

課題番号 : F-18-UT-0103
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : 天文観測のための超伝導 HEB ミキサ素子の開発
Program Title (English) : Development of superconducting HEB mixer devices for astronomy
利用者名(日本語) : 竹ヶ原諒貴, 山本智
Username (English) : M. Takegahara, S. Yamamoto
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, The University of Tokyo
キーワード/Keyword : リソグラフィ、膜加工・エッチング、切削

1. 概要(Summary)

テラヘルツ帯は電波と赤外線の間位置し、エレクトロニクス技術、フォトニクス技術の両面から最先端の波長域である。本研究では、宇宙からのテラヘルツ帯分子スペクトル線の観測を目的とした超伝導ホットエレクトロンボロメータ(HEB)ミキサ受信機の開発を進めている。その製作のためには、数 nm の高品質超伝導薄膜(NbTiN)の成膜とともに、その 0.1 μm スケールの微細加工が必要であり、そのためにナノプラットのドライエッチング装置 CE300I等を利用している。それにより、これまでに 1.4 THz 帯において量子雑音の 7 倍という低雑音温度を達成している。今年度は、AlN 緩衝層を基盤と NbTiN 薄膜の間に導入することで素子の性能向上を図るとともに、製作した素子を用いて実験室での分子分光実験を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

汎用 ICP エッチング装置、ブレードダイサー

【実験方法】

超伝導物質としては NbTiN を用いている。石英基板上に 20 nm 程度の AlN 薄膜を、Al をターゲット、 N_2/Ar をバッファガスとした反応性スパッタで製膜し、その後真空を破ることなく引き続き 5 -12 nm の NbTiN 薄膜と金電極を成膜した。その後、HEB ミキサとして動作する超伝導マイクロブリッジ(長さ 0.1 μm 程度)を電極の金を削ることで製作した。その目的に CE 300Iドライエッチング装置を用いた。作成した石英基板上の HEB ミキサ素子はダイサーを用いて素子ごとに切り分け、導波管ミキサマウントに装着して性能評価を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

これまで本研究室での研究では、AlN 緩衝層を導入した場合、超伝導転移温度が著しく改善する(高くなる)ことは示されていたが、ミキサ素子としての雑音性能について

は改善が見られないとされていた。今回、AlN 緩衝層を導入した素子と導入しない素子をできるだけ同一条件の下で5個ずつ製作し、それらの雑音性能を測定したところ、AlN 緩衝層を導入した素子の方が、有意に雑音性能も向上することがわかった。ただし、性能のばらつきは大きく、プロセスの最適化によってそれを克服することが課題である。

この超伝導 HEB ミキサ素子 (AlN 緩衝層導入)を使って、0.9 THz 帯での実験室分光を行った。低圧の HDO、 D_2O 、 CH_3OH ガスからの回転スペクトル線放射(熱放射)を液体窒素温度の黒体輻射を背景に測定することに成功した。まだミキサ素子の安定性に問題はあがあるが、0.9 THz 帯における放射分子分光を初めて実現できた (Figure 1)。

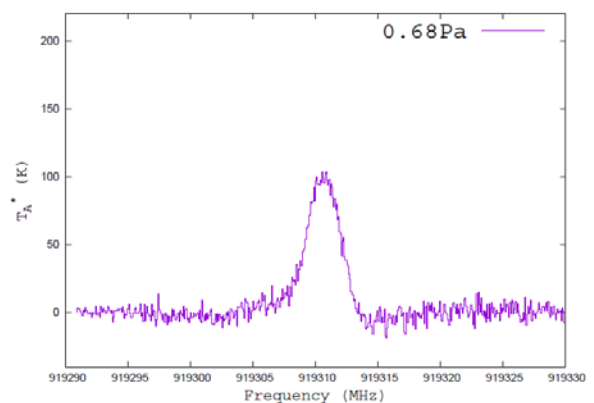


Figure 1 An example of the emission spectrum of the HDO ($2_{02}-1_{01}$) line observed with the HEB mixer receiver.

4. その他・特記事項(Others)

なし

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) M. Takegahara, "Development of Terahertz Superconductive HEB Mixers and Its Application to Molecular Spectroscopy", Workshop on Interstellar Matter, Sapporo, Nov. 14-16, 2018.

6. 関連特許(Patent) なし