

## 中間赤外線中空ファイバーの低温環境下での透過率測定

# 伊藤 良太 [1]; 平原 靖大 [2]; 松浦 祐司 [3]; 高見 康介 [4]; 中川 広務 [4]; 笠羽 康正 [5]; 山崎 敦 [6]

[1] 名大・環; [2] 名大・院・環境・地球惑星; [3] 東北大・医工学; [4] 東北大・理・地球物理; [5] 東北大・理; [6] JAXA・宇宙研

## Transmittance measurement of mid-infrared Hollow core fiber at cryogenic temperature

# Ryota Ito[1]; Yasuhiro Hirahara[2]; Yuji Matsuura[3]; Kosuke Takami[4]; Hiromu Nakagawa[4]; Yasumasa Kasaba[5]; Atsushi Yamazaki[6]

[1] Environmental Studies, Nagoya Univ.; [2] Earth&Planetary Sciences, Nagoya Univ.; [3] Biomedical Engineering, Tohoku University; [4] Geophysics, Tohoku Univ.; [5] Tohoku Univ.; [6] ISAS/JAXA

We aim at the long-term spectroscopic observation of the planetary atmosphere in the mid-infrared wavelength region for the purpose of clarifying various phenomena of atmosphere physics and atmospheric chemistry of solar system planets and satellites by 1.8m off-axis telescope PLANETS (Polarized Light from Atmospheres of Nearby Extra-Terrestrial Systems), which is planned to be constructed at Mt. Haleakala of Maui. The PLANETS will be equipped with high dispersion cooled echelle spectrograph GIGMICS (Germanium Immersion Grating Mid-Infrared Cryogenic Spectrograph), which can observe N-band (wavelength 8-13um) with  $R \sim 40,000$ . In this research we report the development of the new cooled fiber system for optical guiding to GIGMICS from PLANETS. By using the mid infrared HCW (hollow core waveguide) developed in recent years, we can realize simultaneous observation with other observing instruments such as MILAHI, and improvement of optical throughput by abbreviation of a large number of guide mirrors.

In the present study, we report on the development of a new hollow core waveguide (HCW) fiber for installing and operating GIGMICS on PLANETS. There are commercially available single mode optical fibers for communication band for short wavelength infrared region up to 2.5 um wavelength, and it is used on the European Mars Lander ExoMars Mission 2020, but transmission efficiency is low in the wavelength longer than 3 um wavelength ( $< 70\% / m$ ) AgS polycrystalline fiber only. Mid-infrared hollow fiber developed in Tohoku University Graduate School of Medical Science and Technology in recent years has a metal and dielectric double-layer thin film with high reflectivity near a wavelength of 10 um is embedded inside the tube with an inner diameter of about 1 mm. It is being applied to high efficiency transmission of carbon dioxide gas laser light and in vivo spectroscopy. We are working on the evaluation of the permeability of hollow fiber in low temperature and vacuum environment with the aim of developing a new astronomical observation device utilizing the characteristics of this hollow fiber and the development of future planetary exploration equipment.

We adopted a HCW with an inner diameter of 0.8 mm, in which a thin glass material on the inner surface of a polyimide pipe was clad with a metal (Ag) coated with AgI. Since the reflective layer is metal, it is expected that the loss can be reduced as the resistivity decreases in cryogenic temperature region. Therefore, we developed a Wilson seal to keep the vacuum shield, and the fiber cooling mechanism that satisfies three conditions for (1) holding the vacuum inside of the hollow fiber, (2) cooling with liquid nitrogen, and (3) keeping the low temperature by vacuum insulation. The small Pt-100 temperature sensors were attached to several places where the fiber was introduced, and a cooling test using a liquid nitrogen pump system was carried out. As a result, within 10 minutes after the start of cooling, reached 78K within the distance of 2m uniformly. In addition, we developed a flow rate controller of liquid nitrogen in order to keep cooling for a long time with 20L liquid nitrogen container. For the measurement of the HCW transmittance at cryogenic temperature, we constructed an optical system for measurement that using a 1mm x 1mm detector (Vigo Systems PVMI-4TE Photoelectric MCT), and a 10.4um QC laser (Daylight Unicorn II, 100mW CW). The QC laser have a fluctuation of about 5% of the beam intensity in the long time measurement. In the future, we will construct a double-beam optical system with a Ge half mirror, to sequential intensity calibration of incident infrared light, and measure the transmittance of the hollow fiber with high accuracy.

多様な太陽系惑星・衛星の大気物理・大気化学の諸現象を観測的に明らかにする目的で、我々は、マウイ島ハレアカラ山頂に建設予定の1.8m軸外し型グレゴリアン式望遠鏡 PLANETS(Polarized Light from Atmospheres of Nearby Extra-Terrestrial Systems)に、赤外線領域の「大気の窓」であるN-band(波長8-13um)全域を観測域とする高分散( $R \sim 40,000$ )冷却エシェル分光器 GIGMICS(Germanium Immersion Grating Mid-Infrared Cryogenic Spectrograph)を搭載することで、中間赤外域での惑星大気の連続的な観測を目指す。

本研究では、GIGMICSをPLANETSに搭載・運用するための新型のファイバーの開発について報告する。従来、波長2.5umまでの短波長赤外域の通信バンド用シングルモード光ファイバーが存在し、欧州火星着陸機 ExoMars Mission2020搭載機器に採用されているが、波長3umより長波長の領域では透過効率が低い(70%/m未満)AgS多結晶ファイバーのみであった。近年、東北大学医工学研究科において開発された中間赤外線中空ファイバーは、内径1mm程度のチューブ内面に、波長10um近辺で高反射率となる金属と誘電体の2層薄膜を内装した構造を持つ新しいデバイスであり、炭酸ガスレーザー光の高効率伝送や、生体内の分光計測に応用されつつある。我々はこの中空ファイバーの特性を活かした新たな天文観測装置の開発や将来の惑星探査機器の開発を目指し、低温・真空環境での中空ファイバーの透過率の評価に取り組んでいる。

本研究では、ポリイミドパイプの内面の薄いガラス材をAgIでコートした金属(Ag)をクラッドした内径0.8mmの

中空ファイバーを用いた。反射層に金属が用いられているため、冷却環境下では抵抗率低下に伴う低損失化が期待される。そこで、多重真空を保持するためにウィルソンシールを開発し、更に (1) ファイバー内の真空の保持 (2) 液体窒素による冷却 (3) 真空断熱による低温の維持、の 3 つを満たすファイバー冷却機構を製作した。ファイバー導入部分数か所に Pt-100 温度センサーを取り付け、液体窒素ポンプシステムを用いた冷却試験を行ったところ、冷却開始後 10 分で 2m の距離内が均一に 78K に到達した。また、液体窒素の流量自動調節機構を製作し、20L の液体窒素で長時間の冷却保持が可能となった。このファイバーについて低温での透過率測定を行うため、波長 10.4 $\mu$ m の QC レーザー (Daylight 社製 Unicorn II, 100mW CW) を光源とし、1mm X 1mm の検出器 (Vigo Systems 社製 PVMI-4TE 光電型 MCT 検出器) を用いた測定用光学系を構築した。光学系に用いる QC レーザーは、長時間の測定においておよそ 5% のビーム強度の揺らぎがあることがわかった。今後、Ge ハーフミラーを使ったダブルビーム光学系を構築し、入射赤外光の逐次強度較正を行えるようにし、高い精度の中空ファイバーの透過率測定を行う。