

課題番号 : F-13-UT-0009
利用形態 : 機器利用
利用課題名 (日本語) : 天体観測のためのテラヘルツ帯ホットエレクトロンボロメータ・ミキサの開発
Program Title (English) : Development of Terahertz Hot Electron Bolometer Mixers for Astronomical Observations
利用者名(日本語) : 山本 智, 相馬達也, 西村優里, 大口脩
Username (English) : S. Yamamoto, T. Soma, Y. Nishimura, O. Oguchi
所属名(日本語) : 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻
Affiliation (English) : Department of Physics, Graduate School of Science, The University of Tokyo

1. 概要 (Summary)

テラヘルツ帯における天体分光観測のために、超伝導ホットエレクトロンボロメータ(HEB)ミキサ素子の開発研究を行っている。NbTiN を超伝導物質に用いて、1.5 THz 帯で量子雑音の7倍の雑音性能をもつ導波管型ミキサを実現した。これは当該周波数で世界一の性能である。このミキサ素子を用いてテラヘルツ受信機を構成し、チリのアタカマ砂漠にある国立天文台 ASTE 望遠鏡に搭載して天文観測に用いる。すでに搭載試験には成功しており、今後、本格的な科学観測に向けた準備を進める。

2. 実験 (Experimental)

HEB ミキサ素子の製作にあたっては、0.1 nm サイズの超伝導マイクロブリッジを形成する必要がある。そのために、超伝導物質(NbTiN: 10.8 nm)と電極材料(Au)を石英基板上に順次成膜し、その上で、マイクロブリッジ部分の Au を反応性プラズマエッチング装置(CE300I)で削り取る方式を取っている。このエッチングプロセスは HEB ミキサ素子の製作にあたって最もデリケートな作業であり、エッチングレートのコントロールを慎重に行いながら作業している。その結果、良好な性能を持つ HEB ミキサ素子を製作できるようになった。その他にも、素子を切り出すためにダイシングソーを、素子の中間周波回路形成のためのフォトリソの製作には電子ビーム描画装置をそれぞれ用いている。

3. 結果と考察 (Results and Discussion)

製作した素子は、入力信号および局部発振信号と結合するために導波管マウントに装着し、評価した。現在のところ、もっともよい雑音性能として 1.5 THz 帯で雑音温度 490 K を達成した。これは当該周波数での

量子雑音の7倍であり、世界一の低雑音性能である。さらに、中間周波数のゲイン帯域幅の測定から、我々が製作した HEB ミキサは拡散冷却の効果が重要な役割を果たしていることがわかった。NbTiN を用いた HEB ミキサは主に格子冷却で動作していると考えられてきたが、超伝導マイクロブリッジ長を短くすることで、新しいタイプのミキサが実現され、このことが低雑音化に寄与しているものと考えられる。

この成果をもとに、導波管型ミキサの広帯域化の極限を追究する試みを進めている。我々の電磁界シミュレーションの結果、0.9 GHz – 1.5 THz をカバーする導波管ミキサが可能であることが示されており、それを実現する導波管マウントの作製、および HEB ミキサ素子の IF 回路の変更を行った。この素子は現在製作が進んでおり、評価が待たれる。

HEB ミキサ素子を用いて製作したテラヘルツ帯受信機をチリのアタカマ砂漠にある国立天文台 ASTE 望遠鏡に搭載して天文観測に用いる計画である。2011年にすでに搭載試験には成功しており、より高感度の受信機を用いて、今後、本格的な科学観測を行う。実際の観測運用の負担を軽減するために、局部発振信号の導入方法の変更など、受信機光学系の設計変更を行った。

4. その他・特記事項 (Others)

なし

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

(1) S. Yamamoto, 2013 EA ALMA Development Workshop, July 8, 2013.

5. 関連特許 (Patent)

なし