

令和 3 年 8 月 18 日現在

機関番号：62616

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03881

研究課題名(和文) SIS接合における量子論的周波数アップコンバージョン過程の探求と応用

研究課題名(英文) Investigation of quantum frequency up-conversion process in SIS junctions and its application

研究代表者

鵜澤 佳徳 (Uzawa, Yoshinori)

国立天文台・先端技術センター・教授

研究者番号：00359093

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,200,000円

研究成果の概要(和文)：超伝導体-絶縁体-超伝導体(SIS)接合の周波数アップコンバージョン特性を理論計算するシミュレータを構築し、変換利得と量子雑音性能の可能性を明らかにした。国立天文台で作製したNb/AlOx/Nbミキサ単体のアップコンバージョン特性について測定を行い、世界で初めて変換利得の実験的観測に成功した。さらに、SISアップコンバータとSISダウンコンバータを縦続接続したマイクロ波増幅を試み、典型的な半導体増幅器の3-4桁低い消費電力となる約1 μ Wで、同増幅器並みの性能となる10 K以下の雑音温度と10 dB以上の利得を得ることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで高感度周波数ダウンコンバータ(ヘテロダイナミックミキサ)として広く利用されてきたSIS接合の新たな応用可能性を見出すために、理論的、実験的にアップコンバータとしての性能を世界に先駆けて明らかにし、さらに原理的に全く新しい高周波増幅器への応用に成功したことで、超伝導エレクトロニクス分野に新たな扉を開いたと言える。超低消費電力・低雑音増幅器を必要とする次世代の大規模超伝導量子コンピュータや広視野電波天文観測装置などの実現に向け、大きな貢献が期待される。

研究成果の概要(英文)：We have established a simulator to theoretically calculate the frequency up-conversion characteristics of a superconductor-insulator-superconductor (SIS) junction, which predicted possible conversion gain and quantum noise performance. We measured the up-conversion characteristics of an Nb/AlOx/Nb mixer fabricated at the National Astronomical Observatory of Japan, and succeeded in experimentally observing the conversion gain for the first time in the world as far as we know. Furthermore, we tried microwave amplification by connecting the SIS up-converter and the SIS down-converter in series, which demonstrated the noise temperature of less than 10 K and the gain of more than 10 dB comparable to a typical semiconductor amplifier. The power consumption was estimated to be about 1 micro-watt which is 3-4 orders of magnitude lower than that of the amplifier.

研究分野：超伝導エレクトロニクス

キーワード：SIS接合 アップコンバージョン利得 Nb/AlOx/Nbミキサ マイクロ波増幅 低雑音 低消費電力 インピーダンス整合

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

SIS 接合は超伝導エレクトロニクスにおける中心的な素子である。半導体エレクトロニクスで言えばトランジスタに相当する。これにより、究極の感度を有する磁束計や電磁波検出器、電圧標準などの工学的応用分野が開拓されてきた。また、単一磁束量子による超高速デジタル回路や、量子コンピュータへの応用など、近未来にブレークスルーが期待される研究分野においても必要不可欠な基本素子である。SIS 接合はジョセフソン効果の他に、準粒子トンネリングによる強い非線形性、低雑音性、高速性を示す。これを利用した SIS ミキサはミリ波～サブミリ波の超高周波 (RF) 信号を、それに近い周波数の局部発振波 (LO) と混合することによって、その差周波となるマイクロ波程度の中間周波 (IF) 信号に、量子雑音限界の感度で周波数変換可能な唯一のデバイスである。1979 年に J. R. Tucker が提唱した量子論的ミキシング理論によりその可能性が指摘されて以来、これまで SIS ミキサは継続的に高周波化、高性能化され、電波天文や地球環境計測などの基礎科学分野の発展に大きく貢献してきた。

このように約 40 年の歴史を有する SIS ミキサであるが、この間、利用はダウンコンバータに限られ、その逆の動作となる低周波信号から高周波信号へのアップコンバータとして着目されたことは世界的にもほとんどない。その理由は、敢えて高周波信号に変換する利点を見いだせなかったからである。そこで、SIS 接合の周波数アップコンバージョン特性を明らかにし、利点を見出すことで、SIS 接合の新たな工学的応用の可能性を拓げる。その応用の一つが原理的に新しい超低消費電力・超低雑音マイクロ波増幅器である。SIS ミキサによりマイクロ波信号をミリ波信号へアップコンバージョンし、この信号をもう一方の SIS ミキサでマイクロ波へダウンコンバージョンする。この際、両 SIS ミキサにおいて周波数変換利得が得られれば、極めて単純な構成かつ斬新な増幅器となり得る。これは、半導体エレクトロニクスに必要なトランジスタのような増幅機能が超伝導エレクトロニクス分野に新たに追加されることを意味し、その波及効果は計り知れない。例えば、次世代の革新的技術と位置づけられる大規模超伝導量子コンピュータや多ピクセル超伝導ヘテロダインカメラなどに必須となる多数の低雑音マイクロ波増幅器が発生する熱的問題を抜本的に解決する可能性を有している。したがって、本研究の実施により SIS アップコンバータの物理的理解が深まり、設計手法などが確立すれば、超伝導エレクトロニクス分野だけでなく、量子物理学や天文学などの基礎科学分野の発展にも大きく貢献し、極めて意義深い。

2. 研究の目的

SIS ミキサ開発で培った経験・実績をベースに、これまで着目されなかった SIS 接合の周波数アップコンバージョン特性の理論解析、実証、さらに応用研究を実施し、SIS アップコンバータの有用性を明確化する。これにより超伝導エレクトロニクス分野に SIS 接合による革新的機能が追加される。

3. 研究の方法

上記目的の達成のため、次の 3 項目の研究課題を 3 年間で実施した。

- (1) SIS 接合における周波数アップコンバージョン過程での変換利得や雑音温度などの動作特性を詳細に解析可能な数理モデルについて、Tucker の量子論的ミキシング理論をベースに構築する (理論)。
- (2) ベクトルネットワークアナライザ (VNA) やノイズソースを用いて、マイクロ波からミリ波帯への周波数アップコンバージョン測定系を構築し、SIS 接合のアップコンバータとしての特性を評価する (実験)。
- (3) SIS アップコンバータと従来の SIS ダウンコンバータを縦続接続し、マイクロ波増幅器としての特性評価を行う (応用)。

4. 研究成果

(1) SIS ダウンコンバータの特性解析のために構築された Tucker の量子論的ミキシング理論^①をアップコンバータに適用し、変換利得と雑音温度特性を計算した。引用文献^①と同じ命名規則を用いると変換利得は、 $G_{UP}^{0 \rightarrow 1} = 4G_S G_L |Z_{10}|^2$ と記述できる。ここで、 G_S と G_L はそれぞれ信号入力負荷アドミタンスと出力負荷アドミタンスの実部である。雑音温度も同様に計算できる。図 1 は代表的な Nb/AlOx/Nb 接合の電流-電圧 (I-V) 特性を用いたときのアップコンバージョン特性の計算結果例である。接合の臨界電流を 8 kA/cm²、サイズを 1 μm²、静電容量を実測ベースの 83 fF としている。計算では、LO 周波数を 40 GHz、

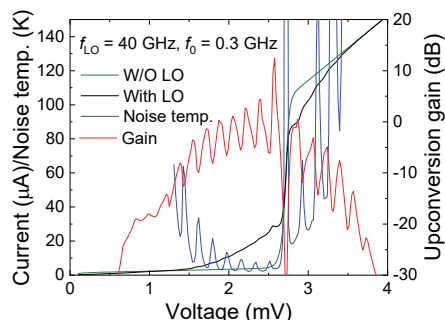


図 1 SIS アップコンバータ特性の計算結果例

信号周波数を 0.3 GHz、信号負荷インピーダンスと出力負荷インピーダンスを共に 25Ω とした。これらのパラメータは次に示すミリ波帯プローブステーションを用いた実験を想定したものである。本結果から、理論計算上では 40 GHz の LO 周波数を用いても十分な利得と低雑音特性の可能性を得た。

(2) VNA と 4 K プローブステーションを組み合わせたオンウエハ周波数変換特性評価方法を構築した(図 2)。本測定系では、カットオフ周波数 $f_{\text{cutoff}}: 26 \text{ GHz}$ の HPF と、 $f_{\text{cutoff}}: 21.5 \text{ GHz}$ の LPF を使い、高周波 (HF) と低周波 (LF) を分離している。LO 系は 26.5–40 GHz の出力周波数を有する。SIS 接合への LO 電力は WR-28 導波管減衰器を用いて電氣的に制御される。DC バイアス電圧は、バイアス T を介して印加する。周波数変換利得測定は、Keysight 2 ポート VNA (N5225B PNA, 10 MHz–50 GHz) を使い、スカラミキサ校正 (SMC) 法を適用した。LO 周波数を 39.4 GHz とし、LF を 0.3 GHz、HF を 39.1 GHz (LSB) としたときのアップおよびダウンコンバージョン利得のバイアス電圧依存性を図 3 に示す。図 1 の計算結果と比較すると、利得のバイアス電圧依存性が大きく異なる上、利得自体も低い。量子的ミキシングに必要なフォトンアシストトンネリングステップ (PAT) が明瞭に観測されておらず、ダウンコンバージョン特性も同様なことから、SIS 接合が古典的ミキサとして動作していると考えられる。量子効果を確実に引き出すために、本測定系を少なくとも 100 GHz 帯まで拡張する必要がある。

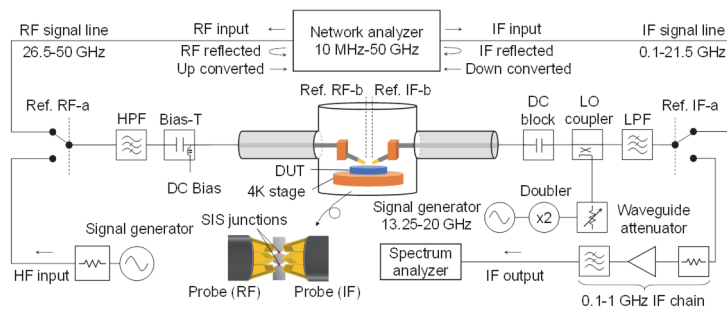


図 2 オンウエハ周波数変換特性測定系

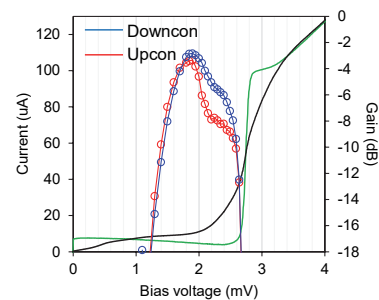


図 3 周波数変換利得測定結果

次にノイズソースを用いた 100 GHz 帯 SIS アップコンバータ評価系を構築した(図 4)。測定対象の Nb/AlO_x/Nb 接合を用いたミキサをクライオスタットの 4-K ステージに配置する。クライオスタット外部からマイクロ波帯雑音源 (過剰雑音比 ENR の代表値 21 dB) の信号を、4 K に冷却した 20-dB 減衰器を通して入力する。W 帯の LO によって周波数アップコンバートした信号をクライオスタット外部に取り出し、W 帯低雑音増幅器で増幅後、ショットキーダイオードミキサを用いて信号を観測する。システム全体の利得 (G_{sys}) は、図 4 の $G_{\text{cryo}} \times G_{\text{room}}$ となり、これをマイクロ波帯雑音源の On, Off により求める。 G_{room} を独立に測定し、 $G_{\text{sys}}/G_{\text{room}}$ により求めた G_{cryo} (含減衰器損失、導波管損失等) の測定結果を図 5 に示す。同図の 8 GHz 付近がアップコンバージョン信号の 0 GHz であり、その両サイドバンド (LSB と USB) の 1–2 GHz 帯を加算した平均値は -19.4 dB となった。これは減衰器単体の -20 dB を超えているため、SIS アップコンバータには少なくとも導波管損失以上の利得がある。入力信号として連続波を用いた実験も行い、同様に結果であることを確認した。本実験による利得の直接観測に成功したことで、新しい超伝導マイクロ波増幅器の可能性が拓けたと言える。

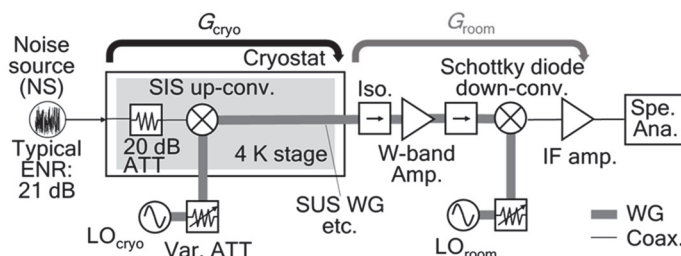


図 4 SIS ミキサ周波数アップコンバージョン利得の特性評価系

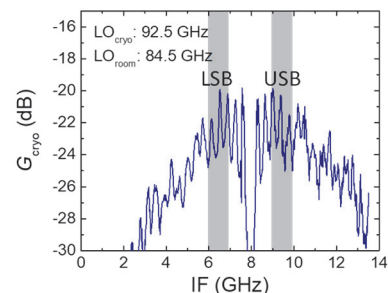


図 5 G_{cryo} (in dB) の測定結果

(3) SIS ミキサを用いたマイクロ波増幅実証の測定系を構築した(図 6)。被測定物 (DUT) には、3 直列の Nb/AlO_x/Nb 接合を有する 140 GHz 帯導波管型 SIS ミキサを周波数アップおよびダウンコンバータに使い、WR-06 (1.65 x 0.825 mm) の導波管にて接続している。マイクロ波入力部には両コンバータの利得圧縮を避けるために 20 dB の減衰器を挿入し、出力部には 4–12 GHz 帯アイソレータおよび低雑音増幅器を用いた。雑音温度および利得測定には雑音源を用いた雑音指

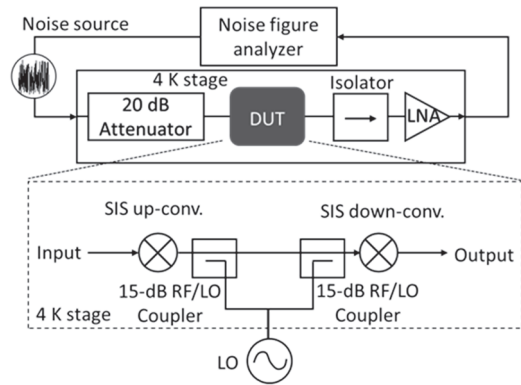


図6 SIS ミキサを用いたマイクロ波増幅実証測定系

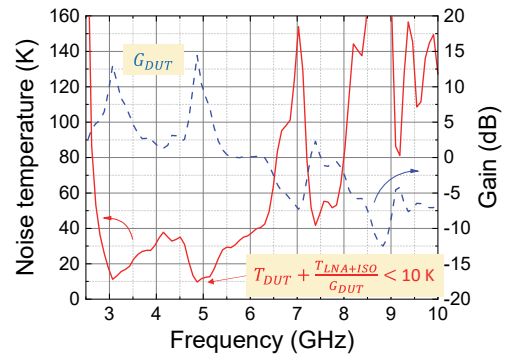


図7 DUT の雑音温度、利得の測定結果

数アナライザを用いた。両コンバータに周波数 150.6 GHz の LO 電力を入力し、雑音指数アナライザの雑音温度が最小となるよう LO 電力と SIS 接合のバイアス電圧を調整した。DUT の利得については VNA を用いた別測定で校正し、雑音温度については 4 K ステージの 20 dB 減衰器を含む入力損失分を別測定し校正した。図 7 に DUT の利得と雑音温度の周波数依存性を示す。約 5 GHz 付近において、10 dB 以上の利得と 10 K 以下の雑音温度が得られており、従来の冷却半導体増幅器と雑音温度と同程度である。この時の DUT で消費している全電力は、両コンバータに供給している DC バイアス電力と DUT に入力した LO 電力と考えられ、合計で約 $1.2 \mu\text{W}$ と見積もられた。これは、従来の半導体増幅器に比べ、3~4 桁低い消費電力である。ただし、図 7 の利得および雑音温度特性は狭帯域となっており、この原因はアップコンバータとダウンコンバータ間のインピーダンス不整合に起因する定在波の影響であると思われる。コンバータ間に減衰器を挿入した結果、予想通りに利得低下と雑音温度上昇があるものの、平坦化されることを確認した。これに加え、両コンバータのバイアス電圧依存性の測定結果から重要な知見が得られた。ダウンコンバータにおいては、DUT の最大利得と最小雑音温度は、ギャップ電圧以下の第一 PAT 上で得られ、通常の SIS ミキサの動作と同様であった。一方、アップコンバータでは、DUT の最大利得と最小雑音温度は、第一と第二 PAT の間のバイアス電圧付近で得られた。図 9 に DUT の雑音温度のアップコンバータバイアス電圧依存性およびバイアス点での微分抵抗を示す。雑音温度と微分抵抗には強い相関があることが分かる。微分抵抗はアップコンバータの入力インピーダンスであり、微分抵抗値と入力負荷である同軸系インピーダンス (50Ω) が整合していときに、最小雑音温度が得られたと考えられる。したがって、低雑音動作には入力インピーダンス整合が必須であり、低消費電力・低雑音マイクロ波増幅器における SIS アップコンバータを設計する際の重要な指針が得られたことになる。

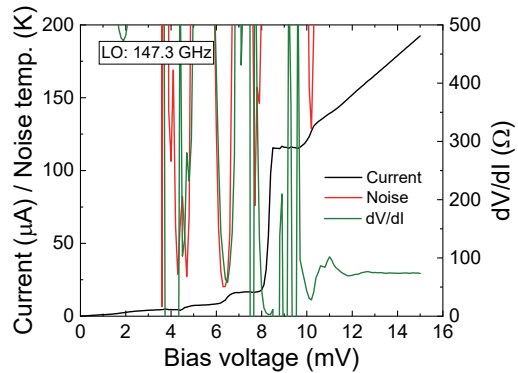


図8 DUT の雑音温度のアップコンバータ電圧依存性とバイアス点の微分抵抗

<引用文献>

- ① J. R. Tucker and M. J. Feldman, “Quantum detection at millimeter wavelengths,” *Reviews of Modern Physics*, 57(4), 1055-1114 (1985).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Y. Uzawa, S. Saito, W. Qiu, K. Makise, T. Kojima, and Z. Wang	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 該当する

1. 著者名 T. Kojima, Y. Uzawa, W. Shan, and Y. Kozuki	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 Kozuki Y., Uzawa Y., Kojima T., Shan W., Sakai T.	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 Y. Uzawa, T. Kojima, W. Shan, A. Gonzalez, and M. Kroug	4. 巻 193
2. 論文標題 Investigation of SIS up-converters for use in multi-pixel receivers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 512-517
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10909-018-1874-7	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 Kojima Takafumi, Kroug Matthias, Uzawa Yoshinori, Kozuki Yuto, Shan Wenlei	4. 巻 29
2. 論文標題 Contribution of Quantum Susceptance in SIS Junction Capacitance Measurement	5. 発行年 2019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.2019.2908092	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 Proc. SPIE 11453, Millimeter, Submillimeter, and Far-Infrared Detectors and Instrumentation for Astronomy X	6. 最初と最後の頁 114530Q
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 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 Hiroataka	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
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 e2020RS007157
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

[学会発表] 計30件(うち招待講演 10件/うち国際学会 14件)

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 鵜澤佳徳
2. 発表標題 電波天文学における超電導技術
3. 学会等名 つくば応用超電導コンステレーションズ(ASCOT)セミナー(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鵜澤佳徳、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 鵜澤佳徳、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器特性の実験的評価
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 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 スカラ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 Wenlei Shan, Shohei Ezaki, Takafumi Kojima, Yoshinori Uzawa, Jonsoo Kim
2. 発表標題 Technical 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 Y. Kozuki, Y. Uzawa, T. Kojima, and W. Shan
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 T. Kojima, Y. Uzawa, W. Shan, and Y. Kozuki
2 . 発表標題 On-Wafer Cryogenic Characterization Technique of an SIS-Based Frequency Up and Down Converter
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 Y. Uzawa, S. Saito, W. Qiu, K. Makise, T. Kojima, and Z. 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 Y. Uzawa
2 . 発表標題 Superconducting Receiver Technologies Supporting ALMA and Future Prospects
3 . 学会等名 2019 URSI-Japan Radio Science Meeting (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Uzawa
2 . 発表標題 ALMA Development
3 . 学会等名 LMA/45m/ASTE Users Meeting 2019 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

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

1. 発表者名 鵜澤佳徳、上月雄人、小嶋崇文、単文磊
2. 発表標題 SIS接合におけるミリ波帯周波数アップコンバージョン利得の観測
3. 学会等名 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鵜澤佳徳、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

1. 発表者名 Y. Uzawa, T. Kojima, W. Shan, A. Gonzalez, and M. Kroug
2. 発表標題 Characteristics of frequency up-conversion in SIS junctions at millimeter wavelengths
3. 学会等名 Applied Superconductivity Conference 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Uzawa, T. Kojima, W. Shan, A. Gonzalez, and M. Kroug
2 . 発表標題 Observation of Frequency Up-conversion Gain in SIS Junctions at Millimeter Wavelengths
3 . 学会等名 19th East Asia Sub-millimeter-wave Receiver Technology Workshop & 5th RIKEN-NICT Joint Workshop on Terahertz Technology (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Uzawa, T. Kojima, W. Shan, A. Gonzalez, and M. Kroug
2 . 発表標題 Observation of Frequency Up-conversion Gain in SIS Junctions at Millimeter Wavelengths
3 . 学会等名 East Asian ALMA Development Workshop 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Uzawa
2 . 発表標題 ALMA Development
3 . 学会等名 ALMA Users Meeting (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Gonzalez, W. Shan, T. Kojima, Y. Uzawa, and S. Iguchi
2 . 発表標題 Novel concept of multibeam integrated heterodyne receiver for radio astronomy and related technological development
3 . 学会等名 39th ESA Antenna Workshop on Multibeam and Reconfigurable Antennas for Space Applications (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Kojima, M. Kroug, Y. Uzawa, Y. Kozuki, and W. Shan
2. 発表標題 Influence of Quantum Susceptance in Specific Capacitance Measurements of SIS Junctions
3. 学会等名 Applied Superconductivity Conference 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鶴澤佳徳
2. 発表標題 巨大望遠鏡ALMAを支える超電導技術と今後の展望
3. 学会等名 第7回CRAVITYシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小嶋崇文
2. 発表標題 ヘテロダイン受信機の開発状況
3. 学会等名 宇宙史研究センター南極ワークショップ (招待講演)
4. 発表年 2019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 鶴澤佳徳
2. 発表標題 電波天文学における超電導技術
3. 学会等名 つくば応用超電導コンステレーションズ(ASCOT)セミナー（招待講演）
4. 発表年 2020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 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器特性の実験的評価
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 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, 鷗澤佳徳, 単文磊, 田村友範, 上月雄人
2. 発表標題 スカラ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 Wenlei Shan, Shohei Ezaki, Takafumi Kojima, Yoshinori Uzawa, Jonsoo Kim
2. 発表標題 Technical 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

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 LOW-NOISE MICROWAVE AMPLIFIER UTILIZING SUPERCONDUCTOR-INSULATOR-SUPERCONDUCTOR JUNCTION	発明者 Y. Uzawa and T. Kojima	権利者 自然科学研究機構
産業財産権の種類、番号 特許、US 10680567 B2	取得年 2020年	国内・外国の別 外国

〔その他〕

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	小嶋 崇文 (Kojima Takafumi) (00617417)	国立天文台・先端技術センター・准教授 (62616)	

	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
研究協力者	単 文磊 (Shan Wenlei)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	上月 雄人 (Kozuki Yuto)		

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		
米国	CfA, Harvard Smithsonian	Northwestern University	