

ASTE 望遠鏡での 0.9, 1.3-1.5 THz 帯分光観測へ向けた受信機開発 (1)

権野竜哉、古屋隆太、相馬達也、酒井剛、坂井南美、渡邊祥正、大口脩(東大)、前澤裕之(名大)、山倉鉄矢(筑波大)、Jiang Ling(南京林業大)、入交芳久(NICT)、山本智(東大)

Contact: shiino@taurus.phys.s.u-tokyo.ac.jp

ABSTRACT

星形成領域の化学進化を研究するためには基本的原子・分子のスペクトルがあるテラヘルツ帯の観測は不可欠である。本研究室では 1.3-1.5 THz の効率的な分光観測を目指して7年前より超伝導 HEB (Hot Electron Bolometer) ミキサの開発を行ってきた。今回、非常に低雑音なHEBミキサ素子の開発に成功したので、そのミキサを用いた受信機を制作し、ASTE 10 m 望遠鏡に搭載、試験観測を行う予定である。その素子・受信機開発について報告する。

HEBミキサは 0.9 THz帯、1.3-1.5 THz帯の2つの周波数帯で開発を行った。ブリッジの超伝導物質にはNbTiN また NbN を用いている。0.9 THz 帯において、NbN を用いた素子で $T_{rx} = 450$ K、1.5 THz 帯においては NbTiN を用いて 550 K を達成した。1.5 THz帯における性能は量子雑音の約8倍で、これは世界最高の雑音性能である。ASTE望遠鏡に搭載する受信機の構成は 0.9 THz 帯/1.3-1.5 THz 帯 (DSB) のデュアルバンド、シングルビームである。素子との結合にはビームパターン設計が容易な導波管型を用いる。ビームサイズは 0.9 THz 帯で約 10 秒角、1.3-1.5 THz 帯では約 7 秒角となる。上記の素子を用い、2つの周波数帯でスペクトル線検出を目指す。

INTRODUCTION

星形成領域における化学進化を議論する上で、初期条件となる基本的原子・分子の分布や存在量を知ることは非常に重要である。それらは以降の化学進化を大きく左右すると考えられるからである(図1)。しかし、それらの原子・分子の多くはテラヘルツ帯にしかスペクトルをもたない。そのため、従来用いられてきた SIS ミキサでのサブミリ波分光観測だけでは不十分であり、テラヘルツ帯をカバーする受信機が必要である。SIS ミキサはその構造上、超伝導物質のギャップ周波数以上では性能が急激に低下する。この限界周波数はNbで0.7 THz、NbNやNbTiNで1.2 THz程度である。これらの周波数を超える領域で効率的なミキサとして期待されているのは、超伝導 Hot Electron Bolometer (HEB) である。

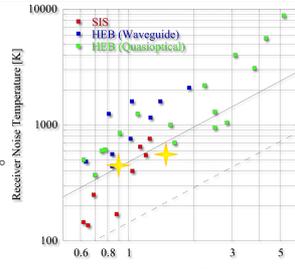


図1 The initial reactions and radiative association in dense interstellar clouds

表1

| Molecules / Atoms | Frequencies |
|-------------------|------------------|
| H_2D^+ | : 1370 GHz |
| HD_2^+ | : 1477 GHz |
| CH | : 1471, 1477 GHz |
| N^+ | : 1461 GHz |
| CD | : 885, 887 GHz |
| HDO | : 894 GHz |
| CH_2 | : 946 GHz |
| NH | : 946 GHz |
| NH_2 | : 953 GHz |

図2 HEBおよびSISミキサの T_{rx}

図3 Herschel と APEX

超伝導HEBミキサは今のところ 1.2 THz以上の領域では最も高感度なヘテロダイン素子である。RFとの結合方式には導波管型と準光学型がある。導波管型は厳密にビームパターンが決められるというメリットがあるが、高周波になるにつれて微細化するため、加工やハンドリングが困難になる。図2に現在報告されている受信機雑音温度を示す。

HEBは実際の天文観測にも使用されている。Herschel宇宙望遠鏡(図3左)に搭載されたHIFI band 6受信機はNbNを用いた準光学型HEBミキサを用いた受信機である。また、地上の望遠鏡ではAPEX望遠鏡(図3右)に搭載された受信機 CONDOR がCO ($J=13-12$; 1.5 THz)を検出した。

我々はチリ アタカマ砂漠にあるASTE (Atacama Sub-millimeter Telescope Observatory) 10 m望遠鏡に導波管型HEBからなる受信機を搭載し、地上から観測できる0.9, 1.3-1.5 THzの原子・分子輝線(表1)の分光観測を目指している。

HEB Development

HEB素子は東京大学山本研究室所有の複合成膜装置(図4)で独自に制作している。制作プロセス(図5)はHEBミキサにおいては一般的な方法である。工程で重要なのは、超伝導薄膜を成膜して真空を破らずに金の電極を重ねて成膜するin-situ成膜である。これにより接触抵抗が軽減され、雑音性能の向上に成功した。



図4 複合成膜装置

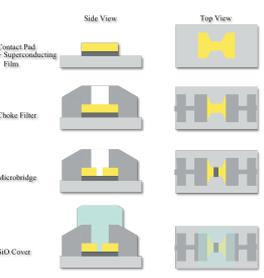


図5 HEB素子制作工程

制作したHEBミキサを図6に示す測定系にて性能測定した。するとRF=809 GHz (900 GHzの代用) で $T_{rx}=450$ K、1475 GHzで550 Kという低雑音を達成した。また、IF帯域に取っている1.0-1.2 GHzにおいてフラットな特性が得られた。(図8) 1.5 THz帯に関しては量子雑音の8倍に相当する低雑音で、試験観測でのスペクトル線検出が十分期待される。(図2) この雑音性能は現在報告されているHEBでは世界最高性能である。

図6 Hot-Cold測定系

図7 1.5 THzミキサマウント

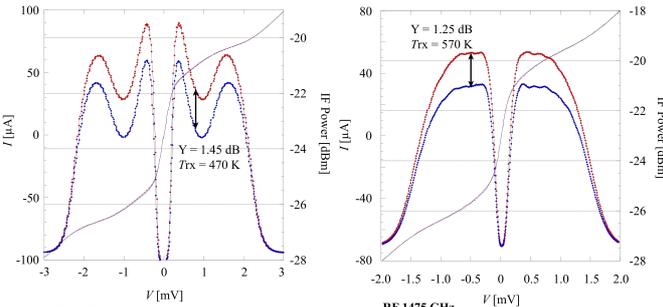
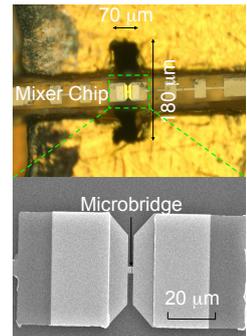
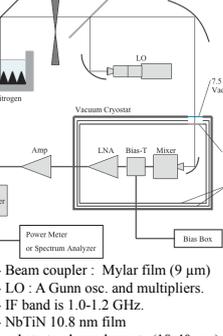


図8 HEBミキサのI-V, IF出力(上段)、変換効率、ミキサ雑音、受信機雑音(下段)

Receiver for ASTE Telescope

HEBミキサを搭載したASTE 10 m 望遠鏡用カートリッジ式受信機を制作した。偏波で分け、0.9/1.3-1.5 THzのデュアルバンド同時受信が可能である。IF系は上記の測定で用いたものをそのまま流用している。LOはデューワ外部の光学台に取り付けた通倍器から準光学的に導入し、ワイヤグリッドでカップリングする。1.3-1.5 THz帯は1.3と1.5の2台の通倍器を付け替えて使用する。主鏡は分解能、鏡面精度の問題からアンダーイミネーションしており、各バンドにおける分解能を表2に示す。

- ALMAタイプカートリッジ
- 2 band (0.9 / 1.3-1.5 THz) DSB.
- 超伝導HEBミキサ
- Frequency independent optics.
- IFバンド: 1.0-1.2 GHz (200 MHz).
- LO (VDI社製周波数通倍器)

表2 有効口径と空間分解能

| 出力周波数 (通倍率) | diameter | resolution |
|--------------------------------|---------------|------------|
| -0.9 THz : 880-960 GHz (×72) | 0.9 THz 7.2 m | 9.5" |
| -1.3 THz : 1340-1380 GHz (×96) | 1.3 THz 7.0 m | 6.6" |
| -1.5 THz : 1415-1490 GHz (×96) | 1.5 THz 7.0 m | 6.1" |

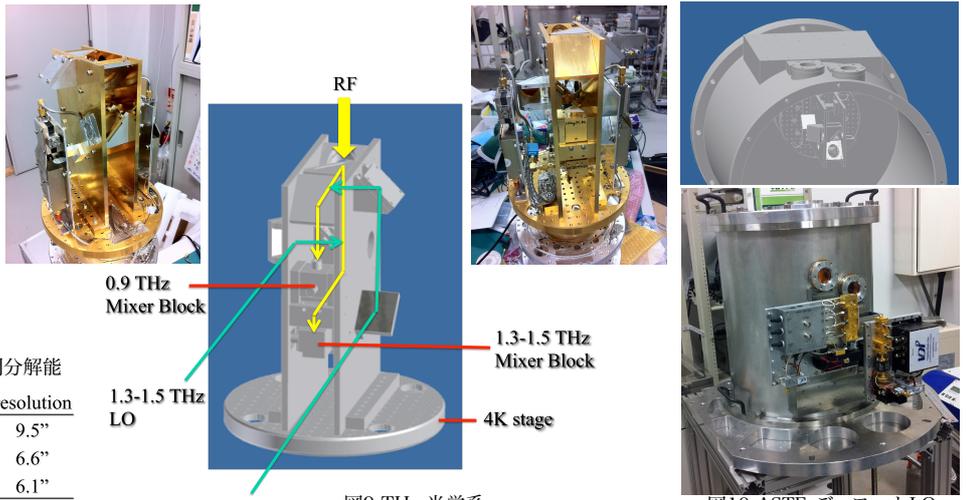


図9 THz 光学系

図10 ASTE デューワとLO