

平成11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 郵政省通信総合研究所関西支所
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積層膜の作製

テラヘルツ帯で高感度SISミキサーを得るには、高品質なNbN薄膜で同調回路を構成することが重要であり、これがキーポイントとなる。11年度ではNbNがMgO上でヘテロエピタキシャル成長することに着目し、NbN/MgO/NbN多層膜の作製とその特性評価を行った。NbN/MgO/NbN多層膜はMgO(100)単結晶基板に形成した。ここでNbN薄膜はDC反応性スパッタ法により、またMgO薄膜はRFスパッタ法による1.3 nmのバッファ層を介して、Mgターゲットを用いたDC反応性スパッタ法により成膜した。図1-1(別紙)に多層膜上部NbN薄膜の臨界温度 T_c 、抵抗率(20 K) ρ_{20K} の層間MgO膜厚依存性を示す。層間のMgO膜厚に対して上部のNbN薄膜の T_c 、 ρ_{20K} に大きな変化はなく、 $T_c = 15.7$ K、 $\rho_{20K} = 60 \mu\Omega\text{cm}$ と良好な結果を得た。次にこの多層膜を用いたOpen-stubを有するNbN/MgO/NbN SIS接合を作製した。図1-2に電流 - 電圧特性を示す。Open-stubを構成するマイクロストリップ線路の長さは1mmで、誘電体MgOの膜厚は180nmである。NbNのギャップ周波数に相当する約2.7 mV(1.3 THz)までOpen-stubによる明瞭な電流ステップが観測された。これはストリップ線路が1.3 THzまで低損失に動作することを示している。

導波管への応用を考えた場合、広く用いられている水晶などの他の基板上に高品質なNbN薄膜を成膜することが望ましく、現在検討中である。その高周波特性の測定には、FTIRを用いる方法があり、薄膜における光の透過・反射特性から表面抵抗を求めることが可能である。この評価装置を現在準備中である。

2. テラヘルツ帯全窒化ニオブ準光学SISミキサーの作製と評価

先に述べたNbN/MgO/NbN同調回路とNbN/AlN/NbNトンネル接合を用いた全窒化ニオブミキサーの設計、作製、評価を行った。単純なOpen-stubを有するミキサーのヘテロダイン応答特性(図2-1)と雑音温度の周波数特性(図2-2)を示す。最小雑音温度は900 GHz近傍で約960 Kと大きく、アンテナから接合に電磁波が効率よく伝送されていないことが予想される。この原因として、一つはミキサーでのデバイス作製プロセスがまだ十分確立していないこと、もう一つは接合に電磁波が結合しにくい構造であることが挙げられる。現在、作製プロセスの確立および共振型接合の設計を行っている。

3. テラヘルツ帯窒化ニオブホットエレクトロンボロメーターの特性評価

Chalmers工科大学と共同で窒化ニオブを用いた準光学ホットエレクトロンボロメーターミキサーの開発を行っている。厚さ約3 nm、長さ0.4 μm 、幅4 μm のNbNボロメーターと金のスパイラルアンテナをSi基板上に作製した。図3-1にLOが917 GHzの時のヘテロダイン応答特性を示す。IFは1.25-1.75 GHzである。雑音温度は約550 Kと非常に低くSISミキサーに迫る高性能である。図3-2に雑音温度の周波数依存性を示す。ビームスプリッターなどの光学系は大気中に置かれており、1100 GHz付近のピークは水蒸気の吸収によるものと考えられる。2.52 THzにおいても2300 Kと低く、広帯域特性を示している。現在NbN薄膜の改善を行っており、低雑音化および広IF帯域化を目指している。

なお購入物品はFTIRでの測定に用いるSiボロメータ、MgO基板、Si基板、マスクであり、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, Z. Wang, and A. Kawakami	Characteristics of quasi-optical SIS mixer with NbN/AlN/NbN tunnel junctions in the terahertz band
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
1999 IEEE Seventh International Conference on Terahertz Electronics Proceedings, pp233-236, November 25-26,1999, in Nara, Japan.	

著者名	論文標題
Z. Wang, Y. Uzawa, and A. Kawakami	Development of low-noise terahertz SIS mixers with high current density NbN/AlN/NbN tunnel junctions (invited paper)
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
IEICE Trans. Electron., Vol. E83-C, pp. 27-33 (2000)	

著者名	論文標題
川上彰, 三木茂人, 王鎮	THz 帯デバイス用エピタキシャル NbN/MgO/NbN 積層膜の作製
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
2000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. 253	

著者名	論文標題
S. Miki, Y. Uzawa, A. Kawakami, Z. Wang, and N. Kaya	NbN phonon-cooled hot-electron bolometers prepared on MgO substrates
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
1999 IEEE Seventh International Conference on Terahertz Electronics Proceedings, pp237-240, November 25-26,1999, in Nara, Japan	

著者名	論文標題
Z. Wang, H. Terai, A. Kawakami, and Y. Uzawa	Characterization of NbN/AlN/NbN tunnel junctions
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
IEEE Trans. Applied Supercond. Vol. 9, No.2, pp. 3259-3262 (1999)	

著者名	論文標題
Z. Wang, H. Terai, A. Kawakami, and Y. Uzawa	Interface and tunneling barrier heights of NbN/AlN/NbN tunnel junctions
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
Appl. Phys. Lett., Vol. 75, No. 5, pp. 701-703 (1999)	

著者名	論文標題
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	

6. 別刷り（各1部を添付してください。コピーも可。）

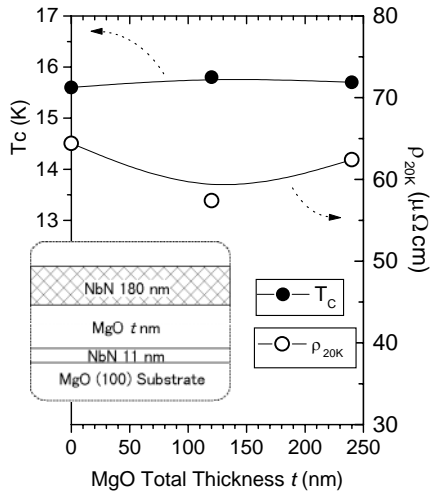


図1-1 NbN薄膜のMgO層間絶縁膜膜厚依存性

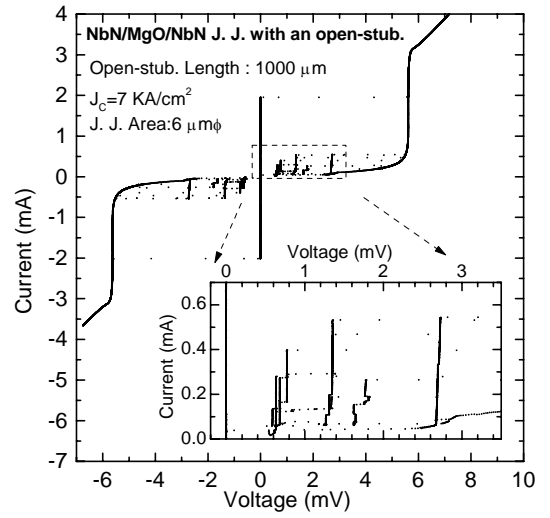


図1-2 Open-stubによる電流ステップ

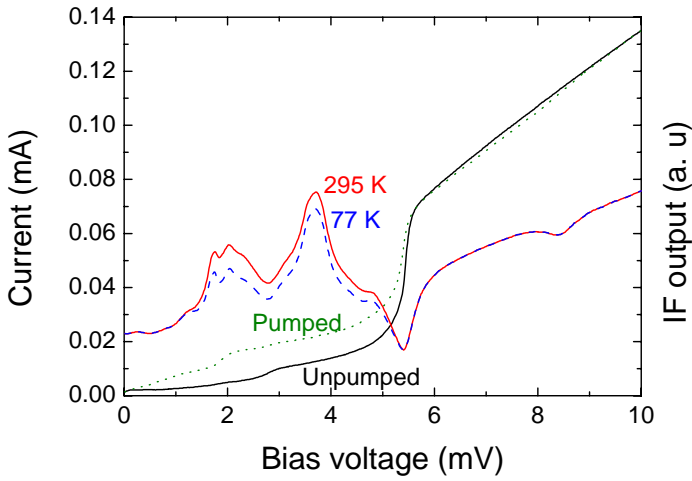


図2-1 全NbN SIS受信機のヘテロダイン応答特性

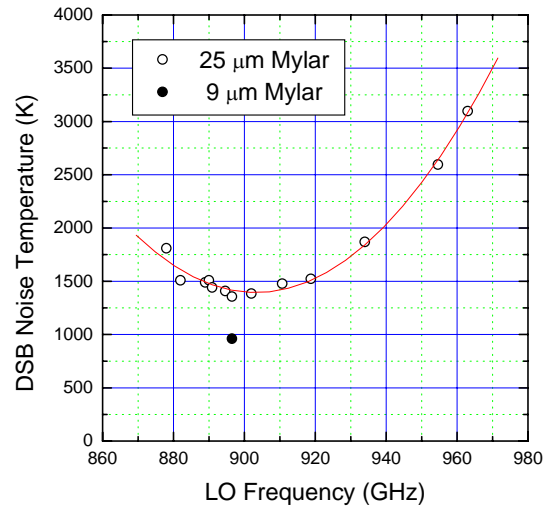


図2-2 SIS受信機雑音温度の周波数依存性

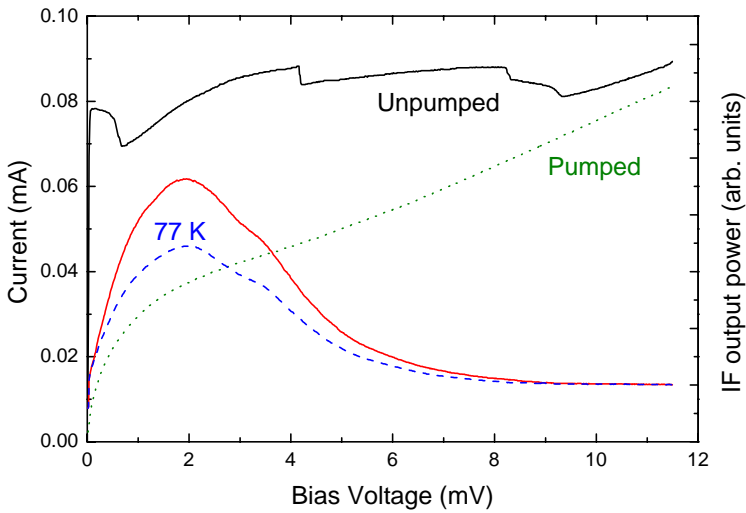


図3-1 NbN HEB受信機のヘテロダイン応答特性

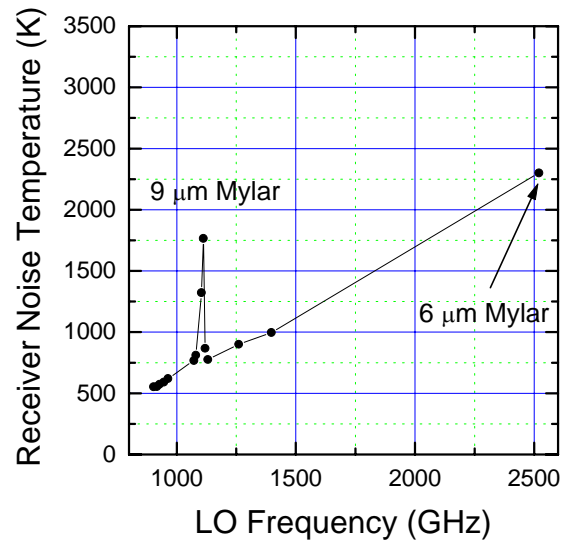


図3-2 HEB受信機雑音温度の周波数依存性