

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(2)

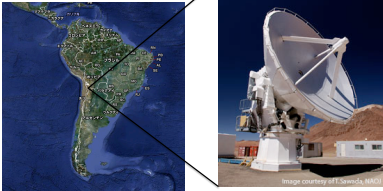
相馬達也、椎野竜哉、古屋隆太、酒井剛、坂井南美、渡邊祥正、大口脩(名大)、
前澤裕之(府大)、山倉鉄矢(筑波大)、Ling Jiang(南京林業大)、入交芳久(NICT)、山本智(東大)

Introduction

星形成領域での化学進化を探る手段として、基本的分子の輝線が多く存在するTHz帯でのヘテロダイン観測は重要である。そのような周波数帯では従来のSISミキサ素子は十分な性能を持たないので、本研究室では超伝導HEB(Hot Electron Bolometer)ミキサの開発を行ってきた。これまでの研究で、HEBミキサの作成技術を確立し良好な性能を得ることができるようになった。そこで、この開発した超伝導HEBミキサを用いた0.9 THz、1.35-1.5 THzの受信機をASTE望遠鏡に搭載して、星形成領域の観測実験を行うことを計画している。この受信機からの中間周波信号は1.1 GHz帯であるので、ASTE望遠鏡に備わっている伝送系(6 GHz帯)につなぐためには中間周波信号を周波数変換及び増幅する必要がある。そのためのIF系モジュールを設計、製作した。

ASTE望遠鏡 THz実験

南緯22度58分17.69447秒 西経67度42分11.89525秒
標高: 4861.9 m

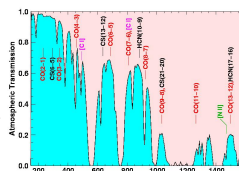


観測対象分子例

HDO H₂D⁺
ND D₂O NH₂
NH

高地にあり大気の影響が少ないASTE望遠鏡を用いて、開発した超伝導HEBミキサを用いた星形成領域のヘテロダイン観測を行う。
対象とするのは0.9 THz帯と1.35-1.5 THz帯であり、H₂D⁺やD₂Oなどの輝線が存在する。

ASTEサイトにおける大気の透過率

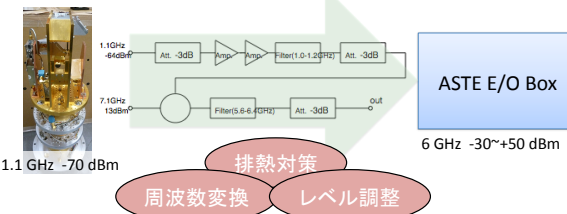


想定されるT_{sys} Trx=540 K, 760 Kで計算

	τ(220GHz)	τ	T _{sys} [K]
922	0.01	0.3	860
	0.02	1.2	2460
	0.04	3.9	16090
1350	0.01	1.15	2990
	0.02	2.3	9960
	0.03	5.75	31990
1500	0.01	1.05	2680
	0.02	2.1	8110
	0.03	5.25	23630

IF系モジュールとは

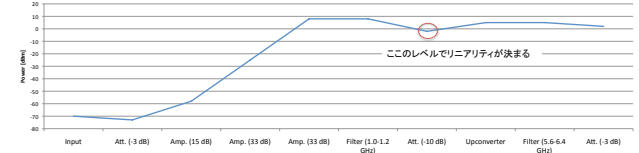
THz帯超伝導HEB受信機からの中間周波信号は1.0-1.2 GHz帯に出力される。しかし、SIS素子を用いた観測を前提に作られているASTEに備わっている伝送系統は6 GHz帯用となっている。そのため、既存の設備に合わせて出力信号を1.1 GHz帯から6 GHz帯にまで周波数変換する必要がある。また、信号強度もASTEの伝送系統に適した値にまで増幅する必要がある。



重要なのは、入出力レベルの調整、周波数変換後のフラットな特性、および発熱対策であり、以上の機能を現地において簡便に使えるようなラックを製作した。0.9 THz帯と1.35-1.5 THz帯の素子を同時に使用できるように同じ回路を二つ用意した。

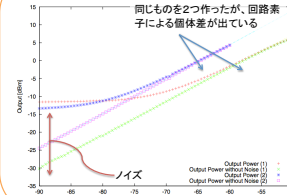
入出力レベル

レベルマップ



- 入力信号強度は使用するHEB素子により異なるが、およそ-70 dBm程度。
- アップコンバータに入力する直前のアッテネータの値を変えて調整する。
- ASTE伝送系への入力レベルは-30+50dBmと幅があるため調整は行わず、アップコンバータの出力(〜0 dBm)をそのままフィルターを通して出力する。

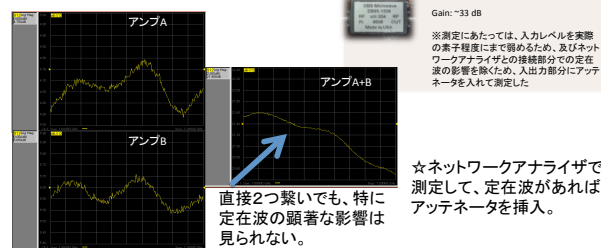
IFラックの特性



左図はノイズの影響を見るため、周波数変換用の7.1 GHzのみで入力信号を入れない場合の出力レベルを差引いた値もプロットした。アップコンバータの測定と同様に入力信号は全てセンセライザーを用いて作った。回路素子自体の個体差による差が2つの系統で出てしまっているが、実用上は問題ない。

使用回路素子特性

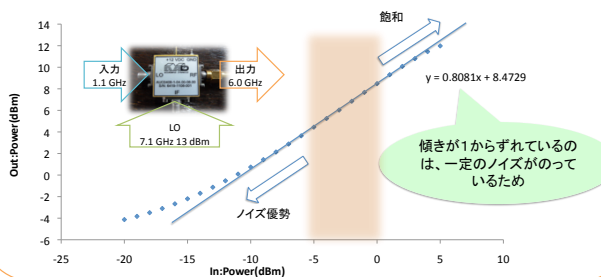
1.1 GHz帯アンプ周波数特性



☆ネットワークアナライザで測定して、定在波があればアッテネータを挿入。

直接2つ繋いでも、特に定在波の顕著な影響は見られない。

アップコンバータ特性



定在波の抑制に関しては、ネットワークアナライザを用いて定在波が発生している部分を特定し、該当部分に3 dBのアッテネータを挿入した。また、IFラックの入出力部分やアップコンバータの前後など、ネットワークアナライザで確認ができない部分にもアッテネータを挿入している。

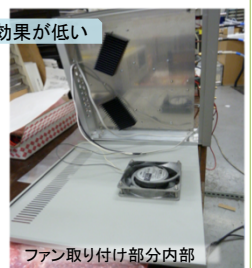
アップコンバータの入力信号は、直前でHEB素子からの信号のみ選択するために1.0-1.2 GHzのフィルターを通して。また、アップコンバータの出力信号には1.1 GHzの入力信号と周波数変換用の7.1 GHzの信号が乗っている可能性がある。そのためIFラック出力信号は5.6-6.4 GHzのフィルターを通して。

高地対策

運用を行うチリ・アタカマは空気が薄いため空冷効果が低い

- 発熱素子(アンプ、アップコンバータ、電源)は熱浴となる厚さ4 mmのアルミ板に固定。
- 熱接触を良くするため、接触面にはアピエゾングリスを塗っている。
- このアルミ板に放熱フィンを取り付け、そこにファンで風を当てて冷却している。アルミ板は外箱とも熱的に接触するようにした。

また防塵のため、ファンの吸気口にはフィルターを取り付けている(写真は防塵フィルター取り付け前)。



性能評価

実際に使用するHEB素子からの信号を入力して、周波数変換後の信号をパワーメーターで測定した。HEB素子に室温と液体窒素温度を見てもその出力差を測定したところ、周波数変換前と同程度の出力差が確認できた。目標の性能を達成できたと見える。ただし、アップコンバータ前のレベル調整用のアッテネータ選びが重要であることを再確認した。

-70 dBm以上の入力信号については、ほぼ入力と出力のリアリティーが成り立つことが確かめられた。

