

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：62616

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02205

研究課題名(和文) 準粒子ミキサの量子効果による周波数変換利得を用いたマイクロ波低雑音増幅器の研究

研究課題名(英文) Study on a low-noise microwave amplifier based on frequency conversion gain of quasiparticle mixers

研究代表者

小嶋 崇文 (Kojima, Takafumi)

国立天文台・先端技術センター・准教授

研究者番号：00617417

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ミリ波サブミリ波帯において超高感度ヘテロダイン受信機に用いられてきたSIS(超伝導体-絶縁体-超伝導体)ミキサを用いた新しい原理の超伝導マイクロ波増幅器を対象としている。HEMT等に代表される従来の冷却低雑音増幅器と比較し、その有用性を明らかにするとともに、汎用性の高い超伝導増幅器の実現を目指して研究を実施した。最終的に、5 GHz以下の周波数帯において、マイクロワットレベルの消費電力で11Kの低雑音性能を実証することができた。また、当初想定していなかった、振幅や位相の非相互性も発見し、2つのSISミキサを用いた回路構成の発展性や応用可能性について有望な結果を見出すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では低消費電力かつ低雑音で動作するマイクロ波増幅器を実証するとともに、巧みな位相制御により、増幅特性を単方向化することも可能であることを見出した。これにより、本回路構成に基づく増幅器が汎用的特性を有することを明らかにすることができた。本成果に基づき、2023年3月記者発表を行い、新聞やWeb等の複数のメディアに取り上げられた。今後、半導体増幅器の置き換えを目指して、実践的な開発研究を加速することにより、アレイ化が必要とされる電波天文分野や、量子ビット数増加で同様の課題を有する超伝導量子コンピュータ分野への貢献も期待される。

研究成果の概要(英文)：This study focuses on a novel superconducting microwave amplifier based on superconductor-insulator-superconductor (SIS) mixers, which have been used for ultra-sensitive heterodyne receivers in the millimeter/submillimeter-wave band. This study aimed to develop a highly versatile low-noise microwave amplifier and to compare its usefulness with a conventional one such as a HEMT. Finally, we could demonstrate the low-noise performance of about 10 K below 5 GHz with low power consumption at a microwatt level. We also discovered non-reciprocities in amplitude and phase, and show promising results to open potential applications of this configuration based on two SIS mixers.

研究分野：超伝導高周波エレクトロニクス

キーワード：超伝導 低雑音増幅器 マイクロ波 量子雑音限界 SISミキサ 冷却型増幅器

1. 研究開始当初の背景

日米欧の国際プロジェクトであるアルマ望遠鏡(Atacama Large Millimeter/submillimeter Array)に代表されるように、ミリ波・サブミリ波帯電波望遠鏡には、SIS(超伝導体-絶縁体-超伝導体)ミキサを用いたヘテロダイン受信機が搭載されている。その受信機の低雑音性能は物理学的限界に近づいていることから、現在、観測効率を向上するためにアレイ化に向けた技術開発が進められている。ヘテロダイン受信機には中間周波数(IF)信号の増幅に冷却型半導体増幅器を使用してきたが、その消費電力は mW オーダである。現在使用されている 4 K 冷凍機では、冷却能力はおおむね 1W 程度であることから、低雑音受信システムに対して 100 以上のアレイ化は困難であると考えられる。一方で、半導体増幅器については 1 桁以上の消費電力の低減は難しいと予想される。

こうした背景により、申請者らは SIS ミキサを増幅素子として利用したマイクロ波低雑音増幅器を考案した。本方式では SIS ミキサを少なくとも 2 つ用いる。1 つ目はミリ波の局部発信(LO)電力を用いてマイクロ波信号を周波数アップコンバージョンし、2 つ目はこの信号を同じ周波数の LO 電力でダウンコンバージョンする。この結果、入出力信号は同一周波数となり、両コンバータにおいて周波数変換利得が得られれば、極めて単純なマイクロ波増幅器となり得るという原理である。本方式では、 μW オーダの消費電力で動作し、原理的に広帯域・高利得・低雑音で動作する可能性がある。したがって、従来の半導体増幅器に比べて冷凍機負荷が著しく低減され、汎用性を兼ね備えた増幅器となる可能性を有している。

2. 研究の目的

申請時点で、予備実験により新規増幅器の原理を実証していたが、系統的な動作理解には至っていなかった。そこで、本研究では、バイアス条件や回路の構成など、どのような条件で動作させると性能を引き出すことができ、どの程度の性能を達成可能なのかを実験的に検証した。それにより、従来の低雑音増幅器と比較した場合の有用性を明らかにすることを目的として研究を実施した。

3. 研究の方法

本研究では、SIS ミキサと RF(Radio Frequency)信号/LO 電力用カプラをそれぞれ 2 つ用意し、SIS 増幅器を構成した。実験では、国立天文台野辺山宇宙電波観測所の FOREST に使われている 100 GHz 帯 SIS ミキサを用いた[1]。また、SIS 増幅器の評価には、冷却低雑音増幅器の標準的な評価手法である Cold Attenuator 法を適用し、マイクロ波帯標準雑音源、減衰器、バイアス T、冷却型前置増幅器を準備した。また、利得や雑音温度の測定には、ネットワークアナライザおよび雑音指数アナライザ等の測定器を用いて評価系を構築し、マイクロ波基本特性(S パラメータ、雑音温度、線形性、それらの周波数特性、消費電力)を測定した。

本増幅器構成では SIS ミキサ間の接続に注意が必要である。それらの間を直接伝送線路で接続すると、SIS ミキサ間のインピーダンス不整合によりリップルが生じ、狭帯域動作することが本研究により判明している。一方、それを改善するために、図 1 の回路 A に減衰器を挿入すると利得及び雑音性能が劣化する。そこで本研究では冷却型ミリ波アイソレータを入手し、2 つの SIS ミキサの回路 A に挿入して増幅器を構成して特性評価した。

[1] T. Minamidani, et al., Proc. of SPIE, Vol. 9914, 99141Z (2016).

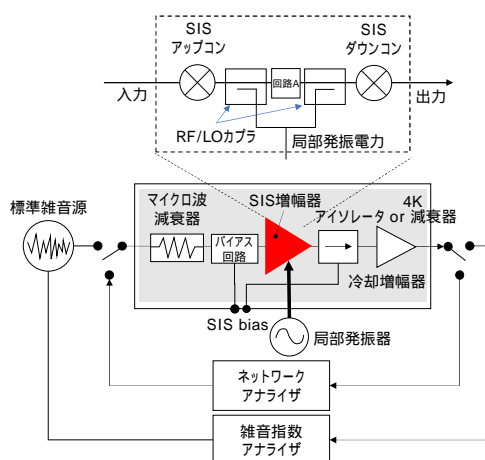


図 1 増幅器構成と構築した測定系

4. 研究成果

図1の増幅器構成において理論検討を実施したところ、2つのSISミキサに入力するLO電力の位相差を φ_2 とすると、下記の式にしたがって利得が変化することを見出した。

$$G = |A^{USB} \exp(j(\varphi_1^{USB} - \varphi_2)) + A^{LSB} \exp(-j(\varphi_1^{LSB} - \varphi_2))|^2$$

ここで、 A はアップコンバータ利得 G_{UP} とダウンコンバータ利得 G_{Down} の積の平方根、 φ_1 はSISミキサ間の伝送路上に現れるアップコンバージョンされた信号の位相遅延量である。このことから、 $\varphi_1 - \varphi_2 = n\pi$ (n は実数)のときに G は最大値をとり、 φ_2 の制御によって増幅器利得が最大化できることがわかる。そこで、図1で示す測定系の局部発振器系のうち、アップコンバータ側のLO系にミリ波帯可変移相器を導入した。図2は、LO周波数87.5GHzにおいて、ミリ波移相器の位相変化に対する増幅器利得の測定結果である。グラフ中の色の違いは異なる信号周波数を示す。増幅器利得の位相に対して利得が変化し、最大値・最小値

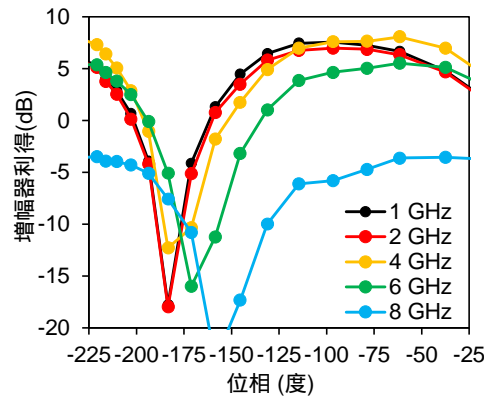


図2 移相器の位相変化に対する増幅器利得の変化

が現れることがわかる。信号周波数が高くなるにつれて、利得が最小となる位相が高いほうにシフトしているが、これはミキサ間の導波管の伝搬特性に位相の周波数分散があるためである。以上の増幅器利得の振る舞いは上式に基づく予測とよく一致する。

次に、図2において最大利得が得られる位相に設定し、利得および雑音温度を測定した。SISアップコンバータおよびダウンコンバータは、増幅器の雑音温度が最小となるバイアス電圧・電流に設定した。特性評価を実施したところ、信号周波数5GHz以下で典型的に利得6-8dB、雑音温度11Kと、比較的広帯域な低雑音増幅特性を得た(図3)。また、ネットワークアナライザを用いて、測定の範囲内において妥当な利得線形性が得られることも確認した。信号周波数1GHzにおいて増幅器動作をブレークダウンすると、SISアップコンバータの利得と雑音温度は2.7dBと4.0K、SISダウンコンバータは6.4dBと7.8Kで動作していることがわかった。このことから、それぞれのSISコンバータの低雑音化とともに、SISアップコンバータの高利得化により、増幅器のさらなる性能向上が期待できることもわかった。

本研究で実施した増幅器構成はトランジスタのような1つの増幅素子と捉えることができ、このマイクロ波性能(消費電力、雑音、利得、帯域等)は、現在使用されている冷却低雑音半導体増幅器に使用される増幅素子HEMTやHBT等に匹敵する性能である。今後回路を集積化していくことによりコンパクト化が進めば、アレイ受信機などへの応用が期待される。また、本研究当初は予見していなかった現象として、この2つのミキサを用いたコンセプトは巧みな位相制御を施すことにより、振幅や位相に非相反性が発現することも判明し、ジャイレータやアイソレータ等にも応用可能であることがわかった。これは、増幅器に方向性を持たせることもできるとも意味し、小型な汎用増幅デバイスとしての実現を想起させる。これは、電波天文や量子コンピュータの大規模システム構築にむけた課題に資する可能性を有する。

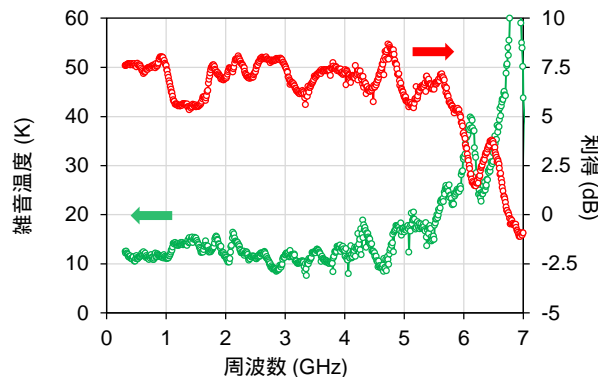


図3 測定した増幅器の利得と雑音温度

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kojima T., Masui S., Shan W., Uzawa Y.	4. 巻 122
2. 論文標題 Characterization of a low-noise superconductor-insulator-superconductor-based microwave amplifier with local oscillator phase-adjusting architecture	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 072601 ~ 072601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0134595	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Uzawa Yoshinori, Kojima Takafumi, Makise Kazumasa, Kawakami Akira, Kozuki Yuto, Masui Sho, Shan Wenlei	4. 巻 33
2. 論文標題 Development of an SIS Mixer-Based Low-Noise Amplifier Amenable to Josephson Oscillator Pumping	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2023.3254496	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Masui Sho, Kojima Takafumi, Uzawa Yoshinori, Makise Kazumasa, Ogawa Hideo, Onishi Toshikazu	4. 巻 33
2. 論文標題 Proof-of-Concept Experiment on a Wideband Microwave Gyrotator with Two Superconductor-Insulator-Superconductor-Based Mixers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2023.3258368	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Masui Sho, Kojima Takafumi, Uzawa Yoshinori, Onishi Toshikazu	4. 巻 -
2. 論文標題 A Novel Microwave Nonreciprocal Isolator Based on Frequency Mixers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Microwave and Wireless Technology Letters	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LMWT.2023.3253124	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Uzawa Y., Fujii Y., Kojima T., Kroug M., Shan W., Ezaki S., Miyachi A., Kiuchi H., Gonzalez A.	4. 巻 56
2. 論文標題 Superconducting Receiver Technologies Supporting ALMA and Future Prospects	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Radio Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020RS007157	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 UZAWA Yoshinori, KROUG Matthias, KOJIMA Takafumi, TAKEDA Masanori, MAKISE Kazumasa, EZAKI Shohei, SHAN Wenlei, MIYACHI Akihira, FUJII Yasunori, TERAHI Hirotaka	4. 巻 E104.C
2. 論文標題 Development of Superconducting Devices Supporting Radio Astronomy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Electronics	6. 最初と最後の頁 411 ~ 421
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transele.2020SUI0003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Uzawa Yoshinori, Kojima Takafumi, Kozuki Yuto, Fuji Yasunori, Miyachi Akihira, Tamura Tomonori, Ezaki Shohei, Shan Wenlei	4. 巻 11453
2. 論文標題 An SIS-mixer-based amplifier for multi-pixel heterodyne receivers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE	6. 最初と最後の頁 114530Q-1 ~ -7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2563183	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 UZAWA Yoshinori, KROUG Matthias, KOJIMA Takafumi, TAKEDA Masanori, MAKISE Kazumasa, EZAKI Shohei, SHAN Wenlei, MIYACHI Akihira, FUJII Yasunori, TERAHI Hirotaka	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of Superconducting Devices Supporting Radio Astronomy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Electronics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transele.2020SUI0003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Uzawa Y., Fujii Y., Kojima T., Kroug M., Shan W., Ezaki S., Miyachi A., Kiuchi H., Gonzalez A.	4. 巻 56
2. 論文標題 Superconducting Receiver Technologies Supporting ALMA and Future Prospects	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Radio Science	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020RS007157	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kojima Takafumi, Uzawa Yoshinori, Shan Wenlei, Kozuki Yuto	4. 巻 199
2. 論文標題 On-Wafer Cryogenic Characterization Technique of an SIS-Based Frequency Up and Down Converter	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 219 ~ 224
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-020-02414-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuto Kozuki, Yoshinori Uzawa, Takafumi Kojima, Wenlei Shan, Takeshi Sakai	4. 巻 200
2. 論文標題 Observation of Frequency Up-Conversion Gain in SIS Junctions at W Band	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 255 ~ 260
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-020-02470-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Uzawa Yoshinori, Saito Shingo, Qiu Wei, Makise Kazumasa, Kojima Takafumi, Wang Zhen	4. 巻 199
2. 論文標題 Optical and Tunneling Studies of Energy Gap in Superconducting Niobium Nitride Films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 143 ~ 148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-019-02324-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計32件（うち招待講演 7件 / うち国際学会 13件）

1. 発表者名 T. Kojima, Y. Uzawa, S. Masui, Y. Kozuki, Y. Fujii, K. Makise, W. Shan
2. 発表標題 Noise temperature and S-parameter measurements of an SIS-based microwave amplifier
3. 学会等名 32nd International Symposium on Space Terahertz Technolgy (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小嶋崇文
2. 発表標題 2030年代のミリ波サブミリ波電波天文学に向けたSIS受信機の技術開発
3. 学会等名 応用物理学会超伝導分科会第65回研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Kojima, Y. Uzawa, S. Masui, Y. Kozuki, Y. Fujii, K. Makise, W. Shan
2. 発表標題 Microwave performance of an SIS-based amplifier with a millimeter-wave isolator
3. 学会等名 Applied Superconductivity Conference 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Kojima, S. Masui, K. Makise, W. Shan, Y. Uzawa
2. 発表標題 Non-reciprocal microwave circuit based on phase-controlled two-frequency-converter configuration
3. 学会等名 The 23rd East Asia Sub-mm-wave Receiver Technology Workshop (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小嶋 崇文, 牧瀬 圭正, 江崎 翔平, 田村 友範, 宮地 晃平, 単 文磊, 金子 慶子, 坂井 了, 今田 大皓, 上水 和典, 増井 翔, 鶴澤 佳徳
2. 発表標題 2030年代のミリ波サブミリ波電波天文学に向けたSISデバイスの研究と高感度受信機の開発
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会 超伝導分科会企画シンポジウム 【時空間制御による新規超伝導デバイスの創出】(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Sho Masui, Hideo Ogawa, Toshikazu Onishi, Kazumasa Makise, Takafumi Kojima, Yoshinori Uzawa
2. 発表標題 Proof-of-concept experiment on a novel microwave circulator based on frequency converters
3. 学会等名 32nd International Symposium on Space Terahertz Technolgy (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sho Masui, Takafumi Kojima, Kazumasa Makise, Hideo Ogawa, Toshikazu Onishi, and Yoshinori Uzawa
2. 発表標題 Concept of a novel microwave isolator for a large integrated circuit
3. 学会等名 Applied Superconductivity Conference 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Uzawa, Y., Kojima, T., Makise, K., Kawakami, A., Kozuki, Y., Masui, S., Shan, W.
2. 発表標題 Development of an SIS-mixer-based low-noise amplifier with Josephson oscillator pumping
3. 学会等名 Applied Superconductivity Conference 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 増井翔, 小嶋崇文, 牧瀬圭正, 小川英夫, 大西利和, 鶴澤佳徳
2. 発表標題 周波数コンバータを用いたマイクロ波帯アイソレータの原理確認実験
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 増井翔, 小嶋崇文, 鶴澤佳徳, 大西利和
2. 発表標題 2つの周波数コンバータおよび位相遅延回路を用いた広帯域アイソレータの概念実証実験
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鶴澤佳徳
2. 発表標題 大規模ヘテロダインアレイ用超伝導マイクロ波増幅器の開発
3. 学会等名 日本学術振興会 超伝導エレクトロニクス第146委員会 第102回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鶴澤佳徳
2. 発表標題 Research and Development toward ALMA Upgrades
3. 学会等名 2022年度宇宙電波懇談会シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masui, S. Kojima, T., Uzawa, Y., Ogawa, H., Onishi, T.
2. 発表標題 Proof-of-concept experiment on a novel microwave circulator
3. 学会等名 22nd East Asia Sub-millimeter-wave Receiver Technology Workshop 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Uzawa, Y., Kojima, T., Makise, K., Kawakami, A., Kozuki, Y., Masui, S., Shan, W.
2. 発表標題 Development status of an SIS-mixer-based amplifier
3. 学会等名 22nd East Asia Sub-millimeter-wave Receiver Technology Workshop 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小嶋崇文
2. 発表標題 ミリ波サブミリ波電波望遠鏡を支える受信機技術の動向と将来開発
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 増井翔, 小嶋崇文, 鶴澤佳徳, 小川英夫, 大西利和
2. 発表標題 アップ/ダウンコンバートMixerを用いたIsolatorのための原理確認実験
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小嶋崇文
2. 発表標題 電波天文用受信機フロントエンドとマイクロ波帯超伝導増幅デバイスの研究開発
3. 学会等名 CadenceLIVE Japan 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小嶋崇文, 鶴澤佳徳, 上月雄人, 藤井泰範, 牧瀬圭正, 単文磊
2. 発表標題 ミリ波アイソレータを用いたSIS増幅器のマイクロ波性能
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 増井翔, 小嶋崇文, 牧瀬圭正, 鶴澤佳徳, 小川英夫, 大西利和
2. 発表標題 周波数コンバータを用いたアイソレータの設計検討
3. 学会等名 第22回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 増井翔, 小嶋崇文, 牧瀬圭正, 鶴澤佳徳, 小川英夫, 大西利和
2. 発表標題 超伝導集積回路技術を用いた新奇マイクロ波回路の研究
3. 学会等名 第41回 天文学に関する技術シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小嶋崇文
2. 発表標題 電波望遠鏡用高感度ヘテロダイン受信機フロントエンドの開発
3. 学会等名 NIFS研究会「新時代のミリ波技術と計測応用」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Uzawa Yoshinori、Kojima Takafumi、Kozuki Yuto、Fuji Yasunori、Miyachi Akihira、Tamura Tomonori、Ezaki Shohei、Shan Wenlei
2. 発表標題 An SIS-mixer-based amplifier for multi-pixel heterodyne receivers
3. 学会等名 SPIE ASTRONOMICAL TELESCOPES + INSTRUMENTATION (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上月雄人, 酒井剛, 鶴澤佳徳, 小嶋崇文, 単文磊
2. 発表標題 連続波を用いたWバンドSISアップコンバータの利得測定
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小嶋崇文, 鶴澤佳徳, 単文磊, 田村友範, 上月雄人
2. 発表標題 スカルミキサ校正法を用いたSISアップ・ダウンコンバータのオンウエ八特性評価
3. 学会等名 第21回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鶴澤佳徳、小嶋崇文、上月雄人、藤井泰範、単文磊
2. 発表標題 ミリ波帯低雑音SISミキサを用いたマイクロ波増幅特性評価
3. 学会等名 応用物理学会秋季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 単文磊、江崎翔平、小嶋崇文、鶴澤佳徳、Jonsoo Kim
2. 発表標題 Technological Challenges toward a Large-format Heterodyne Focal-plane Array at Mm/sub-mm Waves
3. 学会等名 (サブ)ミリ波単一鏡の革新で挑む, 天文学の未解決問題(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鶴澤佳徳、小嶋崇文、上月雄人、藤井泰範、宮地晃平、田村友範、江崎翔平、単文磊
2. 発表標題 150 GHz帯SISミキサを用いたマイクロ波増幅特性の実験的評価
3. 学会等名 第21回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takafumi Kojima, Yoshinori Uzawa, and Wenlei Shan, Yuto Kozuki
2. 発表標題 On-wafer Characterization of Frequency Conversion Properties in an SIS Tunnel Junction
3. 学会等名 18th International Workshop on Low Temperature Detectors (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takafumi Kojima, Yoshinori Uzawa, and Wenlei Shan, Yuto Kozuki
2. 発表標題 Characterization System for SIS Frequency Converters based on Scalar Mixer Calibration Technique
3. 学会等名 31st International Symposium on Space Terahertz Technology (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuto Kozuki, Takafumi Kojima, Wenlei Shan, Yoshinori Uzawa
2. 発表標題 Observation of Frequency Up-conversion Gain in SIS Junctions at Millimeter Wavelengths
3. 学会等名 18th International Workshop on Low Temperature Detectors (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshinori Uzawa, Shingo Saito, Wei Qiu, Kazumasa Makise, Takafumi Kojima, Zhen Wang
2. 発表標題 Optical and Tunneling Studies of Energy Gap in Superconducting Niobium Nitride Films
3. 学会等名 18th International Workshop on Low Temperature Detectors (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鶴澤佳徳、クロックマティアス、江崎翔平、単文磊、宮地晃平、小嶋崇文、牧瀬圭正、寺井弘高、王鎮
2. 発表標題 電波天文学を支える超伝導デバイスの開発
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 アイソレータ	発明者 小嶋崇文、増井翔、 鵜澤佳徳	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-172655	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

超低消費電力・低雑音動作するマイクロ波帯超伝導増幅器 https://innovation.nins.jp/seeds/2021/seeds2021-05/

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	鵜澤 佳徳 (Uzawa Yoshinori) (00359093)	国立天文台・先端技術センター・教授 (62616)	
研究分担者	木内 等 (Kiuchi Hitoshi) (90358911)	国立天文台・アルマプロジェクト・特任教授 (62616)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------