

中赤外超伝導ホットエレクトロンボロメータミキサの特性評価

Evaluation of Mid Infrared Superconducting Hot Electron Bolometer Mixers

情通機構¹, 茨城大院², 福井高専³

○川上 彰¹, 島影 尚², 堀川隼世³, 田中秀吉¹, 鶴澤佳徳¹

NICT¹, Ibaraki Univ.², Fukui Col.³

°A. Kawakami¹, H. Shimakage², J. Horikawa³, S. Tanaka¹ and Y. Uzawa¹

E-mail: kawakami@nict.go.jp

中赤外領域における地球環境計測, 情報通信, セキュリティ応用などを目指して, ナノアンテナを用いた中赤外超伝導ホットエレクトロンボロメータミキサ(MIR-HEBM)を検討している. 既に同領域・極低温下(10 K)における金薄膜の複素表面インピーダンスを評価し, 従前の電磁界シミュレータに導入することで, 中赤外光領域でのアンテナ・分布定数回路の設計が可能であることを示した[1]. 今回, MIR-HEBMを試作, IF帯域幅評価, 雑音温度などミキサ特性評価を試みた.

試作したMIR-HEBMは, 中赤外光アンテナとその給電点に配置した超伝導検出部から構成されている. アンテナには金薄膜(膜厚 50 nm)で構成したツインスロットアンテナを採用, スロット長 2.2 μm , 幅 0.2 μm とした. 61 THzにおけるアンテナインピーダンスは $Z_{\text{Ant}} = 250 - j6 \Omega$ と見積もっている. アンテナで受信した信号はコプレーナ線路を介して中央の超伝導検出部に伝達, 検出部には窒化ニオブ(膜厚 5 nm)とニオブ(膜厚約 1.5 nm)のエピタキシャル二層膜による超伝導ストリップ($T_c \sim 10.3$ K, 長さ幅共に 0.2 μm)を用いた. 基板には酸化マグネシウム単結晶基板を用いた.

図1にMIR-HEBM評価測定系を示す. 局部発振源(LO)としては波長 4.89 μm の中赤外量子カスケードレーザを用いている. ここでMIR領域ではMgOの誘電率は2.66に低下することから, 裏面(空間)側も基板側前面利得の23%程度のアンテナ利得が予想される. そこでビームスプリッタ

による信号入射損失の低減も兼ねて, バンドパスフィルタ(BPF), CaF_2 真空窓, サファイア熱遮蔽を介して裏面側からHEBMにLO照射している.

信号源としては室温黒体及び 1100 K 黒体炉を用いた. 信号は BPF, CaF_2 真空窓, サファイア熱遮蔽を介して冷凍機内に導入(全透過率約 50%), CaF_2 レンズ, MgO 超半球レンズで集光してHEBMに照射している. IF信号は 1-18 GHzの冷却低ノイズ増幅器, 8 kHz-3 GHzの室温増幅器によって増幅し, 中心周波数 1 GHz のBPFを介してダイオード検出器で検出した.

HEBMに適切なLOを照射し, 抑圧された臨界電流(I_c')付近に定電流バイアス($I_{\text{BIAS}} < I_c'$)を印加すると, LO照射電力の揺らぎ等によりHEBMから偶発的に発生する電圧パルスが観測できる. そのパルスを4096個平均化し, オシロスコープで波形観測したところ, パルス半値全幅として約 0.21 ns が得られた. HEBMの周波数応答特性をローパスフィルタモデルで仮定することでIF帯域幅を導出したところ, 約 0.8 GHz が得られた.

冷凍機振動によるHEBM-LO結合効率変化の影響を抑える目的で, ボイスコイルを用いたLO照射電力の安定化を実施した. その結果, わずかであるが信号源温度の差によるIF出力の変化を観測, そのIF出力差から, 61 THzにおけるミキサ雑音温度を約 17,000 K(DSB)[2]と見積もった. [1] A. Kawakami, et al., IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 27, pp. 2300105 (2017), [2] A. R. Kerr, IEEE Trans. Microw. Theory Techn., 47, pp. 325-329, (1999).

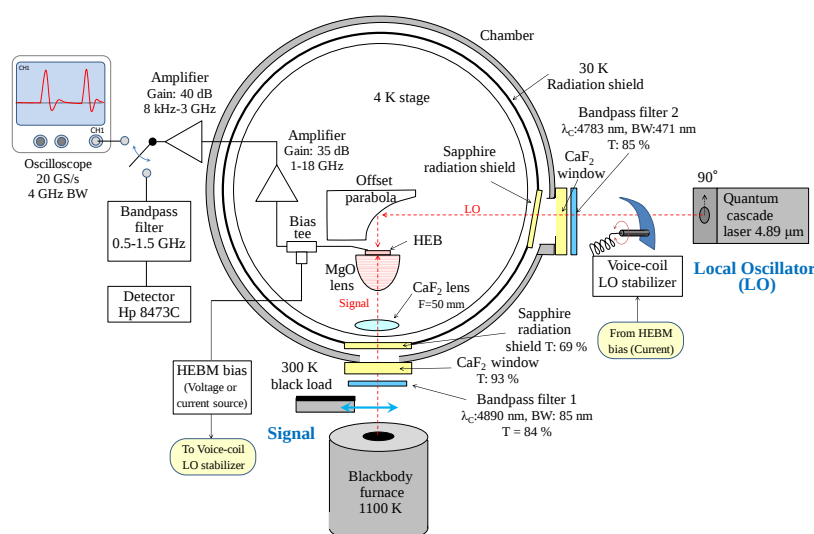
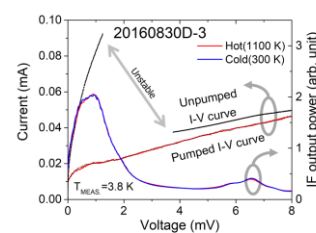


図1 MIR-HEBMの特性評価系



(a) I-V and IF output power characteristics of the MIR HEB as a function of bias voltage.

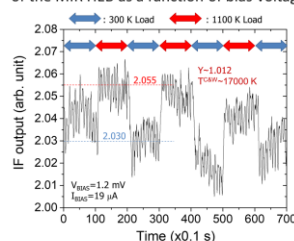


図2 MIR-HEBMの中赤外光入射応答