

ゲルマニウムイマージョングレーティングを用いた中間赤外線高分散冷却分光観測装置 GIGMICS のファーストライト観測

平原 靖大 [1]; 柴田 将 [1]; 青木 慶伸 [1]
[1] 名大・院・環境・地球惑星

First Light Observation of the Germanium Immersion Grating Mid-Infrared Cryogenic Spectrograph (GIGMICS)

Yasuhiro Hirahara[1]; Sho Shibata[1]; Keishin Aoki[1]
[1] Earth&Planetary Sciences, Nagoya Univ.

http://www.eps.nagoya-u.ac.jp/system/space/space_main.html

We have developed a germanium immersion grating mid-infrared cryogenic spectrograph (GIGMICS) designed for the Nasmyth focus stage of NAOJ Subaru 8.2-m telescope, which operates at N-band (8-13 micrometer in wavelength) with maximum resolving power $R \sim 50,000$. A single crystal germanium echelle immersion grating (30 * 30 * 72 mm) for collimated beam size of 28 mm in diameter was fabricated by utilizing ultra precision micro-grinding method coupled with the ELID (Electrolytic In-process Dressing) technique. From January to April, 2011 we carried out the first light observation of GIGMICS by the Kanata 1.5-m telescope at Higashi-Hiroshima Observatory. Toward many astronomical objects such as the Moon, Venus, Jupiter, circumstellar envelopes of late-type stars, proto-planetary nebulae, and interstellar molecular clouds in the vicinity of star-forming regions, we conducted spectroscopic observations in the N-band region.

[はじめに] 我々が開発した GIGMICS (Germanium Immersion Grating Mid-Infrared Cryogenic Spectrograph) は、国立天文台ハワイ観測所すばる望遠鏡の赤外線ナスミス焦点台に設置可能な、赤外線領域の「大気の窓」である N-band(波長 8 ~ 13 μ m) 全域を観測域とする冷却エシェル分光器である。ELID 研削加工法^[1]によって世界で初めて開発に成功した Ge イマージョングレーティング(サイズ 30 x 30 x 72 mm)^[2]を用いた分光器を設計・製作し、波長分解能 $R = 50,000$ を実現した^[3,4]。図 1 に GIGMICS の全光学系の配置図を示す。波動光学に基づく分散型分光器の基本式は、入射角を θ_i 、回折角を θ_m として以下の式 (1) で表される:

$$m \lambda = nd(\sin \theta_i + \sin \theta_m) \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 m は回折次数、 λ は波長である。通常の反射型グレーティングとは異なり、分散角は格子定数 d (μ m)及びイマージョングレーティングの屈折率 n の積となる。赤外線領域において透過率の高い光学材料の中で、Geは最も高い屈折率($n \sim 4$)を示し、分光光学系のサイズを単一の光学定盤(直径 ~ 800 mm)に収容でき、2台のGM冷凍機によって光学系全体を30K程度まで冷却可能となった。また、GIGMICSではエシェル分光光学系を採用し、赤外線検出器には5K冷却下で動作するSi:As Blocked Impurity Band型2次元アレイ検出器(512x412ピクセル)を用いた。これにより、イマージョングレーティングの高次分散光(回折次数330 m 535)を、冷却下で連続回転が可能なクロスディスペルザーによって直交方向に次数分離したのち、カメラレンズを用いて検出器上に結像させ、一度に約0.8 μ mの波長範囲に対応するエシェログラムを取得できる。

[観測] 2010年末から2011年4月中旬にかけて、広島大学宇宙科学センター附属・東広島天文台かなた1.5m 光学赤外線望遠鏡において、GIGMICSのファーストライト観測を惑星^[5]、星形成領域、星周辺大気^[6]など、様々な天体に対して行った。本発表ではN-band全域でのGIGMICSの動作検証と性能評価の一環として行った、月を背景光源(温度320~370K)とした夜間の地球大気の観測と解析結果について報告する。2011年4月9,10,11,13,14,16日において、クロスディスペルザーを順次回転させることにより、中心波長の異なる計8種のエシェログラムをON/OFF法を用いて取得した。ON点の積分時間は約50秒で充分であった。

[結果と考察] 吸収スペクトルの帰属は、HITRAN(地球大気スペクトルデータベース)とエシェログラムを比較しながら進めた。その結果、N-bandにおいてCO₂ 167本、H₂O 107本、O₃ 78本、N₂O 25本、計377本の振動回転遷移を帰属した。全エシェログラムを図2に示す。縦方向、横方向がそれぞれイマージョングレーティング、およびクロスディスペルザーの分散方向に対応する。

吸収スペクトルのエシェログラム上での「スポット位置」は式(1)、及びカメラ光学系の倍率と検出器のピクセルサイズ(0.03mm)で決定される。そこで、帰属されたすべての吸収スペクトルの波長と位置から、非線形最小二乗法を用いて分光器の諸パラメーターの導出を行った。その結果、観測条件(光学系の温度 ~ 35 K)における単結晶Geの屈折率 $n=3.9359(6)$ 、及びその波長依存性 $dn/d\lambda = 0.007440(3)$ 、 $d = 68.0110(4)$ deg. (設計値:68.75deg.)、 $d = 599.9963(5)$ μ m (Ge回折格子の溝加工時の値:600 μ m)を得た(括弧内は1 σ)。フィッティングの標準偏差は3.96pixelであった。これは目視によるエシェログラム画像上の吸収スペクトルの中心位置の検出誤差を反映しているが、スペクトル線の帰属には十分な精度である。今回のGIGMICSのファーストライト観測において、以前の実験室での光学調整による最適化条件での動作が確認された。

[文献] [1] Ohmori, Int. J. Jpn. Soc. Prec. Eng. 26, 273 (1992). [2] Ebizuka et al., Proc. SPIE 4842, 293 (2003). [3] Hirahara et al., Proc. SPIE 7735, 77351B (2010). [4] Hirahara et al., Proc. SPIE (2012) in press. [5] 柴田 他, 本学会講演 [6] 青木 他,

天文学会秋季年会 (2012).

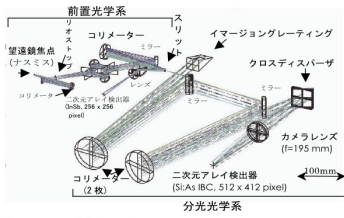


図1: GEMISの光学系レイアウト

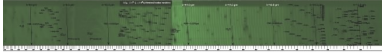


図2: 口径1.5m望遠鏡でのファーストライト観測(2011年3-4月)で得られたN-bandほぼ全域(長さ8-13 μ m)のエネログラム(412 \times 420pixel)。月を背景とした地球大気中の NiO 、 H_2O 、 CO_2 の振動回転遷移による吸収(黒いスポット)が見られる。波長分解能? 40,000。イメージングレーティングの回折次数範囲は340 \sim 535, Free Spectral Rangeは10 μ mに於いて0.0223 μ mである。