

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01269

研究課題名（和文）超高感度テラヘルツバイオチップの開発

研究課題名（英文）Development of an ultrahigh sensitivity terahertz biochip

研究代表者

斗内 政吉（Tonouchi, Masayoshi）

大阪大学・レーザー科学研究所・教授

研究者番号：40207593

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 35,000,000円

研究成果の概要（和文）：メタアトムと局所テラヘルツ（THz）点光源の融合を世界易先駆けて提案し、極微量な生体物質や高分子化合物の動力学的挙動や化学反応など分子機能を直接観測可能なTHzバイオチップの開発およびそのチップを利用した新しい分光分析手法の検討を行った。目的達成のため、メタアトムと局所テラヘルツ点光源を組み合わせを提案し、ファノ共振メタアトムアレーなど様々なデザインを駆使し、50ピコリットル中の約600アトモルのメチルシトシン溶液に成功した。このことで、テラヘルツ時間領域分光法の弱点であった、微量、高感度検出の限界を克服し、世界トップのデータを得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

メタマテリアルの基本単位であるメタアトムとテラヘルツ電磁波局所点光源の融合を用いた高感度バイオチップを世界に先駆けて提案したもので、世界トップのデータを提供すること成功し、テラヘルツ時間領域分光法の弱点であった、微量、高感度検出の性能を大きく向上させた。この提案はフェムト秒時間スケールでのテラヘルツ波の局所場発生とメタサーフェイスの時間領域相互作用を科学する新しい学術を創生するとともに、医療・製薬などの幅広い分野の産業応用に展開できる基盤を提供するものである。

研究成果の概要（英文）：We proposed the world's first combination of a meta-atom and a local THz (terahertz) point light source, and developed a THz biochip that can directly observe molecular functions such as kinetic behavior and chemical reactions of extremely small amounts of biological and macromolecular compounds. In order to achieve our goal, we proposed the combination of meta-atom and local THz point source, and succeeded in the solution of about 600 attomole of methylcytosine in 50 petaliter by using various designs such as Fano resonant meta-atom array. By doing so, we were able to overcome the weakness of terahertz time-domain spectroscopy in detecting trace amounts and high sensitivity, and obtained the world's top data.

研究分野：テラヘルツ波工学

キーワード：テラヘルツ バイオチップ 非線形光学 局所場光物性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年のテラヘルツ (THz: 周波数 0.3THz ~ 10THz, 波長 30 μ m ~ 1mm) 電磁波技術の発展にともない、物質を特徴づける様々な素励起の動的挙動を明らかにする上で THz 分光法が利用されるようになってきた。特に、THz 波を用いることで、糖やタンパク質など生体関連分子や医薬品の主成分である高分子化合物は複雑な立体構造体の分子間相互作用や水素結合ダイナミクスなど、従来の赤外分光等では捉えることのできなかつた高分子の機能発現や構造変化に起因した情報を取得できる可能性があることから、THz 分光が極めて重要と認識されている[1]。タンパク質や DNA 分析では電気泳動法[2]が広く用いられており、フェムトモルオーダーというトップクラスの感度を誇る。しかしこの方法は多段の標識化が必要である。非標識での検出手法として現在は QCM(水晶発振子マイクロバランス)法や SPR(表面プラズモン共鳴)[3,4]によるものがあるが、精度はマイクロオーダーとなり汎用性に欠ける。テラヘルツ分析では、DNA や抗生物質のラベルフリー計測用のチップデバイス開発の報告もあるが[5,6]、微量・高感度・高速という3つを満たす測定手法が確立されておらず、実用化には至っていなかった。

[1] 斗内政吉監修, “テラヘルツ波新産業”, シーエムシー出版, 2011. [2] V. Dolnik, J. Biochem. Biophys. Methods, 41, 103 (1999). [3] C.K. O'Sullivan et al., Biosens. Bioelectron., 14, 663 (1999). [4] J. Homola et al., Sens. Actuators B, 54, 3 (1999). [5] E.R. Brown et al., IEEE Sens. J., 10, 755 (2010). [6] L. Xie et al., Sci. Rep. 5, 8671 (2015).

2. 研究の目的

テラヘルツ (THz) 波を波長以下の領域に閉じ込めた局所 THz 場を利用し、極微量な生体物質や高分子化合物の動力学的挙動や化学反応など分子機能を直接観測可能な THz バイオチップの開発およびそのチップを利用した新しい分光分析手法の検討を行うことを目的とする。THz 波により、水素結合や常温の熱揺らぎを観測することで、生体関連物質の微量検査、分子レベルでの生体機能の解明など生体工学分野にブレークスルーをもたらす。目的達成のため、局所 THz 場の発生・検出技術を開発し、様々な微量生体物質の局所相互作用の高速・高感度・非侵襲計測を試みる。具体的には、THz 分析チップ、高速高分解能差分 THz 分析システム、反射型 THz 分析システムを開発し、医療・製薬などの幅広い分野の産業応用に展開できる基盤を構築する。

3. 研究の方法

上記目的を達成するために、テラヘルツ分光流路 (THz- μ TAS) チップによる、フェムトモル・ピコリットルの超微量・高感度分析の可能性について明らかにする。これに並行して、さらなる微量性と感度向上を目的として差分システムおよび反射型システムの開発を行うことで、信号対雑音 (SN) 比の改善を試み、サブフェムトモル感度 & フェムトリットルでの溶液検査システムを開発する。具体的な用途として、特に医療分野における血液の微量検査、また、薬学・化学分野における溶液中の化学反応の時系列変化を含めたダイナミックな分光計測を試みる。

本研究の課題は、項目 1: フェムトリットル対応溶液計測用チップ開発、項目 2: 新規近接場 THz 分光システム開発、項目 3: 反射型システム開発とする。第 1 項目は、これまでに開発してきたシミュレータを用いて最適構造を決定試作する。また、メタマテリアルと組み合わせた超高感度チップも開発する。さらに、THz- μ TAS チップも開発し、ダイナミックな 2 次元的分析を可能にする。項目 2 では、1 で開発したチップを用いて、微量検査システムを行うシステムの最適化を行うとともに、差分システムを開発することで、フェムトモル・フェムトリットルの試料の分析を実現する。項目 3 では、次世代の非侵襲分析を目指して、反射型システムを開発し、反射分光計測を実施する。

主な実験計画は、提案時の下記の表に従って実施した。

		研究期間 (2017.4-2020.3)		
研究課題		2017 年度	2018 年度	2019 年度
1. THz チップ開発		THz チップ最適化	メタマテリアル THz チップ・ μ TAS 開発	
2. 分光システム開発		高感度化	差分システム開発	
		ミネラル・血糖度・DNA 計測	計測と分光分析解析高度化	
3. 反射型開発		反射システム開発		
		プローブ型開発		

4. 研究成果

THz- μ TAS チップ開発の開発について、図 1 に示すような局所場での光テラヘルツ発変換を用いたテラヘルツ点光源が、メタマテリアルとの相互作用を時間領域で科学した。図 2 に示す単純なメタアトムを (b) に示す世に配列し、(c) のように中心メタアトムのみでテラヘルツ波を励起した時の相互作用をシミュレーションした。その結果、周期は 120 μ m 程度で、5 \times 5 個以上のメタアトムアレーで、十分大きな周波数シフトが得られることを見出した。

様々な形状のシミュレーションをもとに図3に示すような、メタアトムとマイクロ流路を組み合わせた、THz 流路チップを試作し、ミネラル水のイオン濃度検出を試みた。ここでは、“コ”を対向して組み合わせたメタアトムを形成し、中央に流路を形成した。用いたチップ材料は GaAs である。このチップを用いて、ミネラル水のイオン濃度を評価した。その結果 318 ピコリットル中の 31.8 フェムトモルのイオン量の観測に成功した。(図4)さらに、メタアトム形状に非対称性を導入することで、ファノ共振現象を導入し、その感度をさらに向上させることができることを見出した。(図5)

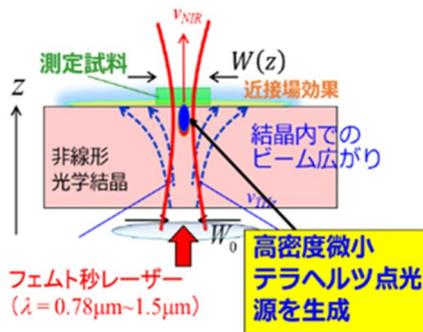


図1. 近接場 THz 励起分光法の概略図

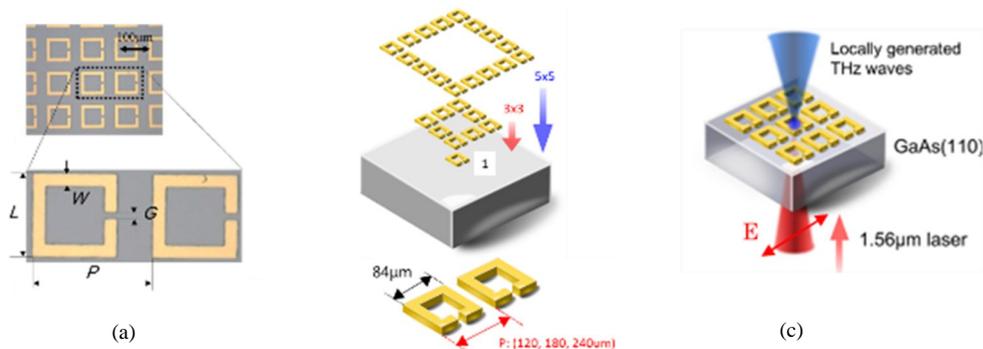


図2 (a)シングルスプリットリングメタアトム (金で作製) の数個のアレイの光学像。L = 84 μ m、W = 10 μ m、G = 5 μ m、金の厚さは 0.43 μ m。(b) 1 個、3 \times 3 個、5 \times 5 個の様々な数と周期で作られたメタアトムの模式図。1 個、3 \times 3 個、5 \times 5 個のメタアトムと、100 μ m、120 μ m、180 μ m、240 μ m の周期を持つメタ原子の模式図。(c) テラヘルツ波励起とメタアトムの関係。[J Infrared Milli Terahz Waves 38, 1107-1119 (2017).]

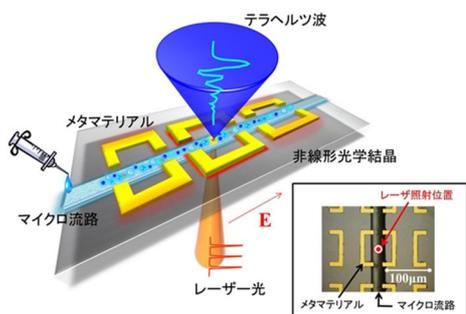


図3. 開発したテラヘルツマイクロ流路チップによる溶液測定の模式図。非線形光学結晶表面にマイクロ流路と数アレイのメタマテリアルが作製されており、結晶下部からレーザー光を照射させることでテラヘルツ波が生成される。写真は作製したチップの表面。

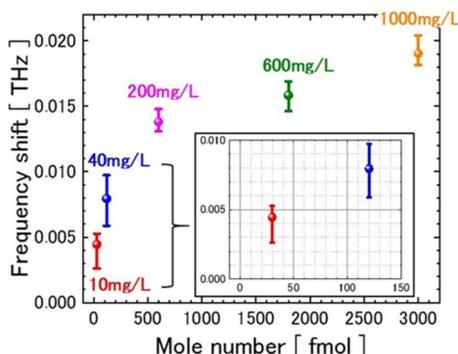


図4. 実量 318 ピコリットルのミネラルウォーター中のミネラル濃度と共振周波数シフト量のプロット。純水の共振周波数からの変化量を観測することで最大 31.8 フェムトモルの感度で溶質の検出ができることが分かる。[APL Photonics 3, 51603(2018). プレスリリース <https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2018/20180204/>]

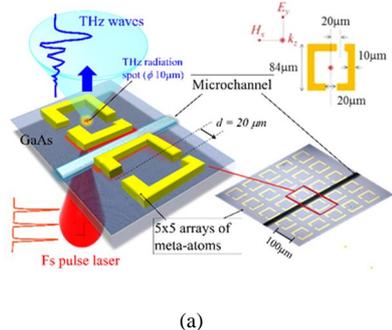


図5 (a) ファノ共振 THz- μ TAS チップと (b) 非対称性によるテラヘルツ応答の変化

実際のバイオサンプルの高感度検出にも試みた。まず、テラヘルツ時間領域分光法 (THz-TDS) を用いて、タンパク質の消化を非破壊かつ無標識でモニタリングすることが可能かどうかを検

証した。酸性プロテアーゼであるペプシンを最適な pH で使用し、ウシ血清アルブミン (BSA) を加水分解した(図 6(a))。これに対応して、pH 値を調整してペプシンを不活性化することで、対照群の実験(図 6(b))も行った。その結果、吸収係数の変動傾向に着目することで、タンパク質の加水分解を経時的に容易にモニタリングできることが、マクロ的な視点から明らかになった。さらに、デバイモデルを用いて、タンパク質加水分解時の溶液の誘電特性を解析した。図 7 に誘電率ならびにデバイ緩和モデルによるパラメータの時間変化を示す。この結果は、THz-TDS によって生体高分子溶液の分子レベルでの微視的なダイナミクスを詳細に調べることが可能であることを証明している。

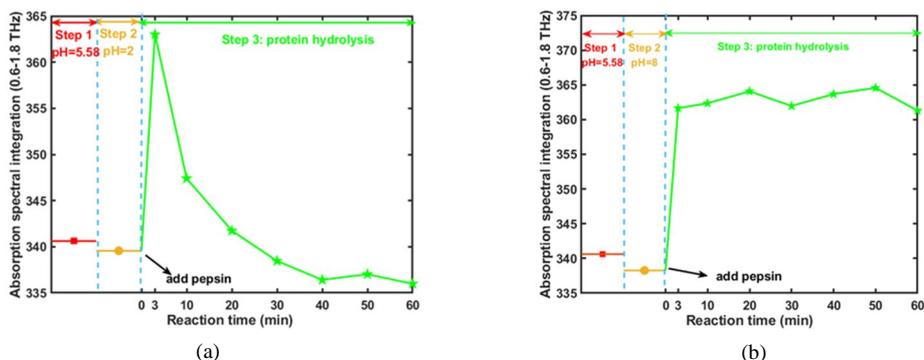


図 6 実験群の 0.6-1.8THz 間の吸収スペクトルの積算値の時間変化。(a) 活性。(b) 不活性。[Biophys J., 119, 2469-2482(2020).]

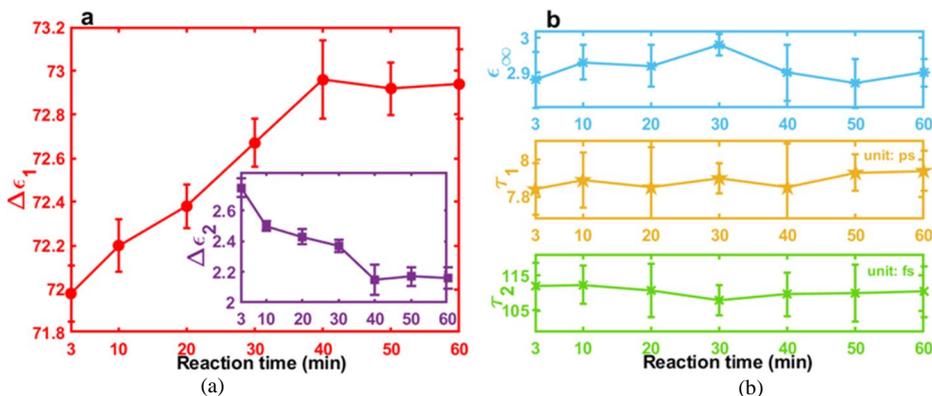


図 7(a)タンパク質の加水分解時の $\Delta\epsilon_1$ と $\Delta\epsilon_2$ (挿入図)および(b)他のパラメータ、 ϵ_∞ 、 τ_1 、 τ_2

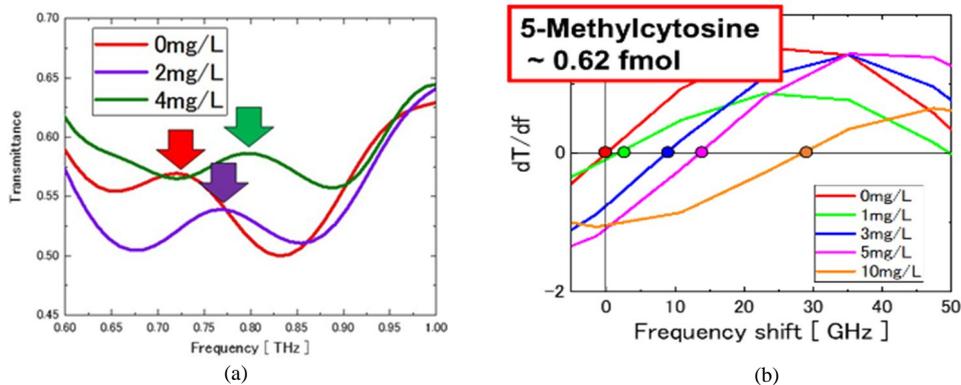


図 8 (a) D-グルコースおよび (b) 5-メチルシトシンの観測例。[Photonics 6, 12 (2019).]

図 8 に、図 6 で設計したファノ共振 THz- μ TAS チップを用いて、D-グルコースおよび 5-メチルシトシンの水溶液を観測した結果をしめす。(b) はテラヘルツ透過率を周波数で微分している。これにより、0.62 フェムトモルの検出に成功した。

以上、メタアトムと局所テラヘルツ点光源を用いることで、テラヘルツ時間領域分光法の欠点であった、微量、高感度検出の性能を大きく向上し、世界トップのデータを提供すると成功した。この結果は、新しいチップの開発により、テラヘルツバイオ分野のプラットフォーム構築に大きく貢献できることを示したものである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 6件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Can Cao, Kazunori Serita, Keiko Kitagishi, Hironaru Murakami, Zhao-Hui Zhang, and Masayoshi Tonouchi	4. 巻 119
2. 論文標題 Terahertz Spectroscopy Tracks Proteolysis by a Joint Analysis of Absorptance and Debye Model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biophysical Journal	6. 最初と最後の頁 2469-2482
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.bpj.2020.11.003	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 Kosuke Okada, Kazunori Serita, Quentin Cassar, Hironaru Murakami, Gaetan MacGrogan, Jean-Paul Guillet, Patrick Mounaix, Masayoshi Tonouchi	4. 巻 2
2. 論文標題 Terahertz near-field microscopy of ductal carcinoma in situ (DCIS) of the breast	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Photonics	6. 最初と最後の頁 044008 - 044008
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/2515-7647/abbcd	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 Hironaru Murakami, Tomoya Takarada, and Masayoshi Tonouchi	4. 巻 127
2. 論文標題 Low-temperature GaAs-based plasmonic photoconductive terahertz detector with Au nano-islands	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Photonics Research	6. 最初と最後の頁 1448-1456
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/PRJ.395517	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 Masayoshi Tonouchi	4. 巻 127
2. 論文標題 Simplified formulas for the generation of terahertz waves from semiconductor surfaces excited with a femtosecond laser	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 245703
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0005623	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 Kosuke Okada, Kazunori Serita, Zirui Zang, Hironaru Murakami, Iwao Kawayama, Quentin Cassar, Gatan Macgrogan, Jean Paul Guillet, Patrick Mounaix and Masayoshi Tonouchi	4. 巻 12
2. 論文標題 Scanning laser terahertz near-field reflection imaging system	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 122005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786	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 K. Serita and M. Tonouchi	4. 巻 10917
2. 論文標題 An ultra-high sensitive THz microfluidic chip with asymmetric meta-atoms for measurements of trace amount of liquid solutions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. SPIE	6. 最初と最後の頁 109170J-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2517413	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. Serita, H. Murakami, I. Kawayama, and M. Tonouchi	4. 巻 6
2. 論文標題 A terahertz-microfluidic chip with a few arrays of asymmetric meta-atoms for ultra-trace sensing of solutions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Photonics	6. 最初と最後の頁 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/photonics6010012	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 芹田和則, 斗内政吉	4. 巻 39
2. 論文標題 微量センシングのためのテラヘルツマイクロ流路チップ	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本レーザー医学会誌	6. 最初と最後の頁 329-334
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2530/jslsm.jslsm-39_0025	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 H. Murakami, K. Mizui, and M. Tonouchi	4. 巻 125
2. 論文標題 High-sensitivity photoconductive detectors with wide dipole electrodes for low frequency THz wave detection	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 151610
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5080750	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 Avetisyan, and M Tonouchi	4. 巻 6
2. 論文標題 Nearly single-cycle terahertz pulse generation in aperiodically poled lithium niobate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Photonics	6. 最初と最後の頁 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/photonics6010009	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 斗内 政吉	4. 巻 39
2. 論文標題 テラヘルツ波が拓く医療・創薬・バイオセンシング	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本レーザー医学会誌	6. 最初と最後の頁 325-328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2530/jslsm.jslsm-39_0026	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 斗内 政吉	4. 巻 18
2. 論文標題 テラヘルツ波技術展望 (特集 テラヘルツ波技術とその利用)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 オレオサイエンス	6. 最初と最後の頁 435-439
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 K. Serita, E. Matsuda, K. Okada, I. Kawayama, H. Murakami, and M. Tonouchi	4. 巻 3
2. 論文標題 Terahertz microfluidic chips sensitivity-enhanced with a few arrays of meta-atoms	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 APL Photonics	6. 最初と最後の頁 51603
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5007681	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. Serita, J. Darmo, I. Kawayama, H. Murakami, and M. Tonouchi	4. 巻 38
2. 論文標題 Direct measurements of terahertz meta-atoms with near-field emission of terahertz waves	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Infrared Milli. Terahz. Waves	6. 最初と最後の頁 1107-1119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10762-017-0417-7	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 該当する

1. 著者名 岡田航介、芹田和則、村上博成、川山巖、斗内政吉	4. 巻 117
2. 論文標題 バイオ応用に向けた反射型レーザー走査近接場テラヘルツ分光・イメージングシステムの開発	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 21-24
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 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 M. Razanoelina, S. Ohashi, I. Kawayama, H. Murakami, A. F. Degardin, A. J. Kreisler, and M. Tonouchi	4. 巻 42
2. 論文標題 Measurable lower limit of thin film conductivity with parallel plate waveguide terahertz time domain spectroscopy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 3056-3059
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.42.003056	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40件（うち招待講演 21件 / うち国際学会 21件）

1. 発表者名 Chen Gong, Takahiro Teramoto, and Masayoshi Tonouchi
2. 発表標題 Self-induced nonlinearity modulates the THz waveform generated by the two-color laser filament
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 北岸 恵子, 芹田 和則, 内田 裕久, 小山 千瑳, 高木 毅, 川井 隆之, 斗内 政吉
2. 発表標題 キャピラリー電気泳動のテラヘルツ分光オンライン検出:ARコートDAST結晶、管壁エッチングキャピラリーを用いた高感度化
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 Masayoshi Tonouchi
2. 発表標題 Scanning Point Terahertz Source for Biosensing Application
3. 学会等名 Smart NanoMaterials 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Serita and M. Tonouchi,
2. 発表標題 Sensitivity-enhanced Terahertz Microfluidic Chip Sensor Based on a Fano Resonance of a Few Arrays of Meta-atoms
3. 学会等名 Conference on Lasers and Electro-Optics 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Serita, K. Okada, and M. Tonouchi
2. 発表標題 Scanning Point Terahertz Source Microscope and Terahertz Microfluidic Chip for Biological Applications
3. 学会等名 International Topical Meeting on Microwave Photonics 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Serita, H. Murakami, I. Kawayama, and M. Tonouchi
2. 発表標題 An ultrasensitive terahertz microfluidic chip based on Fano resonance of a few arrays of meta-atoms
3. 学会等名 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, Paris, France (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kosuke Okada, Kazunori Serita, Zirui Zang, Hironaru Murakami, Iwao Kawayama, Quentin Cassar, Amel Al-Ibadi, Gatan MacGrogan, Thomas Zimmer, Jean-Paul Guillet, Patrick Mounaix, and Masayoshi Tonouchi
2. 発表標題 Scanning laser terahertz near-field reflection microscope for biological analysis
3. 学会等名 OSA Biophotonics Congress: Optics in the Life Sciences (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazunori Serita, Kosuke Okada, and Masayoshi Tonouchi
2. 発表標題 Scanning Laser Terahertz Near-Field Emission System for Bio/Chemical Sensing
3. 学会等名 2nd Photonic and OptoElectronic Materials Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北岸恵子、斗内政吉
2. 発表標題 低分子カルボン酸のキャピラリー電気泳動分析ーテラヘルツ分光検出
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 2019年

1. 発表者名 北岸恵子、芹田和則、内田裕久、小山千瑳、高木毅、川井隆之、斗内政吉
2. 発表標題 テラヘルツ分光によるキャピラリー電気泳動オンライン検出：ARコートDAST結晶、管壁エッチングキャピラリーによる高感度化の試み
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 2019年

1. 発表者名 田村謙伍、川山巖、村上博成、宇佐美雄生、松本卓也、斗内政吉
2. 発表標題 ポリアニリンの高周波導電率の温度依存性
3. 学会等名 第18回低温工学・超伝導若手合同講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北岸恵子、斗内政吉
2. 発表標題 カルボン酸のキャピラリー電気泳動分析 - 電気化学検出とテラヘルツ分光検出
3. 学会等名 2019年度第39回キャピラリー電気泳動シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 斗内政吉
2. 発表標題 テラヘルツ波が拓く応用展望とキラーアプリケーション開拓に向けた取り組み例
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 2019年

1. 発表者名 M. Tonouchi
2. 発表標題 Laser Terahertz Emission Microscope for Material Science and Industrial Application
3. 学会等名 Optical Terahertz Science and Technology (OTST) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 芹田和則, 斗内政吉
2. 発表標題 微量での医療診断応用に向けたテラヘルツ μ TASの開発
3. 学会等名 日本レーザー医学会シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Tonouchi
2. 発表標題 Laser Terahertz Emission Microscope for Real World Application
3. 学会等名 Global Nanophotonics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Tonouchi, K. Okada. and K. Serita
2. 発表標題 Near-field THz emission imaging and sensing system
3. 学会等名 SPIE Photonics West, San Francisco (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 F. R. Bagsican, H. Murakami, and M. Tonouchi
2. 発表標題 Probing oxygen adsorption in two-dimensional materials using laser terahertz emission microscopy
3. 学会等名 日本学術振興協会151委員会平成30年度研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Tonouchi
2. 発表標題 New Methods of THz Time Domain Spectroscopy for Graphene Science
3. 学会等名 International Conference on Nanomaterials & Nanotechnology 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 賣田智哉、芹田和則、川山巖、村上博成、斗内政吉
2. 発表標題 1.5μm帯励起用金属微粒子プラズモニクテラヘルツ波検出デバイスの開発
3. 学会等名 信学技報
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Tonouchi
2. 発表標題 High Sensitive THz Microfluid Chip couple with a few of meta atoms
3. 学会等名 International Conference on Microwave & THz Technologies, and Wireless Communications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Tonouchi
2. 発表標題 Terahertz microfluidic chip sensitivity-enhanced with a few arrays of meta atoms
3. 学会等名 Collaborative Conference on Materials Research 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Serita, E. Matsuda, K. Okada, H. Murakami, I. Kawayama and M. Tonouchi
2. 発表標題 A terahertz microfluidic chip for ultra-trace measurement of solution
3. 学会等名 The 9th International Symposium on Ultrafast Phenomena and Terahertz Waves (ISUPTW2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Okada, K. Serita, Z. Zang, H. Murakami, I. Kawayama, Q. Cassar, A. Al-Ibadi, G. MacGrogan, T. Zimmer, J. Guillet, P. Mounaix, and M. Tonouchi
2. 発表標題 Development of a Scanning Near-field Terahertz Reflection Microscope for Highly Sensitive Bio-sensing
3. 学会等名 International Workshop on Optical Terahertz Science and Technology (OTST 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Tonouchi, H. Murakami, I. Kawayama, C. Zhang, J. Wu, B. Jin, X. Jia, L. Kang, W. Xu, H. Wang, J. Chen, and P. Wu
2 . 発表標題 Intense Terahertz Response of Superconductive Thin Films and Metamaterials
3 . 学会等名 The 14th International Workshop of High-Temperature Superconductors in High Frequency Field (招待講演)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 R. Taie, K. Serita, K. Kitagishi, T. Kawai, I. Kawayama, H. Murakami, and M. Tonouchi
2 . 発表標題 Development of PDMS Microchannel Integrated Type Terahertz Chip
3 . 学会等名 36th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Tonouchi
2 . 発表標題 THz microfluidic chips for THz bioscience
3 . 学会等名 The 11th Asia-Pacific Laser Symposium (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Okada, K. Serita, I. Kawayama, H. Murakami, and M. Tonouchi
2 . 発表標題 Reflection type scanning laser terahertz near-field spectroscopy and imaging system for bio-applications
3 . 学会等名 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 芹田和則、村上博成、川山巖、斗内政吉
2. 発表標題 非対称メタアトムアレイ型テラヘルツチップによる微量溶液測定
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北岸恵子、芹田和則、内田裕久、斗内政吉
2. 発表標題 ARコート有機非線形光学結晶のTHz時間領域分光法を用いた評価
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会、
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田航介、芹田和則、Zirui Zang、村上博成、川山巖、Q. Cassar、A. Al-Ibadi、G. MacGrogan、T. Zimmer、J. Guillet、P. Mounaix、斗内政吉
2. 発表標題 反射型レーザー走査近接場テラヘルツイメージングシステムの開発
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北岸恵子、芹田和則、川井隆之、斗内政吉
2. 発表標題 キャピラリーを用いた分離分析へのテラヘルツ分光検出の試み
3. 学会等名 キャピラリー電気泳動シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 芹田和則、北岸恵子、川井隆之、村上博成、斗内政吉
2. 発表標題 PDMSマイクロチップ流路一体型テラヘルツチップの開発と微量溶液測定
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会第38回研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北岸恵子、芹田和則、川井隆之、斗内政吉
2. 発表標題 キャピラリーを用いた分離分析へのテラヘルツ分光検出の試み(2)サイズの異なるキャピラリーでの測定
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Serita, I. Kawayama, H. Murakami, and M. Tonouchi
2. 発表標題 Highly-sensitive terahertz microfluidic chip with a few arrays of symmetry broken resonators
3. 学会等名 The 8th International Symposium on Terahertz Nanoscience (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 F. R. Bogsican, A. Winchester, S. Ghosh, X. Zhang, L. Ma, M. Wang, H. Murakami, S. Talapatra, R. Vajtai, P. M. Ajayan, J. Kono, M. Tonouchi, and I. Kawayama
2. 発表標題 New method to estimate oxygen adsorption energy on 2D materials with terahertz emission microscopy
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Microwave/Terahertz Science and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 斗内 政吉
2. 発表標題 GaAsを用いた高感度テラヘルツバイオチップ開発に向けて
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 斗内 政吉
2. 発表標題 テラヘルツ放射顕微鏡による酸化物および関連物質の評価
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Tonouchi
2. 発表標題 Laser Terahertz Emission Microscope
3. 学会等名 The 12th Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Tonouchi
2. 発表標題 Laser terahertz emission microscope
3. 学会等名 Collaborative Conference on Materials Research (CCMR) 2017（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔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
研究 分担者	川山 巖 (Kawayama Iwao) (10332264)	京都大学・エネルギー科学研究科・准教授 (14301)	2020年2月10日削除
研究 分担者	村上 博成 (Murakami Hironaru) (30219901)	大阪大学・レーザー科学研究所・准教授 (14401)	
研究 分担者	芹田 和則 (Serita Kazunori) (00748014)	大阪大学・レーザー科学研究所・特任助教 (14401)	2018年度まで

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			
フランス	Bordeaux University			
アルメニア	Yerevan State University			
米国	Rice University			
中国	Nanjing University			
オーストリア	Vienna University of Technology			