決定した。TOF 2次イオン質量分析器の質量分解能は2次イオンの生成位置のばらつきと初期エネルギーのばらつきで決まる。2次イオンの初期エネルギーのばらつきを無視すると、設計上のTOFの質量分解能 $M/\Delta M \approx 830$ であり、鉛の同位体を分離するのに必要な質量分解能を満たしている。

3) 実験

今回設計したTOF 2次イオン質量分析器の質量分解能を評価するために、He, Ar, Xeガスをターゲットとし、37keVの H^+ ビームを衝撃用のイオンとして2次イオン質量分析をおこなった。衝突後の衝撃用加速イオンを時間波高変換器のスタート信号、2次イオンをストップ信号として飛行時間スペクトルを測定した。図2は Xe^+ の飛行時間のスペクトルである。横軸にチャンネル、縦軸にカウント数を表す。図2の丸印は実測値で、実線は $^{132}Xe^+$ の半値幅を求めて、それを拘束条件としてフィッティングしたものである。 ^{132}Xe の半値幅 (FWHM) は7.9 nsecであり、そのうち回路系からの寄与は2.6 nsecだった。質量数が2異なるXeの同位体は完全に分離できており、質量数が1異なる ^{131}Xe と ^{132}Xe も分離が確認できる。

今回製作した TOF2 次イオン質量分析器の質量分解能は、得られた実験データより評価すると $M/\Delta M \approx 130$ である。よって、現状の装置では鉛の同位体を分離するのは難しい。データより得られた質量分解能が設計値と異なる原因の一つに、2次イオンの生成位置のずれと引き出し電極孔付近の電場の歪みが考えられる。生成した2次イオンが引き出し電極孔付近の電場の歪みの影響を受けているため、これが分解能の低下をもたらしていると考えられる。2次イオンの透過率をあげるため引き出し電極孔には、メッシュをとりつけなかったが、メッシュをはるにより電場の歪みが抑えられ、分解能の改善が期待される。

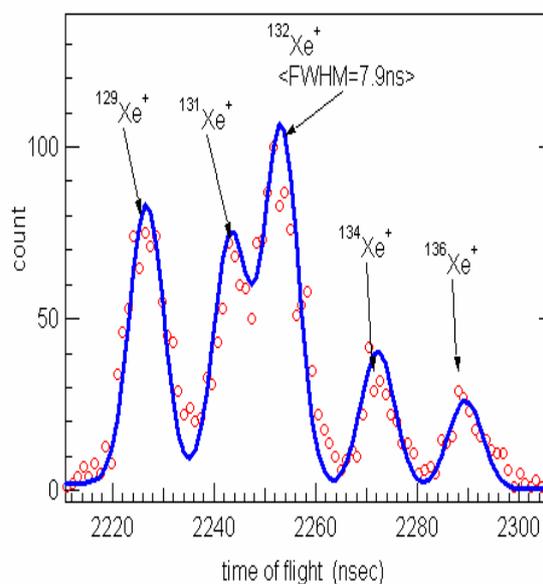


図2 Xe^+ イオンの飛行時間のスペクトル

参考文献

- 1) 田中 琢、佐原 眞 編：「新しい研究法は考古学になにをもたらしたか」(技報堂, 1994)
- 2) W. C. Wiley and I. H. McLaren: Rev. Sci. Instrum, **26**, 1150. (1955)