



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Development of depth profiling for solar wind noble gases implanted in Genesis diamond-like-carbon on silicon substrate targets by using isotope nanoscope [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	殿谷, 梓
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第12696号
Issue Date	2017-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/65412
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Azusa_Tonotani_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（理 学） 氏 名 殿 谷 梓

学 位 論 文 題 名

Development of depth profiling for solar wind noble gases implanted in Genesis diamond-like-carbon on silicon substrate targets by using isotope nanoscope

（Genesis DOS 試料中に打ち込まれた太陽風希ガス同位体の同位体ナノスコープによる深さ方向分析法の開発）

太陽は形成時から水素・ヘリウム以外の組成がほとんど変化しておらず、原始太陽系星雲時の情報を保持していると考えられており、それらの一部は太陽風として宇宙空間に放出されている。したがって、太陽風の物理化学機構を明らかにすることは現太陽活動だけでなく、太陽形成時の情報を捉えることにつながる。また、太陽系形成初期から太陽系内の天体は太陽風に曝されてきた。この痕跡は月レゴリスや小惑星天体サンプルリターン試料から明らかになっている。したがって宇宙風化のメカニズムを解明することは天体表層の変遷を知る上でも重要である。

これらの太陽物理や太陽風による宇宙風化のメカニズムを解明する実験的手法として、希ガス同位体分析がある。希ガスは、不活性かつ揮発性の特徴を持つため、隕石のような固体物質中に枯渇しており、太陽の分光観測や太陽風の直接測定から研究されてきた（e.g., Anders and Grevesse.; 1989, Geiss et al., 2004.）。しかし近年ではサンプルリターン計画（Genesis ミッション）中の太陽風照射試料中の希ガス同位体研究から、原始太陽系および太陽進化過程について議論されている。とりわけ、希ガス同位体のエネルギー分布や照射量についてはよく知られている（Heber et al.; 2009, Grimberg et al., 2008）。太陽風照射試料から太陽物理および宇宙風化のメカニズムを明らかにする上で重要なポイントは、太陽風中の各粒子の持つエネルギーと照射された固体試料との関係であり、それらは照射試料内の空間分布として保持されている。しかしながら、照射エネルギーが小さいため、照射された試料中の希ガスの深さ方向での空間分布はこれまでの分析手法では明らかになっていない。その理由として、深さ方向分析には一般的に二次イオン質量分析装置（SIMS）が用いられてきたことによる。二次イオン質量分析装置はスパッタリングされた二次イオンを検出する手法だが、希ガスはイオン化エネルギーが高いため、通常の二次イオン質量分析装置による希ガス同位体分析は困難である。したがって、希ガスをイオン化できる二次イオン質量分析装置が必要となる。そこで、同位体ナノスコープ（LIMAS）が、微小領域の希ガス同位体深さ方向分析を実現させる装置として開発された（Bajo et al., 2015）。

LIMAS は、高強度レーザー（パワー密度： $\sim 10^{16}$ W/cm²）を用いてトンネルイオン化を行うスパッタ中性粒子質量分析計（SNMS）の一種である。LIMAS は主

に、直径 $1\ \mu\text{m}$ - $10\ \text{nm}$ のプライマリービームを発生させるための Ga 集束イオンビーム、スパッタリングされた粒子をトンネルイオン化するためのフェムト秒レーザーシステム、イオン化した粒子を質量分離させるための多重周回飛行時間型質量分析計(MULTUMII)から構成されている(Ebata et al.; 2012, Bajo et al., 2015).

LIMAS による希ガス同位体分析を行うには、妨害イオンと目的イオンを分離するための高い質量分解能と、試料中に含まれる元素・同位体をできる限り無駄なく検出するための高い感度が要求される。そのため、本論文では第一ステップとして、LIMAS の質量分離部の特性評価を行った。その結果、質量分可能 620000 時に 2×10^{-3} の透過性を示すことが明らかとなり、商用の二次質量分析計 (CAMECA ims-6f) と比較して、高質量分解能および同等の透過性を示した。この結果は、Genesis サンプル中に含まれる希ガス同位体の妨害イオン分離および微量検出に適した特性結果である。

上記の結果を踏まえた次のステップとして、高精度の希ガス同位体深さ方向分析を行うための測定法の開発を行った。Genesis 試料中の太陽風起源 He の深さ方向分布は、LIMAS により見積もられた(Bajo et al, 2015)。しかしながら、深さ方向分析の低濃度領域の He 濃度 ($3 \times 10^{18}\ \text{atoms/cm}^3$) が LIMAS サンプルチャンバー内の残留ガスと考えられる He 量と同等もしくは高いため、試料深部 He、つまり高エネルギー粒子は確認できていなかった。試料深部の太陽風起源 He の深さ方向分布を明らかにするために、1)妨害および目的イオンを MULTUM II で多重周回させ質量分離し、イオンゲートを用いて妨害イオンのみを除去し、2)ラスター面積を拡大することにより解析エリア外起源 He の混入を低減させ、3)高排出イオンポンプ(Agilent VacIon Plus 500 (StarCell))を導入しサンプルチャンバー内の残留ガスを減少した。その結果、低濃度領域の He 濃度は 1 桁以上減少し ($2 \times 10^{17}\ \text{atoms/cm}^3$)、解析エリア内の太陽風起源 He 検出を高精度に行うことが可能となった。これにより、Genesis 試料中の高エネルギー He 粒子の照射の痕跡が LIMAS では初めて確認され、さらには深さ方向分析では初めてとなる Ne 同位体の検出にも成功した。したがって、LIMAS による高精度な希ガス同位体深さ方向分析の確立を結論づけるとともに、原始太陽系から現太陽系の進化研究解明に対する新しい技法として本論文を呈示する。