R009-33
A 会場 ： 11/25 PM1（13:45-15:45）
14:45～15:00:00

火星大気観測を見据えたテラヘルツヘテロダイン分光装置の 0.9THz 帯高調波ミクサ検出器の開発

松本 侑大 1), 尾田 拓人 1), 佐藤 孝明 1), 匠 伸祐 1), 藤巻 日菜子 1), #前澤 裕之 1)
(1 大阪公立大学大学院理学研究科物理学専攻

Development of a 0.9-THz-band hermonic mixer detector of THSS for Martian Atmospheric Observations

Yudai Matsumoto1), Takuto Oda1), Takaaki Sato1), Shinsuke Takumi1), Hinako Fujimaki1), #Hiroyuki Maezawa1)
(1Dept. of Phys., Grad. Sch. of Sci., Osaka Metropolitan Univ.

The Mars Aqueous-environment and Space Climate Orbiter (MACO) Working Group is advancing a mission concept to investigate the sustainability of habitable environments on Mars and other terrestrial planets. The program aims to comprehensively explore Martian space weather, climate, and the water cycle through demonstrations of orbital and exploration technologies. In particular, orbiter observations of water vapor in the atmospheric boundary layer will address surface – atmosphere interactions, material cycles, and vertical coupling processes relevant to Martian climate and hydrology. As one of the key candidate payloads, a Terahertz Heterodyne Spectroscopy Sensor (THSS) is under study.

The THSS is currently designed to operate in multiple frequency bands (Band 1: 460 GHz, Band 2: 560 GHz, Band 3: 890 GHz). By combining transitions and isotopologues with different optical depths, the instrument will probe lower-atmosphere water vapor and HOx species, high-altitude (>100 km) water vapor, and carbon monoxide lines for atmospheric dynamics. The baseline architecture foresees two antennas for limb-sounding of meridional and zonal circulation, while a single-antenna configuration is also feasible depending on mission constraints. In this study, we report on the development of the Band 3 (~ 890 GHz) receiver.

The receiver employs a harmonic mixer detector integrating Schottky barrier diodes (SBDs) provided by Virginia Diodes Inc. A 24-GHz phase-locked dielectric resonator oscillator (PLDRO) is frequency multiplied by 36 to generate the local oscillator (LO) signal for heterodyne spectroscopy, producing the intermediate frequency (IF) output. The detector can operate at room temperature and has already achieved TRL 9, with flight heritage from NASA CubeSat missions at similar frequencies. Laboratory evaluation showed a single-sideband conversion loss of approximately − 22 dB. A high-pass filter was also tested to suppress PLDRO harmonics.

To further enhance sensitivity, radiative cooling of the harmonic mixer element is being investigated to reduce thermal noise, together with optimization of applied bias conditions. In addition, a custom thermally isolated waveguide has been implemented between the mixer and the multiplier to reduce both LO signal loss and thermal inflow.

Mars Aqueous-environment and Space Climate. Orbiter (MACO) ワーキンググループは、地球型惑星や火星のハビタブル環境の持続性解明に向け、周回・探査技術の実証を通じて、火星の宇宙天気・気候・水環境を包括的に探査する計画を推進している。特に周回機では、大気境界層における水蒸気分布の観測により、地表・表層水と大気の相互作用や物質循環、宇宙気候・水環境に関わる大気上下結合のメカニズムの解明も視野にいれている。その搭載候補の重要測器の 1 つとして、テラヘルツ分光装置（Terahertz Heterodyne Spectroscopy Senser: THSS）が検討されている。

THSS では、Band1(460 GHz 帯), Band2(560GHz 帯)、Band3(890GHz 帯) など複数帯域を用い、光学的厚みの異なる遷移・同位体を組み合わせることで、低高度の水蒸気や HOx 種、高高度 (100km 超) の水蒸気、一酸化炭素輝線による大気ダイナミクスの観測を狙う。子午面循環、東西方向をリムサウンディングするために 2 基のアンテナ構成を想定するが、ミッションに合わせてアンテナ 1 基の構成にも対応可能である。本研究では、Band3 の 890GHz 帯受信機の開発について報告する。

検出器は、ショットキーバリアダイオード (SBD) を集積した高調波ミクサ検出素子 (Virginia Diode Inc.) を採用している。局部発振器（LO）には 24 GHz 帯の位相固定誘電体発振器（PLDRO）を 36 逓倍した信号を導入し、ヘテロダイン検出によって IF 信号を生成する。本検出器は常温動作が可能であり、同波長域で NASA のキューブサットに搭載実績があり、すでに TRL9 を達成している。SBD ミクサのシングルサイドバンド変換損失は約 − 22 dB である。また、PLDRO 信号由来の高調波をハイパスフィルタで抑制する手法も検討した。さらに観測効率の向上を目指し、放射冷却を活用して高調波ミクサ部のみを冷却することで熱雑音低減による高感度化を図り、最適な印加バイアスの探索も進めている。高調波ミクサ部と逓倍器の間は熱的に切るため、独自開発した断熱導波路を実装し、LO 信号の損失や熱流入を低減している。