

Engineering Model of 640-GHz SIS-Mixer for JEM/SMILES

Ken'ichi KIKUCHI

National Space Development Agency of Japan, Tsukuba, Ibaraki 305-8505, Japan

概要

JEM/SMILES ミッションで使用される 640 GHz 帯 SIS ミクサのエンジニアリングモデル (EM) の製作を行い、その性能の評価を行った。宇宙での使用を考える場合、ミクサは雑音特性などの電気的特性に優れるばかりでなく、宇宙空間に特有の環境に対する十分な耐性を持つことが要求される。EM の開発期間を通して、想定される様々な環境を模した試験を実施した結果、製作したミクサは十分な耐環境性を有していることを確認した。今夏には SIS ミクサを SMILES 用の冷凍機 (プロトフライトモデル) に組み込み、2003 年度いっぱいにかけて受信機システムの EM 総合試験を行う予定である。

1 はじめに

JEM/SMILES は、国際宇宙ステーション日本実験棟 (JEM) の曝露部を利用してサブミリ波帯 (640 GHz 帯) で地球大気の観測を行うミッションである [1]。SIS ミクサはキーとなるコンポーネントの一つであり、現在では本番の一步手前と言えるエンジニアリングモデル (EM) の開発フェーズをほぼ終了し、2007 年頃に予定されている打ち上げを目指している。

2 EM ミクサ

SIS デバイスは野辺山宇宙電波観測所のクリーンルームで製作されたものである。SIS 接合は Nb/Al-AIO_x/Nb 構造をしており、面積は $1 \times 1 \mu\text{m}^2$ 程度、電流密度は 7 kA cm^{-1} 程度である。RF のマッチングのために、2 個の接合を並列に並べた PCTJ を採用している。デバイスの製作プロセスにおいては、このような微小な接合面積を精度良くコントロールする点などにまだ課題を残すが、特にエッチングやリフトオフの手法の見直しによって、再現性や歩留まりの大幅な向上に成功した [2]。

ミクサマウント (図 1) は、マウント本体とホーンとを分離できる構造になっている。コルゲーションを形成する必要からホーンの部分は銅で作られているが、マウント本体の大部分にはアルミを使用して軽量化を図り、一台あたりの質量を 45 g に抑えている。また、宇宙ステーションの劣悪な電磁界環境の中でも高感度の観測を実現するため、DC バイアスのコネクタ部分には貫通コンデンサを使用するなど、EMC 設計にも配慮がなされている。

製作した SIS ミクサを宇宙開発事業団内の専用のクリーンルームに設置した試験装置に組み込んで、電気性能の評価を行った [3]。その結果、ミクサを 4 K ほどにまで冷却することによって、DSB 受信機雑音として量子限界の 4 倍程度という優れた値が得られた (図 2)。しかし、ミクサ出力の IF 特性には定在波と考えられる「うねり」が見られ、ミクサと直後の冷却アンプとの間でインピーダンスの不整合が生じていると思われる。三次元シミュレータを用いた解析からも、JEM/SMILES の IF 帯域 (11-13 GHz) では SIS デバイスの出力インピーダンスは設計時の予想から大きく外れることが明らかになってきており、本番のフライトモデルの製作に向けて SIS デバイスの後段の整合回路に改良を加えることを検討している。

JEM/SMILES に搭載される SIS ミクサには、優れた雑音性能と同時に、宇宙で使用されるコンポーネントとしての高い信頼性や、打ち上げ時も含めた宇宙環境への適合性が要求される。部品レベ

ルでの信頼性を確保する方法としては、(SIS デバイスも含めた) 製造工程の管理や製造後の評価手法 (スクリーニング、ロット保証など) の策定と実施などがアイテムとなる。またコンポーネント (ミクサ) のレベルでは、組み立て工程の管理に始まり、最終的には実際に予想される環境、具体的には打ち上げによる振動・衝撃、熱環境、宇宙線、宇宙ステーションに特有の問題としては劣悪な電磁界環境等々に対する耐性を証明することが必要である。とは言え、宇宙機への搭載実績が豊富な半導体部品などに対し、SIS デバイスの信頼性管理に関するノウハウの蓄積などはほとんどゼロであると言える。我々も手探りで基礎的なデータを収集し、それに基づく方針で工程の管理を行い、さらに種々の環境試験を実施するなどして EM 開発を進めて来たわけであるが、我々が現在採用している手法にもまだまだ改善の余地がある。今後、ALMA のような「大量生産」が必要なミッションにおいても、品質管理の手法を確立することが一つの課題になるのではないかと。

3 現状と今後

2003 年度初めまでに EM ミクサの性能評価をほぼ終了した。その後、分光性能のデモンストレーションを兼ねた分子検出実験や、SIS を直接検波モード、すなわち IF アンプやミキシングに必要なサブミリ波局部発振源を必要としない簡便なシステムで動作させて、冷却光学系のビームパターンを測定する実験などを行って来た。今夏には SIS ミクサを SMILES 用の冷凍機 (プロトフライトモデル) に組み込み、住友重機械工業株式会社の新居浜工場に於いて受信機システムの EM 総合試験を開始する予定である。

最後に、SIS デバイスの製作にあたって有益な御助言、御助力をくださった野口先生、松永氏、瀧澤氏、および Shan 氏に感謝を申し上げる。

参考文献

- [1] SMILES Science Team and SMILES Mission Team, “JEM/SMILES Mission Plan”, Version 2.1, November 2002 (available at <http://smiles.tksc.nasda.go.jp>)
- [2] K. Kikuchi, W. Shan, Y. Fujii, and J. Inatani, “Recent Result of ~ 650 -GHz SIS-Device Fabrication at NRO”, NRO ワークショップ「ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ」, 2002 年 12 月
- [3] K. Kikuchi, Y. Fujii, and J. Inatani, “Simple FTS Measurement System for Submillimeter SIS Mixer”, International Journal of Infrared and Millimeter Waves, 23, 1019, 2002

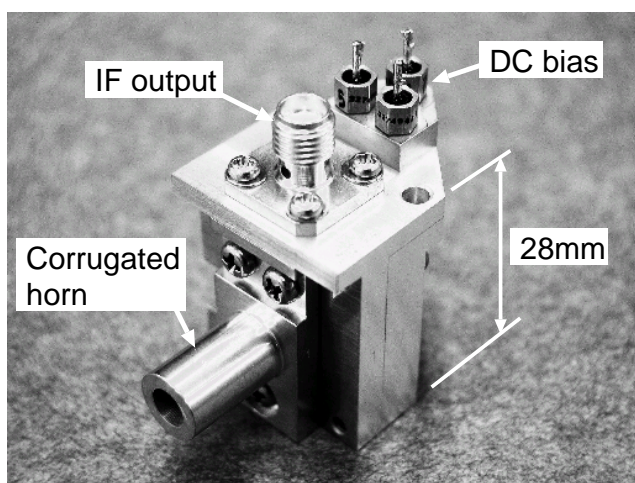


図 1: EM ミクサマウントの外観。

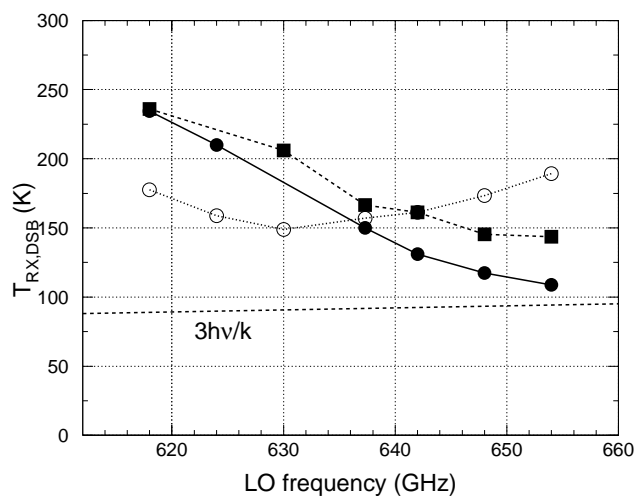


図 2: DSB 受信機雑音温度。