

※課題番号 : F-12-UT-0058
※支援課題名 (日本語) : テラヘルツヘテロダイニンセンシングによる星間分子雲の化学進化の探究
※Program Title (in English) : Chemical Evolution of Interstellar Clouds As Studied by Terahertz Heterodyne Sensing
※利用者名 (日本語) : 山本智
※Username (in English) : Satoshi 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 (in English) : Department of Physics, Graduate Course of Science, The University of Tokyo

※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)ミク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クサを実現した。これは当該周波数で世界一の性能である。このミク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、2013 年度からは本格的な科学観測に入る。

※実験 (Experimental) :

HEB ミク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 ミク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 ミク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マスクを電子ビーム描画装置をそれぞれ用いて、素子製作を行っている。

※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。

HEB ミクサ素子製作プロセスおよび導波管マウントの最適化を進めた結果、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、世界一低雑音のミクサ素子である。さらに、中間周波数のゲイン帯域幅を様々な超伝導マイクロブリッジ長を持つ素子について測定したところ、我々が製作した HEB ミク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明らかになった。NbTiN を用いた HEB ミク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、これまでとは違ったタイプのミクサが実現され、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 HEB ミク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。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、2013 年度から本格的な科学観測を行う。

※その他・特記事項 (Others) :

なし

共同研究者等 (Coauthor) :

坂井 南美(東大物理)、渡邊 祥正(東大物理)、酒井 剛(東大天文センター)、前澤裕之(大阪府立大学)

論文・学会発表 (Publication/Presentation) :

山本 智:「テラヘルツヘテロダイニンセンシングによる星間化学」第 60 回日本応用物理学会春季学術講演会、28p-G10-4 (2013.3)