

## 平成14年度 国立天文台ALMA共同開発研究 研究成果報告書

1. 研究課題名 窒化ニオブを用いたテラヘルツ帯高感度SIS受信機の開発 2. 区分 A・B
3. 研究代表者 氏名 鵜澤佳徳 所属 通信総合研究所関西先端研究センター
4. 研究成果の概要 (1000字程度で、LMSA計画に関連して重要であると思われる成果を重点的に記入してください。必要に応じて図表等は別紙として添付してください。また、主要な購入物品との関係についても記載してください。)

1. 半波長2接合同調回路を用いた全窒化ニオブSISミキサの作製と評価

ALMA計画では低雑音かつ広帯域動作するSISミキサーを必要としているが、従来の方法を用いると比帯域は $1/\omega CR$ に従うため、Band10では高臨界電流密度の接合が必要であった( $\sim 40 \text{ kA/cm}^2$ )。一般に電流密度が高い接合では優れたI-V特性を得るのが困難となり、雑音温度が増大する要因となる。この問題を解決するため、従来より低い電流密度の接合で広帯域動作する同調回路を提案し、全窒化ニオブSISミキサの作製、評価を行った。図1.1に作製した同調回路を示す。2つの半波長NbN/MgO/NbN接合を半波長NbN/MgO/NbNマイクロストリップ線路で接続し、これを1/4波長マイクロストリップ線路で信号源インピーダンスと整合した。本設計では、図1.2に示されるように電流密度 $16 \text{ kA/cm}^2$ (従来の半分以下)の接合で広帯域に整合が取れる。実際に作製した素子の電流密度は $6.7 \text{ kA/cm}^2$ であったが、準光学受信機システムにより雑音温度評価した結果、局部発振周波数690 GHzにおいて図1.3のような特性を得た。Y-ファクター法により求まる受信機雑音温度は $3.3 \text{ mV}$ 付近で200 K(DSB)と低雑音特性を示した。図1.4に雑音温度の周波数依存性を示す。中心周波数が低周波側にシフトしているが、 $675 \sim 810 \text{ GHz}$ で $6 \sim 9 \text{ hv}/k_B$ の値を示し、 $\omega CR$ 積が約 $27@750 \text{ GHz}$ にも拘わらず、比帯域18%の広帯域特性を得た。尚、比帯域は同じバッチで作製した従来の1波長同調回路に比べて広がった。

2. 導波管ミキサの作製と評価

ダイシング、研磨などの最適化を行い、安定したチップ作製が可能になった。チップサイズは $1 \times 0.064 \times 0.025 \text{ mm}$ である。さらにワイヤーボンダの最適条件を見いだすことによって導波管ミキサブロックにチップをマウントすることにも成功した(図2.1)。ブロックを受信機デューアに取り付け、基本的な動作チェックを行った。図2.2に1波長同調回路ミキサのI-V特性を示す。チップに切り出す前のディップスティックによる測定と比べ殆ど変化がないことから、チップ作製プロセスに問題がないと言える。また、バイアステーを介した2端子測定にも拘わらず超伝導電流部の抵抗がほぼ0であることから、ボンディングによる接触抵抗が非常に少ないことがわかる。室温に戻し、真空を破った後、再び冷却したが熱サイクルに対する問題は認められなかった。受信機雑音温度はこれまでのところ、図2.3に示されるように800 GHz付近で約900 K(DSB)程度にとどまっているが、これは電流密度が $3 \text{ kA/cm}^2$ の動作チェック用テストサンプルであり、設計値に近いデバイスの作製によって大きな改善が期待できる。現在、ミキサブロックへの安定したマウント技術を開発している。

3. 対称X型光学系FTIRを用いたNbN薄膜、光学材料の特性評価

これまで開発してきた絶対反射率(R)と絶対透過率(T)の両方を同時に測定できる『対称X型光学系』の精度を測定した。近赤外領域において高抵抗率Si基板をサンプルとして評価したところ、RとTの誤差は $\pm 0.4\%$ 以内であり、非常に有用であることが明らかになった。従来用いられてきた精度の低いクラマース・クローニツヒ(K-K)変換法と比較するため、MgO基板上的NbN薄膜のTHz帯における複素導電率の測定を行ったところ、図3.1のように高周波側で大きな違いが現れた。また、本装置によるTHz帯物性評価の他の例として、準光学ミキサに用いている高誘電率レンズ用無反射キャップの複素屈折率と損失の評価を行った。Kapton-JPポリイミドフィルムのTHz帯での屈折率は約1.77の一定値であり、損失は周波数と共に増大するものの3 THzで $30 \text{ cm}^{-1}$ 以下であり、SiやMgOレンズの無反射キャップとして非常に適していることが明らかになった。実際に800 GHz帯準光学ミキサにおいて無反射キャップの効果を評価したところ、図3.2にあるようにキャップの有無によって受信機雑音温度に約1.3倍の違いが出た。

なお購入物品は導波管試作費やFTIRでの測定に必要な部品であり、上記遂行のため必要であった。

5. 成果発表（学会発表、研究会集録などを含みます。印刷中、投稿中なども可。）

著者名	論文標題
Y. Uzawa, A. Kawakami, A. Saito, M. Takeda, and Z. Wang	A submillimetre-wave SIS mixer using NbN/MgO/NbN trilayers grown epitaxially on an MgO substrate
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
Superconduct. Sci. Technol. , vol. 15, pp. 1760-1765, 2002	

著者名	論文標題
Y. Uzawa, M. Takeda, and Z. Wang	A circuit for tuning superconductor-insulator-superconductor mixers using distributed tunnel junctions
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
Jpn. J. Appl. Phys., vol. 42, pp. 91-95, 2003.	

著者名	論文標題
Y. Uzawa, M. Takeda, A. Kawakami, and Z. Wang	Design and analysis of an all-NbN SIS mixer using a tuning circuit with two half-wavelength distributed junctions
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
To be published in IEEE Trans. Appl. Supercond., 2003.,	

著者名	論文標題
M. Takeda, Y. Uzawa, Z. Wang, A. Saito, and A. Kawakami.	Development of a waveguide NbN-based SIS mixer in the 900-GHz band
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
To be published in IEEE Trans. Appl. Supercond., 2003.,	

著者名	論文標題
E. Kawate, Y. Uzawa, and Z. Wang	New evaluation method for optical conductivity of superconducting thin films
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
To be published in Physica B, 2003.	

著者名	論文標題
Y. Uzawa and Z. Wang.	Low-noise quasi-optical superconducting mixer based on niobium nitride for submillimeter wavelengths
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
Studies of High Temperature Superconductor, ed. A. V. Narliker (Nova Science, Hauppauge, NY, 2002), Vol. 43.	

著者名	論文標題
鶴澤佳徳、川上彰、武田正典、王鎮	半波長2接合同調回路を用いた全窒化ニオブ SIS ミキサー
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
2003年春季第50回応用物理学関係連合講演会、講演予稿集 No.1, p. 303	

6. 別刷り（各1部を添付してください。コピーも可。）

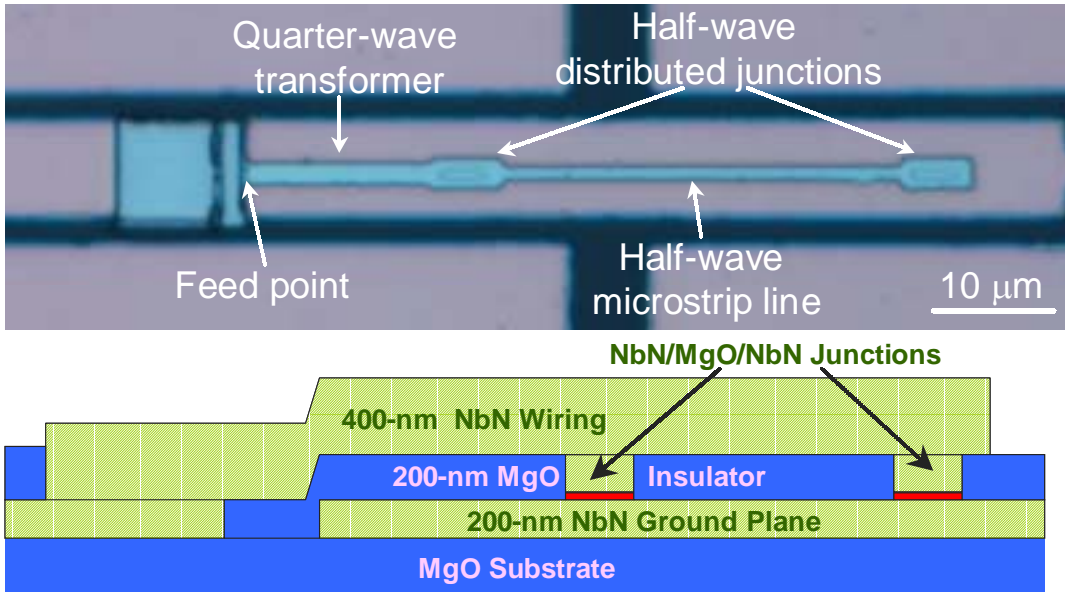


図1.1 素子写真と断面図。

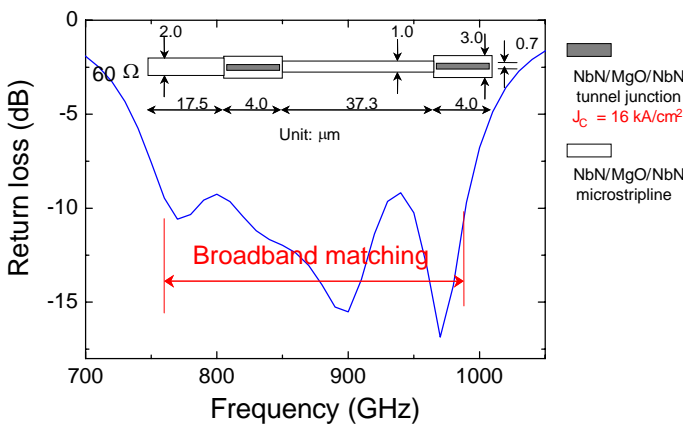


図 1.2 期待されるリターンロス特性。

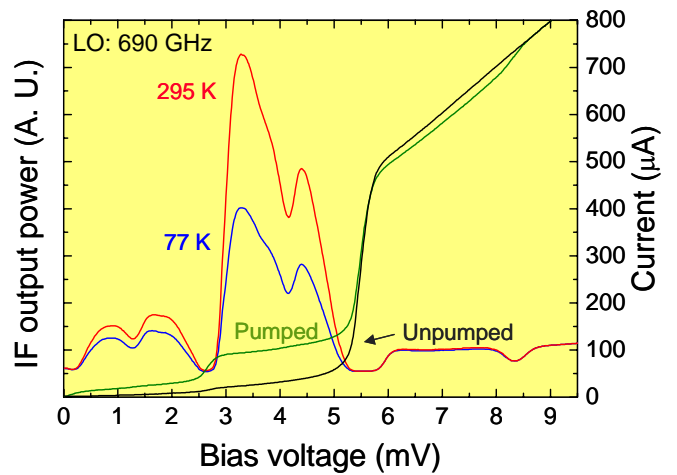


図 1.3 ヘテロダイン応答特性。電流密度は6.7kA/cm<sup>2</sup>。

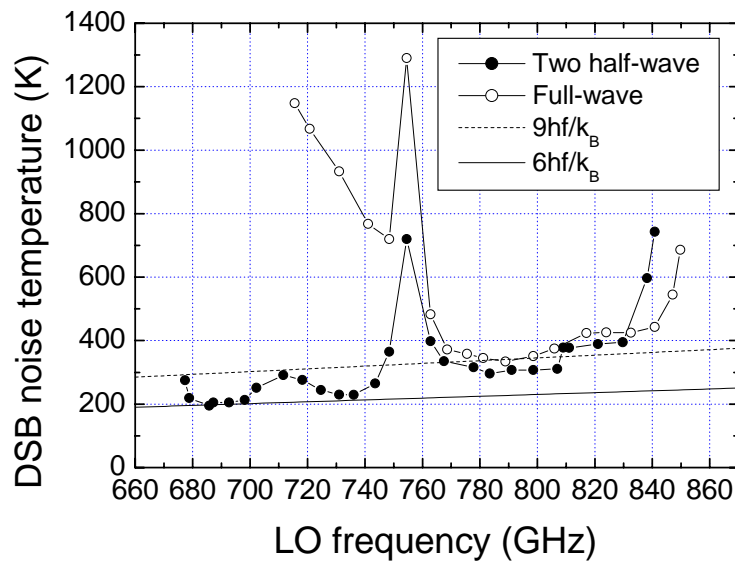


図 1.4 受信機雑音温度特性。提案した半波長2接合同調回路は $\omega CR$  積が27@750 GHz にもかかわらず比帯域 18%の広帯域特性を達成した。

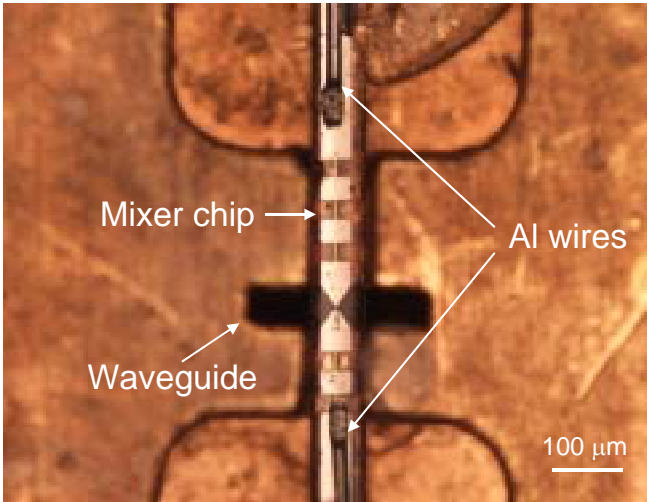


図 2.1 導波管ミキサーチップマウント部写真。チップサイズは  $1 \times 0.064 \times 0.025$  mm。

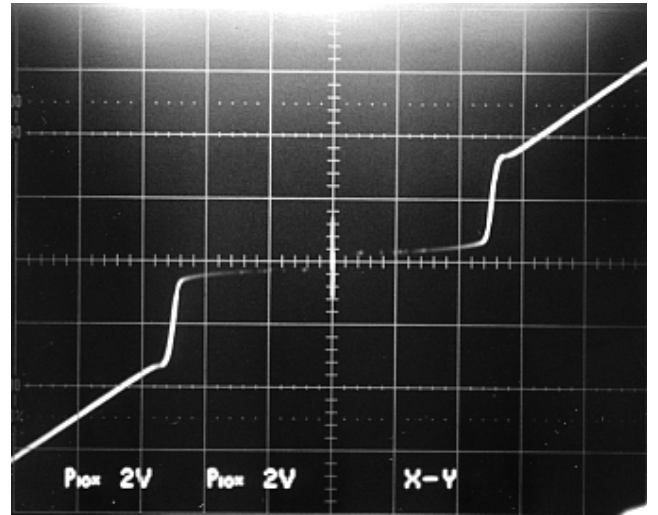


図 2.2 受信機における1波長同調回路ミキサーの I-V 特性。横軸: 2 mV/div、縦軸: 0.2 mA/div。

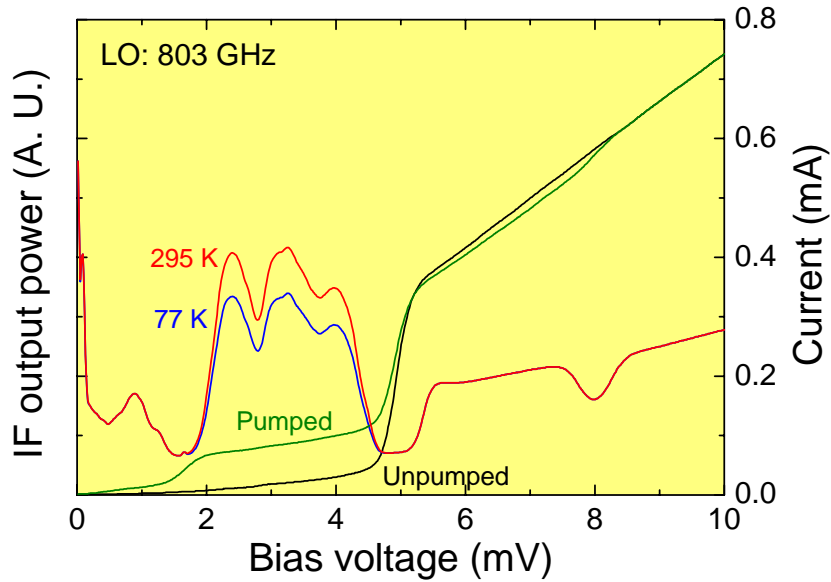


図 2.3 導波管ミキサーのヘテロダイン応答特性。電流密度  $3 \text{ kA/cm}^2$  の動作チェック用テストサンプルであったが(設計値は  $20 \text{ kA/cm}^2$ )、受信機雑音温度  $900 \text{ K}$  を示した。

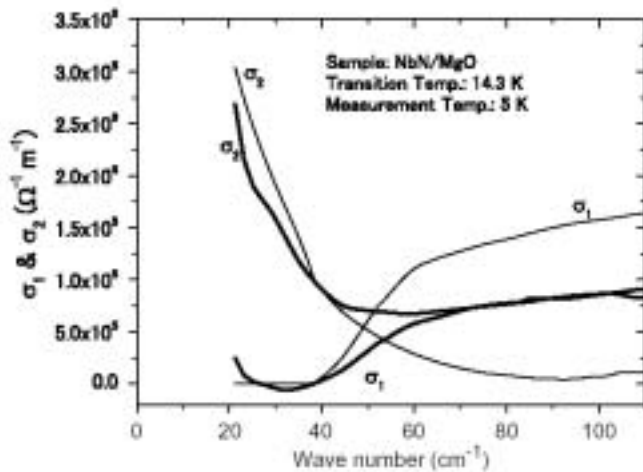


図 3.1 R-T 法(太線)と K-K 法(細線)により求めた NbN 薄膜の光学伝導率。

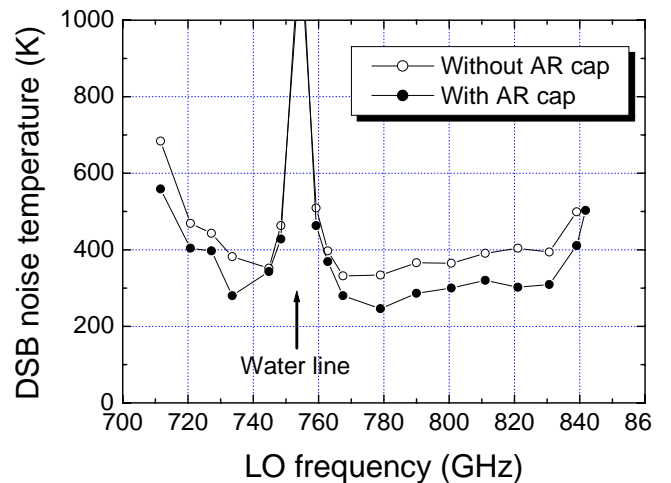


図 3.2 Kapton AR cap の有無による受信機雑音温度の比較。