

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01340

研究課題名(和文) 超伝導センサーを用いたパッシブ型テラヘルツ光ナノスコープの開発

研究課題名(英文) Development of passive terahertz nanoscopy using superconducting sensors

研究代表者

有吉 誠一郎 (Ariyoshi, Seiichiro)

豊橋技術科学大学・次世代半導体・センサ科学研究所・准教授

研究者番号：20391849

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：テラヘルツ光は、電波資源の短波長化と光波資源の長波長化へ向けた技術的進展の狭間に残された未踏の光領域である。本研究では、ソフトマテリアルの基礎物性分野に新たな分析手法を提案し確立すべく、テラヘルツ帯で動作する近接場顕微鏡技術(テラヘルツ光ナノスコープ)を検討した。具体的には、鋭く尖った金属探針を試料表面に近づけ、その局所から自然放出されたテラヘルツ光をフーリエ変換分光器で変調し、力学インダクタンス検出器(MKID)で検出するシステムを構築した。今後のシステム最適化により、顕微分光イメージング性能の向上や新たな応用展開が期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、電波と光波の境界領域に位置するテラヘルツ帯で動作する近接場顕微鏡技術(テラヘルツ光ナノスコープ)の新たな可能性を示したものである。本研究成果に基づくパッシブ型の顕微分光イメージングシステムが実現すれば、様々な機能性高分子や生体試料に固有の吸収スペクトルの起源解明や構造制御、新機能発現といった新たな物性研究が可能になると期待される。

研究成果の概要(英文)：Terahertz-wave is an unexplored optical region that remains between the technological progress toward shorter wavelength radio-wave resources and longer wavelength light-wave resources. In this study, we developed a near-field microscope technology in terahertz band (terahertz nanoscopy) in order to propose and establish a new analytical method in the field of basic physical properties of soft materials. Specifically, we constructed a system in which a sharp metal probe is brought close to a sample surface, and the terahertz-wave spontaneously emitted from the local area is modulated by a Fourier transform spectrometer and detected by a microwave kinetic inductance detector (MKID). Future optimization of the system is expected to improve the microspectroscopic imaging performance and develop new applications.

研究分野：超伝導デバイス、テラヘルツ工学

キーワード：テラヘルツ/赤外材料・素子 超伝導材料・素子 超精密計測 高分子構造・物性

1. 研究開始当初の背景

電波と光波の境界領域に位置するテラヘルツ光(周波数 0.1~10 THz、波長 3 mm~30 μm)は、電波と可視光域双方の技術的進展とは対照的に未踏の光領域として取り残されてきた。しかし、近年のテラヘルツ光源や検出器の研究開発により、物質に対する透過性と吸収スペクトルを利用した物質同定性を併せもつなど、他の波長帯には見られない特長をもつことが再認識され、これを活かした医療応用やセキュリティー応用、物性研究や天文観測研究など、様々な分野でのテラヘルツ光応用が検討されている。

これらの応用研究を支える画像取得技術、すなわちイメージング技術を光発生観点から分類すると、レーザーなどの人工光を測定対象に照射して反射や透過を検出する「アクティブ型」と、測定対象からの微弱な自然放出光を捉える「パッシブ型」に分けることができる(図1)。一方、結像系の観点からいえば、通常のレンズやミラーを用いたカメラを構成する「焦点面アレイ方式」と、測定対象からの局所的な近接場光を捉える「近接場顕微鏡方式」に分類することができる。このうち、パッシブ型・近接場顕微鏡方式は人工光を測定対象に照射しないため非侵襲であり、回折限界をはるかに超える微小な空間分解能で測定対象の“ありのままの姿”の画像取得が可能という利点がある。しかし、同計測システムの最後段には高い感度と高速応答性を併せもつ先端的检测デバイスが必須であり、この検出器の不在が、これまでテラヘルツ帯でのパッシブ型・近接場顕微鏡の実現を阻んできた主要因であった。

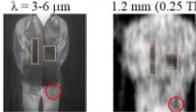
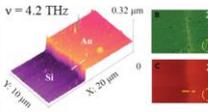
		光発生	
		アクティブ型 (人工光を利用)	パッシブ型 (自然放出光を利用)
結像系	焦点面アレイ方式 (空間分解能~観測波長)	 ν = 0.2 THz N. Karpowicz et al., <i>APL</i> , 86 , 054105 (2005).	 λ = 3-6 μm, 1.2 nm (0.25 THz) M. Kowalski, <i>JMTW</i> , 40 , 1074 (2019).
	近接場顕微鏡方式 (空間分解能<<観測波長)	 ν = 4.2 THz, 0.32 μm F. Qiu et al., <i>iScience</i> , 25 , 104637 (2022).	未開拓 (高感度検出器が必須 →MKIDを適用)

図1 テラヘルツ光イメージング技術の分類 [1-3]

2. 研究の目的

本研究の目的は、高分子や生体材料などのソフトマテリアルの基礎物性分野に新たな分析手法を提案し確立すべく、テラヘルツ帯で動作する近接場顕微鏡技術(テラヘルツ光ナノスコーピー)を創出することにある。具体的には、鋭く尖った金属探針を試料表面に近づけ、その局所から自然放出されたテラヘルツ光をフーリエ変換分光器で変調し、高感度の超伝導センサー(力学インダクタンス検出器、MKID [4-6])アレイで検出するシステムの構築を目指した。

3. 研究の方法

本研究の装置の構成要素は顕微鏡部、分光器部、検出器部に分類することができる(図2)。まず「顕微鏡部」に関しては、ハードウェア・ソフトウェア双方を自由にカスタマイズ可能な走査型プローブ顕微鏡(SPM、米国 Mad City Labs 社製 SPM-M Kit)を導入し、低振動の光学定盤上に設置して動作条件を最適化した。また、プローブ材料の多様性を目指し、高温超伝導体を用いた新規プローブを試作して SPM に搭載した。

次に「分光器部」については、代表者所有のテラヘルツ帯フーリエ変換分光器(日本分光社製 FARIS-S)を活用した。また、様々な高分子材料の調製と分光評価を行うことで、テラヘルツ光ナノスコーピーに適した試料を選定した。

最後に「検出器部」に関しては、MKIDの読み出し系に従来のネットワークアナライザを用いた測定系ではなく、同相直交(IQ)ミキサをベースにしたデータ収集系を構築することで、分光器部や顕微鏡部との信号同期を可能にした。そして、心臓部となるMKIDにはサファイア基板に成膜した窒化ニオブ(NbN)膜を用いた。転移温度~15 KをもつNbNは検出可能な下限周波数が1.1 THz(270 μm)であり、代表者所有の低振動⁴He冷凍機システム(仁木工芸社製)へ搭載して冷却評価を行うことが可能である。

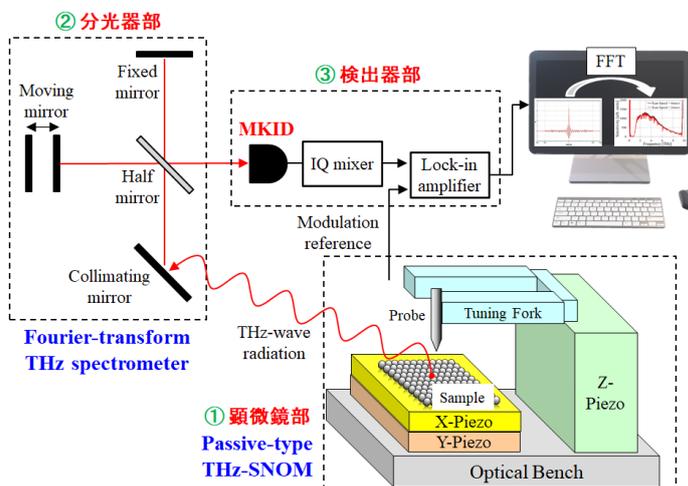


図2 MKIDを用いたテラヘルツ光ナノスコーピーの概要

4. 研究成果

以下に、顕微鏡部、分光器部、検出器部に分けて述べ、今後の展望で締めくくる。

(1) 顕微鏡部

(1-1) 光学系の構築

テラヘルツ光ナノスコープの光学系として、SPM 装置に標準付属のタングステンプローブ直下 nm 径の局所から自然放射された THz 光を変調し、放物面鏡 2 枚(軸外し角 45° と 90°) で集光するという構成を検討した(図 3)。まず、光学設計ソフトウェア(Zemax Opticstudio)を用いて数値解析した結果、焦点面で 1 波長内に約 80%の光エネルギーを集光できることがわかった。次に、放物面鏡を実際に設置し、2 mm 径の点光源(発光ダイオード)を用いて検出系から SPM ステージ上までの光軸合わせを行った結果、ステージ上で 4 mm 径以内の良好な結像を確認した。

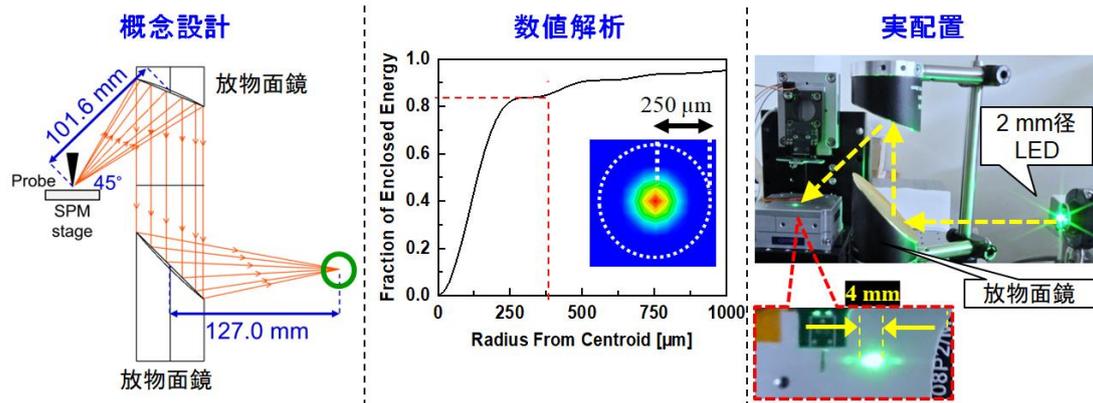


図 3 光学系の概念設計(左)と数値解析(中央)、実配置(右)

(1-2) 超伝導プローブの創製

プローブ材料の多様性を目指し、高温超伝導体を用いた新規プローブを試作した。まず、c 軸配向 YBCO バルク ($10 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$) をファインカッター(平和テクニカ社製 HS-100)を用いて角棒($0.5 \times 0.5 \times 10 \text{ mm}^3$)に切り出した。次に、研磨装置(メイワフォーシス社製 SBT900)と集束イオンビーム装置(FIB、日立ハイテック社製 NB5000)を用いて角棒の片端を尖鋭化した。加工条件の最適化の結果、尖端曲率半径 334 nm の鋭利なプローブを実現した(図 4(a))。

その後、YBCO プローブを原子間力顕微鏡(AFM)モードの SPM に搭載し、プローブ尖端の評価を行った。同図(b)に示す AFM 装置に尖鋭化したプローブを搭載し、同図(c)に示す Si 製試料を測定した。その結果、同図(d)の AFM 像が得られ、ピッチ 5 μm 、高さ 100 nm のパターンを明瞭に識別することができた。また、ナイフエッジ法による画像解析により、プローブ先端の鋭さは 297 nm と算出した。以上より、YBCO プローブが試料表面の凹凸を計測するために十分な空間分解能を有することを実証した [7]。

従来のプローブ材料には常伝導金属や半導体などが用いられてきたが、本プローブは初の超伝導セラミック製と位置付けることができる。例えば、導電性分子の測定に際し、従来の常伝導プローブでは全伝導チャンネルのトンネル電流のみが測定可能であるのに対し、超伝導プローブを用いた場合は超常界面に生じる「多重アンドレーエフ反射」を利用することで各伝導チャンネルの縮退を解くことができるため、SPM の高機能化や未知の導電性分子の電子輸送メカニズム解明に繋がると期待される。

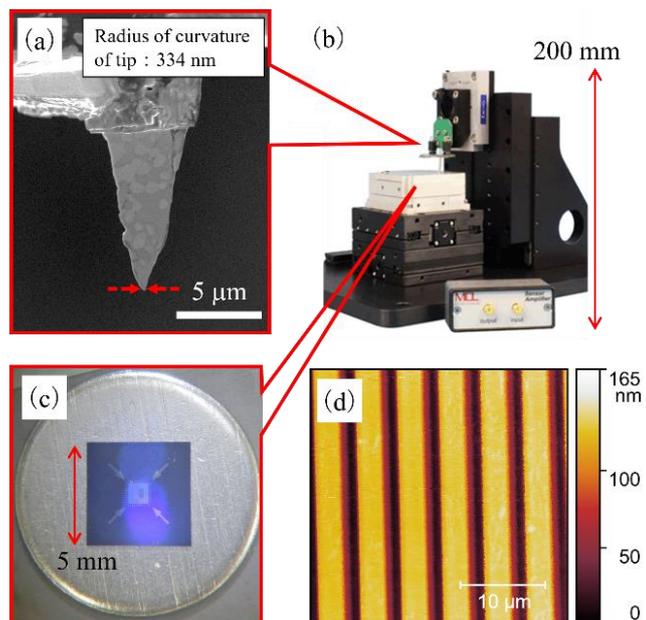


図 4 (a) YBCO プローブ、(b) AFM 装置、(c) 測定試料、(d) ラインパターンの AFM 像

(2) 分光器部

(2-1) 干渉効率の最適化

テラヘルツ帯でのフーリエ変換分光法 (FTS) は、時間領域分光法 (TDS) に比べて過渡応答や波数ごとの複素屈折率の取得が困難なものの、広帯域でのスペクトル計測が可能という利点がある。通常の FTS では干渉に寄与する半透鏡の枚数は 1 枚であるが、本 FTS システムでは 2 枚の半透鏡を採用した (図 5)。これにより、分光器へ入射したテラヘルツ光が 1 枚目の半透鏡 (ワイヤーグリッド、90° 回転) で 2 方向に分割され、その両方の経路が 2 枚目の半透鏡 (ワイヤーグリッド、45° 回転) で干渉に寄与することになるため、2 倍の信号強度でスペクトル計測が可能である。また、固定鏡・可動鏡の光軸合わせやスキャン速度の変更に加え、テラヘルツ光源として従来の水銀ランプに比べて安定性に優れたセラミックヒーターを採用することで、2.5~17.5 THz の周波数範囲で±2.5 %以内のスペクトル再現性を達成した。

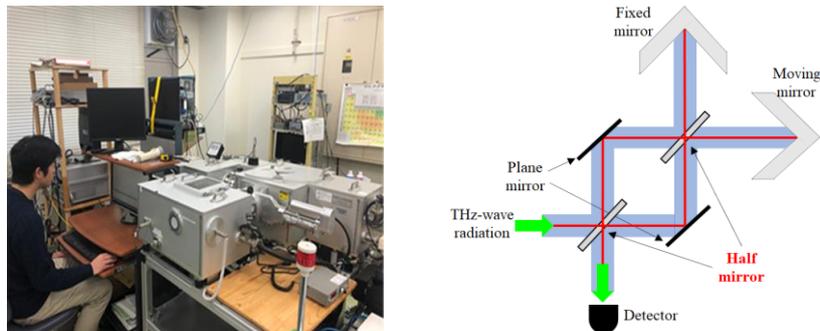


図 5 テラヘルツ帯フーリエ変換分光器 (左) と干渉計の模式図 (右)

(2-2) 高分子材料の調製と分光評価

空間分解能 (解像度) を評価する指標として、ポリスチレン - メタクリル酸ブロック共重合体 (PS-*b*-PMMA) のマイクロ層分離構造を観測することを目指した。PS-*b*-PMMA は分子量に応じてサブ μm から最小 20 nm サイズのマイクロ層分離構造を形成する。PS 部と PMMA 部はテラヘルツ領域の分光特性に大きな差があるため (図 6 左)、解像度を測るサンプルとして最適である。まず、異なる分子量をもつ PS-*b*-PMMA の 200、100、50、20 nm 程度のマイクロ層分離構造を試作し、通常の AFM 装置を用いて試料表面形状を観測した (同図右)。次に、作製したサンプルについてテラヘルツ光観測に応じた最適化を行い、横方向の 2 次元的な解像度は最小 20 nm 程度の空間分解能のあるサンプルを再現性良く作製できることがわかった。また、通常の透過型 THz 分光で PS と PMMA 各々のスペクトルから 10 THz 付近の吸光度がより顕著に差があることがわかった。このことから、透過スペクトルにおいても観測できる限界厚みを見積もり、nm オーダーでも有意な差が期待できることが明らかとなった。さらに、独自の応用開拓として、有機半導体を用いた有機太陽電池などバルクヘテロ構造と呼ばれるナノ構造においても、THz 帯に有意なピーク形状の差を有する分子系の組み合わせであれば、テラヘルツ光学特性とナノ配向・集合体構造を解明する有力なツールとなり得ることがわかった。

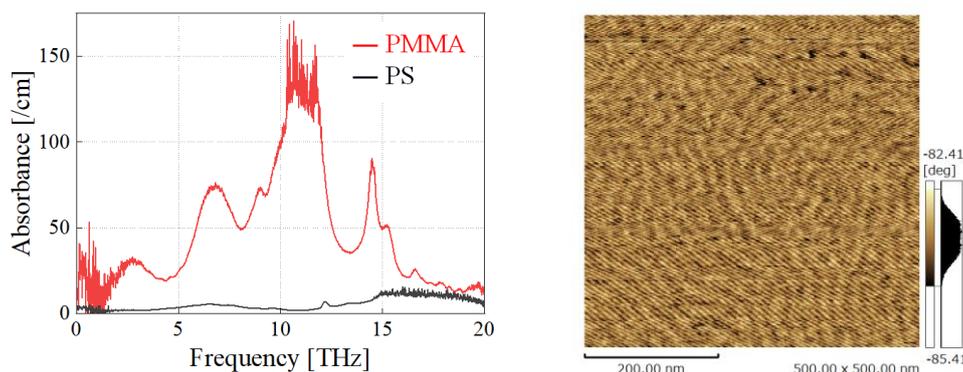


図 6 PS と PMMA 各々のテラヘルツ分光特性 (左) と PS-*b*-PMMA の AFM 像 (右)

他の分光例として、バイオマスプラスチックのひとつであるポリ乳酸 (PLA) の高次構造に起因する明瞭なテラヘルツ光吸収ピークの観測に成功した (図 7)。PLA は結晶化温度を変えることで、 α 晶 (110 °C) や δ 晶 (80 °C) などの異なる結晶構造を形成することが知られている。我々はこの特徴に着目し、結晶化温度の異なるサンプルを詳細に作り分け、結晶構造と吸収スペクトルの比較を行った結果、 α 晶と δ 晶では 4~5 THz 帯のピーク強度に明瞭な相関関係があることを見出した [8]。また、吸収スペクトルの起源解明のために、市販の分子構造可視化ソフトウェア (Winmostar™) を用いて乳酸モノマー (PLA の最小ユニット) の分子構造を作成し、計算プログラム GAMESS を用いて密度汎関数 B3LYP/基底関数 6-31G(d) レ

ベルでの構造最適化と振動計算を行った。モノマー計算の結果、1-15 THz 帯に計 5 本の吸収ピーク (6.5, 8.4, 10.8, 12.2, 13.6 THz) を同定し、主に高周波側に現れていることがわかった[9]。さらに、鏡像異性 PLA (PLLA と PDLA) を混合させた後に 2 日間乾燥させてステレオコンプレックス (SC) と呼ばれる共重合体を作製した。テラヘルツ分光測定の結果、PLLA と PDLA の比較では吸収ピーク周波数に有意な差が見られなかったものの、SC では複雑なピークシフトが現れることを実験的に示した [10]。

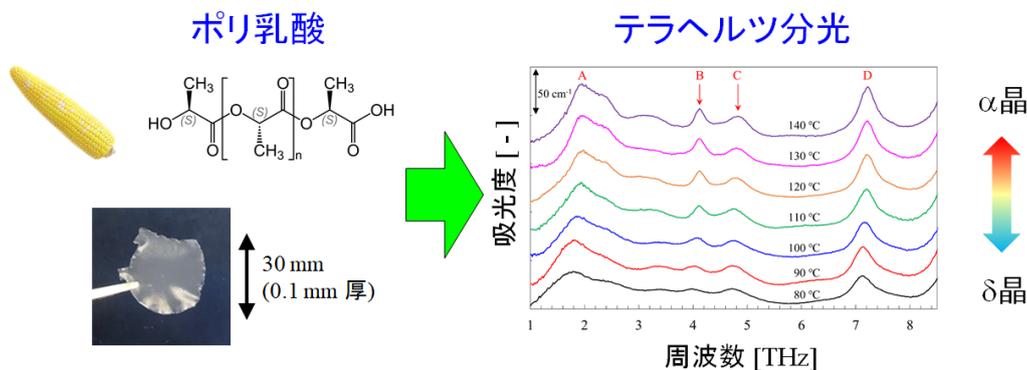


図 7 ポリ乳酸の化学組成式とサンプル写真 (左)、テラヘルツ光吸収スペクトル (右)

(3) 検出器部

テラヘルツ光センサーとして、1 辺 10 mm 角のサファイア基板上に作製された NbN 製 MKID の 25 画素アレイおよび 1 画素の拡大写真を図 8 (a) に示す。まず、ベクトルネットワークアナライザを用いて MKID アレイのマイクロ波共振特性を評価した結果、動作温度 3.7 K で 3.3~3.6 GHz 帯に均一性の高い計 25 本の共振ディップがあることを確認した (同図(b))。次に、マイクロ波発振器とミキサから成るヘテロダイン検出系を構築し、黒体炉と光学チョッパを用いて入射光量やチョッピング周波数に対する MKID の応答を測定した。一例として、黒体炉温度 1200 K、チョッピング周波数 100 Hz の条件下で測定した各画素のテラヘルツ入射光量依存性を同図(c) に示す。その結果、主に冷凍機由来の振動ノイズの影響で画素毎に検出感度にばらつきがあるものの、最大感度の画素で 0.1 μW 以上の入射光量が測定可能であることがわかった。

今後、本システムの顕微鏡部から分光器部、検出器部に至る一連の構成を最適化することで、機能性高分子や生体材料に固有の吸収スペクトルの起源解明や構造制御、新機能発現といった新たな基礎物性研究が可能になると期待される。

<引用文献>

- [1] N. Karpowicz et al., *Appl. Phys. Lett.*, **86**, 054105 (2005).
- [2] M. Kowalski, *J. Infrared Millim. Terahertz Waves*, **40**, 1074 (2019).
- [3] F. Qiu et al, *iScience*, **25**, 104637 (2022).
- [4] P. K. Day et al, *Nature*, **425**, pp.817-821 (2003).
- [5] S. Ariyoshi et al, *Appl. Phys. Exp.* **6** 064103 (2013).
- [6] S. Ariyoshi et al, *Mater. Res. Express*, **8**, 116001 (2021).
- [7] S. Ariyoshi et al, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, **33**(5), 7200104 (2023).
- [8] S. Ariyoshi et al, *Mater. Advances*, **2**, 4630 (2021).
- [9] N. Hiroshiba et al, *Physica B: Condensed Matter*, **649**, 414488 (2023).
- [10] S. Ohnishi et al, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **62**, SG1003 (2023).

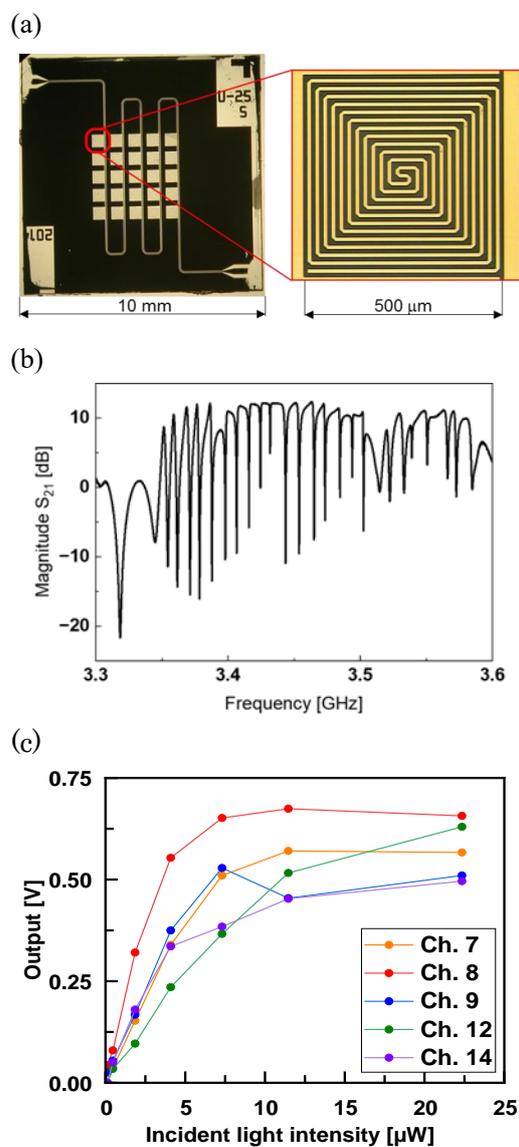


図 8 NbN 製 MKID アレイの (a) 顕微鏡写真、(b) マイクロ波共振特性、(c) テラヘルツ入射光量依存性

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 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 S. Ariyoshi, A. Ebata, B. Ohnishi, S. Ohnishi, T. Kanada, K. Hayashi, Y. Miyato, S. Tanaka, and N. Hiroshiba	4. 巻 33
2. 論文標題 Fabrication and Evaluation of YBa ₂ Cu ₃ O _{7-x} Probe for Scanning Probe Microscopy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 7200104_1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TASC.2023.3235955	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 K. Hayashi, R. Ohtani, Y. Tottori, S. Ariyoshi, and S. Tanaka	4. 巻 33
2. 論文標題 Flux Noise Reduction of HTS-SQUIDS via Introduction of Antidots	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 1600704_1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TASC.2023.3249648	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 S. Ohnishi, A. Ebata, B. Ohnishi, H. Tsuji, S. Tanaka, N. Hiroshiba, and S. Ariyoshi	4. 巻 62
2. 論文標題 Broadband terahertz spectroscopy of enantiomeric poly(lactide)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SG1003_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/acaecf	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 -

1. 著者名 N. Hiroshiba, M. Akiraka, H. Kojima, S. Ohnishi, A. Ebata, H. Tsuji, S. Tanaka, K. Koike, and S. Ariyoshi	4. 巻 649
2. 論文標題 Broadband infrared absorption spectroscopy of low-frequency inter-molecular vibrations in crystalline poly(L-lactide)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physica B: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 414488_1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.physb.2022.414488	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 -

1. 著者名 K. Hayashi, R. Ohtani, Y. Tottori, S. Ariyoshi, and S. Tanaka	4. 巻 32
2. 論文標題 Study of HTS Nanobridge Josephson Junctions made by FIB	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 1100406_1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2022.3206226	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 S. Ariyoshi, H. Mikami, A. Ebata, S. Ohnishi, T. Hizawa, S. Tanaka, and K. Nakajima	4. 巻 8
2. 論文標題 Design evaluation of microwave transmission properties of YBa ₂ Cu ₃ O ₇ -based kinetic inductance detectors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Research Express	6. 最初と最後の頁 116001_1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2053-1591/ac3693	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 -

1. 著者名 S. Ariyoshi, S. Ohnishi, H. Mikami, H. Tsuji, Y. Arakawa, S. Tanaka, and N. Hiroshiba	4. 巻 2
2. 論文標題 Temperature dependent poly(l-lactide) crystallization investigated by Fourier transform terahertz spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Advances	6. 最初と最後の頁 4630-4633
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1ma00195g	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 -

1. 著者名 K. Hayashi, T. Ueda, R. Ohtani, S. Ariyoshi, and S. Tanaka	4. 巻 31
2. 論文標題 Fabrication of HTS Low-Noise Nanobridge Josephson Junction by Gallium FIB	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 1101604_1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2021.3072009	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 R. Ohtani, K. Hayashi, M. Sagawa, S. Ariyoshi, and S. Tanaka	4. 巻 1975
2. 論文標題 Estimation of Critical Current of HTS RF-SQUID	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IOP: Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012022_1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1975/1/012022	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11件(うち招待講演 2件/うち国際学会 4件)

1. 発表者名 S. Ariyoshi, B. Ohnishi, R. Taguchi, K. Hayashi, S. Tanaka, Y. Miyato, Y. Takano, N. Hiroshiba
2. 発表標題 Development of Scanning Tunneling Spectroscopy Technology using YBa2Cu307- Probe
3. 学会等名 18th International Superconductive Electronics Conference (ISEC 2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大西 漠、田口 竜一、林 幹二、田中 三郎、宮戸 祐治、廣芝 伸哉、有吉 誠一郎
2. 発表標題 YBa2Cu307- プロープの尖鋭化と特性評価
3. 学会等名 第22回低温工学・超伝導若手合同講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大西 漠、江畑 敦志、大西 理志、林 幹二、田中 三郎、宮戸 祐治、廣芝 伸哉、有吉 誠一郎
2. 発表標題 集束イオンビーム法によるYBa2Cu307- プロープの作製と評価
3. 学会等名 第105回 低温工学・超電導学会研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Ariyoshi, A. Ebata, B. Ohnishi, S. Ohnishi, T. Kanada, K. Hayashi, Y. Miyato, S. Tanaka, and N. Hiroshiba
2. 発表標題 High-temperature Superconducting Probe for Scanning Probe Microscopy
3. 学会等名 11th East Asia Symposium on Superconductor Electronics (EASSE 2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Ariyoshi, A. Ebata, S. Ohnishi, T. Kanada, K. Hayashi, S. Tanaka, and N. Hiroshiba
2. 発表標題 Fabrication and evaluation of YBa ₂ Cu ₃ O _{7-x} probe for scanning probe microscopy
3. 学会等名 Applied Superconductivity Conference 2022 (ASC2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Ohnishi, A. Ebata, B. Ohnishi, H. Tsuji, S. Tanaka, N. Hiroshiba, S. Ariyoshi
2. 発表標題 Broadband terahertz spectroscopy of enantiomeric polylactide
3. 学会等名 35th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 江畑 敦志、大西 漠、大西 理志、金田 隆文、林 幹二、宮戸 祐治、田中 三郎、廣芝 伸哉、有吉 誠一郎
2. 発表標題 走査型トンネル顕微鏡用超伝導プローブの特性評価
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 林 幹二、大谷 涼、鳥取 優樹、有吉 誠一郎、田中 三郎
2. 発表標題 Ga-FIBを用いて作製したHTS-SQUIDに関する研究
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 大西 理志、下浦 大和、江畑 敦志、辻 秀人、荒川 優樹、田中 三郎、廣芝 伸哉、有吉 誠一郎
2. 発表標題 結晶構造の異なるポリ乳酸の広帯域テラヘルツ分光
3. 学会等名 第31回日本MRS年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 江畑 敦志、大西 理志、金田 隆文、林 幹二、田中 三郎、有吉 誠一郎
2. 発表標題 走査型トンネル顕微鏡用超伝導プローブの作製と評価
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 林 幹二、大谷 涼、有吉 誠一郎、田中 三郎
2. 発表標題 FIBによる高温超伝導ナノブリッジジョセフソン接合作製法の検討
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

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

豊橋技術科学大学 次世代半導体・センサ科学研究所（応用化学・生命工学系）光センシング応用研究室
<https://chem.tut.ac.jp/terahertz/>

M2大西漢が低温工学・超電導学会で優良発表賞を受賞しました（受賞日：2024年5月24日）。
<https://www.tut.ac.jp/news/240603-21973.html>

M1大西漢が第22回低温工学・超伝導若手合同講演会で口頭発表を行い、低温工学・超伝導若手奨励賞を受賞しました（受賞日：2023年11月24日）。
<https://www.tut.ac.jp/news/231212-21638.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
研究分担者	荻戸 立夫 (Nozokido Tatsuo) (00261149)	富山大学・学術研究部工学系・准教授 (13201)	
研究分担者	廣芝 伸哉 (Hiroshiba Nobuya) (40635190)	大阪工業大学・工学部・准教授 (34406)	

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
---------	---------