

研究種目：学術創成研究費

研究期間：2004年～2008年

課題番号：16GS0214

研究課題名（和文）：惑星探査用次世代超高感度極微量質量分析システムの開発

研究課題名（英文）：Development of Nobel Mass Spectrometer with Ultra-High Sensitivity and Ultra-Trace Sampling for Planetary Exploration

研究代表者：石原盛男（ISHIHARA MORIO）

大阪大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：30294151

研究成果の概要：

まず新規に開発する超高感度極微量質量分析システムの構想決定を行い、その検討結果をもとに装置の製作を行った。その後、質量分析部、1次イオン照射系、レーザーイオン化について、それぞれ装置性能評価を行った。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2004年度	97,400,000	29,220,000	126,620,000
2005年度	96,900,000	29,070,000	125,970,000
2006年度	90,000,000	27,000,000	117,000,000
2007年度	69,900,000	20,970,000	90,870,000
2008年度	77,600,000	23,280,000	100,880,000
総計	431,800,000	129,540,000	561,340,000

研究分野：質量分析

科研費の分科・細目：学術創成研究費

キーワード：SIMS, ポストイオン化, TOF, フェムト秒レーザー, 多重周回飛行時間型質量分析計

1. 研究開始当初の背景

本研究の目的は、今後の惑星科学探査ミッションにより地球に持ち帰られる宇宙試料の解析を目指した極微量試料用超高感度質量分析装置の基礎研究の創出と試作である。

今後注目される宇宙試料は、スターダスト

分析と宇宙起源の糖・タンパク質分析であると考えられる。スターダストは彗星や小惑星のような進化を免れた始源天体にのみ保存されており、惑星探査ミッションの大きな柱となっている。

このような貴重な微粒子から宇宙の全記憶

を解析するためには、原子レベルの3次元分析が必要不可欠であり、原子1個からの情報も無駄にはできない。しかるに、このアトムカウンティングができる分析法は発展途上の段階にあり、装置開発から取り組む必要がある。本研究では、新しい発想の質量分析器を採用することにより、単原子（または分子）の識別検出という究極の検出感度・検出精度を有し、かつ原子層レベルの空間分解能を有する新しい質量分析システムを開発する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、今後の惑星科学探査ミッションにより地球に持ち帰られる宇宙試料の解析を目指した極微量試料用超高感度質量分析装置の基礎研究の創出と試作である。

3. 研究の方法

① 多重周回型飛行時間質量分析装置の設計及び、引き出しレンズ系の設計及び電源仕様の決定等、SIMS装置における質量分析部の詳細を検討した。装置完成後は質量分解能、ポストイオン化による感度向上、空間分解能測定等装置の基礎実験を行った。

② レーザー照射系の設計・評価について、フェムト秒レーザーを導入し、多光子吸収によるポストイオン化の実験を行った。

③ 二次イオン検出器の検討を行った。また、これまでのSIMS測定における実績をふまえて、装置の基本設計の検討を行った。また、装置の性能試験の方法についても検討した。

4. 研究成果

まず、新規に開発する超高感度極微量質量分析システムの構想を決定した。

下図は、制作した装置の写真である。



① 1次イオンをパルス化することにより、通常のTOF-SIMSとして動作することを確認した。その結果2次イオン引き出しレンズ系が正常に機能することを確認した。また多重周回させることにも成功し、質量分解能が向上することも確認した。多重周回型を採用したSIMS装置は世界初であり、干渉・妨害イオンと目的のイオンを分離するのに非常に有利である。そのため、広い分析対象に応用可能な装置となった。

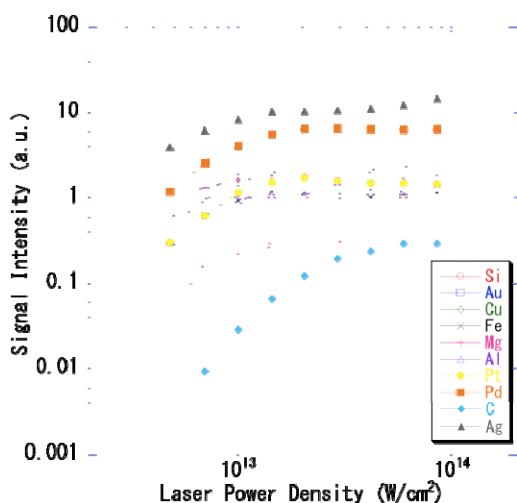
② 1次イオン照射系

1次イオンを走査することにより、元素のマッピングを取得することに成功した。分解能は40nmであった。この値は現在のところ世界で最も高い値のひとつである。なお本装置ではGaイオン銃を用いているが、2次イオンイールドは必ずしも大きくはない。この欠点はつぎのポストイオン化で克服されている。

③ レーザーイオン化

予備的な結果として気体試料（ヘリウム、

アルゴン) についてのイオン化の実験から $1 \times 10^{14} \text{ W/cm}^2$ の領域で光の強度に対して発生するイオンが飽和することを観測した。また、種々の固体元素を用いて飽和の実験を行い、すべての元素で飽和を確認することができた(下図)。なお飽和曲線は単純な多光子吸収からの予測とは異なっており、このような研究はほとんど類例がなく、全く新しい知見である。また、ポストイオン化により銀をサンプルとした場合感度が100倍向上することが確認できた。また標準サンプルを用いた実験から、高パワー密度のレーザーで中性粒子をポストイオン化することで、元素による感度のばらつきを従来の10分の1まで抑えられることを確認した。



5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

① 石原盛男, (論文名) Ultra-high Performance Multi-Turn TOF-SIMS System with a Femto-second Laser for Post-Ionization, (掲載誌名) Surf. Intef. Anal., 42 巻, (発表年) 2010 年, 査読有

[学会発表] (計 1 件)

① 石原盛男, (発表表題) Development of a Ultra-high Performance Multi-Turn TOF-SIMS System with a Femtosecond Laser for Post-Ionization, (学会名) 7th International Symposium on Atomic Level Characterizations or New Materials and Devices '09 (発表年月日・発表場所) 2009 年 12 月 10 日, 米国マウイ島

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石原盛男 (ISHIHARA MORIO)
大阪大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 30294151

(2) 研究分担者

豊田 岐聡 (TOYODA MICHISATO)
大阪大学・理学研究科・准教授
研究者番号: 80283828

植田 千秋 (UEDA CHIAKI)
大阪大学・理学研究科・准教授
研究者番号: 50176591

内野 喜一郎 (UCHINO KIICHIRO)
九州大学・総合理工学研究院・教授
研究者番号: 10160285

塚本尚義 (YURIMOTO NAOKI)
北海道大学・理学研究院・教授
研究者番号: 80191485

倉本 圭 (KURAMOTO KIYOSHI)
北海道大学・理学研究院・教授
研究者番号: 50311519

松本 拓也 (MATSUMOTO TAKUYA)
岡山大学・地球物質科学研究センター・准教授
研究者番号: 50294145