

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19H02627

研究課題名（和文）多波長テラヘルツパラメトリック発生を用いたシングルピクセルイメージング

研究課題名（英文）Single pixel imaging using multiwavelength terahertz parametric generator

研究代表者

村手 宏輔（MURATE, Kosuke）

名古屋大学・工学研究科・助教

研究者番号：50824645

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,100,000円

研究成果の概要（和文）：テラヘルツ波は遮蔽物を透過して内部の試薬類を同定できる特長があるが、同帯域で動作するカメラがなく、イメージングには長い測定時間を必要としていた。そこで本研究では、光注入型テラヘルツ波パラメトリック発生器（is-TPG）と呼ばれる独自の高出力光源と、シングルピクセルイメージングと呼ばれる手法を組み合わせることで、高速かつ高ダイナミックレンジなテラヘルツイメージングを実現した。遮蔽物に隠蔽された試薬の空間分布も高速に可視化でき、様々な分野への応用展開が期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

テラヘルツ波に期待される応用として、遮蔽物内部の禁止薬物の検出や、薬局での処方薬の間違い検出などが挙げられる。それらの実現には、高速かつ遮蔽物を透過した微弱信号でも測定できる高いダイナミックレンジを有するイメージング手法が必要である。本研究の成果は、まさにそれらの課題を解決しうる実用的なテラヘルツ波イメージングシステムであり、テラヘルツ波を用いた安心安全社会の実現に重要なシステムと考えている。

研究成果の概要（英文）：Terahertz waves have the characteristic of being able to penetrate obstructions and identify internal reagents, but the lack of cameras operating in this band has required long measurement times for imaging. Therefore, in this research, we have achieved high-speed and high-dynamic-range terahertz imaging by combining our proprietary high-power terahertz source called the injection-seeded terahertz parametric generator (is-TPG) with a method called single-pixel imaging. This allows for the rapid visualization of the spatial distribution of reagents concealed by obstructions, and we expect it to have applications in various fields.

研究分野：テラヘルツ波

キーワード：テラヘルツ波 シングルピクセルイメージング 圧縮センシング パラメトリック発生

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

我々は非線形光学結晶 LiNbO₃ をマイクロチップ Nd:YAG レーザーで励起するテラヘルツ光源である光注入型テラヘルツ波パラメトリック発生器 (is-TPG: injection seeded THz Parametric Generator) の開発を進めてきた。is-TPG は、テーブルトップサイズでありながら 100kW という極めて強いテラヘルツ波パルスを生じ、単一周波数発振かつ 0.4 - 5.0THz という広帯域周波数可変性を有する我々独自の技術である。また、発生逆過程でテラヘルツ波検出も可能で、検出するテラヘルツ波を種光として LiNbO₃ 結晶内へ入射し、近赤外光ビームに変換して測定する手法により、高感度検出を実現している。この高出力光源と高感度検出を組み合わせ、テラヘルツ分光システムを開発した。ダイナミックレンジは世界最高レベルの 125dB で、他技術では不可能な減衰の大きな遮蔽物内に隠された試薬の分光や、硬質プラスチック製品の 3 次元 CT など実現している。しかしながら、テラヘルツ波領域には実用的なカメラが存在しておらず、イメージングを行う際にはサンプルのラスタースキャンが必要となり長い測定時間を要していた。

2. 研究の目的

上述の問題を解決するために、本研究では単一画素の検出器を用いてもイメージングが可能となるテラヘルツ波帯のシングルピクセルイメージング実現を目指した。シングルピクセルイメージングとは、図 1 に示すように、Digital Micromirror Device (DMD) 等により空間的な変調 (2 次元マスク) をかけたテラヘルツ波を単一画素の検出器で測定し、計算により画像を復元する技術であり、アレイ検出器不要で二次元画像が得られる。しかし、テラヘルツ帯において一般的な測定技術であるテラヘルツ時間領域分光法 (THz-TDS) と組み合わせるとダイナミックレンジが低く、実用上重要とされる遮蔽物に隠蔽された試薬類の測定には課題があった。一方で is-TPG であれば広帯域にダイナミックレンジが高いことから、従来では成し得なかった高ダイナミックレンジ、高速、かつ安定性の高い分光イメージングが実現できる。さらに、我々独自の技術の多波長同時発生 is-TPG と組み合わせる事ができれば、ワンショットで分光も可能となり、大幅な測定時間短縮が期待される。

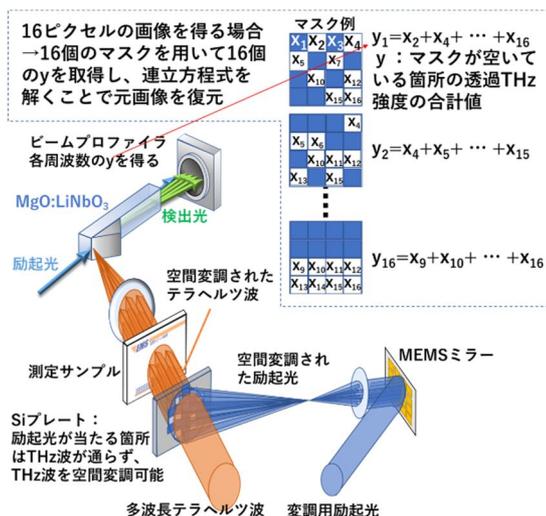


図 1 多波長発生とシングルピクセルイメージングを組み合わせた、高ダイナミックレンジ高速分光イメージングを目指す

3. 研究の方法

本研究では以下の2つの項目で研究を実施した。

(1) 多波長テラヘルツ波発生

is-TPG は、励起光と種光 (注入光) を LiNbO₃ 結晶に入射し、注入光と同一波長の近赤外光 (アイドラー光) およびテラヘルツ波を強いパラメトリック相互作用により発生する装置である。この時、入射する注入光の波長と角度を、LiNbO₃ 結晶の角度位相整合条件を満たすようアクロマティックに制御することで広帯域波長可変性が得られる。本研究では、この注入光を多波長化することで多波長テラヘルツ波の同時発生を行った。そのためには、波長数分の近赤外光の種光を作成する必要があり、本研究では独自に開発した外部共振器型半導体レーザーによる方式を検討した。

(2) is-TPG を用いた遮蔽物越しシングルピクセルイメージングの実現

多波長 is-TPG は、ワンショットで分光ができ、高いダイナミックレンジを有することから、数あるテラヘルツ技術の中でも、シングルピクセルイメージングと相性が良い。マスクを用いてテラヘルツ波を直接変調できれば理想的だが、DMD の各ミラーが小さく (各マイクロミラーは 10 μm 程度) テラヘルツ波が回折するため十分な空間分解能が得られない。そこで、2つの方式でテラヘルツ波の変調を行った。1つ目は、発生したテラヘルツ波光路中に Si プレート挿入し、そこに DMD で空間的な変調をかけた励起光をレンズで拡大して入射することでテラヘルツ波に変調をかける。Si に励起光が当たる部分はテラヘルツ波が吸収され、当たらない部分のみ透過するため、励起光の空間分布をテラヘルツ波に焼き直し可能である。2つ目は、金属プリンターでマスクを印刷し、そのマスクを機械的に動かすことでテラヘルツ波に変調を掛ける。DMD + Si プレートに比べて高い変調率が得られることから、より鮮明な画像取得が可能となる。これらマスクにより変調されたテラヘルツ波は、サンプル透過後、is-TPG を用いた検出器により近赤外光

に波長変換され、CCD カメラ等により各周波数の強度を得る。その後求めるピクセル数分のマスクについて同測定を行い、連立方程式を解くことで2次元画像を復元する。多波長で測定できればワンショットで分光可能であり、レーザーの繰り返し周波数(～100Hz)で各マスク投影時の分光情報が得られ、高速分光イメージングが可能である。また、このとき圧縮センシング技術を用いればピクセル数よりも少ないマスク数で画像を復元でき、さらなる高速化が可能である。

4. 研究成果

(1) 多波長テラヘルツ波発生

DMD を波長選択機構に導入した外部共振器型半導体レーザーを独自に開発することで、6kHz の変調レートで波長を切り替えられる注入光源を作成した。これにより、図2に示すようにビデオレートでテラヘルツ波分光が可能となり、大幅な測定時間短縮が実現した。加えてレーザー内部での四光波混合を効果的に起こすことで、安定的な多波長同時発生も可能となった。これらはシングルピクセルイメージングへの応用のみならず、様々な応用測定への展開が期待される。

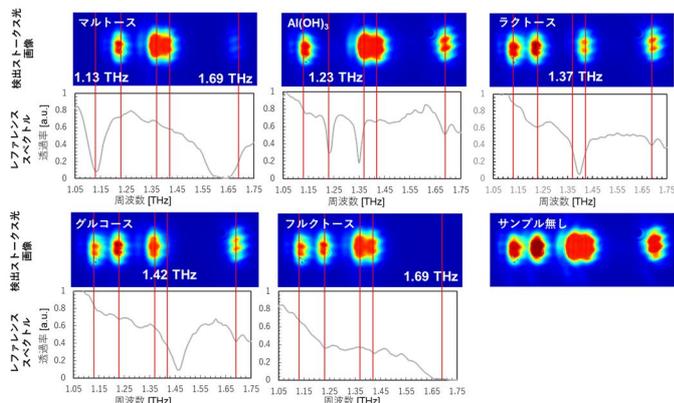


図2 各サンプル挿入時の検出光の様子(上部)と、各サンプルのレファレンススペクトル(下部)。ビデオレートでテラヘルツ波の分光情報を取得可能。

(2) is-TPG を用いた遮蔽物越しシングルピクセルイメージングの実現

まずはテラヘルツ波の変調方式として DMD + シリコンプレートで行うことを検討した。しかし、テラヘルツ波の変調度を測定したところ、レーザーのパルス幅が短いことから十分な変調ができず 1 桁程度の変調度しか得られなかった。より高い変調度を得るために入射エネルギーを上げたところ DMD の損傷が見られてしまい、これでは十分な画像取得が困難であると考え、銀ナノ粒子インクを用いてマスクを印刷する方式に移行した。10cm 四方程度の範囲にピクセル数と同数のマスクを印刷し、そちらを機械ステージで掃引することで、テラヘルツ波の変調を行った。金属でテラヘルツ波を変調することになるため、高い変調率が得られ、単一波長ではあるが 8×8 の 64 ピクセルのイメージングを行ったところ、サンプル形状を把握できた。次に、解像度の向上及びノイズの低減を行うために、マスク行列を変更した。先行研究の結果などを参考にして、従来は Hadamard masks と呼ばれるマスクを利用していた。しかし、このマスクでは、それぞれのマスクによって空間周波数が大きく異なることから、マスクごとに回折量が変動する。これはノイズの増加に直結することから、きれいな画像取得は難しいと考えた。そこで、Cyclic Hadamard S-masks と呼ばれるマスクを導入した。これは循環アダマル行列から作成されるマスクであり、全てのマスクの空間周波数が同一といった特徴を有する。ゆえにマスク間での回折量の違いを揃えることができ、回折の影響を最小限に抑えられることから、解像度の高い画像が得られる。実際に 64 ピクセルに比べて 25 倍の約 1600 ピクセルまで高解像度化が実現し、図 3(a)に示すようにサンプルイメージを正確に取得できるようになった。十分な解像度が得られたと考え、次に本システムを用いて試薬の分光イメージングを行った。周波数を振りながら複数種類の試薬を測定することで、図 3(b)に示すようにそれぞれの吸収ピークの違いから試薬の空間分布可視化が可能となった。さらに、is-TPG の強みである高いダイナミックレンジを活かして、他のシステムでは困難である遮蔽物越しの分光イメージングまで検証した。

30dB 以上減衰する遮蔽物の中の金属サンプルの可視化が可能であるだけでなく、試薬の分光イメージングも実現し、本システムの実用性の高さが示された。最後に、測定の高高速化を目指して、圧縮センシングの導入を行った。上記の測定では 1600 ピクセル程度を 7 分ほどで測定していたが、圧縮センシングにより測定回数を減らすことができる。最も圧縮率が高い場合で、全体の 12% のデータでも画像の再構成が可能となり、測定時間を 1 分まで高速化が可能となった。

(a) 金属サンプル (b) 試薬を四方に配置し、4周波数でイメージングした結果

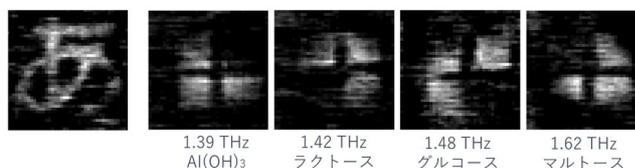


図3 is-TPG によるシングルピクセルイメージングで得られた画像

以上のように is-TPG とシングルピクセルイメージングの組み合わせの有用性を示すことができ、他のシステムでは困難なイメージングも可能とした。しかし、当初の計画では多波長発生とシングルピクセルイメージングを組み合わせたとしていたが、研究期間中にはそこまで達成できていない。現在も研究は継続して進めており、近日中に報告できる結果が得られると考えている。

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 1件）

1. 著者名 S. Mine, K. Kawase, K. Murate	4. 巻 46
2. 論文標題 Real-time wide dynamic range spectrometer using a rapidly wavelength-switchable terahertz parametric source?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 2618 - 2621
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.423985	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. Murate, H. Kanai, and K. Kawase	4. 巻 11
2. 論文標題 Application of Machine Learning to Terahertz Spectroscopic Imaging of Reagents Hidden by Thick Shielding Materials?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology	6. 最初と最後の頁 620-625
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/THZ.2021.3094128	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. Mine, K. Kawase, K. Murate	4. 巻 47
2. 論文標題 Noise-free terahertz-wave parametric generator.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 1113-1116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.448636	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. Sakai, K. Kawase, and K. Murate	4. 巻 45
2. 論文標題 Highly sensitive multi-stage terahertz parametric detector	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 3905-3908
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.394975	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. Mine, K. Kawase, K. Murate	4. 巻 60
2. 論文標題 High-power ASE-free fast wavelength-switchable external cavity diode laser	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 1953-1957
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.416033	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. Mitsuhashi, K. Murate, S. Niijima, T. Horiuchi, and K. Kawase	4. 巻 28
2. 論文標題 Terahertz tag identifiable through shielding materials using machine learning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 3517-3527
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.384195	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. Murate, H. Sakai, and K. Kawase	4. 巻 10
2. 論文標題 Six billion-fold amplification via a two-stage terahertz parametric amplifier	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology	6. 最初と最後の頁 200-203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/THZ.2020.2964832	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59件 (うち招待講演 23件 / うち国際学会 32件)

1. 発表者名 Kosuke Murate, Kodo Kawase
2. 発表標題 Real-time measurement system using multi-wavelength THz-wave parametric generation and detection (invited)
3. 学会等名 the 8th International Conference on Antennas and Electromagnetic Systems (AES 2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kosuke Murate, Kodo Kawase
2. 発表標題 Real-time spectroscopic measurement using terahertz parametric generator (Keynote)
3. 学会等名 2022 IEEE Summer Topicals Meeting Series (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 前中 憲斗, 董 徳辰, 嶺 颯太, 川瀬晃道, 村手宏輔
2. 発表標題 テラヘルツパラメトリック発生器を用いた遮蔽物越しのシングルピクセルイメージング
3. 学会等名 一般社団法人レーザー学会学術講演会第43回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 清水健太, 金井宏樹, 川瀬晃道, 村手宏輔
2. 発表標題 テラヘルツ波を用いた試薬検査に対する機械学習の有効性
3. 学会等名 一般社団法人レーザー学会学術講演会第43回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Murate, K. Kawase
2. 発表標題 Development of terahertz parametric generator for real-time measurement (invited)
3. 学会等名 9th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies (RJUSE TeraTech-2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Murate, K. Kawase
2. 発表標題 Development of a Terahertz Parametric Generator/Detector for Nondestructive Testing (invited)
3. 学会等名 JSAP-OSA Joint Symposia 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Murate, K. Nagase, K. Kawase
2. 発表標題 Wide Dynamic Range Imaging System Using Three-stage Terahertz Parametric Detector (keynote)
3. 学会等名 46th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Mine, K. Kawase, K. Murate
2. 発表標題 High-power terahertz parametric generator using a cascade process
3. 学会等名 SPIE Photonics West 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長瀬 耕平, 川瀬 晃道, 村手 宏輔
2. 発表標題 9桁減衰の遮蔽物越しテラヘルツイメージング
3. 学会等名 一般社団法人レーザー学会学術講演会第42回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鳥居 優貴, 川瀬 晃道, 村手 宏輔
2. 発表標題 多波長テラヘルツ発生と機械学習を用いた高速分光
3. 学会等名 一般社団法人レーザー学会学術講演会第42回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 嶺 颯太, 川瀬 晃道, 村手 宏輔
2. 発表標題 ノイズフリーテラヘルツパラメトリック発生器
3. 学会等名 一般社団法人レーザー学会学術講演会第42回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川瀬晃道, 村手宏輔
2. 発表標題 テラヘルツ波パラメトリック発生検出システムの進化 (招待講演)
3. 学会等名 光産業技術振興協会 第464回光協会マンスリーセミナー (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鳥居 優貴, 川瀬 晃道, 村手 宏輔
2. 発表標題 多波長テラヘルツ発生と機械学習を用いたリアルタイム分光識別
3. 学会等名 2021年度レーザー学会中部支部若手研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長瀬 耕平, 川瀬 晃道, 村手 宏輔
2. 発表標題 高減衰遮蔽物越しのテラヘルツ分光イメージング
3. 学会等名 第6回科学技術交流財団マイクロ固体フォトニクス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鳥居 優貴, 川瀬 晃道, 村手 宏輔
2. 発表標題 多波長テラヘルツ発生と機械学習を用いた高速分光
3. 学会等名 シンポジウム「テラヘルツ科学の最先端VIII」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金井 宏樹, 川瀬 晃道, 村手 宏輔
2. 発表標題 テラヘルツ波を用いた遮蔽物越しの試薬識別に対する機械学習の有効性
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 S. Mine, K. Kawase, K. Murate
2. 発表標題 Development of Noise-free Terahertz Parametric Source
3. 学会等名 JSAP-OSA Joint Symposia 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 D. Dong, K. Kawase, K. Murate
2. 発表標題 Single Pixel Imaging System Using Terahertz Parametric Generator
3. 学会等名 JSAP-OSA Joint Symposia 2022 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鳥居 優貴, 川瀬 晃道, 村手 宏輔
2. 発表標題 ディープニューラルネットワークを用いたテラヘルツタグの高速識別
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 新島聖治, 谷口弘明, 松田英樹, 橋本典嗣, 村手宏輔, 川瀬晃道
2. 発表標題 テラヘルツ 分光によるセラミックスの焼結性の評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第34回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Torii, K. Kawase, K. Murate
2. 発表標題 Rapid Identification Of THz Tags Using Multi-wavelength Is-TPG Based On A Deep Neural Network
3. 学会等名 46th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Mine, K. Kawase, K. Murate
2. 発表標題 Development Of A High Signal To Noise Ratio Terahertz-wave Parametric Generator (keynote)
3. 学会等名 46th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村手 宏輔, 鳥居 優貴, 川瀬 晃道
2. 発表標題 多波長テラヘルツパラメトリック光源と機械学習を用いたリアルタイム分光識別
3. 学会等名 令和3年度テラヘルツ応用システム研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Kawase, K. Murate
2. 発表標題 Injection-seeded THz parametric generation and detection with 125dB dynamic range
3. 学会等名 The 3rd Fraunhofer Photonic Research Cooperation Workshop at Optics & Photonics International Exhibition 2021 (OPIE '21) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Mine, K. Kawase, K. Murate
2. 発表標題 Development of a Noise-free Terahertz Parametric Generator using High-Power Injection Seeding
3. 学会等名 The 10th Advanced Lasers and Photon Sources Conference (ALPS2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 K. Murate, K. Kawase
2 . 発表標題 Injection-seeded THz parametric generator, detector, and application(invited)
3 . 学会等名 SPIE Optical Engineering + Applications “Terahertz Emitters, Receivers, and Applications XI” (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 K. Murate, K. Kawase
2 . 発表標題 High-brightness THz source with wide tunability (Invited)
3 . 学会等名 OSA High-brightness Sources and Light-driven Interactions Congress (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 K. Murate, S. Mine, K. Kawase
2 . 発表標題 Injection-seeded Terahertz Parametric Generator With Rapid Wavelength Tunability Using Digital Micromirror Device
3 . 学会等名 45th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2020) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 S. Mine, K. Kawase, K. Murate
2 . 発表標題 Development of a fast wavelength switchable external cavity semiconductor laser
3 . 学会等名 JSAP-OSA Joint Symposia (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 S. Mine, K. Kawase, K. Murate
2 . 発表標題 Real-time Spectroscopy Using a Wavelength-switching Terahertz Source
3 . 学会等名 OSA Frontiers in Optics + Laser Science APS/DLS (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 R. Kawaguchi, K. Kawase, S. Hayashi, K. Murate
2 . 発表標題 Real-time terahertz wave spectrometer using pulse train
3 . 学会等名 OSA Frontiers in Optics + Laser Science APS/DLS (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 R. Kawaguchi, K. Kawase, S. Hayashi, K. Murate
2 . 発表標題 Real-time Terahertz Wave Spectrometer Using Pulse Train
3 . 学会等名 45th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2020) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 K. Kawase and K. Murate
2 . 発表標題 Injection-seeded THz parametric generator, detector, and applications (Invited)
3 . 学会等名 Instruments Research and Development Establishment (IRDE) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 川瀬晃道, 村手宏輔
2. 発表標題 高感度テラヘルツ波パラメトリック検出および分光イメージングに関して (招待講演)
3. 学会等名 第20回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Kawase, K. Murate
2. 発表標題 Highly sensitive THz parametric detection (Invited)
3. 学会等名 SPIE Photonics Europe 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Murate, S. Mine, K. Kawase
2. 発表標題 Wide dynamic range real-time terahertz spectrometer using fast wavelength-tunable terahertz parametric generator
3. 学会等名 SPIE. Photonics West 2021 Digital Forum (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Mine, K. Kawase, K. Murate
2. 発表標題 Fast wavelength switchable external cavity diode laser using digital micromirror device
3. 学会等名 SPIE. Photonics West 2021 Digital Forum (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村手 宏輔
2. 発表標題 テラヘルツ波の実社会への応用に向けたリアルタイム測定システム開発
3. 学会等名 令和2年度育志賞研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 嶺 颯太, 川瀬 晃道, 村手 宏輔
2. 発表標題 高強度光注入によるTHzパラメトリック発生器のノイズフリー化
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 川口 理絵, 川瀬 晃道, 林 伸一郎, 村手 宏輔
2. 発表標題 パラメトリック波長変換によるパルストレーンテラヘルツ波発生/検出
3. 学会等名 第41回レーザー学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村手 宏輔, 嶺 颯太, 川瀬 晃道
2. 発表標題 離散波長可変テラヘルツパラメトリック発生を用いたリアルタイム分光器
3. 学会等名 第41回レーザー学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉浦 和磨, 川瀬 晃道, 村手 宏輔
2. 発表標題 スキャンニングエタロンを用いた超高感度テラヘルツ波・ミリ波分光器の開発
3. 学会等名 第41回レーザー学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嶺颯太, 川瀬晃道, 村手宏輔
2. 発表標題 高速波長切替型テラヘルツ分光器の開発
3. 学会等名 2020年度レーザー学会中部支部若手研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村手宏輔, 川瀬晃道
2. 発表標題 高速測定に向けたテラヘルツパラメトリック光源の開発(招待講演)
3. 学会等名 テラヘルツ科学の最先端VII (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 嶺颯太, 川瀬晃道, 村手宏輔
2. 発表標題 デジタルマイクロミラーデバイスを用いたリアルタイムテラヘルツ分光器の開発
3. 学会等名 テラヘルツ科学の最先端VII
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 K. Kawase, K. Murate
2 . 発表標題 Detection of drugs using is-TPG system (Invited)
3 . 学会等名 International Workshop onTHz Technology (IWOTT 2019) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Murate, K. Kawase
2 . 発表標題 One shot detection of drugs hidden in envelopes using multiwavelength is-TPG (Invited)
3 . 学会等名 SPIE Conference SI106 " Next-Generation Spectroscopic Technologies XII (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Murate, H. Sakai, Y. Guo, K. Kawase
2 . 発表標題 Terahertz wave parametric amplification using LiNbO3 crystal pumped by the microchip Nd:YAG laser (Invited)
3 . 学会等名 The 7th Laser Ignition and Giant-microphotonics Conference (LIC2019) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Murate, Y. Guo, H. Sakai, K. Kawase,
2 . 発表標題 High gain Terahertz wave parametric amplifier using LiNbO3 crystal (Invited)
3 . 学会等名 The 7th Advanced Electromagnetics Symposium (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Murate, H. Sakai, Y. Guo, K. Kawase
2 . 発表標題 Low Noise And High Gain Terahertz Parametric Amplifier (keynote)
3 . 学会等名 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2019) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 R. Mitsuhashi, T. Horiuchi, K. Murate, K. Kawase
2 . 発表標題 Terahertz Tag Identifiable Through Shielding Material (keynote)
3 . 学会等名 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2019) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. Sakai, K. Murate, Y. Guo, K. Kawase
2 . 発表標題 Development Of Multistage Terahertz Wave Parametric Detector
3 . 学会等名 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Kawase, H. Sakai, K. Murate
2 . 発表標題 Highly Sensitive THz Detection using is-TPG (Invited)
3 . 学会等名 The 5th International Symposium on Microwave/Terahertz Science and Applications (MTSA2019) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 堀内 俊成, 村手 宏輔, 三橋 諒也, 川瀬晃道
2. 発表標題 テラヘルツパラメトリック光源を用いた遮蔽物越しの試薬識別の高度化
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川瀬晃道, 村手宏輔
2. 発表標題 テラヘルツ波パラメトリック発生検出システムの進展 (招待講演)
3. 学会等名 第6回科学技術交流財団マイクロ固体フォトニクス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Murate, H. sakai, K. Kawase
2. 発表標題 Extremely weak terahertz wave amplification using terahertz parametric amplifier (invited)
3. 学会等名 The 11st Asian Symposium on Intense Laser Science (ASILS11) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 嶺 颯太, 村手 宏輔, 川瀬 晃道
2. 発表標題 多波長テラヘルツパラメトリック発生に向けた外部共振器型半導体レーザーの開発
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会 第40回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 嶺 颯太, 村手 宏輔, 川瀬 晃道
2. 発表標題 リアルタイムテラヘルツ分光器のための多波長外部共振器型半導体レーザーの開発
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川口 理絵, 村手 宏輔, 林 伸一郎, 川瀬 晃道
2. 発表標題 パルストレインを用いたリアルタイムテラヘルツ波分光器の開発
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 村手宏輔, 川瀬晃道 他38名	4. 発行年 2022年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 317
3. 書名 テラヘルツ波産業創成の課題と展望	

〔産業財産権〕

〔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

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