

平成16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 ASTE搭載用800-GHz帯窒化ニオブ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、ALMA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. NbN接合における多重アンドレーフ反射の観測

我々の開発しているNbN SIS接合のI-V特性上には通常の準粒子トンネル電流に加え、 $2\Delta/2e$, $2\Delta/3e$ 等の電圧位置で電流ステップが観測されている。ミキサへの応用上、この余剰トンネル電流特性を明らかにすることは重要である。そこで接合からのショット雑音の解析と、サブミリ波照射による接合の応答特性を測定することによって、接合障壁でのトンネル過程について詳細に調べた。電流密度 6.8 kA/cm^2 の高品質なNbN/MgO/NbN接合を用い、サブミリ波帯で広帯域応答するよう $0.6 \times 10 \text{ }\mu\text{m}^2$ の分布定数型接合とした。図1.1にショット雑音測定から求めたトンネル電流における有効電荷の電圧依存性を示す。多重アンドレーフ反射による特徴的な $1+2\Delta/eV$ の依存性を示し、更にステップ関数的な特性を示した。図1.2に625 GHzの電磁波照射における接合のI-V特性を示す。通常の電圧幅 hf/e の光子誘起トンネルステップ(PAT)に加えて、 $2\Delta/2e$ の電圧の上下に $hf/2e$ の電圧幅を有する新しいPATを明瞭に観測した。図1.3のように、このPATの電圧幅は600~800 GHzの観測周波数範囲で $hf/2e$ を示した。これらは低透過確率接合における多重アンドレーフ反射あるいは多粒子トンネリング理論からの結果と良く一致する。応用の際、この新しい量子効果を含めた動作解析などが今後必要と考える。

2. ASTE用ミキサの設計

NbN接合には上述のようなミキサ動作に未解明な部分がある他、全NbNミキサにおいて未だ900GHz帯で高性能な特性が得られていないことから設計の変更を行った。現時点で最も有望なミキサとして、低損失エピタキシャルNbN薄膜、高品質なNb/AlO_x/Nb接合、そして高純度なAl薄膜を用いる。すでにAl/SiO₂/NbNマイクロストリップ線路を過去に提案し、その低損失性を実証した実績があるため、ASTEの周波数帯で問題なく動作すると考えられる。Nb接合についても他の研究機関で1.2 THz程度まで低雑音動作を確認しており、また臨界電流密度の制御も容易である。例えば、図2.1のような臨界電流密度 10 kA/cm^2 程度のNb接合およびAl/SiO₂/NbNマイクロストリップ線路を用いてミキサ回路を設計した場合、図2.2のようにミキサ給電部から入った電力の約70%をASTEの周波数帯でSIS接合に結合できると考えられる。従ってミキサ素子での伝送損失は約1.5 dB程度と小さく、既存技術で十分に低雑音動作が期待できる。現在作製プロセスの開発を進めている。

3. 導波管信号入力系のスケールモデル実験

導波管型ミキサでは素子作製、マウント技術をほぼ確立したが、未だ良好な受信機性能が得られていない。これまでの実験結果から同調回路よりも信号入力系に問題があると考え、スケールモデルによる信号入力系の評価を行った。ALMAバンド10の開発も視野に入れ、その周波数帯の設計の180倍スケールを作製し(図3.1)、ネットワークアナライザを用いて評価を行った。入力ポートはフルハイトの導波管であり、テーパ導波管を用いて1/2の高さの導波管に変換し、ミキサ基板を置く。ミキサ基板は、MgOと同じ誘電率($\epsilon_r=9.8$)の材料を用いており、給電部に直径0.86mmの同軸ケーブルを半田付けし(図3.2)、これを出力ポートとした。図3.3に、測定した反射特性と透過特性を示すと共にHFSSで計算した結果を示す。理論とほぼ同様の特性が得られていることから少なくとも導波管設計に問題がないことが証明された。今後、ホーンからフルハイトへの変換方法や導波管作製精度(表面粗さ)などによる性能への影響を検討する。なお購入物品は導波管スケールモデルや導波管ミキサの試作費であり、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, Z. Wang, and T. Noguchi	Design consideration for a two-distributed-junction tuning circuit
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
International Journal of Infrared and Millimeter Waves, vol. 26, pp. 41-55, 2005.	

著者名	論文標題
Y. Uzawa, M. Takeda, A. Kawakami, and Z. Wang	Subharmonic photon-assisted tunneling effect in superconducting NbN tunnel junctions
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 15, pp. 216-219, 2005.	

著者名	論文標題
Y. Uzawa and Z. Wang	Coherent Multiple Charge Transfer in a Superconducting NbN Tunnel Junction
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
Phys. Rev. Lett., vol. 95, pp. 017002-1-4, 2005	

著者名	論文標題
川上彰, 鶴澤佳徳, 王鎮	窒化ニオブによるサブミリ波受信器の開発
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
電子情報通信学会和文論文誌C, vol. J87-C, No.7, pp.549-556, 2004	

著者名	論文標題
A. Kawakami, Y. Uzawa, and Z. Wang	Frequency dependence of penetration depth for epitaxial NbN thin films at 0.1-1.1 THz
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
Physica C, vol. 412-414, pp.1455-1458, 2004	

著者名	論文標題
S. Kohjiro, S. Shitov, Z. Wang, Y. Uzawa, S. Miki, A. Kawakami, and A. Shoji	Wide-band operation of quasi-optical distributed superconductor/insulator/superconductor mixers with epitaxial NbN/AlN/NbN junctions
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
Supercond. Sci. Technol., vol. 17, pp. S295-S300 (2004).	

著者名	論文標題
H. Kataoka, A. Kawakami, Y. Uzawa, Z. Wang, N. Kaya,	Fabrication of NbN-HEB mixers with fluoride radical etching Process
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 15, pp. 469-472, 2005.	

著者名	論文標題
Y. Uzawa, M. Takeda, A. Kawakami, and 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	
Proceedings of 15 th International Symposium of Space Terahertz Technology, pp. 189-195, Northampton, MA, April 27-29, 2004.	

著者名	論文標題
M. Takeda, Y. Uzawa, A. Kawakami, Z. Wang, and T. Noguchi	Waveguide-type all-NbN SIS mixers on MgO substrates
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
Proceedings of 15 th International Symposium of Space Terahertz Technology, pp. 84-90, Northampton, MA, April 27-29, 2004.	

著者名	論文標題
鶴澤佳徳、武田正典、川上彰、王鎮	窒化ニオブ SIS 接合におけるサブハーモニック光誘起トンネル効果
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
2004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. 177	

著者名	論文標題
片岡裕典、川上彰、鶴澤佳徳、王鎮、賀谷信幸	フッ素ラジカルエッチング法を用いて作製した NbN-HEB の特性評価
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
2004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. 216	

著者名	論文標題
王鎮、鶴澤佳徳、武田正典、川上彰	窒化ニオブトンネル接合を用いたテラヘルツ帯 SIS ミクス
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
電子情報通信学会 2005 年総合大会講演論文集、エレクトロニクスシンポジウム、pp. S9-S10.	

著者名	論文標題
鶴澤佳徳、武田正典、川上彰、王鎮	窒化ニオブ SIS 接合におけるショット雑音特性
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
2005年春季第52回応用物理学関係連合講演会、講演予稿集 No.1、p. 279	

著者名	論文標題
川上彰、片岡裕典、鶴澤佳徳、王鎮、賀谷信幸	フッ素ラジカルエッチング法による NbN-HEB の作成と評価
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
2005年春季第52回応用物理学関係連合講演会、講演予稿集 No.1、p. 306	

著者名	論文標題
鶴澤佳徳、武田正典、川上彰、王鎮	サブハーモニックギャップ構造による NbN トンネル接合バリア特性評価
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
2005年秋季第65回応用物理学学会学術講演会発表予定(徳島大学、徳島県)	

著者名	論文標題
Y. Uzawa and Z. Wang	Characterization of tunneling barriers in superconducting NbN junctions with subharmonic gap structures
発行年、雑誌・研究会名、巻・号、ページ	
To be presented at 7 th European Conference of Applied Superconductivity (Vienna, Austria)	

6. 別刷り(各1部を添付してください。コピーも可。)

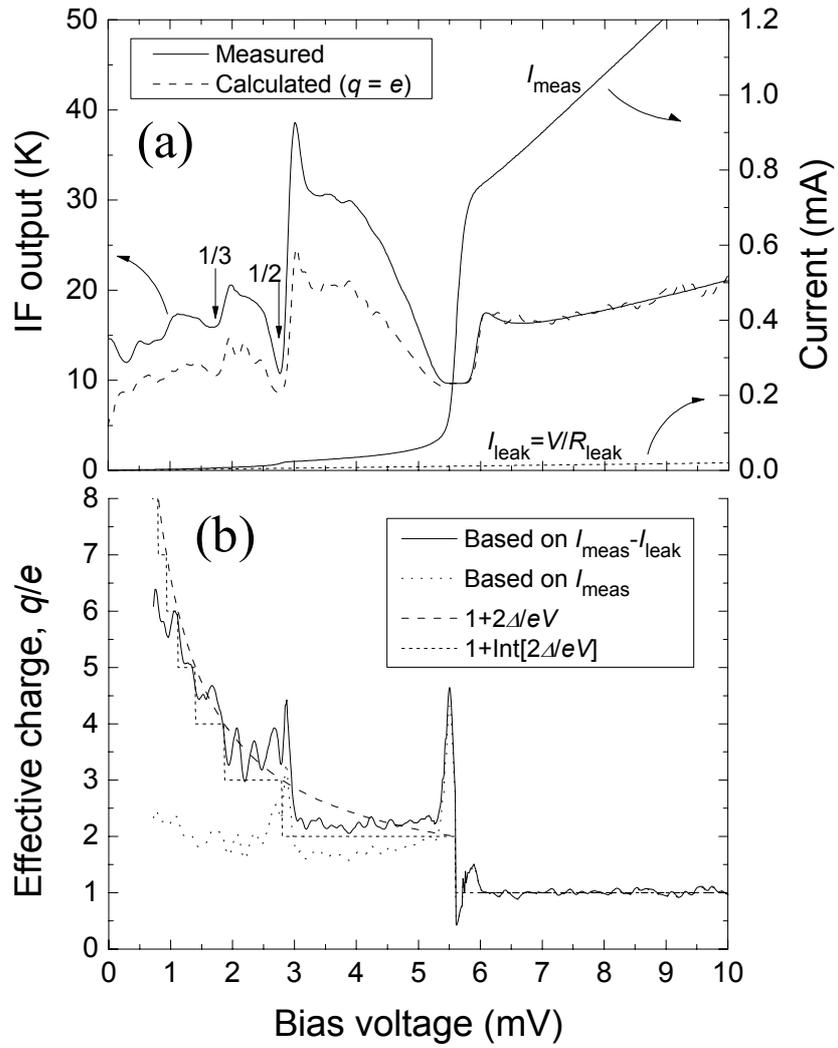


図1.1 (a)NbN接合のI-V特性とIF出力特性 (b)算出したトンネル電流の有効電荷数。

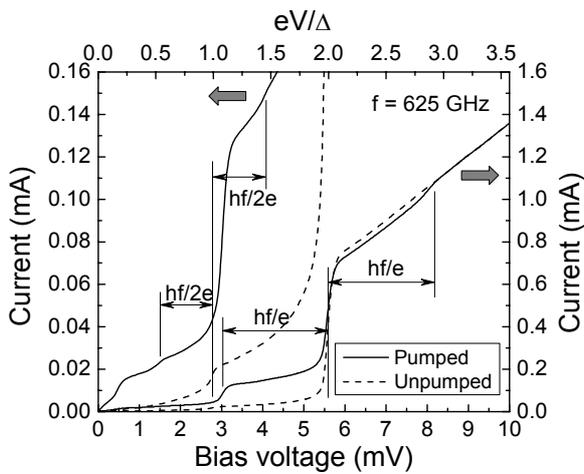


図 1.2 観測した $hf/2e$ の電圧幅を持つ新しいステップ

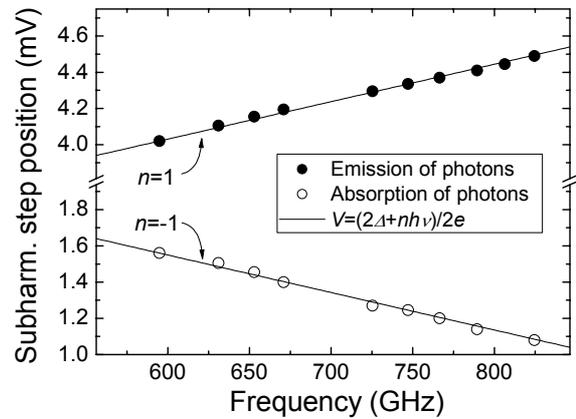
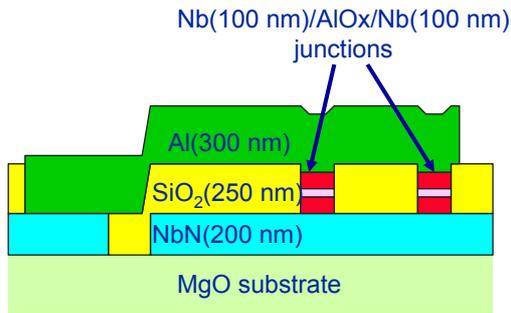


図 1.3 サブハーモニックステップ電圧位置の周波数依存性



Junction parameters
 Current density: 10 kA/cm²
 Specific capacitance: 85 fF/μm²
 Size: 0.9 μmφ

図 2.2 ミキサー素子構造

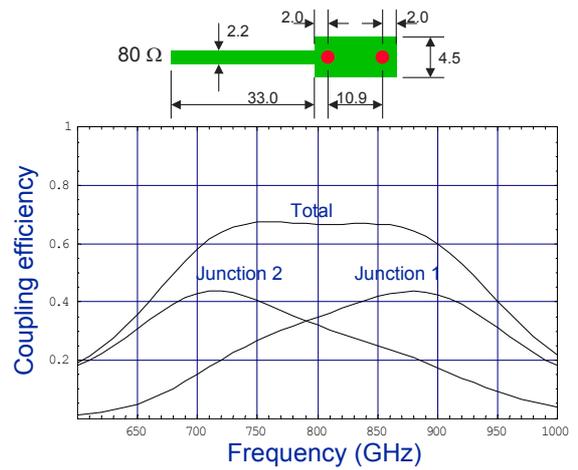


図 2.2 給電点から接合への電力結合効率

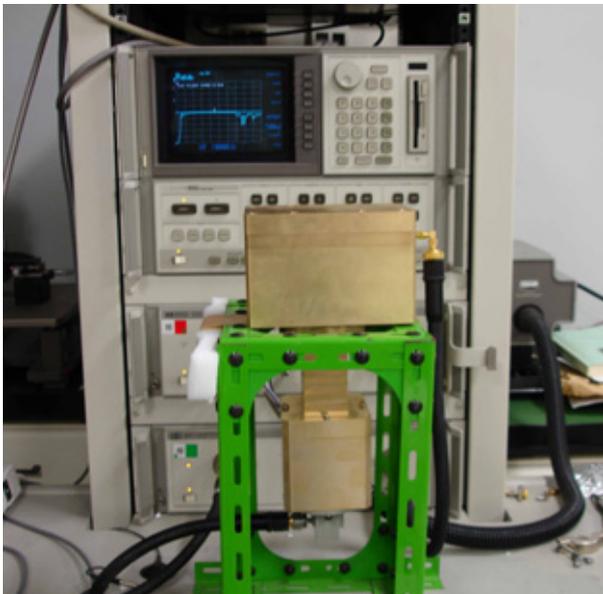
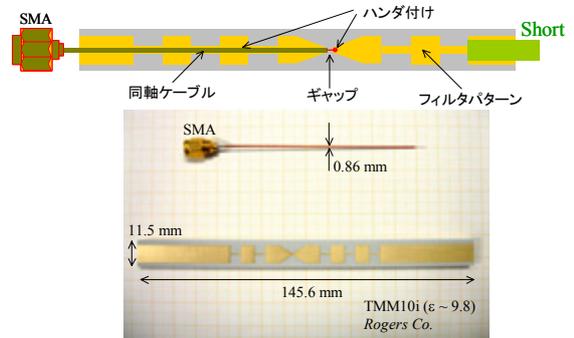


図 3.1 作製した導波管スケールモデル



測定周波数バンド

3.95 – 5.85 GHz
 (WR-187)

➡ 180倍スケール

図 3.2 スケールモデルに用いた基板と構造

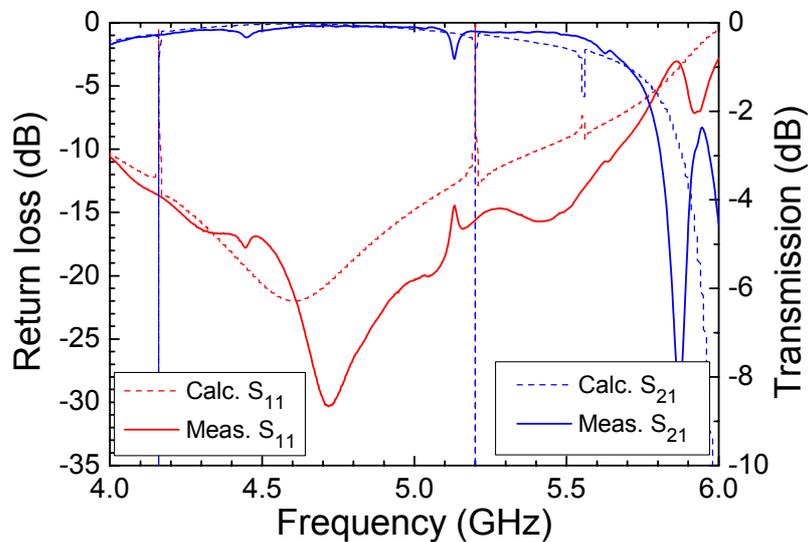


図 3.3 反射損失特性と透過特性の測定結果及び計算値