

平成 22 年 5 月 25 日現在

研究種目： 基盤研究(B)  
 研究期間： 2007 ~ 2009  
 課題番号： 19310009  
 研究課題名(和文) 地球大気OH・酸素原子リモート計測のためのテラヘルツ波ヘテロダイ  
 ンセンサーの開発  
 研究課題名(英文) Development of THz Band Heterodyne Receiver for Remote-Sensing  
 Spectroscopy of OH Radical and Atomic Oxygen in Middle Atmosphere  
 研究代表者  
 前澤 裕之(MAEZAWA HIROYUKI)  
 名古屋大学・太陽地球環境研究所・助教  
 研究者番号：00377780

## 研究成果の概要(和文):

大気中の酸素原子(OI)や OH ラジカルは、オゾン層回復・破壊や地球温暖化、揮発性有機物質の消失過程について理解を深める上で鍵を握る成分である。我々はこれらのガス種の 1.8-4 THz 帯スペクトル線のリモートセンシングを実現すべく、NbTiN 超伝導細線を集積したホットエレクトロンボロメータミキサと呼ばれる次世代のヘテロダイン検出素子の改良・開発を行った。さらに、低振動のパルス管冷凍機を用いた冷却性能評価システムを開発し、これを実際に用いて、1.5 THz 帯での HEBM 素子の雑音性能、動作安定性を評価した。その結果、1600 K 以下の雑音温度(RF/LO 結合効率とレンズ表面での反射を校正)を実現した。さらに、この最小雑音温度域には、中間周波(IF)出力(0.8 - 1.5 GHz)の極大値が存在し、この場所において実用的な 10 秒以上の安定時間(アラン分散)を得られることが分かった。これは、電流電圧(局部発振波パワー)の揺らぎの影響が IF 極大域では緩和されることを示唆する。我々の HEBM 素子は特異な特徴をもつことが分かったが、これらは、本申請において安定・高信頼の冷却系・バイアス回路系などの評価システムをあわせて開発したことで、初めて得ることができた成果である。今後 HEBM の 1.8-4 THz 帯での高感度化・安定化を図り、測器搭載による実観測を目指す。

## 研究成果の概要(英文):

Heterodyne remote-sensing spectroscopy of ions, atoms, and molecules at 1.8 - 4 THz frequency band plays an important role in the study of physical and chemical conditions of the terrestrial and planetary atmospheres. We have developed a THz band superconducting Hot-Electron Bolometer mixer receiver (HEBM) for the remote-sensing of OH, OI, and so on. Our HEBM employed a 6 nm thick superconducting Niobium Titanium Nitride (NbTiN) micro-bridge deposited on a 20 nm-thick AlN interface layer using a helicon sputtering technique. This HEBM was operated at 4.2 K by using the cryostat newly developed with a vibration-free closed-cycle mechanical 4 K pulse tube refrigerator. The performance of the HEBM was investigated at the 1.5 THz band especially changing the local oscillator power of a multiplier chain solid-state source. The output power of the intermediate frequency (IF) signal at 0.8-1.8 GHz band had a maximum peak as a function of the bias current for HEBM. The best receiver noise temperature was obtained widely at around the IF maximum position. It was also found that the IF signal was most stable (more than 10 second) at around the IF maximum position. Considering the RF/LO coupling efficiency and reflection at Si lens the partially corrected receiver noise temperature of our HEBM was better than 1600 K although the micro-bridge dimension was not completely optimized.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	7,700,000	2,310,000	10,010,000
2008 年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
2009 年度	2,200,000	660,000	2,860,000
年度			
年度			
総計	15,700,000	4,710,000	20,410,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学 ・ 環境動態解析

キーワード：地球観測、リモートセンシング、テラヘルツ/赤外材料・素子、量子エレクトロニクス、環境変動、先端機能デバイス、地球変動予測、超伝導材料・素子

### 1. 研究開始当初の背景

大気中の酸素原子(OI)やOHラジカルは、オゾン層回復・破壊や地球温暖化、揮発性有機物質の消失過程などの大気科学の諸現象に甚大な影響を及ぼしており、大気環境の将来予測について理解を深める上で極めて重要な成分である。しかしOIやOHといった短寿命分子は、リモートセンシングの手法が確立しておらず、その挙動は謎に包まれている。

申請者は、これまでミリ～サブミリ波帯の超伝導受信機を開発・実用化し、フィールドにおいて電波天文学や地球・惑星大気観測を展開してきた。現在、チリ共和国のアタカマ高知(高度4860m)では0.2THz帯の水蒸気やオゾンとその同位体のスペクトルを観測しており、オゾン層回復の実態や水蒸気と温暖化との関連、太陽活動と大気組成変動との関連について研究を進めている。1.8-2THz帯に放射スペクトルをもつOHなどのリモートセンシングが可能になれば、これらとつきあわせて成層圏から熱圏に至る大気化学反応・熱収支についてかつて無い総合的な理解を図ることができ、オゾン層回復や地球温暖化の将来予測に重要な一歩を踏み出すことができる。

しかし、THz帯は電波と赤外線に挟まれ、ヘテロダインセンシングにおいて未踏野の波長領域である。これまでミリ～サブミリ波電波天文学・大気微量分子計測で威力を発揮してきたニオブ(Nb)の超伝導/絶縁体/超伝導(SIS)接合型ヘテロダイン検出素子は、THz波を照射すると超伝導クーパ電子対が壊れてデバイスは機能を失ってしまう。そこで、我々は、準光学2次元アンテナを集積した次世代のTHz帯NbTiN格子冷却型HEBMヘテロダイン検出素子の開発に取り組んできた。

### 2. 研究の目的

OHラジカルなど直接採取の計測が難しい大気微量分子ガスのリモートセンシングセンシングの突破口を開くことを目指し、本研究では未開拓の1.8-2THz帯のTHz帯ヘテロダイン検出素子:HEBM素子を開発することを目的とする。具体的には、HEBM素子素子製作プロセスの改良を行い、耐久性の強い素子を高い歩留まりで製作できるようにし、感度や安定性に関わる実用性能を検証する。

### 3. 研究の方法

本研究の推進期間中は、1.8-2THz近傍で安定かつ十分な出力を持つ局部発振波(LO)の導入が存在しなかった。そこで本研究では、ガン発振器を過倍する1.5THz帯の出力安定な既存固体発振器を用いて実験する。このため、HEBMについては、1.9,1.5THz帯の両方のHEBM素子を開発するとともに、HEBM素子の性能を評価するための専用の冷却システム系を開発する。後者では、特に集光/伝送光学システムや中間周波増幅システムを高精度かつノイズレスに構築する他、

近年商用化されたパルス管4K冷凍機を導入することにより、超低振動の冷却評価受信機システムを開発する。これにより、敏感なHEBM素子の性能評価を高信頼で行う。

2年度目に冷凍機・真空冷却クライオスタットを導入し、これに1.5THz波HEBM・発振器・伝送系・中間周波信号系をアSEMBリーし、THz帯でのヘテロダイン動作を確認すると共に、動作安定性(アラン分散)・雑音性能を評価する。最終年度は成果を論文にまとめながら、さらなる低雑音化・安定化を図る。またHEBM素子を実際に搭載して、観測を展開するための測器に関する情報を調査する。

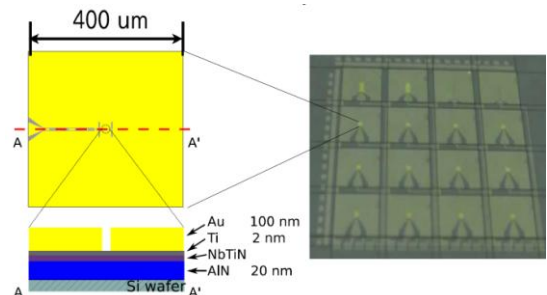


図. 1. NbTiN HEBM 細線部の断面図と、電子ビーム描画装置を用いて 400 $\mu\text{m}^2$  フィールドのパターンを 4 $\times$ 4 に集積・配置した Si 基板の光学写真。直径 35mm の FZ Si 基板を使用している。

### 4. 研究成果

#### (1) HEBM 素子の開発

##### ① Si 基板・Si レンズ/パリレン膜無反射コーティングの導入

従来の MgO 基板・レンズを用いた我々の HEBM には潮解性が見られたため、本研究では高抵抗かつ非ドーパの FZ シリコンウエハとレンズを導入し、素子製作プロセスをこれに最適化した。HEBM 素子において、NbTiN 細線と Si 基板の界面は細線の格子冷却機構の生命線である。この界面すなわち Si 基板の洗浄に際しては、弱アルカリ処理でも表面が溶解して析出が生じたため、純水洗浄の手法を採用した。

また、Si レンズと真空の誘電率の違いから、ビームの反射が生じ、30%程度感度が低下するため、Si レンズにパリレン-C を無反射コーティングした。Si とパリレン-C の熱膨張率の違いから、極低温/常温のヒートサイクルを繰り返すと、パリレン-C が剥離する可能性があった。そこで、Si レンズをアセトンとイソプロピルアルコールで洗浄処理し、パリレン-C の密着性を高めて試作コーティングした。その結果、およそ 50 回を超えるヒートサイクルでも全く支障がなく、十分に耐えることを確認できた。

## ②細線形成プロセスの改良

これまでの我々の HEBM 素子の製作では、NbTiN 細線を形成した後リフトオフし、Ar スパッタにより NbTiN 表面をクリーニングし、その後電極の Ti/Au を積層していた。NbTiN と Ti/Au の間の界面は、電子の熱拡散として重要なパスであり、大気解放/クリーニングはこの界面を荒らしている可能性があった。また  $0.5 \mu\text{m}$  幅の細いコプレーナ線路のレジストは、リフトオフ処理の際に剥離しやすく、歩留まりの低下が課題となっていた。

そこで、Inductive Coupled Plasma (ICP) エッチング装置を用いた新しいプロセスを導入し、NbTiN/Ti/Au を大気をやぶらずに続けて製膜した後、ICP で細線上部の Au をエッチングして細線を形成する手法を試みた。この結果、従来のリフトオフ手法と比べて実用レベルにまで歩留まりが向上した。国外の NbTiN 細線と比べ、我々の NbTiN 細線は IF 帯域が広く、冷却効率が高いように見える。これは、本手法により、NbTiN/Ti/Au 界面での熱電子拡散の効率が向上したことを示唆している。なお、NbTiN の細線表面に残留する Ti の近接効果が、素子の感度・帯域などの性能に与える影響は今後の研究課題である。

## ③AlN インターフェース層の導入

椎野らの研究成果にに基づき、NbTiN 細線と Si 基板の間に AlN 層を積層することで、NbTiN の臨界温度を向上させることができた(図 1: 緑点)。本研究では、この高品質の NbTiN 薄膜を利用した。

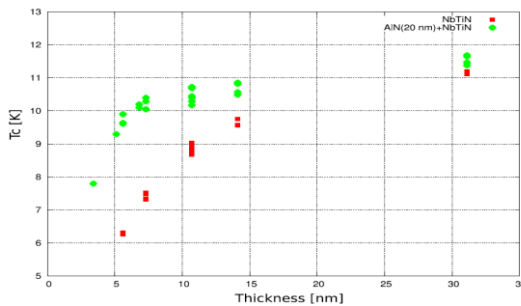


図 1. NbTiN 膜(赤)と NbTiN/AlN 膜(緑)の臨界温度の違い。

## ④準光学 2 次元アンテナの周波数特性評価

HEBM 素子に集積した 2 次元平面のツインスロットアンテナの周波数特性を、国立天文台 ATC センターのフーリエ分光装置を用いて評価した。図に 1.9 THz 帯のアンテナの特性を示した。この結果から、10%程度低めではあるが、HEBM 素子は比較的広い帯域をもつ、ほぼ設計通りの周波数応答をもつことがわかった。

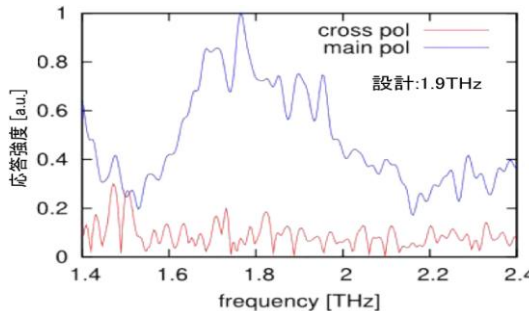


図 2. 1.9 THz 帯に設計したツインスロットの周波数応答(青)。交差偏波(赤)には応答が無い。

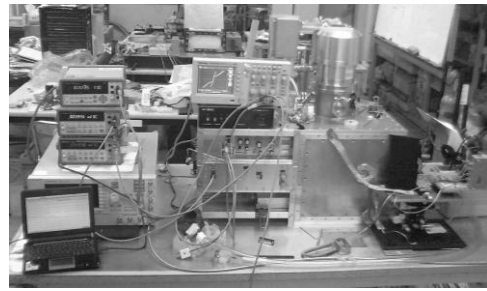


図 3. 超低振動のパルス管冷凍機による HEBM 評価システム

## (2)HEBM 素子性能評価システムの開発

### ①パルス管(PT)冷凍機の導入

OH などをフィールドでリモートセンシング観測するためには、HEBM 素子のオペレーションは、蒸発してしまう液体 He による直接冷却の手法ではなく、He ガスを用いた閉サイクルの機械式 4k 冷凍機を採用した方が都合が良い。しかし、従来の閉サイクルの 4K-GM2 段式冷凍機や GM-JT 冷凍機は、機械振動(～振幅  $60 \mu\text{m}$ )が大きく、これによって、LO ビームがゆらぐ。このゆらぎは HEBM 素子を動作不安定にし、安定時間が短く 1 秒程度以下という問題が知られてきた。そこで、本研究では商品化されたばかりの住友重機の 4K パルス管(PT)閉サイクルの機械式冷凍機をいち早く導入した。この冷凍機の機械振動の振幅は  $3 \mu\text{m}$  以内に軽減されており、HEBM 素子の安定評価に重要な役割を果たす。

ただし、この PT 冷凍機は 4K 冷却ヘッドの温度変動が従来の機械式冷凍機よりも約 2 倍大きい(～300 mK)ことがわかった。HEBM 素子の動作において、この温度変動は深刻である。そこで、HEBM のマウントを取り付ける光学部品について、熱伝導率・熱容量の異なる緩衝材金属を組み合わせ、それらの形状・熱パス長を最適化した。これにより、フィードバックによるアクティブな温度制御機構を設けることなく、HEBM の温度変動を  $\pm 2 \text{ mK}$  以下に抑え、なおかつ到達温度は 4 K 以下を達成した。これにより PT 冷凍機を用いた実用的な HEBM 素子の安定な評価システムを実現した。

### ②安定化 DC バイアス駆動回路の開発

バイアス駆動回路の安定性は、HEBM の安定性に大きく影響する要素である。そこで、超伝導 SIS 接合型ミキサ素子の動作で広く活用されてきた日本通信機社の DC バイアス供給回路を改良し、電流値が変動してもバイアス値がゆらがない、安定な定電圧供給源を開発した。(紙面の制限から、詳細は割愛する。)

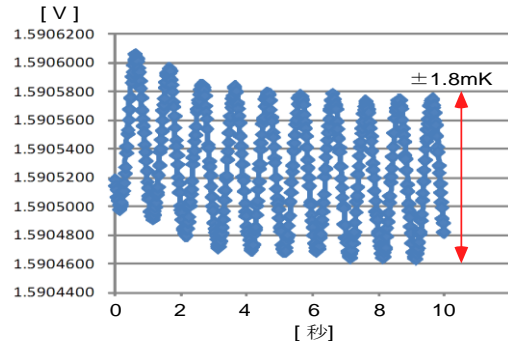


図 4. PT 冷凍機の冷却ヘッドの温度振幅  $\pm 180 \text{ mK}$  が、現在は  $\pm 1.8 \text{ mK}$  に抑えられている。Lakeshore のシリコン半導体温度センサーにより計測。

### (3)PT クライオスタットを用いた HEBM 素子の性能評価

改良した HEBM 素子を、開発した PT クライオスタットに搭載し、性能評価を行ない、以下の HEBM 素子の特性が明らかになった。

#### ①メッシュフィルターの挿入による直接応答 (Direct Detection: DD)効果の軽減

HEBM 素子は、ヘテロダイン動作としてコヒーレントな単一周波数に応答するだけでなく、入射する連続波成分にも直接応答 (DD 効果) する。常温と液体窒素の黒体放射の温度差によって誘起された DD 効果による電流増分が、図 5(上)の赤い領域で現されており、この領域では素子が不安定動作する。そこで 1.5 THz に対して 15 %のバンドパス性能をもつメッシュフィルターを 4 K に冷却して、HEBM 素子の直前に挿入したところ、図 5(下)が示すように DD 効果をほぼ問題無いレベルまで抑圧できることがわかった。

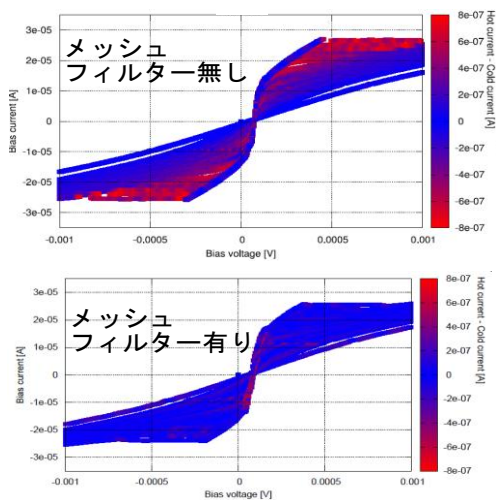


図 5.メッシュフィルターを使うと、上図の赤色の DD 効果が軽減されることが分かる。

#### ②雑音温度と IF 出力

図 6 に、HEBM の印加電圧を掃引したときの IF 出力と素子の電流 (すなわち IV 曲線) を示した。緑と青のレベルの違いは、それぞれ HEBM に常温と液体窒素温度の黒体放射を照射したときの違いを IF 出力の差を反映している。その差が大きいほど HEBM 素子の感度が高く、雑音温度が小さいことを示す。

最も低雑音を得られる印加バイアス電圧周辺のもとで、HEBM の駆動電流すなわち LO の入射パワーを掃引したときの雑音温度の変化を図 7 で示した。この図から、我々の HEBM 素子は IF 出力のピーク周辺で、比較的広範の電流値に渡って、最小雑音温度の領域が広がっていることが明らかになった。

この時の最小雑音温度は 3400K である。ただし、1.5 THz 帯 LO のパワーが小さいため、入射信号に対する LO 波の結合効率を上げておき (入射信号としては 40%の損失)、また、Si レンズには 1.5THz 用には無反射コーティングを施していない。この 2 項目の較正を行ったところ、本 HEBM 素子は 1600 K の雑音温度を有していることがわかった。この感度は、NbTiN HEB では世界最高水準レベルである。

#### ③動作安定性(アラン分散)

我々の HEBM 素子は、図 8 が示すように、IF 出力が極大で、かつ最も低雑音となる電

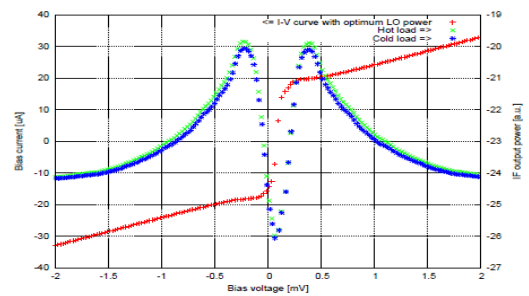


図 6. HEBM の電流電圧特性(赤)と IF 出力。横軸では、素子に印加して掃引した電圧を表示している。

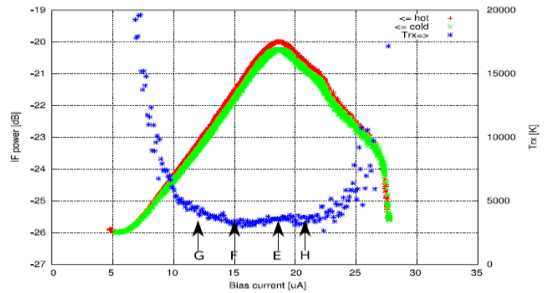


図 7 1.5THz 帯での受信機雑音温度(右軸)と IF 出力(左軸)。横軸は HEBM を励起している LO パワーを変化させたときに HEBM 素子を流れる電流値。IF 出力の 2 つの曲線の違いが 300 K(赤)と液体窒素温度 77 K(緑)の黒体放射をかざしたときの応答の違い。

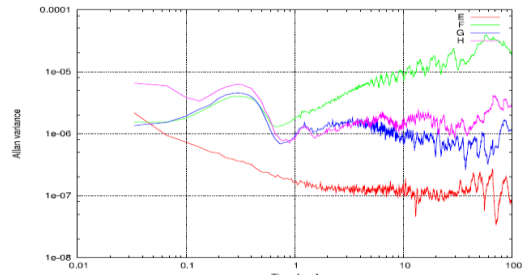


図 8. NbTiN HEBM の中間周波出力(1.5GHz)のアラン分散安定性。図の電流値 E(IF 出力がピークをとるときの電流値)での IF 出力が最安定を示した。

電流値(図 E)のポイントで、アラン分散が最長 (~10 秒) になる事がわかった。これは、IF 出力の極大領域では、LO 波(すなわち HEBM 素子を流れる電流)のゆらぎに対して IF 出力がシビアに反応しないため、と考えられる。欧米のチームの過去の研究報告では、低雑音の場所ほど、アラン分散も短い傾向がある。これに対し、我々の HEBM 素子は非常にユニークな性質をもち、高い実用性を有していることが示された。また図 7 は、HEBM の新しい最適化方法を提言するものと期待される。

#### (4)まとめと今後

本研究開発により、我々の HEBM 素子は特異な性質をもち、実用的な感度と安定性を備えていることがわかった。また、素子のポテンシャルを引き出すためには、低振動・低温度変動の PT 冷凍機、安定なバイアス回路、AlN バッファ層やエッチングによる細線形成などの新プロセスが、重要な役割を果たすことも分かった。これらの成果は、山倉氏の博士論文にまとめられている。

おりしも、本研究最終年度に 1.9THz 帯 LO が商品化(米国)された。今後これを導入し、OH などが潜む 1.8-2THz 帯で動作する HEBM 素子を開発し、高感度化・実用化を図る。特に、本研究で見られた HEBM の性質が、高周波・高感度環境化でも普遍的に見られるのか? という問題について探求し、HEBM の動作メカニズムについて理解を深めていく計画である。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 10 件)

- (1) H. Maezawa, T. Yamakura, T. Koyama, S. Yamamoto, S. Shiba, T. Shiino, N. Sakai, N. Nakai, M. Seta, A. Mizuno, T. Nagahama, Y. Fukui, Y. Irimajiri, N. Sekine, I. Hosako, Development of a 1.9-THz Band Hot-Electron Bolometer Heterodyne Receiver with a Quantum Cascade Laser, Proceedings of 21<sup>st</sup> International Symposium on Space Terahertz Technology, 査読無し、21th, 2010, in press
- (2) Ohama, A.; Dawson, J. R.; Furukawa, N.; Kawamura, A.; Moribe, N.; Yamamoto, H.; Okuda, T.; Mizuno, N.; Onishi, T.; Maezawa, H.; Minamidani, T.; Mizuno, A.; Fukui, Y., Temperature and Density Distribution in the Molecular Gas Toward Westerlund 2: Further Evidence for Physical Association, The Astrophysical Journal, 査読有り、Vol.709, Issue 2, 975-982, 2010
- (3) Tetsuya Yamakura, Development of THz band quasi-optical Hot-Electron Bolometer Mixer employing superconducting NbTiN microbridge, 博士論文(the Graduate School of Pure and Applied Sciences the Degree of Doctor of Philosophy in Science at the University of Tsukuba), 査読有り、pp1-115, 2010
- (4) Jiang, L., Shiba, S., Shiino, T., Shimbo, K., Sakai, N., Yamakura, T., Ananthasubramanian, P. G. ; Irimajiri, T., Maezawa, H., Yamamoto, S., Development of 1.5 THz waveguide NbTiN superconducting hot electron bolometer mixers, Superconductor Science and Technology, 査読有り、Vol.23, Issue 4, 2010, pp045025,
- (5) Shiino, T., Shiba, S., Sakai, N., Yamakura, T., Jiang, L., Uzawa, Y., Maezawa, H., Yamamoto, S., Improvement of the critical temperature of superconducting NbTiN and NbN thin films using the AlN buffer layer, Superconductor Science and Technology, 査読有り、Vol.23, Issue 4, pp045004, 2010
- (6) Jiang, L., Shiba, S., Shimbo, K., Sakai, N., Yamakura, T., Sugimura, M., Ananthasubramanian, P. G.; Maezawa, H., Irimajiri, Y., Yamamoto, S., Development of THz Waveguide NbTiN HEB Mixers, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 査読有り、vol19, no.3, pp301-304, 2009
- (7) L. Jiang, T. Yamakura, Y. Irimajiri, K. Shimbo, S. Shiba, T. Shiino, N. Sakai, P. G. Ananthasubramanian, H. Maezawa, S. Yamamoto, "Development of 1.5 THz Waveguide NbTiN HEB Mixers", International Symposium on Space Terahertz Technology, 査読無し、20<sup>th</sup>, 156-160, 2009
- (8) Nakagawa, H., Kasaba, Y., Maezawa, H., Hashimoto, A., Sagawa, H., Murata, I., Okano, S., Aoki, S., Moribe, N., Mizuno, A., Momose, M., Onishi, T., Mizuno, N., Nagahama, T., Search of SO<sub>2</sub> in the Martian atmosphere by ground-based

submillimeter observation, Planetary and Space Science, 査読有り、Vo.57, pp2123-2127, 2009

- (9) Kuwahara, T.; Mizuno, A. Nagahama, T., Maezawa, H. Morihira, A. Toriyama, N. Murayama, S. Matsuura, M. Sugimoto, T. Asayama, S. Mizuno, N. Onishi, T. Fukui, Y., Ground-based millimeter-wave observations of water vapor emission (183 GHz) at Atacama, Chile, Advances in Space Research, 査読有り、Vol42, Issue.7, pp1167-1171, 2008
- (10) Nagahama, T., A. Mizuno, H. Maezawa, H. Nakane, Y. Fujinuma, A. Morihira, H. Ogawa, and Y. Fukui, Continuous measurements of the stratospheric and mesospheric ozone by using ground-based millimeter-wave radiometers, Proceedings of the International Conference on Submillimeter Science and Technology, 査読有り、pp. 20-23, 2007

[学会発表] (計 50 件)

- (1) H. Maezawa, T. Yamakura, T. Koyama, S. Yamamoto, S. Shiba, T. Shiino, N. Sakai, N. Nakai, M. Seta, A. Mizuno, T. Nagahama, Y. Fukui, Y. Irimajiri, N. Sekine, I. Hosako, Development of a 1.9-THz Band Hot-Electron Bolometer Heterodyne Receiver with a Quantum Cascade Laser, 21<sup>st</sup> International Symposium on Space Terahertz Technology, 2010, 3/23-25, Oxford University, UK
- (2) 小山知記, 前澤裕之, 水野亮, 長濱智生, 荻野竜樹, 山倉鉄也, 芝祥一, 関根徳彦, 寶迫巖, 山本智, 入交芳久, 量子カスケードレーザー(QCL)を用いたテラヘルツ波ヘテロダイン受信機の開発, 第 126 回 地球電磁気・地球惑星圏学会, 2009, 9/27-30 日、金沢大学
- (3) 前澤裕之, 小山知記, 水野亮, 長濱智生, 小林和宏, 関根徳彦, 寶迫巖, 入交芳久, 山本智, 芝祥一, 山倉鉄也, 量子カスケードレーザーの応用による 1.9THz 帯ヘテロダイン受信機の開発, 日本天文学会 2009 秋季, 9/14-16, 山口大
- (4) 石井峻, 瀬田益道, 永井誠, 中井直正, 宮本祐介, 荒井均, 前橋秀紀, 石崎剛史, 中野将義, 長崎岳人, 前澤裕之, 南極天文コンソーシアム, 南極 30cm サブミリ波望遠鏡の開発 III, 日本天文学会 2009 秋季, 9/14-16, 山口大
- (5) 椎野竜哉, Jiang Ling, 芝祥一, 鶴澤佳徳, 山倉鉄也, 前澤裕之, 坂井南美, 山本智, AlN 緩衝層を用いた NbN, NbTiN 薄膜の超伝導転移温度の改善, 日本天文学会 2009 秋季, 9/14-16, 山口大
- (6) 奥田 武志, 山本 宏昭, 河村 晶子, 福井 康雄, 前澤 裕之, 水野 亮, 大西 利和, 小川 英夫, 水野 範和, 米倉 覚則, J Stutzki, F. Bertoldi, B.C. Koo, L. Bronfman, M. Burton, A. Benz, NANTEN2 チーム, NANTEN2 プロジェクトの進捗, 日本天文学会 2009 秋季, 9/14-16, 山口大
- (7) H. Maezawa, N. Moribe, A. Mizuno, T. Nagahama, M. Tokumaru, T. Umeda, A. Ohama, T. Onishi, H. Yamamoto, Y. Fukui, and NANTEN2 Consortium, Milli/Submillimeter-Wave Band Observations of Planetary Atmospheres with Ground-Based Telescopes, 2009, 8/12-15, Asia Oceania Geosciences Society, Suntec, Singapore
- (8) H. Maezawa, A. Mizuno, T. Nagahama, S. Yamamoto, T. Yamakura, N. Nakai, M. Seta and Y. Irimajiri, Development of Superconducting Hot-Electron Bolometer Mixer for THz Band

Atmospheric and Astronomical Remote-Sensing Spectroscopy, 2009, 8/12-15, Asia Oceania Geosciences Society, Suntec, Singapore  
(9) T. Shiino, K. Todoroki, N. D. Minh, L. Jiang, S. Shiba, Y. Uzawa, H. Maezawa, N. Sakai and S. Yamamoto, Improvement of Critical Temperature of Superconducting NbN and NbTiN Thin Films Using an AlN Buffer Layer, 12th International Superconductive Electronics Conf., 2009, 6/16-19, Fukuoka,  
(10) 前澤裕之, 森部那由多, 水野亮, 長濱智生, 徳丸宗利, 水野範和, 大西利和, 福井康雄, ミリ・サブミリ波電波望遠鏡による金星大気の観測, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 5/16-21, 幕張メッセ  
(11) 山倉鉄矢, 前澤裕之, 中井直正, 瀬田益道, 水野亮, 長濱智生, 入交芳久, 地球大気環境計測・電波天文学観測のための THz 帯超伝導ホットエレクトロニクスミキサの開発, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 5/16-21, 幕張メッセ  
(12) L. Jiang, S. Shiba, T. Shiino, K. Shimbo, M. Sugimura, N. Sakai, T. Yamakura, P. G. Ananthasubramanian, H. Maezawa, Y. Irimajiri, S. Yamamoto, Size Dependence of HEB Mixer Performance, 12th International Superconductive Electronics Conf., 2009, 5/15, Fukuoka  
(13) L. Jiang, T. Yamakura, Y. Irimajiri, K. Shimbo, S. Shiba, T. Shiino, N. Sakai, P. G. Ananthasubramanian, H. Maezawa, S. Yamamoto, Development of 1.5 THz Waveguide NbTiN HEB Mixers, 20th International Symposium on Space Terahertz Technology, 2009, 4/20-22, National Radio Astronomy Observatory, USA  
(14) 椎野竜哉, 轟孔一, Minh Nguyen, Ling Jiang, 芝祥一, 鵜澤佳徳, 前澤裕之, 坂井南美, 山本智, AlN 緩衝層を用いた NbN, NbTiN 薄膜の超伝導転移温度の改善, 第 69 回応用物理学会学術講演会, 2009 年, 3/19 日, 筑波大学  
(15) 前澤裕之, 水野亮, 長濱智生, 小林和宏, 森部那由多, 山本智, Li Jiang, 芝祥一, 山倉鉄也, 入交芳久, パルスチューブ冷凍機をもちいた HEBM/QCL 受信機システムの開発, 日本天文学会 2009 年春季, 3/24-27, 大阪府立大学  
(16) 山倉鉄矢, 中井直正, 瀬田益道, 前澤裕之, 水野亮, 長濱智生, 芝祥一, 新保謙, 山本智, 準光学型ホットエレクトロニクスミキサの開発, 日本天文学会秋季年会, 2008 秋季, 9/11-13, 岡山理科大  
(17) 河合利秀, 前澤裕之, 水野亮, 水野範和, 中村雄一, サブミリ波帯ワイヤグリッドの現状と課題, 日本天文学会 2008 秋季, 9/11-13, 岡山理科大  
(18) 前澤裕之, 水野亮, 長濱智生 (名大 STE), 森部那由多, 水野陽治, 水野範和, 大西利和, 福井康雄, 他 NANTEN2 チーム (名大理), 百瀬宗武 (茨城大理) 他 ASTE チーム, 電波望遠鏡による惑星大気のミリ・サブミリ波帯ヘテロダイン観測, 日本天文学会 2008 秋季, 9/11-13, 岡山理科大  
(19) L. Jiang, S. Shiba, K. Shimbo, N. Sakai, T. Yamakura, M. Sugimura, P. G. Ananthasubramanian, H. Maezawa, Y. Irimajiri, S. Yamamoto, Development of THz Waveguide NbTiN HEB Mixers, IEEE Applied Supercond. Conference, 2008, 8/19, Chicago, USA  
(20) L. Jiang, S. Shiba, K. Shimbo, M. Sugimura, H. Maezawa, P. G. Ananthasubramanian, Y. Irimajiri, S. C. Shi, S. Yamamoto, Development of 0.8 THz

and 1.5 THz Waveguide NbTiN HEB Mixers, 19th International Symposium on Space Terahertz Technology (19<sup>th</sup> ISSTT), 2008, 4/28-30, Groningen, Netherlands  
(21) 新保謙, 芝祥一, 蔣玲, 前澤裕之, P. G. Ananthasubramanian, 山本智, NbTiN HEB ミキサ性能の動作温度依存性の評価, 第 55 回応用物理学会 2008 春季, 3/27-30, 日本大学  
(22) 山倉鉄矢, 中井直正, 瀬田益道, 前澤裕之, 芝祥一, 新保謙, 山本智, 準光学型ホットエレクトロニクスミキサの開発, 日本天文学会 2008 春季, 3/24-27, 国立オリンピック記念青少年総合センター  
(23) 新保謙, 芝祥一, 坂井南美, 前澤裕之, 山本智, NbTiN 薄膜を用いた格子冷却型 HEB ミキサの製作と評価, 第 68 回応用物理学会, 2007 秋季, 9/4-8, 北海道工業大学  
(24) T. Nagahama, A. Mizuno, H. Maezawa, T. Toriyama, T. Sugimoto, M. Matsuura, Ground-based millimeter-wave measurements of stratospheric H218O in a subtropical region in the southern hemisphere, Atacama highland in Chile, 4<sup>th</sup> AOGS2007, 7/30-8/4, タイ・バンコク  
(25) A. Mizuno, T. Nagahama, H. Maezawa, T. Toriyama, T. Sugimoto, M. Matsuura, Ground-based Millimeter-wave Measurements of Vertical Distribution of H218O in Upper Stratosphere and Mesosphere over Atacama, Chile, 4th Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS2007), 7/30-8/4, タイ・バンコク  
(26) Mizuno. A., Sugimoto. Y., Nagahama. T., Maezawa. H., Kuwahara. T., Matsuura. M., Toriyama. N., Fukui. Y., Mizuno. N., Onishi. T., Nakane. H., Morihira. A., 'Ground-based millimeter-wave measurements of stratospheric H218O in a subtropical region in the southern hemisphere, Atacama highland in Chile', IAGA symposia at the IUGG general Assembly, 2007, 7/2-13, イタリア・ペルージャ大学  
他 24 件

〔図書〕 (計 1 件)

小川英夫, 亀野誠二, 神代暁, 斉藤正雄, 徂徠和夫, 坪井昌人, 中井直正, 前澤裕之, 松尾宏, 水野亮, 百瀬宗武, 日本評論者, シリーズ現在の天文学第 16 巻宇宙の観測 II, 360 ページ, 2009

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

前澤 裕之 (MAEZAWA HIROYUKI)  
名古屋大学・太陽地球環境研究所・助教  
研究者番号: 00377780

### (2) 研究分担者 なし

### (3) 連携研究者

山本 智 (YAMAMOTO SATOSHI)  
東京大学・大学院理学系研究科・教授  
研究者番号: 80182624  
鵜澤 佳徳 (UZAWA YOSHINORI)  
国立天文台・先端技術センター・准教授  
研究者番号: 00359093  
長濱 智生 (NAGAHAMA TOMOO)  
名古屋大学・太陽地球環境研究所・准教授  
研究者番号: 70377779  
入交 芳久 (IRIMAJIRI YOSHIHISA)  
情報通信研究機構・第 3 研究部門・研究員  
研究者番号: 60358992