

地球大気環境計測・電波天文学観測のための THz 帯超伝導ホットエレクトロンボロメータミキサの開発

Development of THz band superconducting hot-electron bolometer mixer for atmospheric and astronomical observations

山倉 鉄矢 [1]; 前澤 裕之 [2]; 中井 直正 [3]; 瀬田 益道 [3]; 水野 亮 [4]; 長浜 智生 [5]; 入交 芳久 [6]

Tetsuya Yamakura[1]; Hiroyuki Maezawa[2]; Naomasa Nakai[3]; Masumichi Seta[3]; Akira Mizuno[4]; Tomoo Nagahama[5]; Yoshihisa Irimajiri[6]

[1] 筑波大・数理・物理; [2] 名大・太陽研・大気; [3] 筑波大・物理; [4] 名大 STEL; [5] 名大・理; [6] 情通機構

[1] Physics, Tsukuba Univ.; [2] STEL; [3] Univ. of Tsukuba; [4] STEL, Nagoya U.; [5] Dept. of Astrophys., Nagoya Univ.; [6] NICT

我々のグループは地球大気環境計測・電波天文学の 1.8-2 THz(テラヘルツ) 帯ヘテロダインセンシングを目指している。地球大気分野では例えば OH ラジカルが 1.8 THz 帯にスペクトルをもつ。OH ラジカルは、地球大気ではもっとも重要なオキシダントの一つで、ほとんどの分子の破壊反応にリンクしている。その強い反応性と短寿命により、直接サンプリングすることが難しく、OH のリモートセンシング技術の確立が期待されている。また、天文学分野では星間雲中において例えば炭素イオン (CII) が 1.9 THz 帯にスペクトル線をもつ。このスペクトルは禁制線遷移であるが、星間雲では冷却機構の主要因を担っている。このため CII の THz ヘテロダイン分光観測 (高空間・高分散観測) が実現すれば、星間雲の進化や星形成について重要な知見が得られるものと期待される。

この THz 帯領域は、赤外と電波の技術の狭間にあるため、未開拓の周波数領域となっている。これまでミリ・サブミリ波帯でのヘテロダイン分光には、超伝導 SIS ミキサ受信機が威力を発揮してきたが、SIS 素子は超伝導ギャップ周波数を超える周波数帯では性能が劣化し、1 THz 以上では動作が困難となる。そこで我々は次世代の THz ヘテロダイン検出素子として近年着目されている、ホットエレクトロンボロメータミキサ (HEBM) の開発を進めている。

我々は HEBM の細線に NbTiN という新しい超伝導合金薄膜を採用している。この NbTiN 超伝導細線は、冷却機構においてフォノン冷却と電子拡散という二つのルートをもつ特徴がある。フォノン冷却の効率は細線の厚みを数 nm まで薄くすることで向上する。しかし薄くしすぎると細線の超伝導特性が低下してしまうため、これらのトレードオフで決まる。一方電子拡散の効率化は、細線長を 100 nm 程度以下に最短化することで達成される。我々は現在この細線ディメンションの最適化を進めている。また上記のサイエンスを見据え、準光学型の集光手法を採用して HEBM の高周波化を進めている。昨年度は HEBM 細線と一緒に 2 次元平面のツインスロットアンテナを non-dope かつ高抵抗のシリコン基板に形成する改良を行った。またエッチングを主体とした製作プロセスの手法を導入して、細線と電極部間のインターフェース層の品質改善と耐久性強化を行った。これにより素子製作の歩留まりも大幅に改善している。この平面アンテナや積層構造の周波数応答を調べるため、国立天文台先端技術センターのフーリエ分光器 (FTS) を用いて HEBM の周波数特性を測定したところ、ほぼ設計どおりの 1.8 THz 帯に応答感度を持つことを確認できた。また、この素子をスケールアップした 0.7 THz 帯のプロトタイプの HEBM を製作し、情報通信研究機構において 2 台の 0.7 THz 帯発振器の信号を照射して HEBM のヘテロダイン動作検証を行い、中間周波数 (差周波) 出力を確認した。

現在、国立極地研と南極天文コンソーシアム (代表: 中井) は南極ドームふじにテラヘルツ望遠鏡を建設する計画を推進している。筑波大学・名古屋大学は、1.8-2 THz 帯 HEBM をこの望遠鏡に搭載し、上記の地球大気環境計測・電波天文学のテラヘルツヘテロダインセンシングを展開していきたいと考えている。本講演では上記 HEBM の開発について進捗を報告する。