

Application of microwave ion thruster to secondary ion mass spectroscopy for asteroid exploration

マイクロ波イオンスラストを活用した 2 次イオン質量分析法による

小惑星探査の原理実証

Ryudo Tsukizaki¹, Ippei Nishiyama², and Hitoshi Kuninaka¹

¹Department of Space Flight Systems, Institute of Space and Astronautical Science(ISAS)

3-1-1 Yoshinodai, Sagamihara-shi, chuo-ku, Kanagawa-ken, 252-5210 Japan

¹Department of Aeronautics and Astronautics, The University of Tokyo

7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo-to, 113-8656 Japan

ABSTRACT

This paper will present an application of microwave ion thruster to secondary ion mass spectroscopy for an asteroid probe “Solar Sail.” Solar Sail plans to explore one of Trojan asteroids of Jupiter in 2020’s. Due to the gravity of the asteroid, the working group of Solar Sail considers that it will be difficult to realize a sample and return mission. In addition, the probe will have a limited mass for scientific instruments. To utilize the limited mass of the instruments, the authors propose to use microwave ion thrusters which propel Solar Sail to the asteroid as ion sources of secondary ion mass spectroscopy. In this paper, it will be experimentally examined that Cu, Al, SiO₂, and a stone sputtered by microwave ion thruster are detectable or not by a quadruple mass spectrometer on ground test facilities. Based on the above results, this paper will estimate that the detected current will be 10^{-15} A in the case that the explore emits 100 mA ion beam at the distance of 10 km from the asteroid and that the detector is at the 100 m from the surface of the asteroid.

イオンエンジンを活用した2 次イオン質量分析法 による小惑星探査の原理実証

ISAS/JAXA 月崎 竜童
東京大学 西山 一平
ISAS/JAXA 國中均

1. 研 究 背 景

2. 実 験

3. 結 果 と 考 察

4. ま と め

電気推進による将来月惑星探査ミッション

2010

2020

2030

無人探査



HAYABUSA



HAYABUSA2

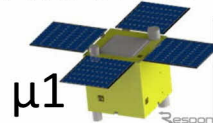


SOLAR SAIL

小惑星等への
未踏峰探査

全太陽系の探査へ

PROCYON



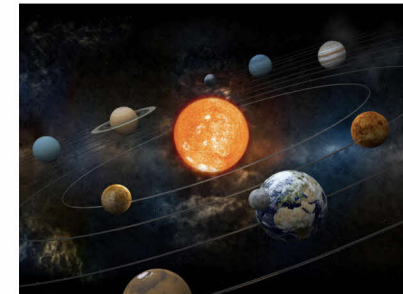
$\mu 1$



DESTINY

$\mu 20$

DESTINYシリー
ズ/小型プロ
ーブによる高頻度
惑星探査



μ シリーズイオンエンジン(<2kW)
によるJAXAの惑星・小惑星探査

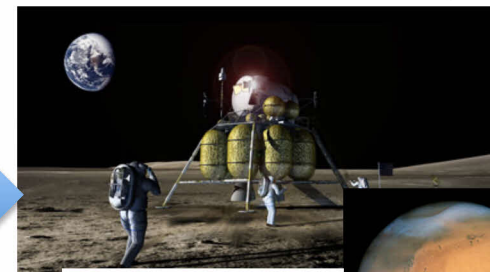
有人探査
(物資輸送)



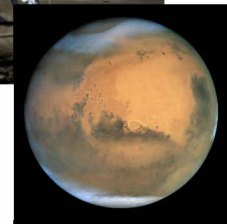
小惑星運搬
船と開発中
のホールス
ラスタ



月面基地運搬船



火星探査
物資運搬船



国際月・火星探査への貢献

The document is provided by JAXA.

新開発のホールスラスタ(>5-10kW)
にて国際探査への貢献を目指す

トロヤ群小惑星探査



- 木星のL5点付近に存在する小惑星群
- 直径10-100 km オーダー
- イトカワ(400m)と比べ、重力が大きく親機の着陸が難しく、子機のみ。
- 搭載できる科学分析機器が限られる。

親機に搭載されたイオンエンジンを用いて、少しでも科学観測に役立てられないか？ →イオンエンジンを活用した遠隔SIMSを提案

マイクロ波イオンエンジン “μ シリーズ”

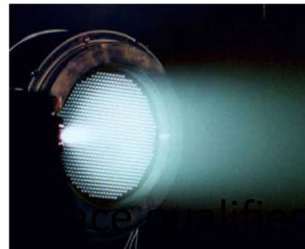
これまでの成果

- ✓ 「はやぶさ」を通じて4万時間の宇宙実績：世界最高の長寿命を実現
- ✓ マイクロ波放電によるシンプル・ロバストな構造
- ✓ 1機あたり7～2500 W の消費電力/様々な深宇宙探査に対応

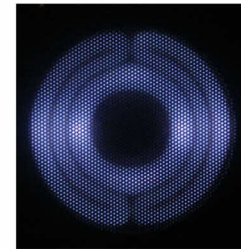
μ1



μ10



μ20



μ10 Hlsp



=

Diameter, cm	1	10	20	10
Thrust, mN	0.25	10	30	30
Isp, s	1500	3200	3000	10000
Power, W	7	400	1000	2500
Mission	PROCYON(2014)	HAYABUSA, HAYABUSA2	DESTINY (2016) Solar D	Solar Sail(2020)

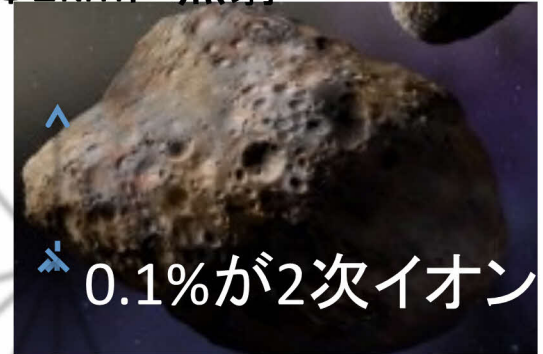
見積り

親機



10km

Φ2kmに照射



200mA Xeイオンビーム@1kV
*発散角5度

子機 100m上空



- 質量分析器入口 10cm^2 として、予想される受信電流は、 10^{-14}A
- 分析器感度は 10^{-15}A はあるので、feasible.

課題

1. 帯電したターゲットでも、分析できるのか？
2. 未知のターゲットの組成を分析できるのか？
3. 赤外分光計測と比較して、優位か？
4. 分析範囲は、深さ: イオンビームの侵入する部分、エリア: ビーム径に依存。照射域の平均元素組成がわかる。

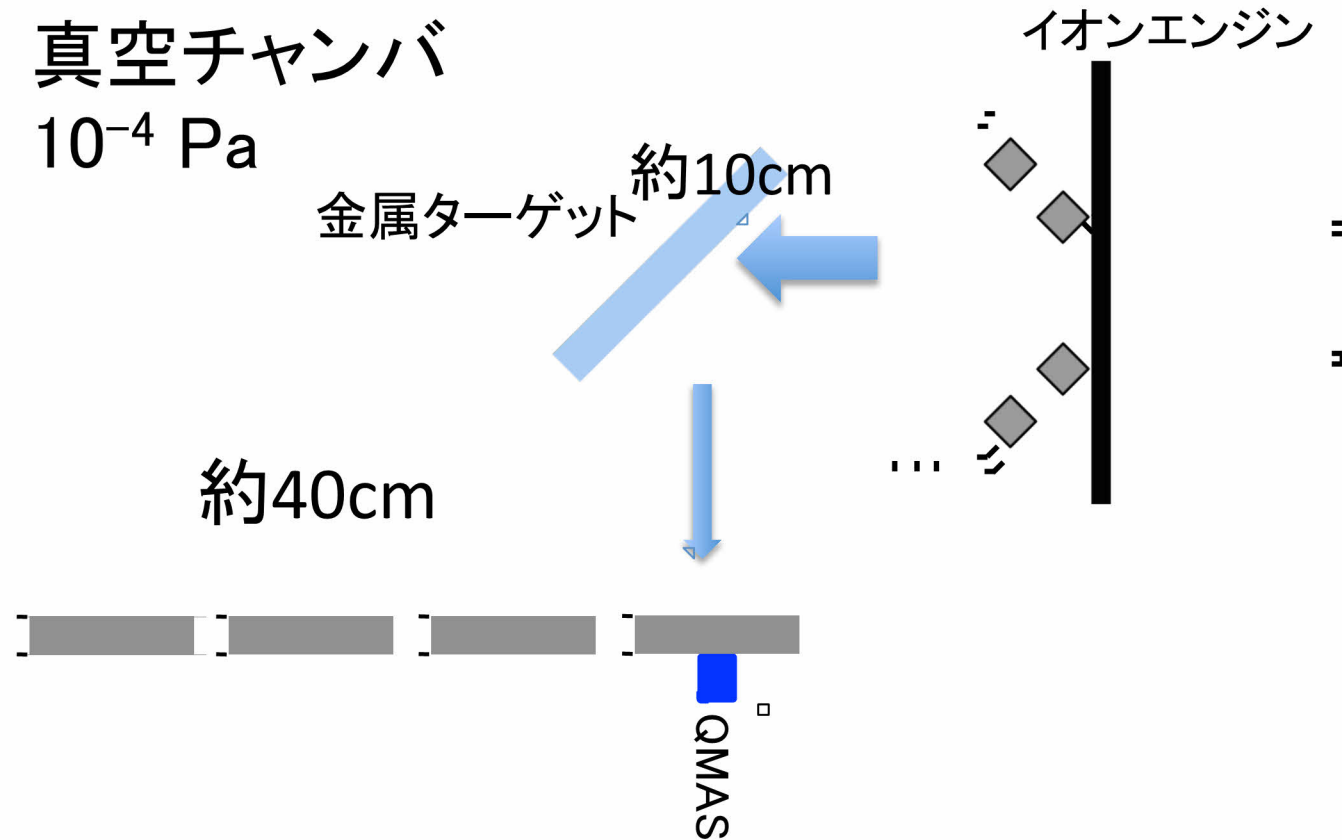
過去の研究例

- 月・惑星探査用遠隔2次イオン質量分析法に関する基礎実験
2003年頃 田中孝治ら
→月の極域の氷の分析を想定。多孔質セラミックを使い真空中で氷の作成し、H₂Oを検出しようとした。Arイオンビーム
- イオンビームを用いた惑星表面遠隔探査方法の基礎開発
1988年佐々木進
→文献出てこず。ArイオンビームでFe, Cu, 等の金属で実証に成功した模様。

本研究

Xeイオンビームを用いて、誘電体の検出可能か検証。

実験系

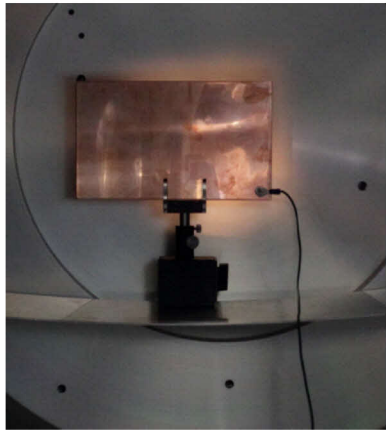


- 検出器は、四重極型質量分析器を用いた。
- 背圧のガスは、分子量で検出。e.g. H_2O (18), CO_2 (44), N_2 (28), Ar (39.95), O_2 (32)
- スパッタされたターゲットは、原子量で検出。

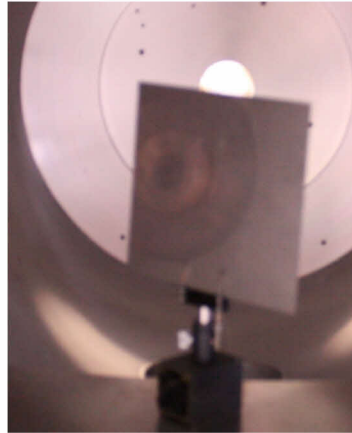
ターゲット

検出
易

難



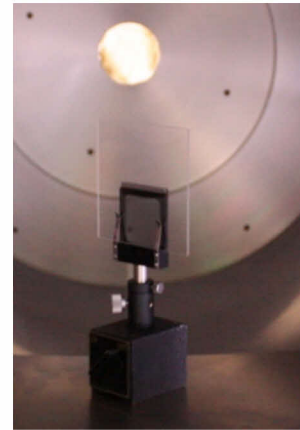
銅板
64.5



アルミ板
27



シリコン
ウェハ
28



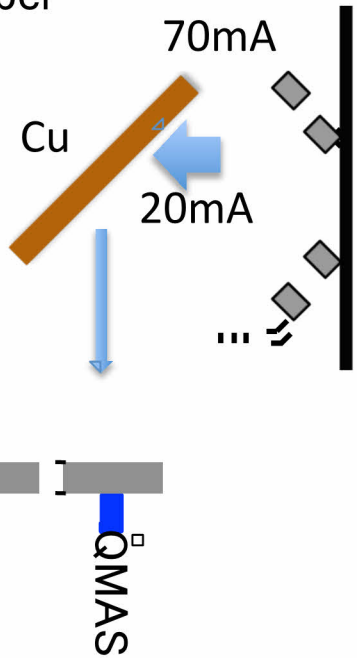
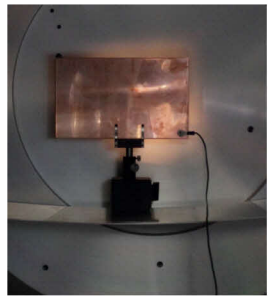
石英板
SiO₂
28,16



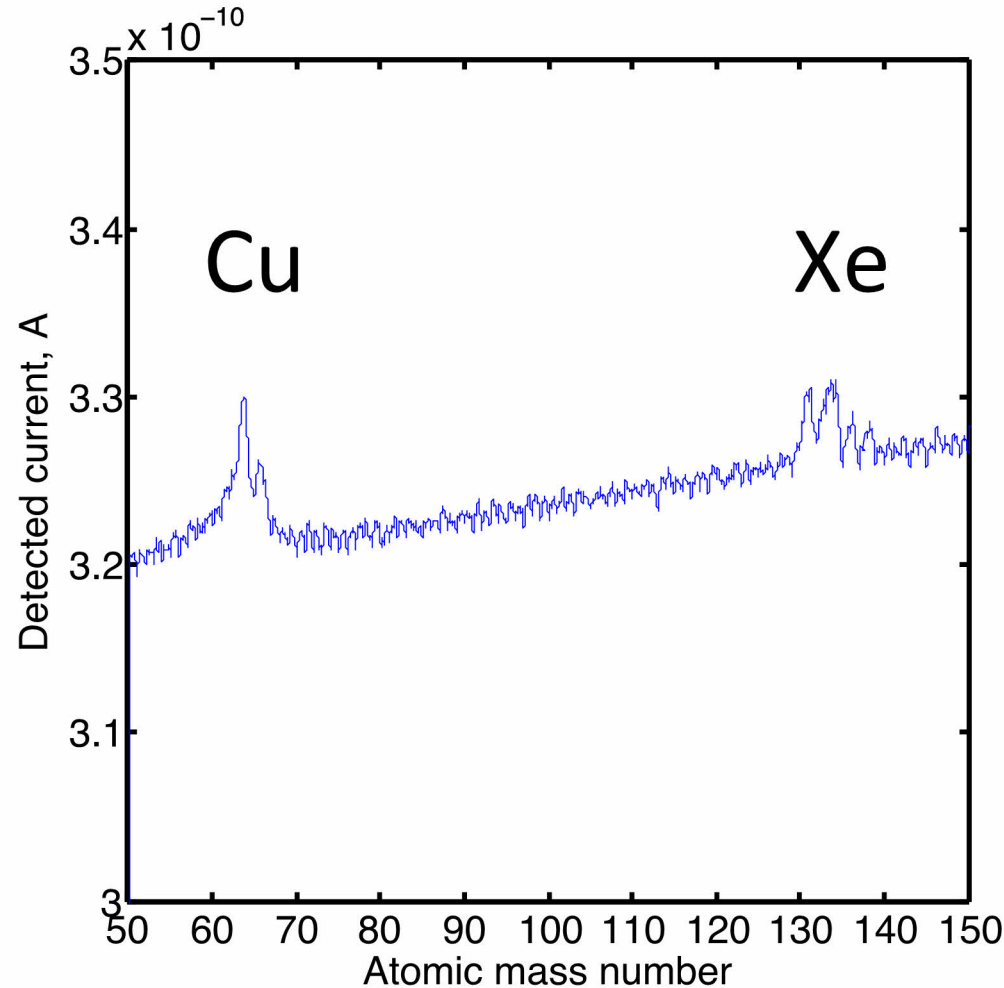
石
不明

銅の結果

Vacuum Chamber

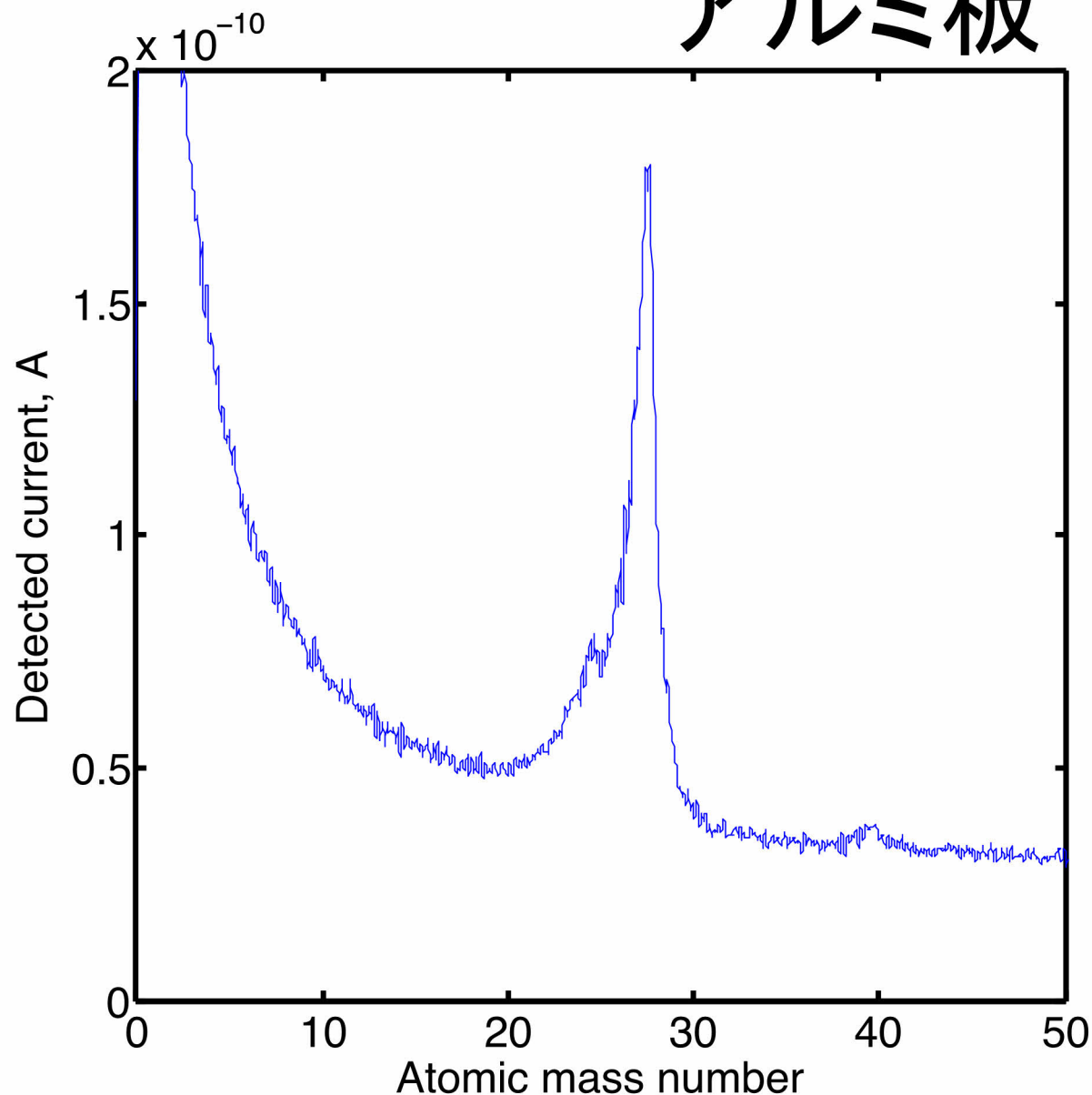


=

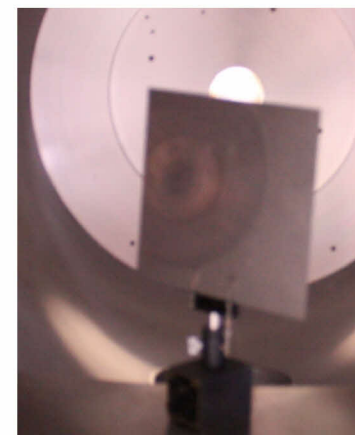


- 10cmの距離におき、20mAのビームを当て、40cm離れたQMASで検出
- Ar39.8と比較し、Xeは分子量が大きく区別つきやすい

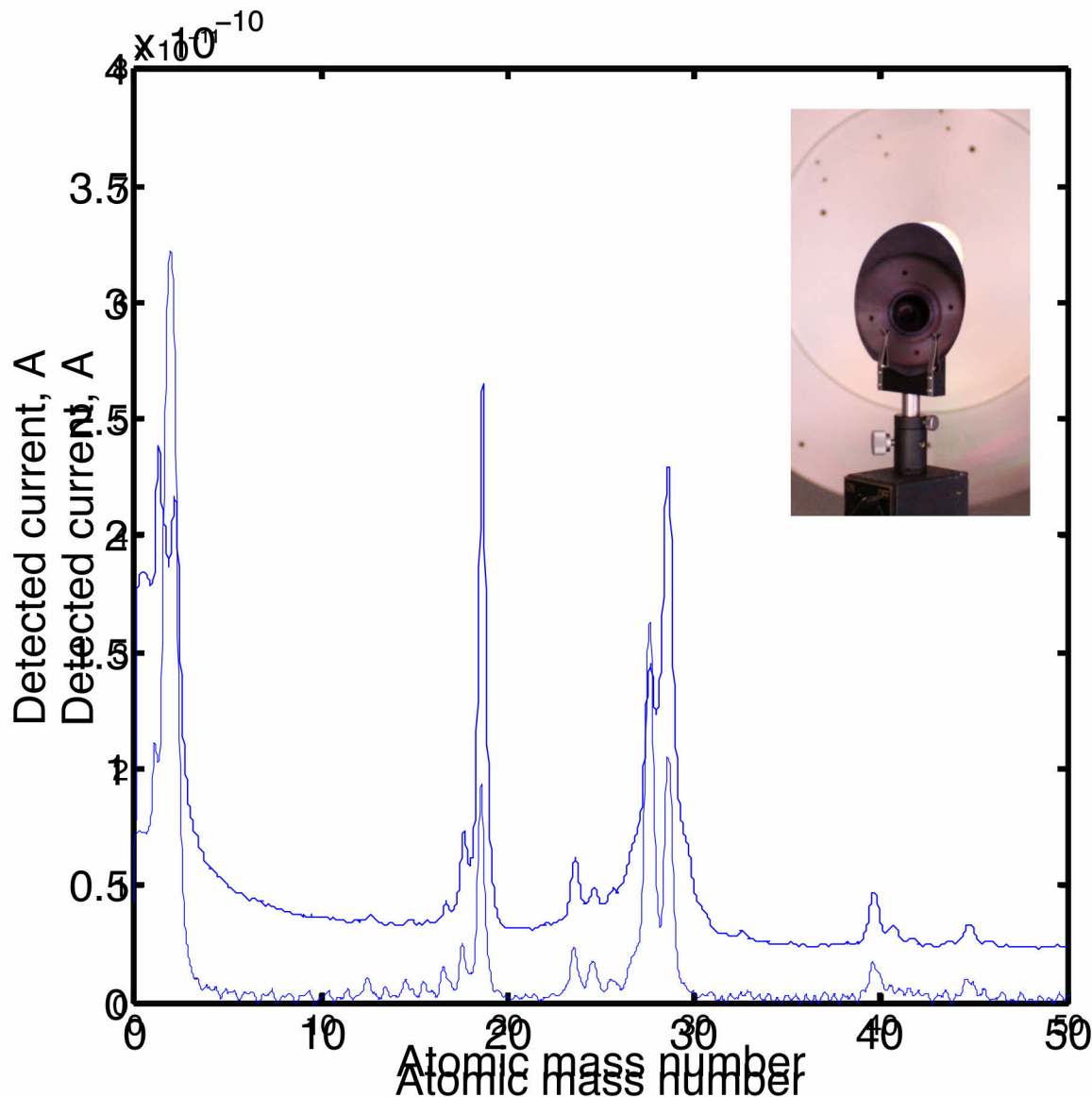
アルミ板



- Al質量数27にピーク
- 前回のCuと同様に金属は検出しやすい。



シリコンウェハ結果



- Si質量数28付近にピークが立った。
- 但しN₂の検出もありうる。
- 水なども多く出てしまった。製造の洗浄過程の水分があるのか。
- 他にも27(アルミ)付近もたった。土台の板がアルミ。
- 対照実験で、治具のみも行った。

実験系

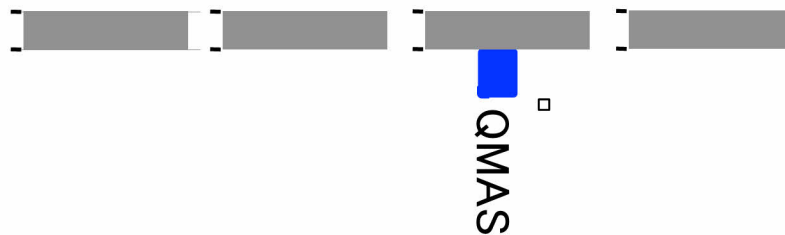
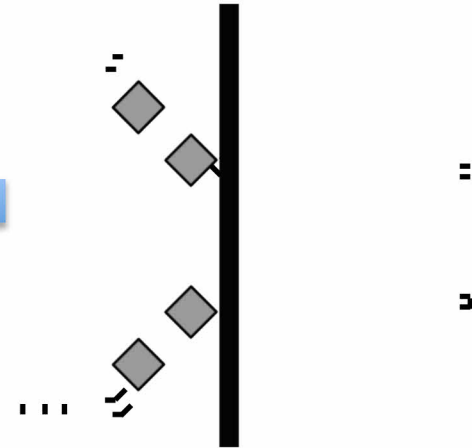
真空チャンバ

10^{-4} Pa

誘電体ターゲット

40cm

40cm



- イオンエンジンターゲット間距離を、10cmから40cmに変更理由

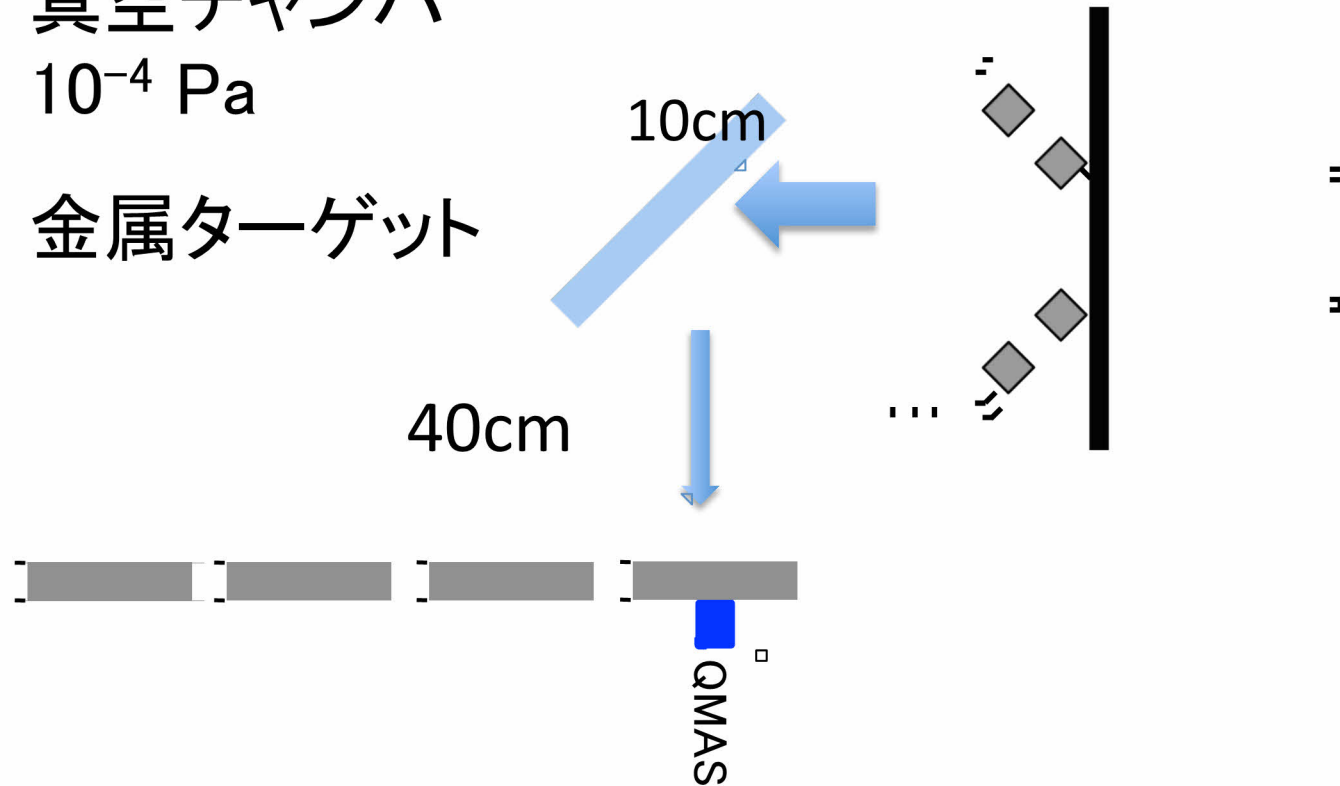
直下に誘電体を置いた所、イオンビームが加速不可能になった。間近においたターゲットの電位が上昇したことが原因と推察。

実験系

真空チャンバ

10^{-4} Pa

金属ターゲット



- 検出器は、四重極型質量分析器を用いた。
- ターゲットは、最初に検出が容易な金属。次に誘電体である石をもちいた。

実験系

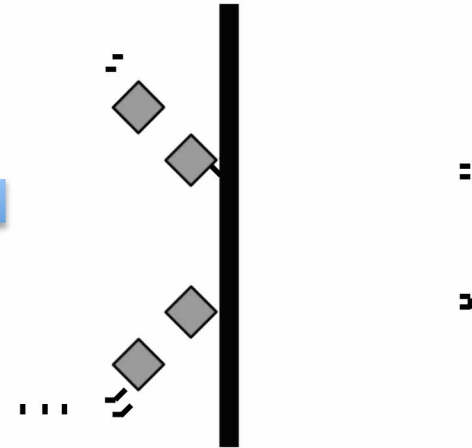
真空チャンバ

10^{-4} Pa

誘電体ターゲット

40cm

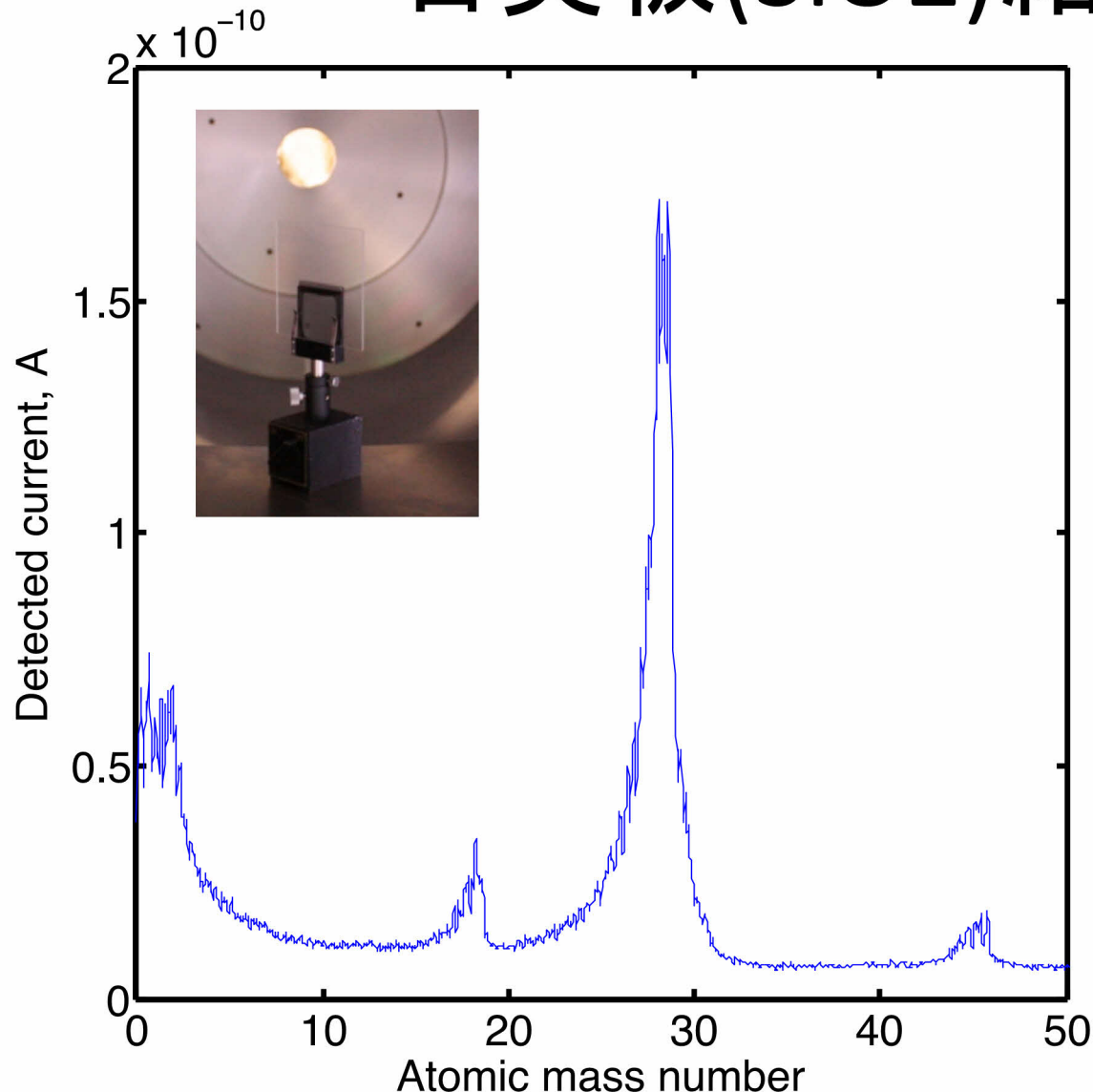
40cm



- イオンエンジンターゲット間距離を、10cmから40cmに変更理由

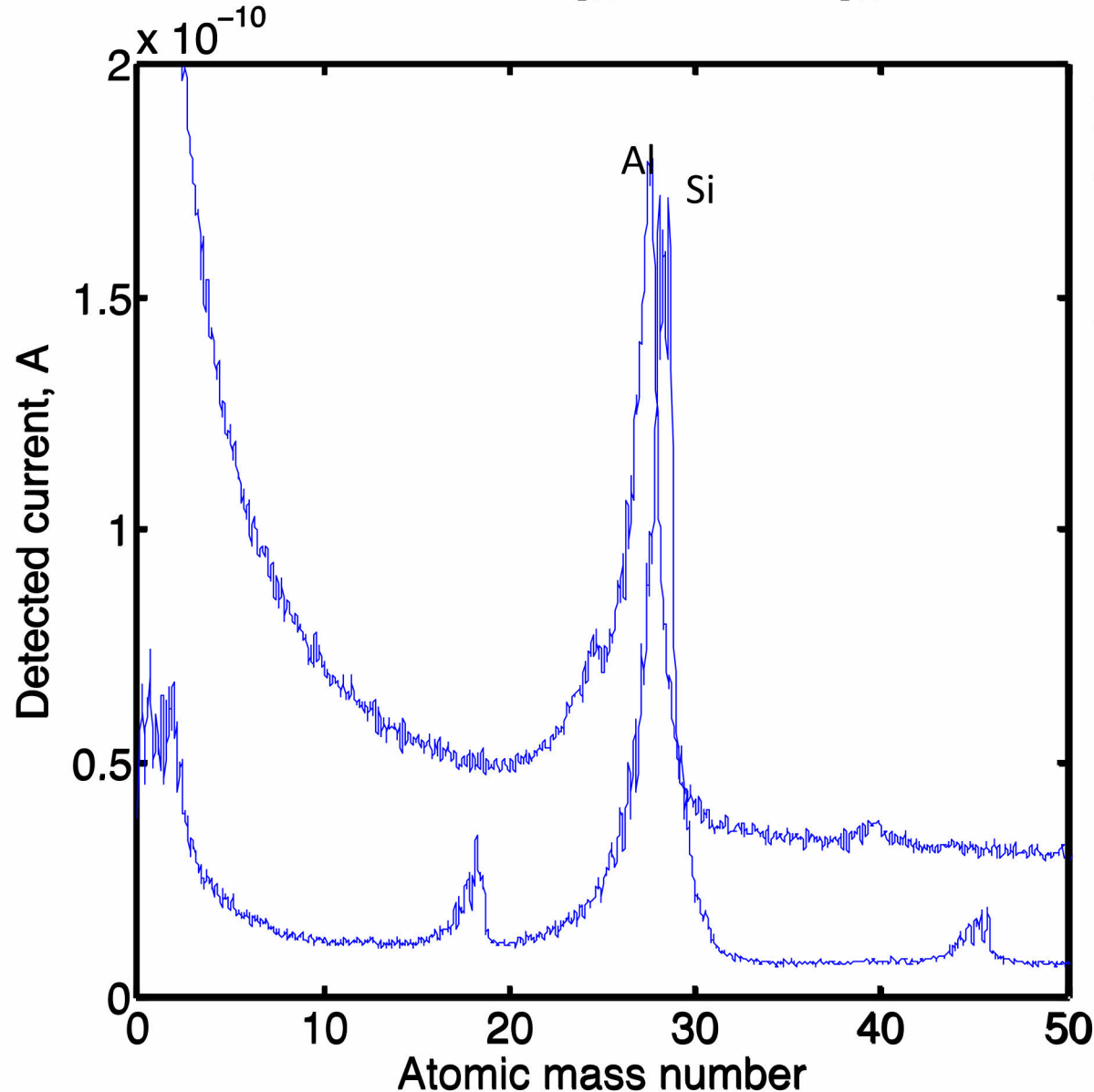
直下に誘電体を置いた所、イオンビームが加速不可能になった。間近においたターゲットの電位が上昇したことが原因と推察。

石英板(SiO_2)結果



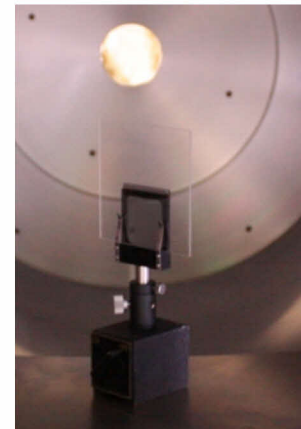
- Si質量数28付近にピークが立った。
- 18,44付近にもピーク。
- Alではないのか??

Al板とSi板の比較



質量数が1しか違わないので、判別が難しい。

石英板の方が、質量数が1ずれているので、Siが検出されたと考える。

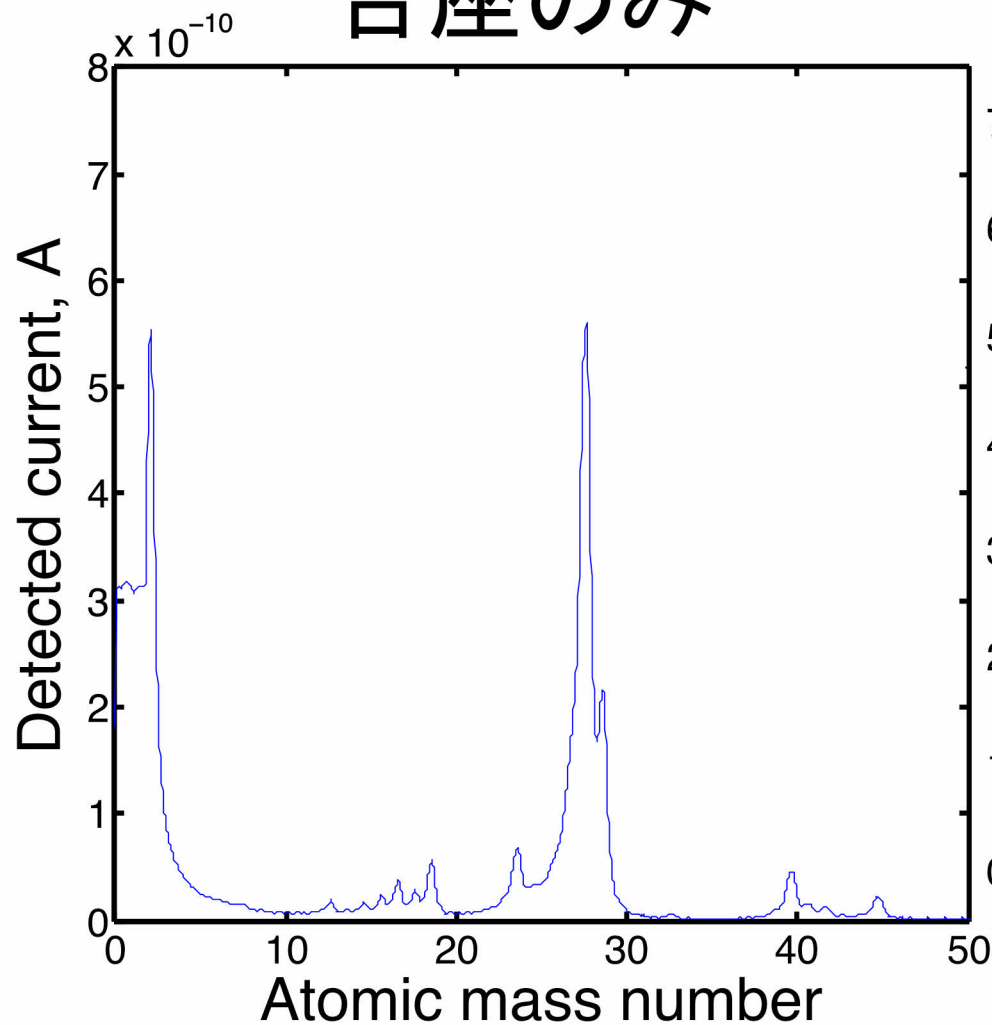


組成不明の石

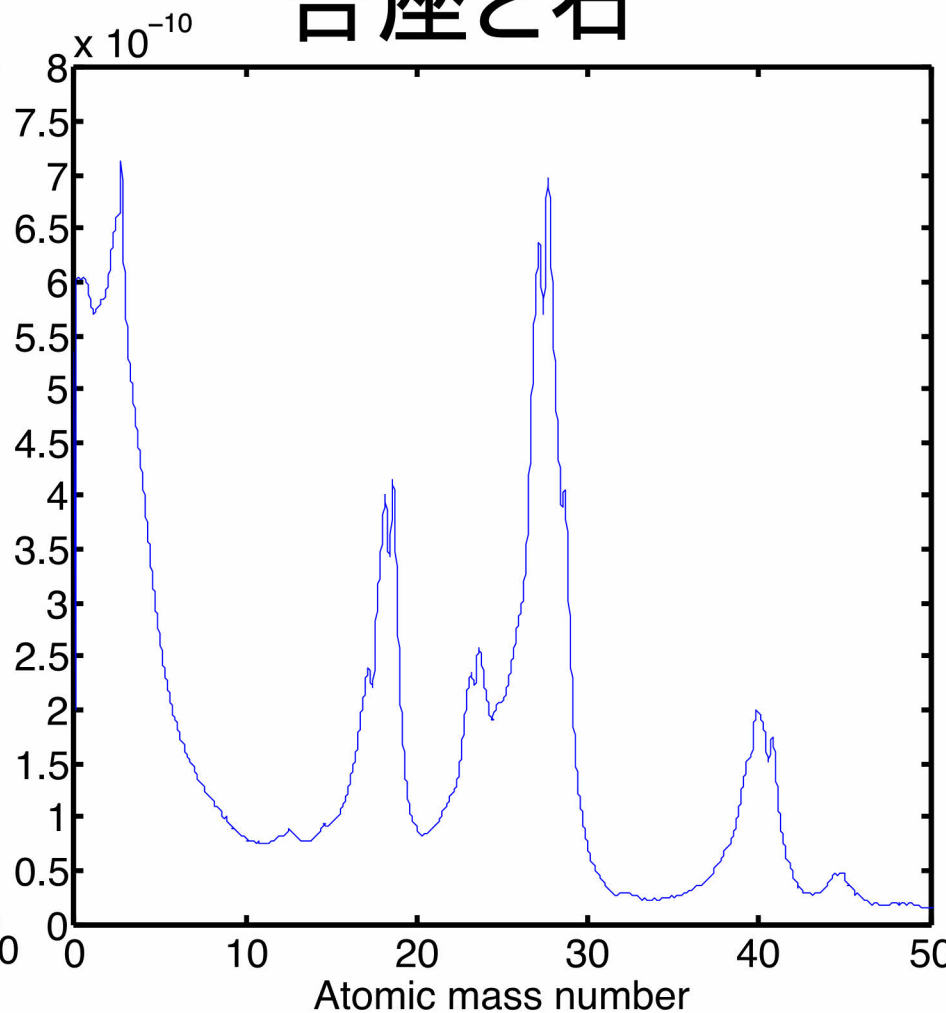


組成不明の石

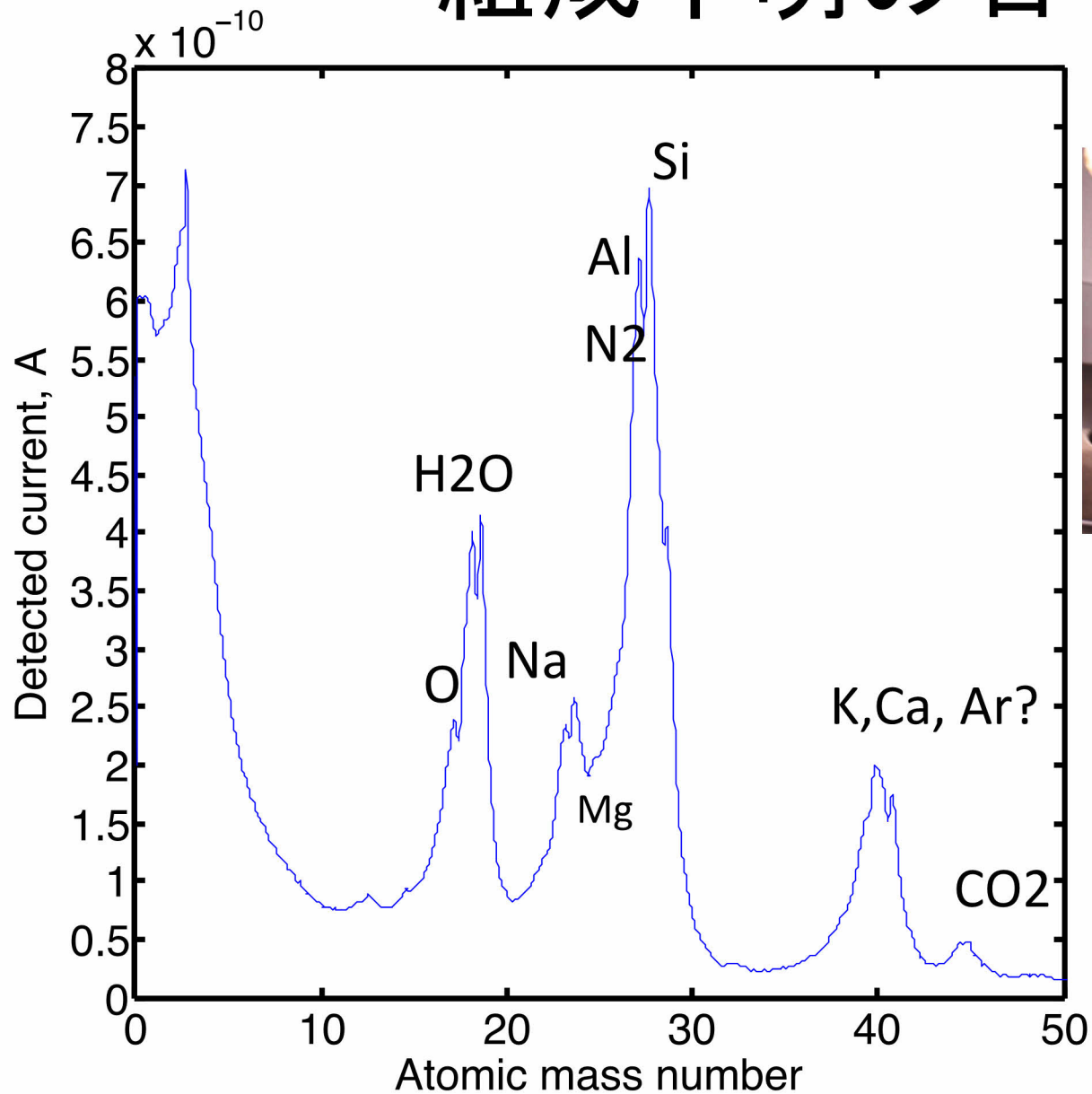
台座のみ



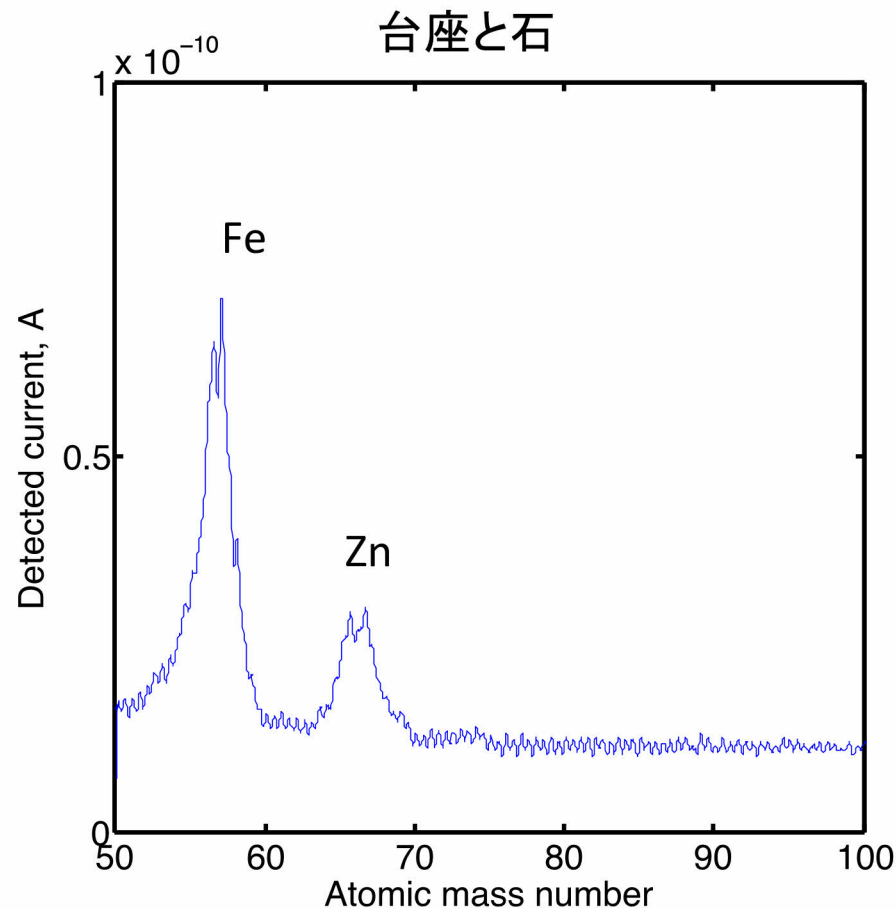
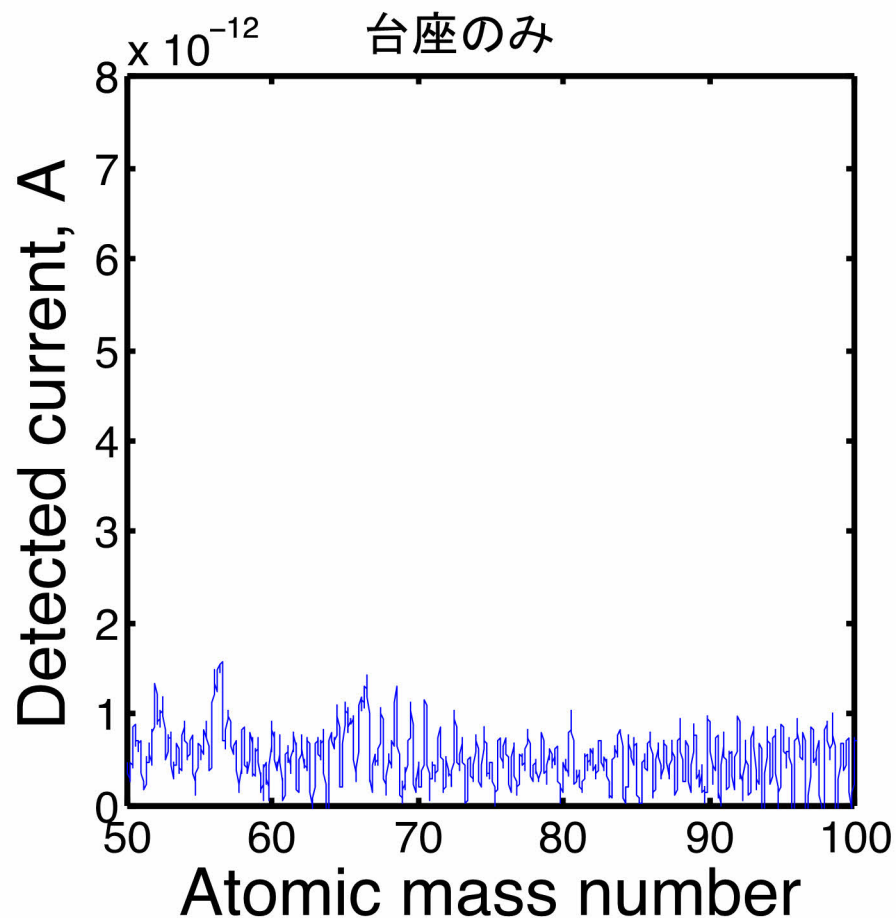
台座と石



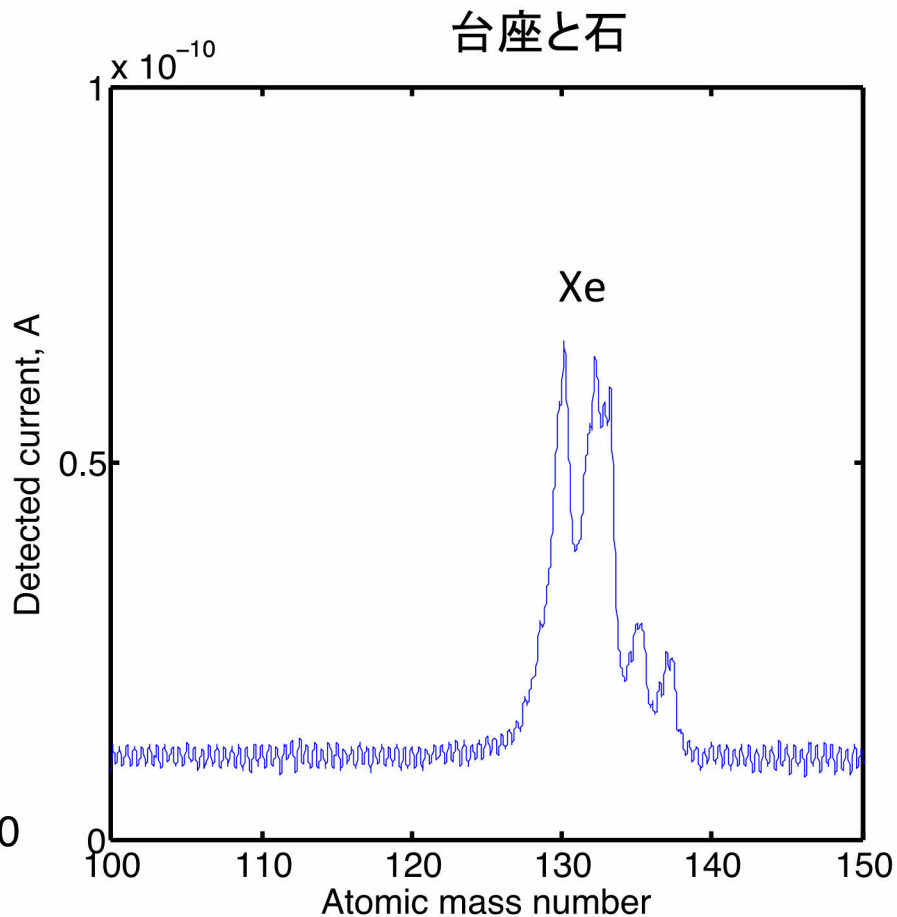
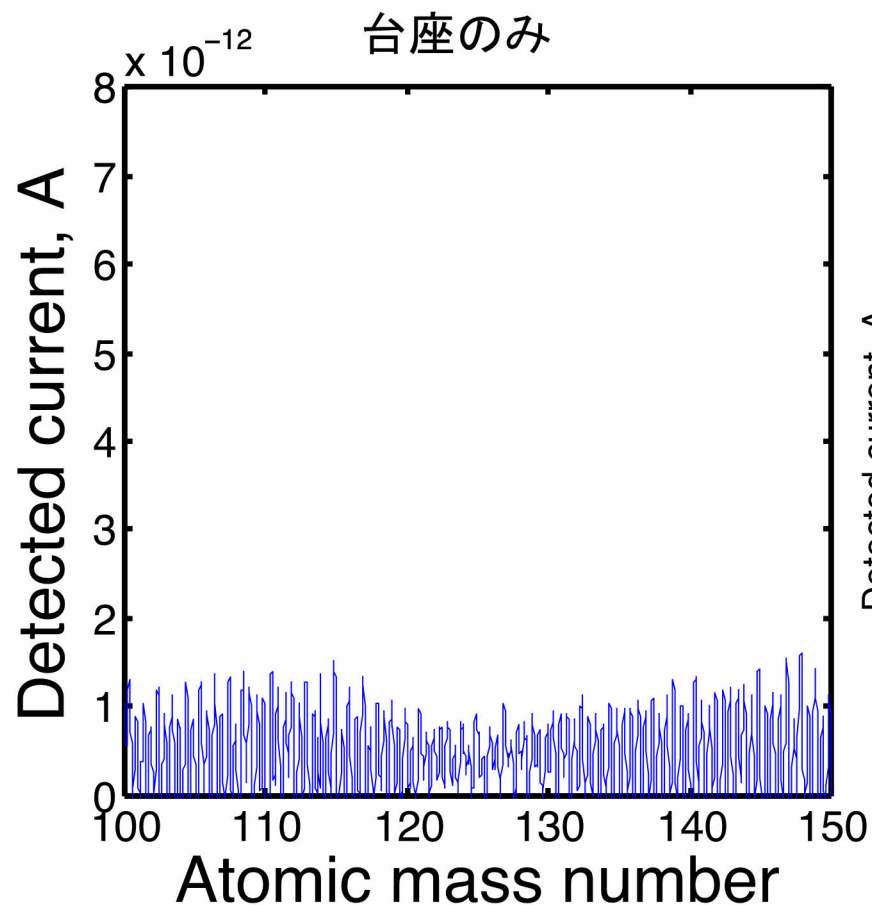
組成不明の石



組成不明の石(50-100)



組成不明の石(100-150)



成果

- 銅板に20mAビームを照射し、 3×10^{-10} A検出した。見積では、 4×10^{-10} Aなので、オーダーとしては一致する。事前に行った見積が妥当であることを裏づけた。
- 誘電体である、石英、石の組成元素の検出に成功した。
- 感度が 10^{-15} Aが検出器を子機に搭載できれば、10km程離れた親機と100m上空の子機で遠隔SIMSが可能だと考えられる。

課題

- 定量分析は難しい。同じ原子量を複数含む組成分析は区別は不可能。
- 表面や深層との区別も難しい。
- 分解能はビーム照射域に依存する。
- 実験室では、ターゲット以外の成分を除去する必要がある。