

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02590

研究課題名（和文）高温超伝導体テラヘルツ発振器の高出力・狭線幅化

研究課題名（英文）Development of high temperature superconducting terahertz emitters with high power and narrow line width

研究代表者

柏木 隆成（Kashiwagi, Takanari）

筑波大学・数理工学系・講師

研究者番号：40381644

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、高温超伝導体Bi2212単結晶を用いたテラヘルツ波発振器の高出力化と狭線幅化に向けて、主に結晶材料とデバイス特性の関係について詳細に調べた。その結果、Bi2212単結晶のBiとSr比を調整すると、結晶中の過剰酸素を調整するための条件が大きく変化することが明確になった。また、結晶中の過剰酸素が多くなるように調整した結晶では、デバイス化の際に結晶表面に金属蒸着膜を作製した際に結晶表面の酸素量が変化することが明確になった。このような材料特性の変化は、デバイス特性にも直接反映されていることを確認した。このような点から、デバイス作製に必要な結晶材料の指針を本研究で得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた成果は、これまで高温超伝導体Bi2212単結晶を用いたテラヘルツ波発振素子としてあまり細かい点が調べられていない材料特性の傾向を捉えることができた点で学術的意義がある。またその材料特性とデバイス特性の相関についてもある程度の傾向を捉えることができた点も学術的に新しい情報を示すことが出来た。また、テラヘルツ帯の電磁波は、今後益々発展が期待される情報化社会や高度なセキュリティー社会において欠かすことができない。本研究成果は将来的にこのような分野の発展にフィードバックすることが強く期待できる点において社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：In order to develop device characteristics of high temperature superconducting terahertz emitters such as emission power and radiation line width, we have studied the relationship between crystal characteristics of Bi2212 single crystals and the emitting device electric characteristics. As the result of the study, it became clear that the annealing condition to adjust the amount of the excess oxygen in the crystals strongly depends on the crystal growth condition of the ratio of Bi and Sr. In particular, as for device fabrication, the oxygen contents of the surfaces of the crystal prepared under over doped condition are very sensitive for the heat treatment such as evaporation process of the metallic thin films. They become small by evaporation process. These results give us a guide for the approval crystal preparation for the high performance terahertz emitting devices.

研究分野：超伝導工学

キーワード：高温超伝導 ジョセフソン接合 テラヘルツ波 単結晶

1. 研究開始当初の背景

テラヘルツ帯の電磁波(テラヘルツ波 $\sim 1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$)は、電波と光波の間に位置する周波数帯であり、新たな学術・産業分野の創出につながる次世代電波技術として近年注目されている。テラヘルツ波は、プラスチックや紙などを容易に透過するが、水などの極性溶媒には強く吸収され、金属では反射されるといった特徴がある。この周波数帯には、指紋スペクトルと呼ばれる物質固有の振動モードも存在する。よって、テラヘルツ帯の電波及び物質応答を利用することで、非接触で非破壊検査やイメージング、微量物質の検出や分析が可能になる。これらの技術は、危険物探知などのセキュアな社会の実現に向けた応用利用が期待できる。さらに、Beyond 5G や 6G といった次世代大容量高速通信に向けた電波技術においてもテラヘルツ波は今後重要な役割を担う。また学術的には、例えば近年電波望遠鏡を用いてブラックホールの観測が行われたように、電波天文学などの基礎科学の発展においてもテラヘルツ波は欠かせない技術となっている。このようなテラヘルツ波技術を基盤とした新たな学術・産業分野の開拓には、テラヘルツ帯の周波数で動作する安価で簡便かつ小型な発振器や検出器及びその周辺機器の開発が欠かせないが、長年この周波数帯域はテラヘルツギャップとして知られる技術的空白地帯であった [Tonouchi, Nature Photonics **1**, (2007) 97.]. しかし近年、半導体技術を中心にテラヘルツ帯のデバイス開発が着実に進んでおり、さらに多方面からの開発を行うことで一層の技術発展が期待できる状況である。このような背景において、我々は半導体技術とは別のアプローチとして、高温超伝導体を用いた小型テラヘルツ波発振器により、テラヘルツギャップの解消を目指している。

研究代表者が所属する研究グループでは、2007年に高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ (Bi2212) 単結晶の結晶構造に由来するジョセフソン接合(固有ジョセフソン接合と呼ばれる)を利用することで、世界に先駆けて高温超伝導体からテラヘルツ波の発生に成功した [Ozyuser *et al.*, Science **318**, (2007) 1291.]. その後、国内外の多くの研究機関において、このテラヘルツ波発生技術に関する精力的な研究が行われた [レビュー論文: Welp *et al.*, Nature Photon. **7**, (2013) 702., Kakeya and Wang, Supercond. Sci. Technol. **27**, (2016) 073001, Kleiner and Wang, J. Appl. Phys. **126** (2019) 171101.].

この Bi2212 単結晶を用いたテラヘルツ波発振素子は、Bi2212 単結晶を微細加工技術にて、厚さ数マイクロメートル程度、1辺が数 100 マイクロメートル程度の箱状(メサ構造)に成型したものである。厚さ $1 \mu\text{m}$ の Bi2212 単結晶中には、原子レベルで制御された均一なジョセフソン接合が約 670 枚積層する。この接合に電圧を印加することで、交流ジョセフソン効果 [Josephson, Phys. Lett. **1**, (1962) 251.] による高周波電流が接合に発生する。メサ構造内部に発生した高周波電流は、メサの形状とサイズで決定される共振周波数に一致することで、強い電磁波として自由空間に放出される。我々のグループでは、この発振原理を利用し、異なる形状とサイズのメサ構造を用いて、発振周波数にして 0.3 から 2.4 THz の帯域での電磁波発生に成功している。また最大出力は、0.5 THz 付近で $30 \mu\text{W}$ 程度を得ている [ex. Kashiwagi *et al.*, Supercond. Sci. Technol., **30** (2017) 074008.].

2. 研究の目的

本研究では、テラヘルツ波技術を用いた次世代電波産業の創出と豊かな電波社会の実現を目的に、我々が開発を進める高温超伝導体単結晶を用いたテラヘルツ波発振器の高性能化を目指す。半導体小型テラヘルツ波発振器の性能の現状を考慮すると、我々の発振器を幅広い分野で利用するためには、1 THz から 2 THz 程度の周波数帯域で 1 mW 程度の発振出力及び 1 kHz 程度の発振線幅といった性能が求められると考え、これらを数値目標に設定する。加えて、開発素子の将来的な実用化のために利用先の開拓も目指す。具体的には、(1)発振素子材料の最適化、(2)接合数の増加・素子のアレイ化、(3)発振素子の社会実装に向けた取り組み、の3つのテーマを本研究の軸として、上記目標の達成を目指す。

3. 研究の方法

(1) 発振素子材料の最適化 (本研究における主課題)

我々のテラヘルツ波発振素子は、Bi2212 単結晶内の原子レベルで制御されたジョセフソン接合を利用したものである。実際の Bi2212 単結晶は、 $\text{Bi}_{2+x}\text{Sr}_{2-x}\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ の組成で表され、「Bi と Sr」の不定比性と過剰酸素 δ をもつ。Bi/Sr 比と δ の変化は、結晶内のキャリア数及び結晶構造の歪み(CuO_2 面の乱れ)に関係し、超伝導転移温度 T_c などの超伝導特性に大きく影響を与えることが知られている [ex. Eisaki *et al.*, PRB **69** (2004) 064512.]. さらに、絶縁層(Bi_2O_2 層)と超伝導層(CuO_2 層)の歪みは、ジョセフソン接合自体の乱れや特性の変化を引き起こし、それらがデバイス性能の変化として影響を与える可能性も考えられる。しかし、現状ではデバイス性能と材料特性の相関に関する知見は部分的である。例えば、育成した結晶を熱処理することで歪みを調整し、超伝導転移温度を若干減少させたアンダードープ領域の結晶で、発振が得られやすい傾向がある点、経験的なものではあるが、発振出力の違いがデバイス作製に用いた結晶の違いに起因すると思われる点、などがある。そこで本テーマでは、デバイスの高性能化を材料の観点から実現するために、「Bi/Sr 比と δ 」を調整した材料を用いて材料と発振特性の相関を明らかにすることを目指す。具体的には、Bi/Sr 比および過剰酸素 δ を調整した単結晶を数種類準備する。育成した結晶材料

の特性は、SQUID による T_c 測定，組成分析による Bi/Sr 比測定，X 線による格子定数測定，酸素の K 端の吸収スペクトルによるキャリア数測定[Muller, *et al.*, Physica B **312** (2002) 94.] などから評価する。そして，これらの結晶から作製した発振素子の発振特性（出力，周波数等）と電気特性を調べ，それらのデータを蓄積することで材料とデバイスの相関を明らかにする。

(2) 接合数の増加・素子のアレイ化

ジョセフソン接合からの放射強度 P と接合の総数 N_{JJ} との間には， $P \propto (N_{JJ})^2$ の関係が成り立つことが報告されている[P. Barbara *et al.*, PRL **82** (1999) 1963.]。またその時，発振線幅は， N_{JJ} に反比例することが知られている。よって現発振素子のアレイ化により，高出力化と狭線幅化が同時に期待できる。そこで，本テーマでは，まずは発振素子の結晶の厚さを調整することで発振素子内の接合総数と発振強度の関係を調べる。次に発振素子の配置を二次元アレイに拡張して高出力化を目指す。その際，必要に応じてこれまで開発してきた発振素子構造（サンドイッチ構造：[Kashiwagi *et al.*, Phys. Rev. Appl. **4** (2015) 054018.]）を改良する。

(3) 発振素子の社会実装に向けた取り組み

Bi2212 単結晶を用いたテラヘルツ波発振器の実用化においては，小型冷凍機の利用が欠かせないと考えている。具体的には，本発振素子の動作において 60 K 前後で動作する小型冷凍機が将来的には必須である。また，テラヘルツ帯の実用的なアプリケーションを開発するためには，発振器と検出器のセットでの装置提供が望ましいと考える。そこで本テーマでは，Bi2212 単結晶を用いた発振・検出のセット技術の開発を目指すとともに，小型冷凍機の開発で長年の実績がある富士電機株式会社の協力を得ながら，小型冷凍機を用いたテラヘルツ帯のアプリケーション装置として常時利用可能なテラヘルツ波イメージング装置の構築を行う。

4. 研究成果

(1) 発振素子材料の最適（本研究における主課題）

① Bi/Sr 比及び過剰酸素量 δ を調整した結晶の準備

「Bi と Sr」の不定比性を調整するために，仕込み値 x を調整し，溶媒移動浮遊帯域溶融法(TSFZ 法)を用いて単結晶を育成した。具体的には，経験的に結晶が育成しやすい仕込み値組成で $x = 0.05 \sim 0.25$ 程度の結晶を準備した。実際に仕込み値 $x = 0.15$ として育成した全長 50 mm 程度の結晶の写真を図 1 に示す。このようにして育成した結晶で作製した結晶チップ(詳細は後述)を用いて，結晶の組成分析を行ったところ，今回の仕込み値の範囲では， x を増やすことで育成結晶に含まれる Bi 量も増える傾向を確認した。ただし，得られた値は，実際の仕込み値よりも Bi 量が多めになることが分かった。これは，この結晶では，Bi リッチな相が安定して育成されやすい傾向があるという過去報告と一致する。

育成した結晶の磁化の温度依存性の測定から，超伝導転移温度 T_c を確認した。 x の値によって T_c の最大値が変化することが知られており[Eisaki *et al.*, PRB **69** (2004) 064512.]，準備した試料からも同様な傾向が得られた。またそれぞれの結晶は，雰囲気ガスが調整可能な管状炉を用いて熱処理することで過剰酸素量を調整した。具体的には， $400^\circ\text{C} \sim 650^\circ\text{C}$ ぐらいの温度範囲と雰囲気ガス（窒素ガス，酸素ガス，ポンプで減圧した状態など）などを組み合わせ熱処理することで， T_c を最大 93 K から幅広く調整可能であることを確認した。

大変興味深いことに，熱処理条件は同じであっても， x によっては T_c が大きく異なる場合があることが分かった。この結果は，後述するデバイス特性に明瞭に反映されることも確認した。



図-1 TSFZ 法で育成した Bi2212 結晶の光学写真 ($x = 0.15$).

② X 線を用いた発振素子評価技術の確立

上述の Bi/Sr 比と過剰酸素量を調整した結晶を用いて，テラヘルツ波発振素子の形状（以下，結晶チップと呼ぶ）に，ウエットエッチング法により成形を行った。実際の成形にあたっては，我々のグループで以前に開発したウエットエッチング法[Shibano *et al.*, AIP Advances **9**, (2019) 015116.]を，より厚い結晶チップが作製できるように改良した手法を用いた[Imai *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **60**, (2021) 126501.]。この手法では，エッチング溶液である塩酸と硝酸の水溶液の濃度を調整することで，10 ミクロン程度までの結晶チップが作製できるようになった。

ウエットエッチングの利点は，我々の素子としては比較的厚い 5 ミクロン程度の結晶チップの作製が容易になった点だけではなく，従来のイオンミリング加工における発熱が材料に及ぼす

影響が無くなった点、および刃物などの物理的な力を加えることなく結晶を小さく加工できるため、結晶に生じる歪みが小さいといった点がある。これらは、X線を用いた発振素子結晶チップの評価においては、初期の熱処理条件で決まった酸素量を反映した材料特性が評価できる点、X線のビームサイズと同等な大きさの歪みの小さい結晶片を準備できる点で利点となる。

図-2(a)には、本研究で開発したウエットエッチングで加工した結晶チップの例を示した。製作した結晶チップは主に長方形で、 $60\sim 80 \times 250\sim 400 \times 1\sim 6 \mu\text{m}^3$ 程度のものを準備した。図-2(b)に示すKEKのBL-4Cに設置される4軸X線回折装置を主に用いて、準備した結晶チップの格子定数と結晶の均一性の評価を中心に測定を行った。

結晶チップの x 依存性の変化を明確に比較するために、アンダードープ条件(窒素 600 の熱処理)と、オーバードープ条件(酸素 400)で熱処理(アニール)したそれぞれの結晶を用いて作製した結晶チップの結晶性を評価した。その結果、格子定数の変化としては、 x の値によらず窒素アニールした結晶では、 c 軸長が伸び、酸素アニールした結晶では、 c 軸長が短くなることを確認した。また、 c 軸長の変化と a 軸の変化は正の相関があることも確認できた。さらに、上述の2つの熱処理条件においては、同じ熱処理でも x の値が大きくなると c 軸長がより縮んでいることを確認した。これらの結果から、 x の値がと対応づけて結晶構造のどの部分にどの程度影響を与えるかが明確になった。

上述した材料そのものの特徴に加えて、さらにデバイス作製において重要となる知見も得られた。具体的には、酸素アニールした結晶チップでは、格子定数が2つに分布する傾向があることが分かった。この点を詳しく調べていくと、バイアス用電極の金属薄膜の成膜過程が結晶チップの結晶表面の酸素濃度を変化させていることが新たに分かった。デバイス用の結晶チップを作製する場合は、バイアス用の電極として結晶表面に金と銀を蒸着してから、ウエットエッチングにて結晶チップに加工する。この成膜過程における熱及び金属蒸着が、結晶表面の酸素濃度に影響していることが分かった。ただし、窒素アニールの結晶においては、上記成膜過程の影響がほとんど現れていない。これは成膜過程の影響が、結晶表面をアンダードープ側に近づける効果であるため、アンダードープ側の試料では、その差異が小さく観測しにくいと考えられている。このように、これまで素子成形において、イオンミリングにおける加工プロセスでの熱の影響が素子の個体差に大きく影響を与えていると考えていたが、それだけでなく電極用金属の成膜プロセスも、結晶チップの表面付近の結晶の状態に大きく影響を与えていることが新たに分かった。この知見を用いることで、発振素子の個体差をこれまで以上に小さくできる可能性が高まった。この点は、学会発表だけでなく、論文[Nakagawa *et al.*, J. Appl. Phys. **133**, (2023) 163904.]として、最近報告を行った。

また上記以外の材料評価として、酸素のK端の吸収スペクトルによるキャリア数計測も試みた。結果としては、酸素濃度に依存して吸収スペクトルのプレピーク強度が変化する傾向は確認した。ただし、踏み込んだ議論を進める上では、測定条件(試料準備も含む)の点などを含めてもう少し時間が必要な状況にあり、今後改めて検討を行う予定である。

デバイス特性との対応

上記のように評価した結晶チップを用いて作製した発振素子から得られたデバイス特性を簡単にまとめる。まず、熱処理の違いがデバイス特性に及ぼす影響について述べる。デバイス用の結晶チップは、窒素雰囲気下(窒素 600)と酸素雰囲気下(酸素 400)で熱処理した結晶を用いて作製した。デバイス特性を比較すると、酸素アニールした素子では、臨界電流値が高くなる傾向があり、かつ材料評価で述べたような結晶チップの表面と内部での結晶状態の変化を反映して、電流-電圧特性に臨界電流値の違いを反映した2つのステップが現れることを新たに観測した[Nakagawa *et al.*, J. Appl. Phys. **133**, (2023) 163904.]。これは、電流-電圧特性の個体差に繋がる原因を、デバイス作製プロセスと対応づけて確認できた点において、研究開始当初は予想していなかった発見である。このことから、結晶中のキャリア数を増やすために酸素下で熱処理した結晶を使用する場合は、デバイス作製のプロセスにおいて、結晶に及ぼす熱の影響も考慮したプロセスを用いる必要があることが明確になった。

次にBi/Srを仕込み値で $x = 0.05, 0.15, 0.25$ で調整した試料におけるデバイス特性を述べる。酸素アニールした試料では、上述した結晶表面の酸素濃度変化の問題もあるため、主に窒素アニールした結晶で作製したデバイスの特性を評価した。その結果、 $x = 0.05, 0.15$ の素子では、電流-電圧特性に明瞭なヒステリシスループが得られ、それと同時に電磁波の発生も確認できた。一方 $x = 0.25$ に関しては、電流-電圧特性のヒステリシスループが小さく、明瞭な発振は確認できな

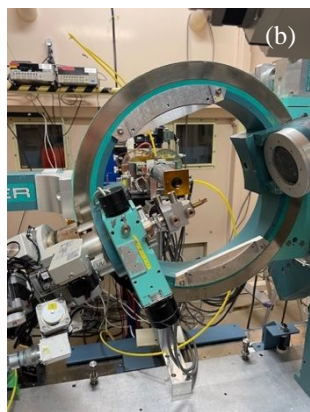
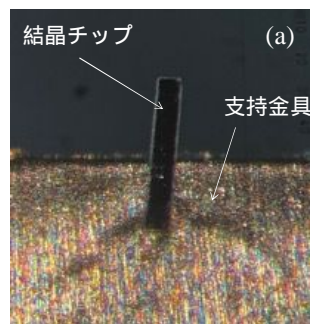


図-2 (a) ウエットエッチングで加工した結晶チップの例。(b) KEK で用いた4軸X線回折計(BL-4C)。

った。この理由の一つとして、この試料では超伝導転移温度が他の試料と比べて低い点が寄与していると考えている。この超伝導転移温度が低い理由はシンプルに考えると結晶中のキャリア数が少ない、結晶の乱れが大きいなどの理由が考えられる。

最後に、結晶チップのデバイス特性を評価していく中で、発振出力に結晶性の違いを反映している可能性を示唆する結果も得られた。ただし現時点では個体数が少ないので、この点は今後も検証を進めていく予定があるが、均一性が高い結晶とデバイスの発振出力に正の相関がある結果も得られている。

以上をまとめると、Bi2212 単結晶では、酸素量に応じて格子定数(主に、 a, c 軸)が伸び縮みすることが分かった。そして、Bi/Sr 比を変化させると、Bi が多い結晶ほど、 c 軸の格子定数が縮む傾向があることが分かった。また特にアンダードープ側の熱処理条件(例えば窒素 600)で処理すると、同じ条件で熱処理しても、 x によっては T_c が全く異なり、それに伴いデバイスの電流-電圧特性も大きく変化することが明瞭になった。これらの結果から、現時点では、Bi/Sr 比を化学量論的組成に近づけ、かつ若干のアンダードープに過剰酸素 を調整した結晶を用いて発振素子を作製すると明瞭な発振が得られやすい傾向にあると言える。また 酸素処理した結晶では、電極作製のための金属蒸着により結晶素子表面の酸素状態が変化することが分かった。このようにして本研究を通じて、我々がこれまでにデバイスに用いてきた結晶自体の理解が深まるとともに、新たに組成比の調整や、酸素量の調整が、デバイス特性においてどのような影響を及ぼすかが、材料の観点から明瞭になった。

(2) 接合数の増加・素子のアレイ化

図-3 に示したような、素子のアレイ化に向けたデバイス構造の開発を行った。この例では、2つの結晶チップ($\sim 80 \times 400 \mu\text{m}^2$)を縦に並ぶように配置している。結晶チップは、電極を蒸着したサファイア基板で物理的に挟み込まれている。また、それぞれの結晶チップを個別にバイアスできるように、電極リードを取り付けた。このような試料から、電磁波を発生することには成功しているが、高強度・狭線幅化という点では、当初目標値には至っていない。ただ、協調動作を示唆するような振る舞いも少し見えている。いくつかの構造を試した結果、高強度化を実現する上で、均一な性質のアレイ素子の作製技術と、アレイ素子において物理的・電気的に均一な接触を得る方法の開発が必要であることが分かった。これに対して新しいサンドイッチ構造を考案したので、今後も継続してその構造を発展させる予定である。また、接合数の増加という点では、厚い結晶チップで、強い発振出力が得られる傾向がある。この点の一部を論文[Kashiwagi *et al.*, *Materials* **14**, (2021) 1135.]にて報告を行った。ただ、厚さ依存性についても、(1)で述べた材料の特徴を考慮した更なる検証が今後必要だと考えている。

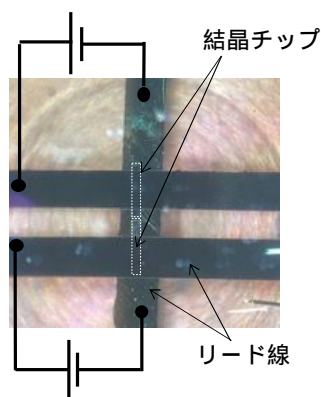


図-3. 作製した結晶チップアレイ素子の一例。

(3) 発振素子の社会実装に向けた取り組み

テラヘルツ波発振器を用いたアプリケーションの構築として図-4 に示す透過型テラヘルツ波イメージング装置を開発した。この前身のモデルについては、論文[Saiwai. *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **59**, (2020) 105004-1-5.]にて、その特徴を報告した。現在開発中のモデルでは、富士電機株式会社が開発するパルスチューブ冷凍機(総重量 10kg 程度)に我々の発振素子を設置できるようにして、透過型イメージング装置の開発を行った。実際に 0.7 THz 程度で画像を取得することができ、以前に我々のグループで報告した結果と遜色ない画像を得ることができている。現時点では、常時測定可能な小型イメージング装置の基本構成が完成したので、今後は応用化に向け撮像の高速化を行う予定である。

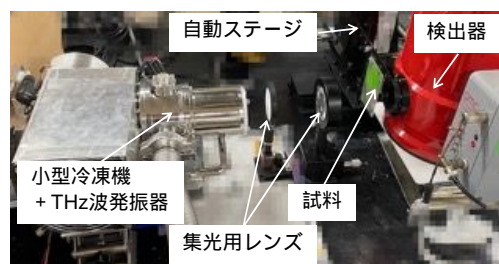


図-4. 小型冷却装置を用いた透過型イメージング装置(開発中の写真)

上記(1)~(3)の研究成果は、主に応用物理学会にて発表を行うとともに、論文としても報告を行った。またこちらに記載した内容の一部は、現在論文として取りまとめている最中である。

最後に、上記の研究を進めるにあたり、TIA かけはしを通じたつくば地域を中心とした研究機関の協力体制のご支援をいただきました。新たなアレイ素子デバイス構造の構築にあたっては、つくば産学連携強化プロジェクトを通じて関係者にご支援をいただきました。アプリケーションの開発では、企業関係者の皆様と定期的に情報交換を行っていただきました。また筑波大学主催の EDGE-NEXT プログラムを通じて、アプリケーションの出口戦略に関するご支援をいただきました。大学関係者の皆様、研究室の学生の皆様にも多くのご協力をいただきました。あらためてご支援いただきました皆様のご協力に心より感謝いたします。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 2件）

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 T. KASHIWAGI, G. KUWANO, S. NAKAGAWA, M. NAKAYAMA, J. KIM, K. NAGAYAMA, T. YUHARA, T. YAMAGUCHI, Y. SAITO, S. SUZUKI, S. YAMADA, R. KIKUCHI, M. TSUJIMOTO, H. MINAMI, K. KADOWAKI | 4. 巻 E106-C |
| 2. 論文標題 Approaches to high performance terahertz-waves emitting devices utilizing single crystals of high temperature superconductor Bi2Sr2CaCu2O8+ | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 IEICE TRANS. ELECTRON | 6. 最初と最後の頁 281-288 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transele.2022SEI0001 | 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. Saito, H. Minami, R. Kikuchi, T. Kashiwagi, M. Tsujimoto, and K. Kadowaki | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Enhanced Radiation Directivity of High-Tc Superconducting Terahertz Emitters | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings of 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) | 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） なし | 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 H. Minami, Y. Ono, Y. Saito, T. Yuhara, R. Kikuchi, T. Kashiwagi, M. Tsujimoto, and K. Kadowaki | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 External Resonators and Antennas for the High-Tc Superconducting Terahertz Emitters | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings of 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) | 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） なし | 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 M. Tsujimoto, Y. Kaneko, G. Kuwano, K. Nagayama, T. Imai, Y. Ono, S. Kusunose, T. Kashiwagi, H. Minami, K. Kadowaki, Y. Simsek, U. Welp, and W.K. Kwok | 4. 巻 29 |
| 2. 論文標題 Design and characterization of microstrip patch antennas for high-Tc superconducting terahertz emitters | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Optics Express | 6. 最初と最後の頁 16980 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/OE.420417 | 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. Imai, T. Kashiwagi, S. Nakagawa, M. Nakayama, J. Kim, G. Kuwano, M. Tsujimoto, H. Minami and K. Kadowaki | 4. 巻 60 |
| 2. 論文標題 Investigation of wet etching solutions and method for thicker stand alone type of mesa structures of Bi2212 single crystals | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics | 6. 最初と最後の頁 126501 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 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 G. Kuwano, M. Tsujimoto, Y. Kaneko, K. Nagayama, T. Imai, Y. Ono, S. Kusunose, T. Yuhara, H. Minami, T. Kashiwagi, and K. Kadowaki | 4. 巻 129 |
| 2. 論文標題 Experimental validation of a microstrip antenna model for high-Tc superconducting terahertz emitters | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Applied Physics | 6. 最初と最後の頁 223905 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0054018 | 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. Ono, H. Minami, G. Kuwano, T. Kashiwagi, M. Tsujimoto, K. Kadowaki, and R. A. Klemm | 4. 巻 13 |
| 2. 論文標題 Superconducting Emitter Powered at 1.5 Terahertz by an External Resonator | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Phys. Rev. Applied | 6. 最初と最後の頁 64026 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.13.064026 | 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 Y. Saiwai, T. Kashiwagi, K. Nakade, M. Tsujimoto, H. Minami, K. Kadowaki, and R. A. Klemm | 4. 巻 59 |
| 2. 論文標題 Liquid helium-free high-T c superconducting terahertz emission system and its applications | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics | 6. 最初と最後の頁 105004-1-5 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abb8f1 | 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. Kashiwagi, T. Yuasa, G. Kuwano, T. Yamamoto, M. Tsujimoto, H. Minami, and K. Kadowaki | 4. 巻 14 |
| 2. 論文標題 Study of Radiation Characteristics of Intrinsic Josephson Junction Terahertz Emitters with Different Thickness of Bi2Sr2CaCu2O8+ Crystals | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Materials | 6. 最初と最後の頁 1135 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma14051135 | 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 - |

[学会発表] 計50件(うち招待講演 3件/うち国際学会 7件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 鈴木祥平, 中川駿吾, 齋藤佑真, 山口啄弥, 柏木隆成, 南英俊, 門脇和男, 辻本学 |
| 2. 発表標題 Bi-2212固有ジョセフソン接合アレイのテラヘルツ偏波特性と外部磁場効果 |
| 3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 菊池隆太, 南英俊, 齋藤佑真, 中川駿吾, 山口啄弥, 山田将太郎, 榎本裕樹, 鈴木祥平, 辻本学, 柏木隆成 |
| 2. 発表標題 パルス電流を印加したBi2212メサアレイからのTHz波放射 |
| 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 齋藤佑真, 南英俊, 菊池隆太, 中川駿吾, 山口啄弥, 山田将太郎, 榎本裕樹, 鈴木祥平, 辻本学, 柏木隆成 |
| 2. 発表標題 誘電体共振器によるBi2212-THz波発振器の高出力化の検討 |
| 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 中川駿吾, 山口啄弥, 山田将太郎, 榎本裕樹, 鈴木祥平, 齋藤佑真, 菊池隆太, 辻本学, 南英俊, 石田茂之, 永崎洋, 柏木隆成 |
| 2. 発表標題 アルカリエッチングを用いた銅酸化物超伝導体Bi2212のデバイス加工II |
| 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 柏木隆成, 中川駿吾, 山口啄弥, 山田将太郎, 榎本裕樹, 鈴木祥平, 齋藤佑真, 鈴木祥平, 菊池隆太, 中尾裕則, 石田茂之, 永崎洋, 茂筑高士, 辻本学, 南英俊 |
| 2. 発表標題 Bi2212-THz波発振器の材料と発振特性に関する研究 |
| 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 山口啄弥, 柏木隆成, 山田将太郎, 中川駿吾, 榎本裕樹, 齋藤佑真, 鈴木祥平, 菊池隆太, 辻本学, 南英俊, 柴田將史, 豊崎次郎, 竹内孝行, 永崎洋, 馬渡康德 |
| 2. 発表標題 高温超伝導体を用いた小型THz波発振システムの開発II |
| 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 鈴木祥平, 中川 駿吾, 齋藤 佑真, 山口 啄弥, 柏木 隆成, 南 英俊, 門脇 和男, 辻本 学 |
| 2. 発表標題 Bi-2212固有ジョセフソン接合におけるテラヘルツ発振の外部磁場効果と偏波制御 |
| 3. 学会等名 第28回渦糸物理ワークショップ |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 辻本学, 桑野玄気, 鈴木祥平, 中川駿吾, 齋藤佑真, 山口啄弥, 柏木隆成, 南英俊, 門脇和男 |
| 2. 発表標題 Bi-2212固有ジョセフソン接合におけるテラヘルツ発振と同期転移の観測 |
| 3. 学会等名 第28回渦糸物理ワークショップ |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 齋藤佑真, 南英俊, 菊 隆太, 中川駿吾, 山口啄弥, 山田将太郎, 榎本裕樹, 鈴木祥平, 辻本学, 柏木 隆成 |
| 2. 発表標題 Bi2212-THz波発振素子の周波数特性に及ぼす誘電体構造の効果 |
| 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 柏木隆成, 中川駿吾, 山口啄弥, 山田将太郎, 榎本祐樹, 山内悠希, 齋藤佑真, 鈴木祥平, 菊池隆太, 中尾裕則, 石田茂之, 永崎洋, 茂筑高士, 辻本学, 南英俊 |
| 2. 発表標題 Bi2212-THz 波発振器の材料と発振特性に関する研究 II |
| 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 南英俊, 菊池隆太, 齋藤佑真, 中川駿吾, 山口啄弥, 山田将太郎, 榎本裕樹, 鈴木祥平, 辻本学, 柏木隆成 |
| 2. 発表標題 Bi2212メサアレイの大型化とパルス駆動の研究 |
| 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 鈴木 祥平, 中川 駿吾, 齋藤 佑真, 山口 啄弥, 柏木 隆成, 南 英俊, 門脇 和男, 辻本 学 |
| 2. 発表標題 Bi-2212固有ジョセフソン接合型テラヘルツ光源の偏光制御 |
| 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 Y. Saito, H. Minami, R. Kikuchi, T. Kashiwagi, M. Tsujimoto, and K. Kadowaki, |
| 2. 発表標題 Enhanced Radiation Directivity of High-Tc Superconducting Terahertz Emitters |
| 3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 H. Minami, Y. Ono, Y. Saito, T. Yuhara, R. Kikuchi, T. Kashiwagi, M. Tsujimoto, and K. Kadowaki, |
| 2. 発表標題 External Resonators and Antennas for the High-Tc Superconducting Terahertz Emitters |
| 3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 南英俊, 湯原拓也, 齋藤佑真, 菊池隆太, 桑野玄気, 柏木隆成, 辻本学, 門脇和男 |
| 2. 発表標題 Bi2212メサアレイからのテラヘルツ波放射 |
| 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 齋藤佑真, 南英俊, 湯原拓也, 菊隆太, 桑野玄気, 柏木隆成, 辻本学, 門脇和男 |
| 2. 発表標題 プリント開口アレイに結合したBi2212メサアレイからのTHz波放射 |
| 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 中川駿吾, 柏木隆成, 中山繭, KimJeonghyuk, 山口啄弥, 桑野玄気, 辻本学, 南英俊, 門脇和男, 石田茂之, 永崎洋, 中尾裕則, 茂筑高士, 長谷川幸雄, 木村尚次郎 |
| 2. 発表標題 Bi2212-THz波発振器における材料組成依存性の研究?? |
| 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 柏木隆成, 中川駿吾, 中山繭, KimJeonghyuk, 山口啄弥, 桑野玄気, 永山佳苗, 辻本学, 南英俊, 門脇和男, 永崎洋, 石田茂之, 中尾裕則, 茂筑高士, 長谷川幸雄, 木村尚次郎 |
| 2. 発表標題 高温超伝導体テラヘルツ波発振器の高性能化に向けた材料研究 |
| 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 山口啄弥, 柏木隆成, 山田将太, 中川駿吾, 中山繭, 金正赫, 辻本学, 南英俊, 門脇和男, 柴田将史, 竹内孝行, 永崎洋, 馬渡康德 |
| 2. 発表標題 高温超伝導体を用いた小型THz波発振システムの開発 |
| 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 中山繭, 柏木隆成, 中川駿吾, KimJeonghyuk, 山口啄弥, 桑野玄気, 辻本学, 門脇和男, 永崎洋, 石田茂之, 中尾裕則, 茂筑高士, 長谷川幸雄, 木村尚次郎 |
| 2. 発表標題 結晶材料組成がBi2212-THz波発振素子のデバイス特性に及ぼす影響に関する研究 |
| 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 鈴木祥平, 桑野玄気, 永山佳苗, 齋藤佑真, 山口啄弥, 湯原拓也, 柏木隆成, 南英俊, 門脇和男, 辻本学 |
| 2. 発表標題 Bi-2212固有接合型テラヘルツ光源アレイのストークス偏波パラメータ測定 |
| 3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 加藤準一郎, 三野裕太郎, S. Pavan Kumar Naik, 西尾太一郎, 中川駿吾, 柏木隆成, 永崎洋, 石田茂之 |
| 2. 発表標題 Bi ₂ .2Sr _{1.8} CaCu ₂ O ₈ + 単結晶における臨界電流密度のドーピング依存性と電子相図の関係 |
| 3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 K. Kadowaki, Y. Ono, H. Minami, S. Kusunose, T. Yuhara, G. Kuwano, S. Nakagawa, J. Kim, M. Nakayama, K. Nagayama, T. Kashiwagi, M. Tsujimoto, R.A. Klemm |
| 2. 発表標題 Towards Higher Power THz Emission from High -T _c Superconducting Bi ₂ Sr ₂ CaCu ₂ O ₈ +d IJJ Mesa Devices |
| 3. 学会等名 The 12th International Conference on Intrinsic Josephson Effect and Horizons of Superconducting Spintronics |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Kuwano, N. Nagayama, S. Suzuki, T. Yuhara, T. Kashiwagi, H. Minami, K. Kadowaki, M. Tsujimoto |
| 2. 発表標題 Mesa Sidewall Effects on Synchronization of Intrinsic Josephson Junctions in High-Tc Superconducting Bi2Sr2CaCu2O8+d Terahertz Emitters |
| 3. 学会等名 The 12th International Conference on Intrinsic Josephson Effect and Horizons of Superconducting Spintronics |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 T. Kashiwagi, T. Imai, S. Nakagawa, M. Nakayama, J. Kim, T. Yamaguchi, G. Kuwano, K. Nagayama, T. Yuhara, Y. Saito, S. Suzuki, M. Tsujimoto, H. Minami, K. Kadowaki |
| 2. 発表標題 Study of fabrication processes of high temperature superconducting terahertz emitters |
| 3. 学会等名 The 12th International Conference on Intrinsic Josephson Effect and Horizons of Superconducting Spintronics |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 柏木隆成, 桑野玄気, 中川駿吾, 中山繭, 金正赫, 永山佳苗, 湯原拓也, 山口啄弥, 齋藤佑真, 鈴木祥平, 山田将太郎, 菊池隆太, 辻本学, 南英俊, 門脇和男 |
| 2. 発表標題 高温超伝導体単結晶を用いたテラヘルツ波発振器の高性能化に向けた取り組み |
| 3. 学会等名 2022年電子情報通信学会総合大会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 鈴木祥平, 桑野玄気, 永山佳苗, 齋藤佑真, 山口啄弥, 湯原拓也, 柏木隆成, 南英俊, 門脇和男, 辻本学 |
| 2. 発表標題 Bi-2212固有接合型テラヘルツ光源アレイのストークス偏波パラメータ測定?? |
| 3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 桑野玄気, 永山佳苗, 鈴木祥平, 湯原拓也, 齋藤佑真, 柏木隆成, 南英俊, 門脇和男, 辻本学 |
| 2. 発表標題 固有ジョセフソン接合型テラヘルツ発振素子のメサ台形歪みと放射特性 |
| 3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 柏木隆成, 中山繭, 中川駿吾, 金正赫, 山口啄弥, 桑野玄気, 永山佳苗, 辻本学, 南英俊, 門脇和男, 永崎洋, 石田茂之, 中尾裕則, 茂筑高士, 長谷川幸雄, 木村尚次郎 |
| 2. 発表標題 高温超伝導体テラヘルツ波発振器の高性能化に向けた材料研究 II |
| 3. 学会等名 第69回 応用物理学会 春季学術講演会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 中川駿吾, 柏木隆成, 中山繭, Kim Jeonghyuk, 山口啄弥, 桑野玄気, 辻本学, 南英俊, 門脇和男, 石田茂之, 永崎洋 |
| 2. 発表標題 アルカリエッチングを用いた銅酸化物超伝導体Bi2212のデバイス加工 |
| 3. 学会等名 第69回 応用物理学会 春季学術講演会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 南英俊, 齋藤佑真, 湯原拓也, 菊池隆太, 桑野玄気, 柏木隆成, 辻本学, 門脇和男 |
| 2. 発表標題 Bi2212テラヘルツ波発振素子の放射分布 |
| 3. 学会等名 第69回 応用物理学会 春季学術講演会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 齋藤佑真, 南英俊, 湯原拓也, 菊池隆太, 桑野玄気, 柏木隆成, 辻本学, 門脇和男 |
| 2. 発表標題 Bi2212-THz波発振素子の電磁界シミュレーション |
| 3. 学会等名 第69回 応用物理学会 春季学術講演会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 T. Kashiwagi et al. |
| 2. 発表標題 Development of Bi2212-THz emitter |
| 3. 学会等名 Workshop on Superconducting THz devices 2020 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 中川駿吾, 柏木隆成, 中山繭, 金正赫, 辻本学, 中尾裕則, 石田茂之, 永崎洋, 長谷川幸雄, 木村尚次郎, 茂筑高士, 門脇和男 |
| 2. 発表標題 Bi-Sr比とPb置換量を制御したBi2212単結晶の超伝導転移温度のホール濃度依存性 |
| 3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 金正赫, 森龍也, 稲葉誠二, 柏木隆成, 藤井康裕, 気谷卓, 川路均, 是枝聡肇, Soo Han Oh, Jae-Hyeon Ko, 小島誠治 |
| 2. 発表標題 テラヘルツ時間領域分光法を用いたLi0.25Na0.25K0.25Cs0.25P03ガラスのボゾンピークに関する研究 |
| 3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 桑野玄気, 永山佳苗, 鈴木祥平, 楠瀬慎二, 湯原拓也, 柏木隆成, 南英俊, 門脇和男, 辻本学 |
| 2. 発表標題 Bi-2212固有ジョセフソン接合型テラヘルツ発振素子におけるメサ周辺構造の影響 |
| 3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 加藤準一朗, 石田茂之, 永崎洋, 中川駿吾, 辻本学, 柏木隆成, 西尾太一郎 |
| 2. 発表標題 Bi _{2+x} Sr _{2-x} Ca _{1-y} Y _y Cu ₂ O ₈₊ 単結晶における臨界電流密度のドーピング量依存性 |
| 3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 南 英俊, 楠瀬 慎二, 湯原 拓也, 齋藤 佑真, 桑野 玄気, 永山 佳苗, 柏木 隆成, 辻本 学, 門脇 和男 |
| 2. 発表標題 スロットアレイに結合したBi2212メサアレイからのTHz波放射?? |
| 3. 学会等名 第81回 応用物理学会秋季学術講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 柏木 隆成, 桑野 玄気, 中川 駿吾, 楠瀬 慎二, 中山 繭, Kim Jeonghyuk, 永山 佳苗, 湯原 拓也, 山本 卓, 辻本 学, 南 英俊, 門脇 和男 |
| 2. 発表標題 固有ジョセフソン接合素子アレイを用いたテラヘルツ波発振器の開発 II |
| 3. 学会等名 第81回 応用物理学会秋季学術講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 中山 繭、柏木 隆成、中川 駿吾、Kim Jeonghyuk、桑野 玄気、楠瀬 慎二、辻本 学、南 英俊、茂筑 高士、中尾 裕則、石田 茂之、永崎 洋、長谷川 幸雄、門脇 和男 |
| 2. 発表標題 Bi2212-THz波発振器の発振特性と材料特性の関係 |
| 3. 学会等名 第81回 応用物理学会秋季学術講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 柏木 隆成、桑野 玄気、中川 駿吾、楠瀬 慎二、中山 繭、Kim Jeonghyuk、永山 佳苗、湯原 拓也、山口 啄弥、辻本 学、南 英俊、門脇 和男 |
| 2. 発表標題 高温超伝導体による連続テラヘルツ波発振器の開発 |
| 3. 学会等名 一般社団法人 レーザー学会 学術講演会 第41 回年次大会（招待講演） |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 南 英俊、楠瀬 慎二、齋藤 佑真、湯原 拓也、桑野 玄気、永山 佳苗、柏木 隆成、辻本 学、門脇 和男 |
| 2. 発表標題 結晶背面から給電する高温超伝導テラヘルツ波発振素子 |
| 3. 学会等名 第68回 応用物理学会 春季学術講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 湯原 拓也、南 英俊、楠瀬 慎二、齋藤 佑真、桑野 玄気、永山 佳苗、柏木 隆成、辻本 学、門脇 和男 |
| 2. 発表標題 方形パッチアンテナと共平面結合したBi2212固有ジョセフソン接合系のテラヘルツ発振 |
| 3. 学会等名 第68回 応用物理学会 春季学術講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 中川 駿吾、柏木 隆成、中山 繭、Kim Jeonghyuk、山口 啄弥、桑野 玄気、楠瀬 慎二、辻本 学、南 英俊、中尾 裕則、茂筑 高士、石田 茂之、永崎 洋、長谷川 幸雄、木村 尚次郎、門脇 和男 |
| 2. 発表標題 Bi2212-Thz波発振器におけるデバイス特性の材料組成依存性の研究 |
| 3. 学会等名 第68回 応用物理学会 春季学術講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 柏木 隆成、Kim Jeonghyuk、中川 駿吾、中山 繭、山口 啄弥、松前 貴司、倉島 優一、日暮 栄治、高木 秀樹、森 龍也、桑野 玄気、楠瀬 慎二、永山 佳苗、湯原 拓也、齋藤 佑真、鈴木 祥平、辻本 学、南 英俊、門脇 和男 |
| 2. 発表標題 基板接合技術を用いた高温超伝導体テラヘルツ波発振器の開発 |
| 3. 学会等名 第68回 応用物理学会 春季学術講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 桑野玄気, 永山佳苗, 鈴木祥平, 楠瀬慎二, 湯原拓也, 柏木隆成, 南英俊, 門脇和男, 辻本学 |
| 2. 発表標題 Bi-2212固有ジョセフソン接合列の特性分布制御とコヒーレントなテラヘルツ波放射 |
| 3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Genki Kuwano, Kanae Nagayama, Shohei Suzuki, Shinji Kusunose, Takuya Yuhara, Takanari Kashiwagi, Hidetoshi Minami, Kazuo Kadowaki, Manabu Tsujimoto |
| 2. 発表標題 Mesa sidewall effect on Bi-2212 intrinsic Josephson junction terahertz emitters |
| 3. 学会等名 APS March meeting 2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kanae Nagayama, Genki Kuwano, Shohei Suzuki, Takuya Yuhara, Shinji Kusunose, Takanari Kashiwagi, Hidetoshi Minami, Kazuo Kadowaki, Shintaro Adachi, Shunpei Yamaguchi, Takao Watanabe, Manabu Tsujimoto |
| 2. 発表標題 Design and characterization of single crystalline Bi-2223 mesas towards the observation of coherent terahertz radiation emitted from trilayer intrinsic Josephson junctions |
| 3. 学会等名 APS March meeting 2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Jeonghyuk Kim, Yasuhiro Fujii, Suguru Kitani, Seiji Inaba, Hitoshi Kawaji, Akitoshi Koreeda, Soo Han Oh, Jae-Hyeon Ko, Takanari Kashiwagi, Tatsuya Mori |
| 2. 発表標題 Terahertz time-domain spectroscopic study on boson peak of Li _{0.25} Na _{0.25} K _{0.25} Cs _{0.25} P ₀₃ glass |
| 3. 学会等名 APS March meeting 2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Nikola Subotic, Takanari Kashiwagi, Jovan Mirkovi_, Osamu Takeuchi, Hidemi Shigekawa, Takashi Mochiku, Kazuo Kadowaki |
| 2. 発表標題 Study of topological nature of superconducting and normal states of RhPb ₂ |
| 3. 学会等名 APS March meeting 2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

| | | |
|---|---------------------------|---------------|
| 産業財産権の名称 テラヘルツ帯周波数掃引発振装置、テラヘルツ分光装置、発振方法および分光計測方法 | 発明者 南英俊, 柏木隆成, 尾内敏彦 | 権利者 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、特願 2023-027478 | 出願年 2023年 | 国内・外国の別 国内 |

| | | |
|--|--------------------------------|---------------|
| 産業財産権の名称 構造体、テラヘルツ帯電磁波発振素子及びテラヘルツ帯電磁波発振装置 | 発明者 柏木隆成, 門脇和男, 南英俊, 辻本学 | 権利者 筑波大学 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、2019-147331 | 出願年 2020年 | 国内・外国の別 国内 |

〔取得〕 計0件

〔その他〕

研究室ホームページ
https://www.ims.tsukuba.ac.jp/~kashiwagi_lab/index.html

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 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|