

平成12年度 国立天文台LMSA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. 自己共振型NbN/AIN/NbN接合ミキサーの作製と評価

波長が極端に短いTHz帯では比較的長いNbNの磁場侵入長が同調回路を短くするため、接合を集中定数とする従来の回路設計手法の適用が困難なことなどの問題点があった。12年度では、MgO基板上にエピタキシャル成長したNbN/MgO/NbNストリップ線路と従来の同調回路と異なる自己共振型NbN/AIN/NbNトンネル接合を用いたTHz帯全窒化ニオブSISミキサーの設計、作製、評価を行った。

図1.1に作製したミキサー素子写真を示す。SIS接合は長さ2.4 μm 、幅0.8 μm の長方形であり、臨界電流密度は45 kA/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、 $\lambda/2$ となる周波数で自己共振するため、接合容量を同調できる。この同調回路の実部とアンテナインピーダンスをNbN(350 nm)/MgO (180 nm)/NbN(200 nm)の $\lambda/4$ トランスフォーマーで整合する。このミキサー素子を、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809 GHzにおいて図1.2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2.2 mV付近で584 K(DSB)と比較的低雑音特性を示した。図1.3の雑音温度周波数依存性が示すように780から960 GHzに渡って平坦かつ広帯域特性が得られ、本ミキサーはALMA・Band10用ミキサー素子として有望であることが示唆された。また、809 GHz付近で入力損失による雑音温度を評価した結果、およそ350 Kと大きく、導波管などの低入力損失光学系を用いれば、さらに低雑音動作するものと考えられる。

2. FTIRを用いたNbN薄膜における高周波特性の基板依存性評価

BCS理論もM-B理論も使わずに直接超伝導体薄膜の光学電気伝導度を決定するために、フーリエ変換赤外分光光度計を用いてサブテラヘルツ帯でこの薄膜の反射率(R)と透過率(T)の両方を一度に測定して、これらの連立方程式を解く方法(R-T法)を試みた。試料は4種類の基板(MgO、MgO上に200 nmのSiO厚膜、MgO上に200 nmのSiO₂厚膜、Si)上に、それぞれ41nmの厚さのNbN薄膜を積層した、NbN/MgO、NbN/SiO/MgO、NbN/SiO₂/MgOとNbN/Siである。直流電気伝導度の測定から得られた各試料のT_cを表1に示す。RとTの光学測定は、温度5 Kで行った。鏡面仕上げの試料では、エネルギー保存則からR+T+A(吸収率)=1の関係式が成り立つ。実測のRとTから”R+T“の周波数依存性の結果を図2.1に示す。各”R+T“スペクトルに現れているフリンジは、基板中での多重反射のためである。この測定では、600 GHz以上のデータの信頼性は高い。NbN/MgOとNbN/SiO/MgO試料では、R+T=1になる周波数が600 GHz以上の領域にある。一方、NbN/SiO₂/MgOとNbN/Si試料では、R+T<1で余分な吸収があることがわかる。

このRとTに関する連立方程式を解いて得られたそれぞれの試料の光学電気伝導度の実部を図2.2に示す。各電気伝導度の極小値が 2Δ を与える。この 2Δ の値も表1に示した。 $2\Delta/kBT_c$ の比は、NbN/MgOとNbN/SiO/MgO試料では、BCS理論の予想と近い結果を得たが、NbN/SiO₂/MgOとNbN/Siについては、 2Δ の大きさがBCS理論の予想の60%と小さく、これらの試料では超伝導状態でも実部が零になっていなく常伝導電子による光エネルギーの消費があることがわかった。さらにNbN/Siの光学電気伝導度の大きさは、他の3つの試料の伝導度の半分の大きさであった。

3. 導波管ミキサーの設計と基板研磨技術の開発

貴天文台の協力により800 GHz帯のミキサーの基本設計、および予備的なMgO基板研磨を行った。設計ではMgO基板厚を34 μm とし、現在これに向けた研磨技術の調査、開発を行っている。

なお購入物品はFTIRでの測定に必要な部品や試作費、Siレンズ、光学部品であり、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, S. Miki, and Z. Wang	Performance of all-NbN quasi-optical SIS mixers for the terahertz band
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 11, pp. 183-186, 2001	

著者名	論文標題
S. Miki, Y. Uzawa, A. Kawakami, and Z. Wang	IF bandwidth and noise temperature measurements of NbN HEB mixers on MgO substrates
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 11, pp. 175-178, 2001	

著者名	論文標題
Y. Uzawa, Z. Wang, A. Kawakami, and S. Miki	Performance of an all-NbN quasi-optical SIS mixers for the terahertz band
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
Proceeding of the 12th International-Symposium on Space Terahertz Technology, San Diego, CA, 14-16 February 2001.	

著者名	論文標題
E. Kawate, Z. Wang, and Y. Uzawa	Study of the effect of substrates on high-frequency properties of NbN thin films using a fourier transform infrared spectrometer
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
Submitted to 5th European Conference of Applied Superconductivity (EUCAS 2001)	

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	
Submitted to 8th International Superconductive Electronics Conference (ISEC 01)	

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	
Submitted to 8th International Superconductive Electronics Conference (ISEC 01)	

著者名	論文標題
鶴澤佳徳、王鎮、川上彰、三木茂人	テラヘルツ帯全窒化ニオブ SIS ミキサ－の特性評価
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
2001年春季第47回応用物理学関係連合講演会、講演予稿集 No.1、p. 289	

6. 別刷り（各1部を添付してください。コピーも可。）

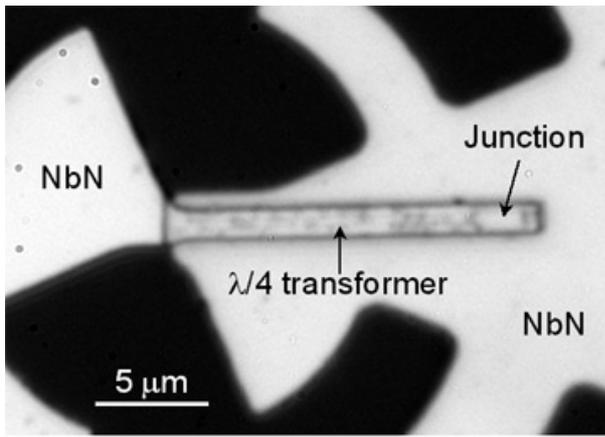


図1.1 素子写真

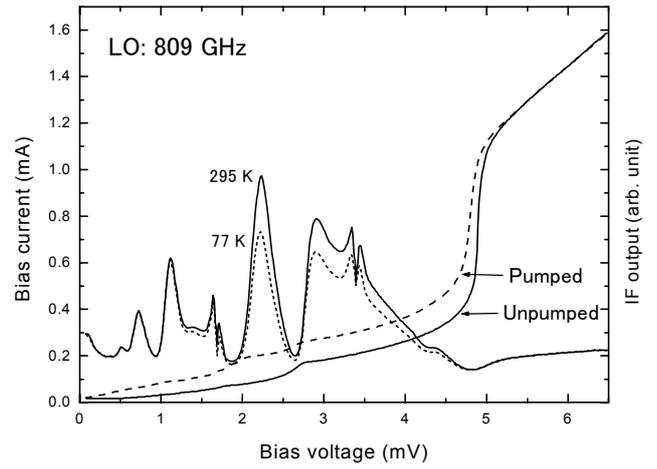


図1.2 全NbN SIS受信機のヘテロダイン応答特性

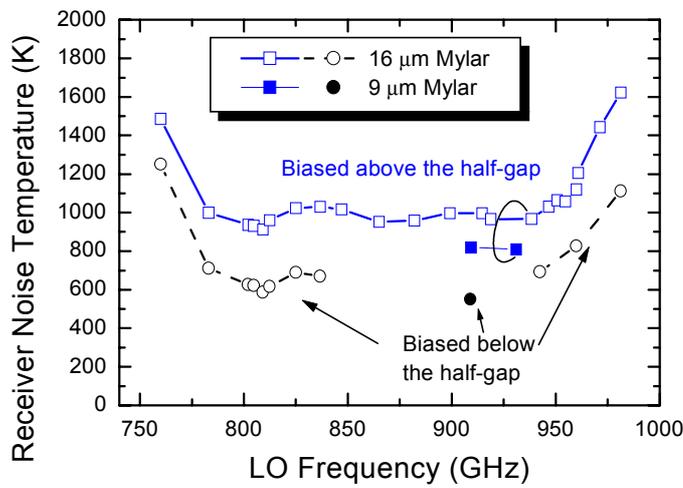


図1.3 SIS受信機雑音温度の周波数依存性

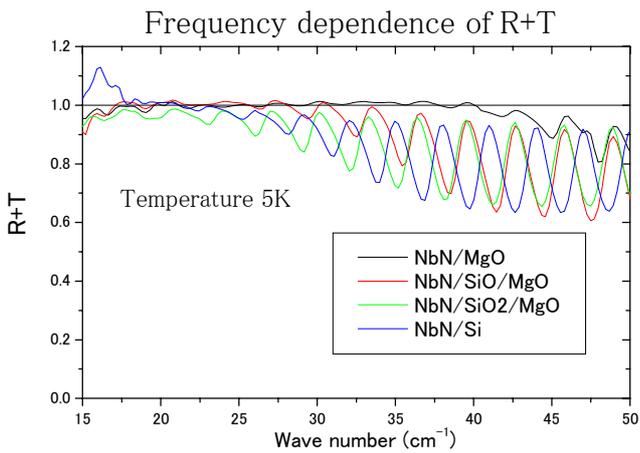


図3-1 反射率+透過率の周波数依存性

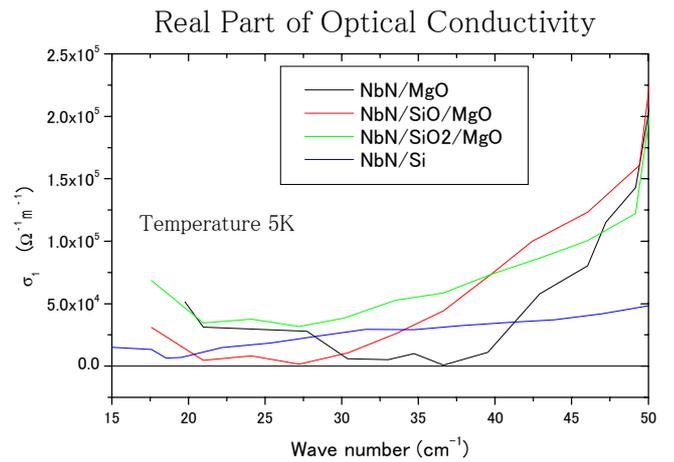


図3-2 光学電気伝導度の実部の周波数依存性

表1 各試料の超伝導特性

	NbN/MgO	NbN/SiO/MgO	NbN/SiO ₂ /MgO	NbN/Si
T _c (K)	14.3	11.5	12.8	11.6
2 (GHz)	1110	810	630	540
2 /kBT _c	3.73	3.38	2.36	2.23