

## 平成13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. エピタキシャルNbN/MgO/NbN膜を用いた分布定数型接合ミキサの作製と評価

優れたI-V特性による低雑音化を目指し、低電流密度でサブギャップリークのないII-V特性を持つ分布定数型NbN/MgO/NbN接合と低損失NbN/MgO/NbNストリップ線路を用いたTHz帯全窒化ニオブSISミキサの設計、作製、評価を行った。図1.1に作製したミキサ素子写真を示す。SIS接合は長さ15.5  $\mu\text{m}$ 、幅0.6  $\mu\text{m}$ であり、臨界電流密度は10  $\text{kA}/\text{cm}^2$ である。接合を準粒子トンネルによる損失抵抗を有するストリップ線路と考えると、1 THzで約3  $\Omega$ となり、十分に入力信号を消費できる。この線路の特性インピーダンスは約5  $\Omega$ であり、2段インピーダンス整合器でアンテナ給電部に結合する。このミキサ素子を、準光学的手法を用いた受信機で評価した結果、局部発振周波数670 GHzにおいて図1.2のような特性を得、Y-ファクター法により求まる受信機雑音温度は7 mV付近(1接合では3.5 mV)で340 K(DSB)と低雑音特性を示した。しかし図1.3の雑音温度周波数依存性が示すように徐々に上昇し820 GHzで700 Kを示した。これは接合とインピーダンス整合器の間の段差による弱結合部でRF損失があり、性能が劣化したものと考えられる。平坦化などで解決できる。

2. 対称X型光学系FTIRを用いたNbN薄膜の高精度超伝導特性評価

前年度開発した絶対反射率(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』を高精度化した。この装置をフーリエ変換赤外分光光度計中に組み込んで、MgO基板上的NbN薄膜試料のRとTの測定をした。これらのRとTの連立方程式を、複素光学電気伝導( $\sigma_{ac}$ )に関して解いて得られた常伝導状態の値( $\sigma_{n1}$ と $\sigma_{n2}$ )と超伝導状態の値( $\sigma_{s1}$ と $\sigma_{s2}$ )を、図2.1と図2.2にそれぞれ黒丸(実部)と白丸(虚部)で示す。今回作製された薄膜に関しては、常伝導状態(図2.1)では、 $\sigma_{n1} \cong \sigma_{n2} \cong 10^6$ で、さらに、超伝導状態(図2.2)では、超伝導ギャップ( $2\Delta$ )が $35.7\text{cm}^{-1}$ (1,125GHz)で、ギャップより十分大きいところでは $\sigma_{s1} \cong \sigma_{s2}$ であった。この結果 $2\Delta/k_B T_c$ は3.86を得て、従来報告されていた4以上の値と比べると、小さい。常伝導状態の実験結果(と)へのドルーデモデルのベストフィッティングの結果は、図2.1の実線(実部)と点線(虚部)であった。このとき得られた電子系の散乱確率( $1/\tau$ )は $1.6 \times 10^{13}$ であった。超伝導状態の実験結果(と)へのMattis-Bardeenモデルのベストフィッティングの結果は、図2.2の実線(実部)と点線(虚部)であった。 $2\Delta$ 以上の高波数側では、波数が大きくなるに従い $\sigma_{s1}$ も実線からずれるが、 $\sigma_{s2}$ はさらに大きく点線からずれてしまう。Mattis-Bardeenモデルはdirty limitであるために、散乱確率は十分大きいとしてその式には現れていない。一方、Zimmermannらによるモデル(Physica C 183(1991) 99 - 104)では、arbitrary purityのBCS超伝導体の光学電気伝導度をもとめている。ここでは、散乱確率が現れていて、今回は常伝導状態と同じ値( $1/\tau = 1.6 \times 10^{13}$ )であるとして計算した結果を図2.2に伝導度の実部を赤色の実線で、虚部を赤色の点線で表した。このモデルでは、散乱確率とギャップの比( $y = h/4\Delta$ )をパラメータとしている。Dirty limitの場合にはこのパラメータを500程度とすればよい。一方、高温超伝導体のようなclean limitでは、このパラメータを0.06程度とすればよい。図2のNbNの場合には、このパラメータは $y=5.3$ であった。この結果から、NbN超伝導体は、『弱結合に近い、中程度のpurityであるS波超伝導体である』ことがわかった。

3. 導波管ミキサの作製と新しい同調回路の提案

実際の導波管ミキサブロックを試作し(図3.1)、現在チップの作製、マウント技術の開発を行っている。また、低臨界電流密度で広帯域動作を目指した2つ半波長接合を用いた同調回路(図3.2)を提案し、理論的検討を行った(図3.3)。図から明らかのように従来の半分の臨界電流密度でALMA Band10をカバーできることが明らかになった。

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, S. Miki, Z. Wang, A. Kawakami, M. Kroug, P. Yagoubov, and E. Kollberg | Performance of a quasi-optical NbN hot-electron bolometric mixer at terahertz frequencies |
| 発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ   |   |
| Superconduct. Sci. Technol. , vol. 15, pp. 141-185, 2002                        |   |

| 著者名   | 論文標題  |
|---|---|
| Y. Uzawa, M. Takeda, A. Kawakami, and Z. Wang   | Design and analysis of a waveguide NbN-based SIS mixer using a tuning circuit with two half-wavelength distributed junctions for the 900-GHz band |
| 発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ   |   |
| Proceedings of the 13th International-Symposium on Space Terahertz Technology, Harvard University, Cambridge, MA, 26-28 March 2002. |   |

| 著者名  | 論文標題   |
|--|--|
| Y. Uzawa, Z. Wang, A. Kawakami, and S. Miki  | Characteristics of an all-NbN SIS mixer with a self-compensated NbN/AlN/NbN tunnel junction for the terahertz band |
| 発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ  |  |
| Extended abstracts of 8th International Superconductive Electronics Conference (ISEC 01), Osaka Sun Palace, Osaka, Japan, 19-22 June, 2001, pp. 73-74. |  |

| 著者名   | 論文標題   |
|---|--|
| Y. Uzawa, S. Miki, Z. Wang, A. Kawakami, M. Kroug, P. Yagoubov, and E. Kollberg   | Evaluation of NbN hot-electron bolometric mixer performance at terahertz frequencies |
| 発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ   |  |
| Extended abstracts of 8th International Superconductive Electronics Conference (ISEC 01), Osaka Sun Palace, Osaka, Japan, 19-22 June, 2001, pp. 525-526 |  |

| 著者名  | 論文標題                     |
|--|--------------------------|
| 鶴澤佳徳、武田正典、王鎮                               | SISトンネル接合を用いたインピーダンス整合回路 |
| 発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ                        |                          |
| 2002年春季第49回応用物理学関係連合講演会、講演予稿集 No.1, p. 275 |                          |

| 著者名  | 論文標題  |
|--|---|
| Y. Uzawa, M. Takeda, A. Kawakami, and Z. Wang                | A design and analysis of SIS mixers using two half-wavelength distributed junction tuning circuit |
| 発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ  |   |
| Submitted to Applied Superconductivity Conference 2002, 2ED9 |   |

| 著者名   | 論文標題   |
|---|--|
| M. Takeda, Y. Uzawa, A. Kawakami, and Z. Wang                 | 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   |  |
| Submitted to Applied Superconductivity Conference 2002, 2ED10 |  |

6. 別刷り (各1部を添付してください。コピーも可。)

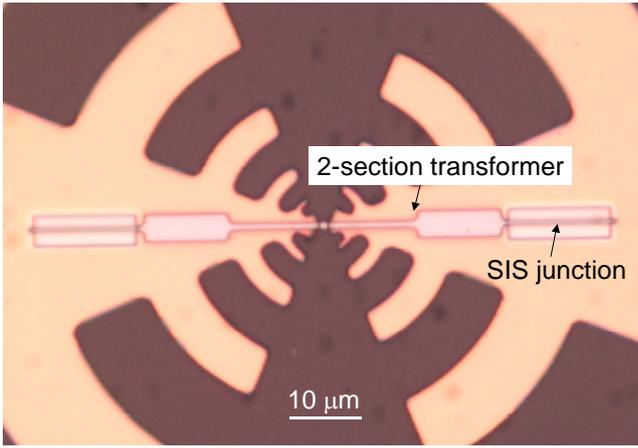


図1.1 素子写真

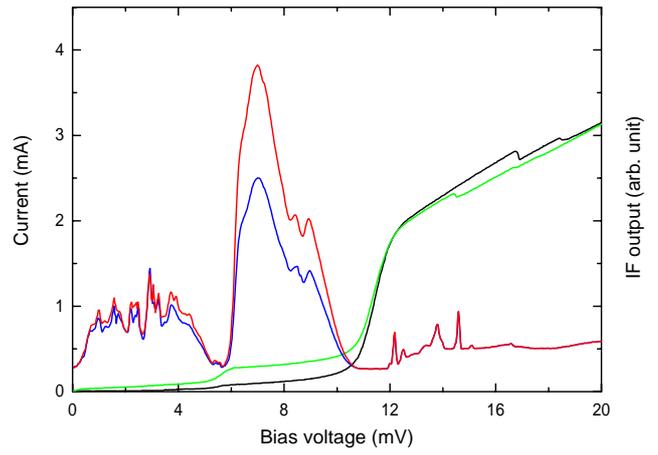


図1.2 全NbN SIS受信機のヘテロダイン応答特性

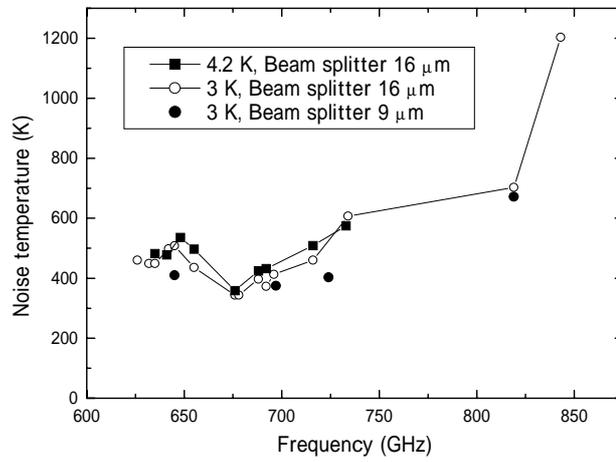


図1.3 SIS受信機雑音温度の周波数依存性

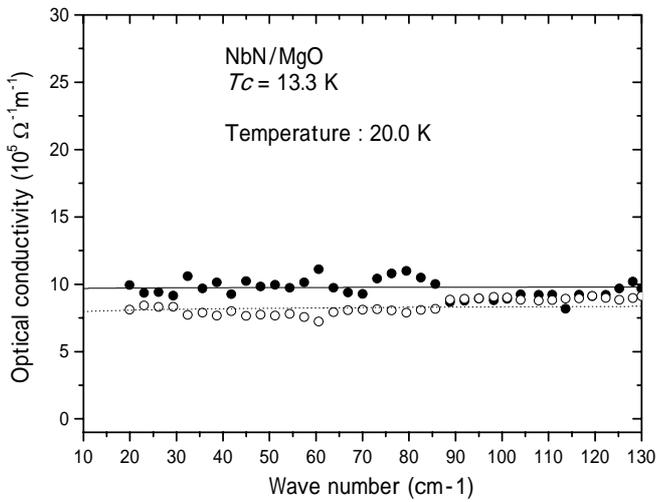


図2.1 常伝導状態の光学電気伝導度の実部( )と虚部( )。曲線はドルーデモデル。

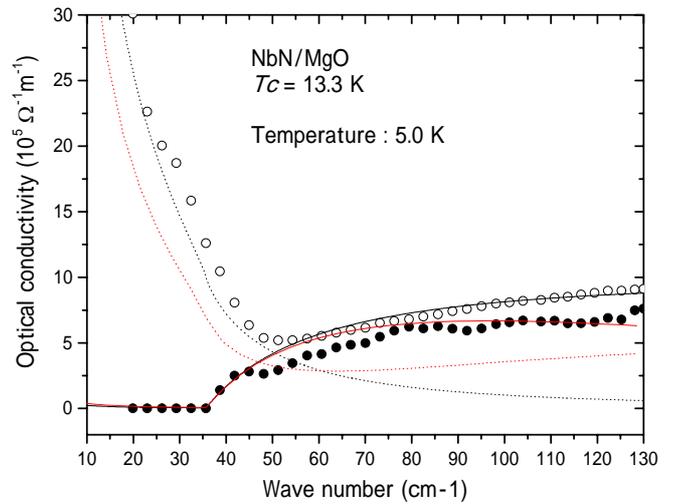


図2.2 超伝導状態の光学電気伝導度の実部( )と虚部( )。黒の曲線は Mattis-Bardeen モデル。赤の曲線は Zimmermann モデル。

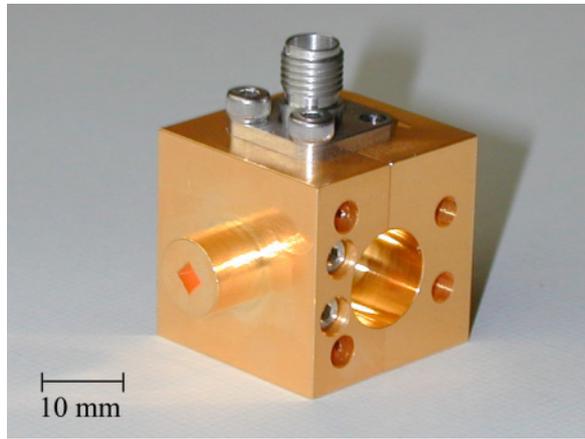


図 3.1 試作した導波管ミキサーブロック

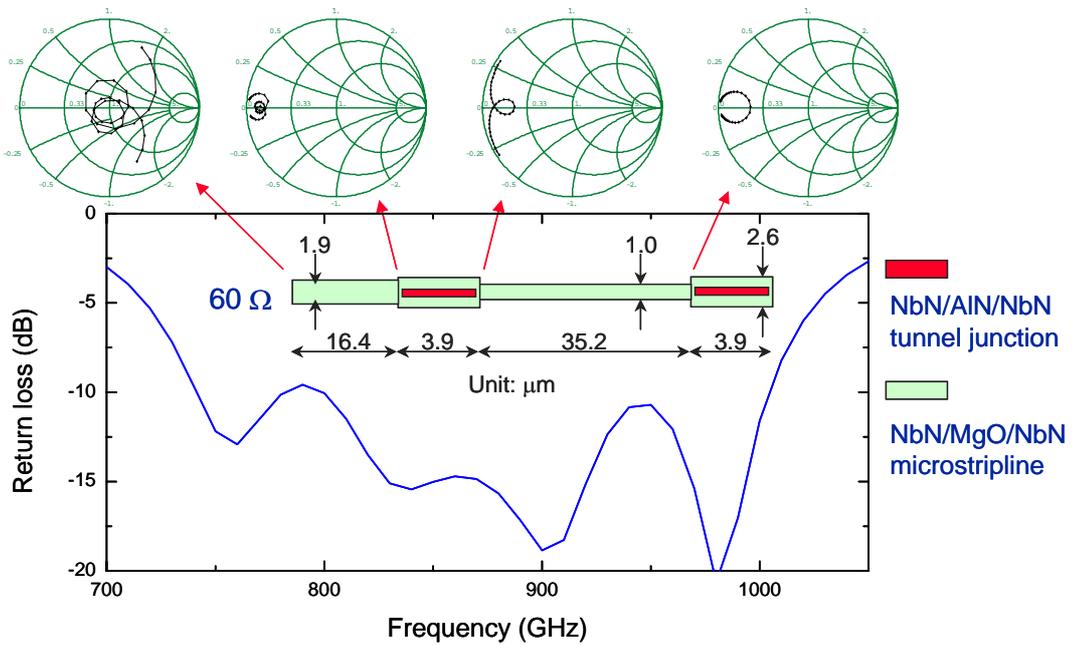


図 3.2 提案した同調回路のレイアウト、リターンロス特性、および各点におけるインピーダンス軌跡

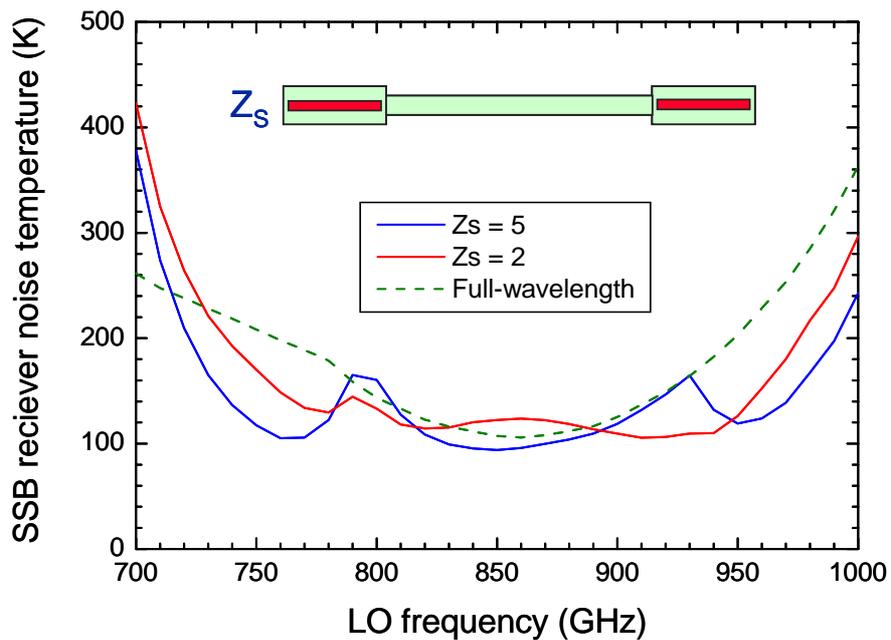


図 3.3 提案した同調回路の雑音温度シミュレーション結果。従来の方法（一波長）に比べ、大幅に帯域が広がっている。