

投影型イメージング質量分析装置を用いたマーチソン隕石の測定 Imaging Measurement of Murchison Meteorite by using Stigmatic Imaging Mass Spectrometer

青木 順^{1*}; 河井 洋輔¹; 寺田 健太郎¹; 豊田 岐聡¹
AOKI, Jun^{1*}; KAWAI, Yosuke¹; TERADA, Kentaro¹; TOYODA, Michisato¹

¹ 大阪大学理学研究科
¹ Osaka University

地球に存在する生命の起源に関して、これまで様々な議論がなされてきている。近年、可能性が高いとされているのは、宇宙空間において生成した有機物が太陽系形成の初期段階において地球にもたらされ、その有機物をもとにして生命へと至ったとする説である。このような太陽系の初期段階に関する始原的な情報は現在も特定の小惑星や惑星間塵（宇宙塵）などに残っており、それらを調べることでどのような有機物がかつて地球にもたらされたのかを知ることができる。

このような研究では、始原的小惑星に由来して地球に飛来した炭素質コンドライト隕石を主な測定対象としている。その中でも有機物を多く含有するマーチソン隕石は、これまでに多くの研究がなされている。含有されている有機物は、アミノ酸、炭化水素、カルボン酸など多岐にわたり、クロマトグラフィーと質量分析を組み合わせた手法により物質が同定されてきた。このように隕石中の有機物を分析する場合には、全体を溶媒で抽出する大域的な測定がもっぱら行われてきた。しかし、より局所的な観点から、隕石中の有機物の分布構造や隣接する鉱物との因果関係を知ることができれば有機物の生成過程についての重要な情報を得ることができる。これまで、隕石中の有機物の空間分布はラマン分光や放射光などを用いた測定による化学結合に着目したものがあつたが、この手法では詳細な分子組成はわからない。質量分析により分子の質量を高精度で測定できれば分子組成などより多くの情報を得ることができる。表面分析の手法では、イオンビーム照射によるイオン化を用いた質量分析イメージングがあるが、イオン化時にフラグメント化が起るため有機物の分析には適していなかった。大阪大学で開発した MALDI イメージング質量分析装置は高分子のイオン化が可能で、高質量分解能かつ高空間分解能での有機物の分布情報を測定することができる。レーザーによるソフトなイオン化であるため、有機物分子を壊すことなくイオン化できる。さらに、これまでの走査型では空間分解能は 10-100 μm 程度が限界であつたが、投影型では 1 μm の空間分解能を実現している。この装置を用いてマーチソン隕石における構成成分の分布を測定した。

キーワード: イメージング質量分析, アストロバイオロジー, マーチソン隕石
Keywords: Imaging Mass Spectrometry, Astrobiology, Murchison Meteorite

超伝導 NbTiN を集積した 1.9THz 帯導波管型ホットエレクトロンボロメータ・ミクサ検出素子の開発 Development of 1.9 THz Band Waveguide-type Hot-electron Bolometer Mixer Employing Superconducting NbTiN Microbridge

齊藤 滉介^{1*}; 井上 将徳¹; 長谷川 豊¹; 木村 公洋¹; 相馬 達也²; 大口 脩²; 山本 智²; 前澤 裕之¹
SAITO, Kosuke^{1*}; INOUE, Masanori¹; HASEGAWA, Yutaka¹; KIMURA, Kimihiro¹; SOMA, Tatsuya²;
OGUCHI, Osamu²; YAMAMOTO, Satoshi²; MAEZAWA, Hiroyuki¹

¹ 大阪府立大学大学院理学系研究科, ² 東京大学大学院理学系研究科

¹Department of Physical Science, Osaka Prefecture University, ²School of Science, University of Tokyo

星間ガスや惑星大気分子・原子・イオンの多くが、ミリ-サブミリ波帯において回転・振動・微細構造線などのスペクトル線を放射している。電波天文学で採用するこの波長域のヘテロダイン分光の手法は、高い周波数分解能 ($\Delta f/f > 10^6$) の特徴を有し、星間ガスや星形成領域、惑星大気ダイナミクスや密度、温度、組成などの基本的な物理・化学的状態を探る強力なツールとなっている。ただし、1 THz を超えてくると、これまで威力を発揮してきた超伝導 SIS 検出素子はクーパ対が破壊されて動作原理上機能しなくなるため、未開拓の観測波長領域となっていた。こうした中、超伝導ホットエレクトロンボロメータ (HEB) ミクサ素子は次世代の高感度ヘテロダイン検出素子として着目されている。

我々は現在、1.8-2 THz 帯 HEB ミクサ素子の開発を進めている。この波長域には、地球・惑星大気中の OH ラジカル、星間ガス中の炭素イオンや酸素原子、その他の高励起スペクトル線が沢山眠っている。この素子の心臓部である超伝導細線には、我々のプロセスにおいて性能実績のある NbTiN 薄膜を *in situ* の手法により集積する。また、フィードは、従来の準光学型から、ビームパターンの優れた導波管/ホーン型へと改良する。素子チップとのインピーダンス整合の設計には 3次元高周波電磁界シミュレーター HFSS を用いて行った。また、光学伝送の設計は GRASP ソフトウェアを用いた。この HEB 素子の基板チップの最適サイズは幅 44 μm 、厚み 19 μm と非常に微細となる。そこで、ダイシング装置やマルチプレッ研磨システムを用いて実際にチップを試作し、膜応力によるチップの反りや、加工時のクラック、その他ワイヤーボンディングなどのハンドリングなどの検証も行った。この結果、歩留りは 90%以上を達成し、実用に耐えるチップの微細化が十分に可能であることを確認した。この素子を実装するチップスロット/導波管、ホーンアンテナの微細加工も今回初めての試みとなるが、マシンニングによる切削の目処がたっている。本講演ではこの新しい 1.9THz 帯 HEB ミクサ検出素子の設計・開発の進捗について講演を行う。

キーワード: テラヘルツ天文学, 星間ガス, 惑星大気, ヘテロダイン分光, 超伝導検出器

Keywords: Terahertz Astronomy, Interstellar Medium, Planetary Atmosphere, Heterodyne Spectroscopy, Superconducting Detector

ダストの空隙率とシリケートフィーチャーの関係 The effect of the porosity of dust aggregates on the 10-micron silicate feature

田崎 亮^{1*}; 奥住 聡²; 片岡 章雅²; 田中 秀和³; 野村 英子²

TAZAKI, Ryo^{1*}; OKUZUMI, Satoshi²; KATAOKA, Akimasa²; TANAKA, Hidekazu³; NOMURA, Hideko²

¹ 京都大学大学院理学研究科, ² 東京工業大学大学院理工学研究科, ³ 北海道大学低温科学研究所

¹Graduate School of Science, Kyoto University, ²Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology,

³Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

岩石惑星の主要な材料であるシリケートダストの光吸収係数は波長 10 μm 付近に特徴的なフィーチャーを示し、このフィーチャーは Spitzer 望遠鏡等による中間赤外線分光観測によって数多くの原始惑星系円盤から見つかった。従来は、観測されたフィーチャーをダストのサイズや組成をパラメーターとして変化させ、再現することで、円盤に存在するダストの特性に制約を与えてきた。近年、原始惑星系円盤のダストは高い空隙率を持って成長することが示唆されている。しかし、現実の円盤において、高空隙率ダストの存在は観測的に検証されてはいない。そこで、本研究では空隙率というパラメーターに応じて、シリケートフィーチャーがどのように変化するかについて調べ、ここから観測的に高空隙率ダストの存在を検証することを目的とする。

本研究では T-Matrix 法と呼ばれる数値計算法を用いて、空隙を持ったダストのシリケートフィーチャーを計算した。従来、空隙を持たないダスト（コンパクトダスト）はサイズが大きくなるにつれ、フィーチャーのピーク波長が長波長側へとシフトしながら、強度が下がっていく性質があることが知られていた。しかし、我々は空隙を考慮したダストの場合には、サイズを大きくしてもピーク波長は殆ど変化せずに、強度が下がっていく性質があることを明らかにした。これは高空隙率ダストが実効的には真空に近い光学定数を持っているためと理解することができる。また、現実の円盤に存在するダストはサイズ分布を持っていると考えられるが、サイズ分布を持っていたとしても同様の傾向が得られることを有効媒質近似を用いて確かめた。次に、このようなコンパクトダストと高空隙率ダストの違いはフィーチャーのピーク波長付近 ($\sim 10 \mu\text{m}$) の強度と長波長側 ($\sim 12 \mu\text{m}$) の比を取ることで、判別することができることを示した。以上の結果は、観測された 10 μm のフィーチャーにおいて 2つの波長での比を取ることで、観測的に円盤に存在するダストがコンパクトか高空隙率ダストかを判別可能である可能性を示唆している。

キーワード: 原始惑星系円盤, ダストアグリゲイト, 光学特性

Keywords: protoplanetary disks, dust aggregates, optical properties

Mg₂SiO₄-H₂-H₂O系でのフォルステライト凝縮速度論 Kinetic condensation of forsterite in the system of Mg₂SiO₄-H₂-H₂O

橘 省吾^{1*}; 瀧川 晶²
TACHIBANA, Shogo^{1*}; TAKIGAWA, Aki²

¹ 北海道大学大学院理学研究院自然史科学部門, ² 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻
¹Dept. Natural History Sciences, Hokkaido University, ²Department of Earth and Planetary Science, Kyoto University

Equilibrium condensation calculations provide a set of stable minerals under a certain physical and chemical condition, condensation does not necessarily occur in equilibrium in time-variant circumstellar systems, where pressure, temperature, and gas chemistry vary with time. It is thus important to understand the kinetic aspect of dust formation processes, especially the vapor growth kinetics of dust. In this study, we report a quantitative estimate of the condensation coefficient, non-dimensional parameter representing kinetic hindrance for condensation, for vapor growth of forsterite under protoplanetary disk-like conditions in the system of H₂/H₂O/forsterite.

An infrared vacuum furnace was used in this study. A mixed gas of hydrogen and water vapor was flowed into the system at a controlled rate to keep a pressure constant. Synthetic forsterite powder in an iridium crucible was heated as a gas source. A part of evaporated gases were condensed on a substrate of platinum mesh located at a cooler region in the chamber. The pressure and temperature conditions during the experiment were close to those of protoplanetary disks. The total pressure of the system was kept at 5.6 Pa, and the substrate temperature was ~1235 K. The gaseous H₂O/H₂ ratio was set at ~0.015, which was ~15 times larger than the solar H₂O/H₂ ratio. The experimental duration ranged from 5 to 115 hours.

The platinum mesh was fully covered with sub-micron to micron-sized condensates. Chemical compositions of condensates were consistent with stoichiometric forsterite. A variety of EBSD patterns corresponding to crystalline forsterite were obtained from the condensates. We thus conclude that the condensates are a thin film of polycrystalline forsterite.

The gaseous SiO/H₂ ratio in the flux onto the substrate was estimated to be 5.5×10^{-7} that corresponds to 7.7×10^{-3} of the solar SiO/H₂ ratio. The supersaturation ratio for the present experiment was ~230. Based on the incoming flux of SiO onto the substrate and the ideal evaporation flux, the condensation coefficient of forsterite was evaluated to be 0.038 ± 0.005 at 1235 K and the supersaturation ratio of 230.

The condensation coefficient at 1235 K is well consistent with the evaporation coefficient for forsterite in hydrogen gas and is smaller than that of metallic iron. The difference in condensation and evaporation coefficients for metallic iron and forsterite may be attributed to the difference in atomic bonds in metallic iron (metallic bonds) and silicates (ionic and/or covalent bonds). This difference implies that the growth of forsterite dust, for instance AOAs in chondrites, occurs less efficiently than that of metallic iron dust in circumstellar environments although they have similar equilibrium condensation temperatures.

キーワード: フォルステライト, 凝縮, 速度論, ダスト, 原始惑星系円盤
Keywords: forsterite, condensation, kinetics, dust, protoplanetary disk