

## 平成15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 情報通信研究機構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. 分布定数型2接合同調回路の解析的設計法の確立

ALMA計画で要求されている低雑音かつ広帯域動作するSISミキサーを実現するため、従来より低電流密度のSIS接合を用いた半波長2接合同調回路をこれまで提案し、優れた性能を実証してきた。本回路は図1.1(a)に示されるように分布定数型SIS接合とその間に置かれたマイクロストリップ線路で構成される。これまで回路パラメーターの最適化は試行錯誤で行われ、電流密度の最小条件などが数値計算に依存していた。今回、解析的に最適化を行う方法を提案し、一意に解を求めた。図1.1(b)に簡易化した等価回路を示す。この回路によって部分的にチエビシェフフィルタ理論が適用可能となり、与えられた信号源と回路の反射損失と比帯域の条件から最適化を行う。 $Z_s$ を任意に選べるとし、反射損失-10dB以内、比帯域20%として設計すると、 $R_L : Z_J : Z_m : Z_s$ として1 : 0.12 : 2.69 : 0.41が得られた。図1.2(a),(b)のように、計算されたインピーダンス特性と反射損失特性は、設計条件通りの特性を示した。 $\alpha_{d_j}=0.12$ の条件から最小電流密度が求まり、代表的なNbN接合の場合には約16 kA/cm<sup>2</sup>となった。図1.3に試作した素子の受信機雑音温度の周波数依存性を示す。電流密度が約4 kA/cm<sup>2</sup>にも拘わらず、710~810 GHzで6~10 hf/k<sub>B</sub>の値を示した。計算された $\omega$ CR積は約37@750 GHzである。同図には以前得られた6.7 kA/cm<sup>2</sup>の素子についてもプロットしているが、いずれの電流密度に対しても、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く、半波長2接合同調回路の有用性が示された。

2. 分布定数型ミキサーのIF帯域評価

分布定数型SIS接合は、上記のようにテラヘルツ帯で優れた同調特性を得るために必要である。しかしながら、集中定数的なSIS接合を用いた場合よりも接合面積が大きくなり、結果として大きな接合容量をもたらす。ALMA計画では最大12 GHzまでのIF信号を得ることになっており、この大きな接合容量がIF帯域に与える影響を調べる必要がある。今回は測定が簡便な準光学システムを用いた100 GHz帯でのIF特性評価を行った。図2.1に測定系を示す。信号源の周波数と出力を固定し、局部発信源(LO)の周波数を変化させ、IF信号出力を観測した。このとき、常に同じバイアスポイントになるようにLO出力を調整した。この方法ではIF測定として10 GHz程度に限界があるため、出来るだけ低電流密度の接合を用いてIF帯域での $\omega$ CR積を大きくする必要がある。ここでは電流密度4 kA/cm<sup>2</sup>の接合を用いた。設計周波数870 GHzのミキサーでは1波長のSIS接合は0.7 x 7  $\mu$ m<sup>2</sup>であり、100 GHzでは殆ど集中定数と見なせる。他の回路部分からの寄生容量を無視できるとすると全静電容量は約600 fFであり、この場合 $\omega$ CR=1が14.7 GHzとなる。通常、LO印加時の接合のIF出カインピーダンスは正常抵抗より大きくなるため、3-dB roll-offの周波数はさらに小さくなることが予想される。図2.2に測定結果を示す。3-dB roll-offの周波数として約10 GHzが得られ、分布定数型SIS接合を用いてもIF帯域に問題がないと考えられる。ただし、今回フォトンステップが100 GHz帯では鈍っており、バイアスポイントでの抵抗が正常抵抗より小さかった他、本測定系ではIF測定周波数限界があるために、さらに詳細な検討が必要である。今後IFアンプを高周波化する予定である。

3. 同一基板上に作製した導波管チップと準光学チップの性能比較

導波管型ミキサーでは素子作製、マウント技術をほぼ確立したが、これまで良好な受信機性能が得られていない。この原因を特定するために、導波管ミキサーチップと同一の同調回路を持つ準光学ミキサーチップを同一基板上に作製し、性能を比較した。図3.1に結果を示す。準光学ミキサーは半分以下の雑音温度を示し、導波管ミキサーでは信号結合効率に問題があることが考えられる。解析から25  $\mu$ mの基板厚が疑われ、現在、さらに薄くして性能評価を行っている。なお購入物品は導波管設計のためのPCや導波管試作費であり、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, 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	
IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 13, pp. 688-691, 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	
IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 13, pp. 692-695, 2003.	

著者名	論文標題
Y. Uzawa, M. Takeda, A. Kawakami, and Z. Wang	A tuning circuit with two half-wave distributed junctions for all-NbN SIS mixers
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
International Journal of Infrared and Millimeter Waves, vol. 24, pp. 1749-1757, 2003.	

著者名	論文標題
A. Kawakami, Y. Uzawa, and Z. Wang	Development of Epitaxial NbN/NgO/NbN Superconductor-Insulator-Superconductor Mixers for Operations over the Nb Gap Frequency
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
Appl. Phys. Lett., vol. 83, pp. 3954-3956, 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	
Physica B, vol. 329-333, pp. 1431-1432, 2003.	

著者名	論文標題
Y. Uzawa, M. Takeda, A. Kawakami, Z. Wang, and T. Noguchi	Design considerations for a two-distributed-junction tuning circuit
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
To be published in Proceedings of the 15 <sup>th</sup> International Symposium on Space Terahertz Technology.	

著者名	論文標題
M. Takeda, Y. Uzawa, A. Kawakami, Z. Wang, and T. Noguchi	Wave-guide all-NbN SIS mixers on MgO substrates
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
To be published in Proceedings of the 15 <sup>th</sup> International Symposium on Space Terahertz Technology.	

著者名	論文標題
Y. Uzawa, M. Takeda, A. Kawakami, and Z. Wang	A Tuning circuit with two half-wave distributed junctions for all-NbN SIS mixers
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
The 28th International Conference on Infrared and Millimeter Waves, Conference Digest pp. 75-76., Invited.	

著者名	論文標題
E. Kawate and Y. Uzawa	Symmetry X optical system for submillimeter measurements of Reflectance and transmittance
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
The 28th International Conference on Infrared and Millimeter Waves, Conference Digest pp. 341-342.	

著者名	論文標題
Y. Uzawa, E. Kawate, M. Takada, A. Kawakami, and Z. Wang	Polyimide anti-reflection cap for a quasi-optical mixer at terahertz frequencies
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
The 11th International Conference on Terahertz Electronics, Technical Digest p. 79.	

著者名	論文標題
M. Takeda, Y. Uzawa, S. Asayama, A. Kawakami, and Z. Wang	Development of Fixed-tuned NbN/AlN/NbN SIS mixer using waveguide technique
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
The 11th International Conference on Terahertz Electronics, Technical Digest p. 73.	

著者名	論文標題
鵜澤佳徳、武田正典、川上彰、王鎮	2つの分布定数型トンネル接合を用いた SIS ミキサ同調回路
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
電子情報通信学会技術研究報告、超伝導エレクトロニクス、SCE2003-19~23、pp.7-14。	

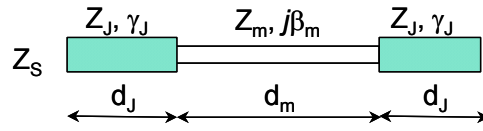
著者名	論文標題
武田正典、鵜澤佳徳、川上彰、王鎮	NbN 導波管型 SIS ミキサの作製と性能評価
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
電子情報通信学会技術研究報告、超伝導エレクトロニクス、SCE2003-19~23、pp.1-6。	

著者名	論文標題
鵜澤佳徳、武田正典、川上彰、王鎮	2つの1波長接合を用いた SIS ミキサー同調回路
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
2003年秋季第64回応用物理学学会学術講演会、講演予稿集 No.1、p. 214	

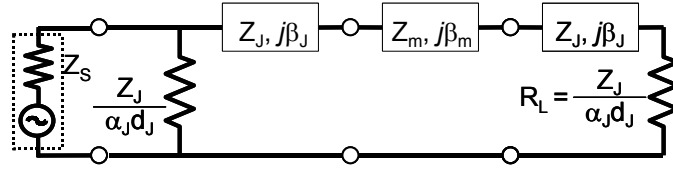
著者名	論文標題
武田正典、鵜澤佳徳、王鎮、川上彰	窒化ニオブを用いたテラヘルツ帯導波管型 SIS ミキサ
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
2003年秋季第64回応用物理学学会学術講演会、講演予稿集 No.1、p. 214	

著者名	論文標題
武田正典、鵜澤佳徳、川上彰、武田正典、王鎮、野口卓	テラヘルツ帯導波管型 all-NbN SIS ミキサの性能評価
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
2004年春季第51回応用物理学関係連合講演会、講演予稿集 No.1、p. 280	

6. 別刷り（各1部を添付してください。コピーも可。）

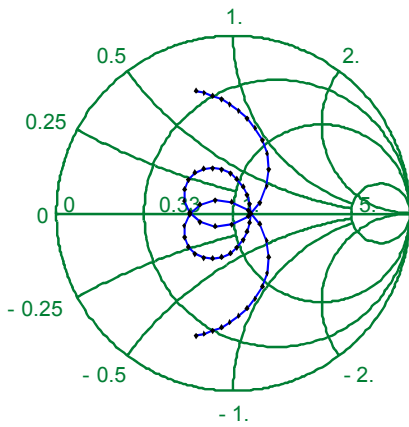


(a)

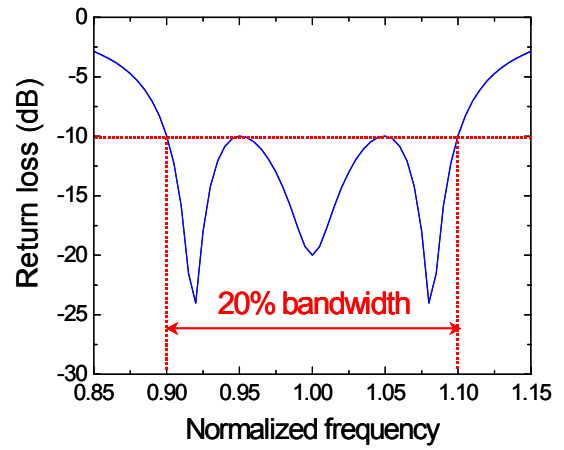


(b)

図 1.1 (a)半波長2接合同調回路の略図と(b)その簡易回路。



(a)



(b)

図 1.2 同調回路の(a)インピーダンス特性と(b)反射損失特性。スミスチャートは信号源インピーダンス $Z_S$ で規格化されている。周波数は中心周波数で規格化されている。

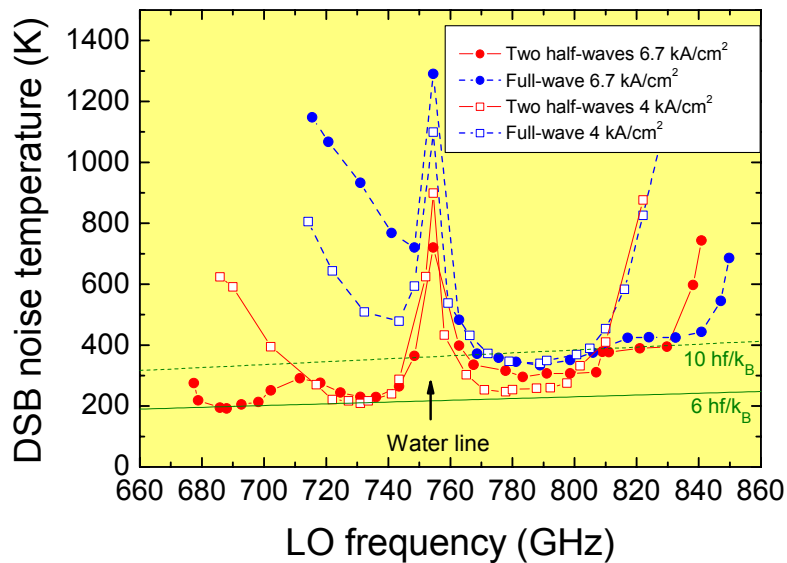


図 1.3 受信機雑音温度特性。半波長2接合同調回路は従来の同調回路より広帯域特性を示した。

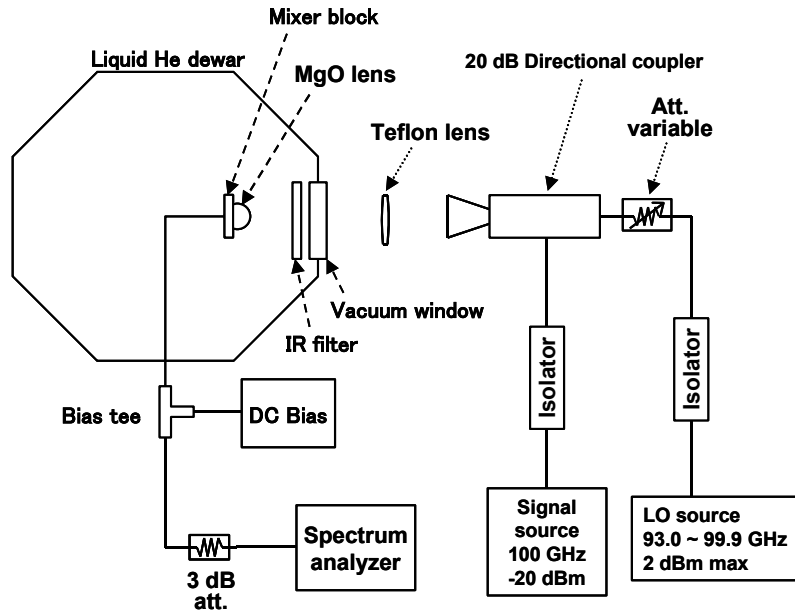


図 2.1 100 GHz 帯における IF 帯域幅測定系。

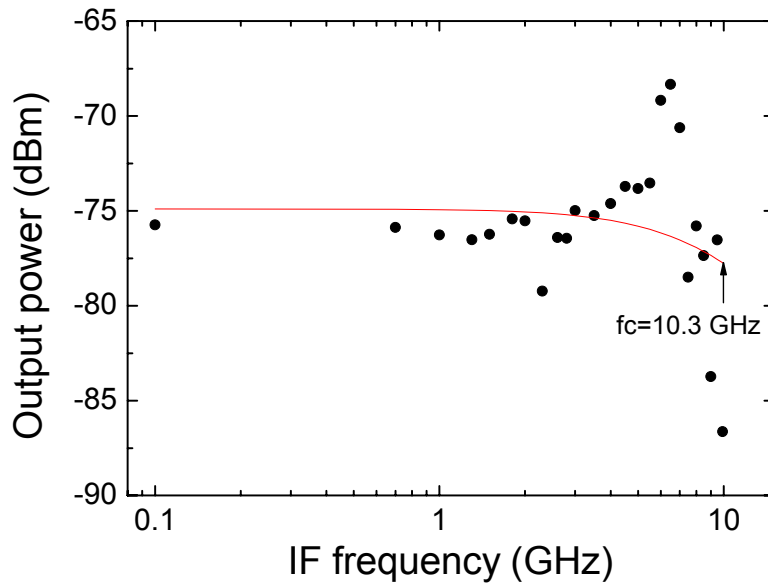


図 2.2 IF 帯域幅の測定結果。3-dB roll-off 周波数として 10.3 GHz が得られた。

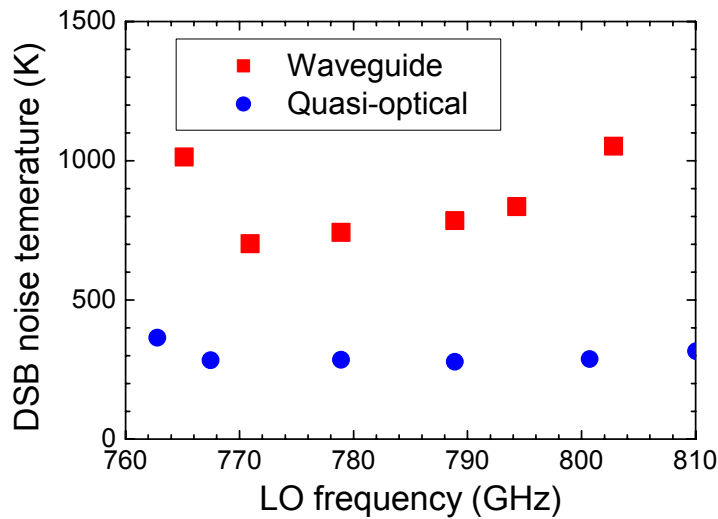


図 3.1 同一基板上に作製した導波管ミキサーチップと準光学ミキサーチップの性能比較結果。