

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H00253

研究課題名(和文)自由空間電子走行型光電変換デバイスの創生とテラヘルツ波パルスビームの実現

研究課題名(英文)Creation of free-space electron-traveling photodiodes and realization of terahertz-wave pulsed beams

研究代表者

加藤 和利 (Kato, Kazutoshi)

九州大学・システム情報科学研究所・教授

研究者番号：10563827

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,800,000円

研究成果の概要(和文)：電子を自由空間で走行させる光電変換デバイス構造を形成した。光入力の有無による印加電圧-光電流特性の変化から、電子が空間を走行していることを確認した。アンテナを接続した0.25mm四方の素子を $8 \times 17 = 136$ 個並べたデバイスを作成し、100アレー規模の集積技術の見通しを得た。従来型フォトダイオードを用いて、アレー配列によるテラヘルツ波ビーム化、および波長可変レーザを用いた新たなパルス化技術を確立した。応用システム開発として、テラヘルツ波イメージングスキャナの被写界深度の拡大を行い、スキャン周波数250Hz、移動ステージ速度500mm/秒、被写界深度170mmという世界最高性能を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光電子を半導体内ではなく自由空間を走行させる新たなデバイスの概念を提示し、それを実現するためのデバイス構造の提案および作製を実現したこと、このデバイスの動作を実証する特性が得られたこと、また波長可変レーザを用いた新たなパルス化技術の提案と実証を行ったことが学術的意義である。

社会ニーズを調査し、本技術の応用として、テラヘルツ波イメージングスキャナの被写界深度の拡大を行い世界最高性能を実証したことで、テラヘルツ波の応用分野の可能性を一気に広げたことが社会的意義である。

研究成果の概要(英文)：A photoelectric conversion device structure was formed in which electrons travel in free space. The change in the applied voltage-photocurrent characteristic with and without optical input confirmed that the electrons were traveling in space. A device consisting of $8 \times 17 = 136$ elements of 0.25 mm square connected to an antenna was created, giving the prospect of 100-array scale integration technology. Using conventional photodiodes, we established terahertz-wave beam generation using an array and a new pulsed technology using a wavelength-tunable laser. As an application system development, we extended the depth of field of a terahertz-wave imaging scanner and demonstrated the world's highest performance with a scan frequency of 250 Hz, a moving stage speed of 500 mm/sec, and a depth of field of 170 mm.

研究分野：光エレクトロニクス

キーワード：光電変換デバイス テラヘルツ波 真空フォトダイオード パルスビーム アレー集積 フォトミキシング

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。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

テラヘルツ波は超高速無線通信や、高分解能イメージングを実現できる技術として期待されている。無線通信の分野では 300~600GHz の電波を用いた伝送技術が視野に入り、第 5 世代通信の 10 倍以上の高速通信の可能を見据えて放送や医療など特定の応用領域での近距離大容量通信の期待が高まりを見せている。送信パワーの増大や集中により通信距離が飛躍的に伸びればテラヘルツ波による超高速無線通信がパーソナル通信手段として用いられ、もはや情報伝達・情報共有に時間を要するという概念が消滅し情報化社会の大きな変革を引き起こす可能性がある。

一方、テラヘルツ波発生デバイスは、本研究代表者らが取り組んでいるフォトミキシングの他に通倍器や共鳴トンネルダイオードが研究されてきた。これらを含む他のいずれの方法も根本的には半導体内で電子を走行させて電流を発生させる技術である。これら技術では、半導体内に形成した電子走行領域のキャパシタンスによってデバイスの動作周波数が制限されるため、いかに受光面積を小さくするかに技術開発の焦点が当てられてきた。しかし受光面積を小さくすることに伴い電流密度が半導体レーザ並みの $100\text{kA}/\text{cm}^2$ 、さらにそれ以上となり出力飽和や半導体層の破壊のため実用的な電波出力を得ることができなかった。そこで本研究代表者らはテラヘルツ波位相調整技術を開発してフォトミキサをアレー化し空間的なパワー集中（ビーム化）によりピークパワーを 10 倍増加した。この成果は学術的発展に大きく寄与はしたが、依然として出力の上限が存在し新たな産業を生み出すほどの革新的成果までには至らなかった。また本研究代表者は位相調整技術を水平展開し時間的なパワー集中（パルス化）による高感度通信の研究を行ってきた。これは受信器における検出値がピークパワーに比例するため、同じ平均パワーであればパルス化した方が感度が向上することを利用している。しかし送信装置においては、時間的なパワー集中（パルス化）によりフォトミキサ内での電流密度も集中するため、出力限界の克服は依然として未解決課題であった。

本研究代表者らは『半導体中で電子を走行させる限り、電子走行領域のキャパシタンスを下げる必要から微細化が避けられず、それに伴い電流密度が増加するため理論的な出力限界は克服できない』という結論に達した。そこで電子走行領域は半導体中でなければならないという概念から脱却し、電子走行領域を空間に設けることで微細化せずにキャパシタンスを低く保つ方法を思いついた。

2. 研究の目的

産業技術的な目的は、テラヘルツ波強度を抜本的に増大し日本の新たな産業分野の開拓の礎となる技術を確立することである。学術的な目的の一つ目は、レーザ光のコヒーレンス性を用いて複数光波からフォトダイオード内でフォトミキシングを行う、テラヘルツ波パルスビームという新たな概念を提唱しその有効性を実証することである。学術的な目的の二つ目は、テラヘルツ波発生のためのフォトミキシングを行うフォトダイオードの性能限界が半導体の高い比誘電率に起因することに着目し、半導体デバイスの本質的な制限要因から脱却する方法として、光電子を半導体内ではなく自由空間を走行させる新原理のデバイスを創生するということである。

3. 研究の方法

①研究の経緯

テラヘルツ波は周波数が $100\text{GHz}\sim 10\text{THz}$ の電磁波の呼称であり特に 3THz 以下の周波数帯は

電波と定義され、将来の超高速無線通信や高分解能レーダーへの応用が期待されている。テラヘルツ波発生デバイスとしての、マルチプライヤ、共鳴トンネルダイオード、フォトミキサは、いずれの技術も周波数の約4乗に反比例して出力が低下するため、現状300GHzを超えるテラヘルツ波を10m以上の距離を対象とした応用分野に用いることは困難である。そこでテラヘルツ波の実用化には、アレー状の波源を用いてビームを集中するビームフォーミングとそのビームを目的の方向へ向けるビームステアリングが必須であると考えられている。

そのためには、複数素子の集積化とテラヘルツ波の位相制御が必要であり、上記手法の中でフォトミキシングが適していることを本研究代表者らは示してきた。このフォトミキシングにおいては、超高速フォトダイオードでの自乗検波特性を用いて、入力された二光波の周波数差と位相差をもつビート信号が出力されることを利用し、光波の位相を制御することでテラヘルツ波の位相制御が可能となる。

本研究では、これまで取り組んできた空間的なパワー集中（ビーム化）と時間的なパワー集中（パルス化）の両技術を融合して、パルスビームという、究極のピークパワーを得るための電波形態を思いついた。そしてその実現には既存概念から脱却した新概念の光電変換デバイスの創生が必要であるという結論に至った。

②研究内容

(A)自由空間電子走行型光電変換デバイスの創生

フォトダイオード高速化を目指して（キャパシタンスを低減するため）面積を小さくすると、電流密度が増大し出力飽和する。この高速化と高出力化のトレードオフを克服するために提案するのが、電子を自由空間で走行させる新規光電変換デバイスである。半導体よりも誘電率が低い自由空間（真空）を電子走行層として用いることで、同じキャパシタンスのフォトダイオードよりも面積が10倍以上大きくなり電流量が10倍以上向上する。（放射電界、放射磁界ともに電流に比例することから電磁波パワーは電流の二乗に比例し）テラヘルツ波強度は100倍以上の増大が可能となる。また面積が大きいため光ファイバとの光結合効率が10倍以上増加し、その結果、光からテラヘルツ波へのエネルギー変換効率が10倍以上向上する。

デバイス作製上の第一の課題であるデバイス構造内での自由空間の形成には、従来のウエハ接合技術を発展させ、微細加工を施したウエハどうしを貼り合わせて、デバイス構造内に電子を走行させる約0.2 μm 厚の自由空間を形成するプロセス技術を開発する。第二の課題は光吸収層から自由空間への光電子放射の高効率化である。新デバイスの特徴である高い電界（光電管よりも3桁短い自由空間のため同電圧で電界強度が3桁増大）による電子の電界放射効果を利用した効率の向上を検討する

(B)テラヘルツ波パルスビーム生成

本研究代表者は位相の揃った100GHz間隔の複数光波の同時フォトミキシングにより100GHzの繰り返し周期で位相が揃った光パルス列の生成に成功している。本研究ではこれまで別々に研究してきた光位相制御によるビーム化とパルス化について、両者が同時に成立する条件を明らかにする。また光干渉度の計測結果からテラヘルツ波干渉度を計測する方法を開発し（光波長の方が2桁短い）2桁高精度の位相制御測定を実現する。さらにアレー状に作成した新デバイスを既開発のテラヘルツ波生成プラットフォームに搭載し、テラヘルツ波パルスビームの発生、測定を行う。

(C) テラヘルツ波ビームの適用性の実証

無線通信、イメージングの実証実験を行い、これら応用分野の新たな展開の可能性を探索する。

無線通信応用においては、本研究で創生するデバイスはパルスピーク電力の 100 倍以上の向上が可能のため、大気減衰はもちろん、最大の課題であった降雨にも強い無線通信が実現できる。加えて光通信で用いられる OTDM(Optical time-domain multiplexing)技術の適用が可能となるため、これを用いた未踏領域の繰り返し周波数 500GHz~1THz で超 100Gbit/s 級無線通信の実現可能性を検証する。

イメージング応用においても 100 倍以上のパルス強度のメリットは大きく、物体の深層部までのトモグラフィー化が可能となり非破壊検査の対象を一気に広げることができる。加えて本研究で検討するビームステアリング技術の導入で、10~100m の遠隔イメージング技術の可能性を検証する。

③研究体制と進め方

SCOPE・JST 産学共創で進めてきた九大・阪大によるテラヘルツ波発生・制御・測定・新規産業開拓の強固な共同研究体制を基盤とし、ここに CREST(H27-R1 代表：九大浅野教授)で築いた九大・産総研の半導体デバイス製造・実装研究と、研究代表者と早大グループが前職の NTT において NICT 委託研究(幹事研究者：加藤)で確立した光・電気融合素子技術を統合して、デバイス設計・製造からシステム設計・実装、新産業開拓までを俯瞰して研究を推進する。さらに超高速フォトミキサのデファクトである UTC-PD の発明・開発者 石橋忠夫氏(元 NTT、IEEE フェロー、応物学会フェロー他)が研究協力者として参加する。

(A)革新デバイス創生では、九大・石橋氏・早大・産総研が基本構想確立と具体的なデバイス設計を行う。続いて産総研において半導体プロセスと異種材料融合技術を用い試作を行う。特性評価結果をもとに設計・試作の最適化を行い極限性能を追求する。(B) 並行して九大・阪大が構築してきた研究プラットフォームに試作デバイスを載せ新形態テラヘルツ波パルスビームの生成と評価を行う。(C)さらにテラヘルツ波パルスビーム発生器プロトタイプを試作し、既構築のテラヘルツ波応用システムへ導入して超 100Gbit/s 無線通信、高分解能遠隔イメージング等へのパルスビームの適用性を実証する。

4. 研究成果

(A)自由空間電子走行型光電変換デバイスの創生

半導体と真空表面の状態をモデル化して電子の取出し効率を評価した。また InGaAs 系材料の光吸収特性に基づいて、実現可能なヘテロダイン光源波長の組み合わせを検討し、光電変換効率を見積もった。上記を取り入れた半導体領域のドリフト拡散モデルと真空領域の電子伝搬モデルとの融合により周波数応答をシミュレーションし、周波数応答及び飽和特性の観点から従来のフォトダイオードに対する優位点を提示すると共に、300 GHz 超級の周波数応答可能性を示した。

層間膜エッチング法を用いて、デバイス構造内に電子走行させるサブミクロン厚空間を形成するプロセスを開発した。InP 基板上に成長した InGaAs カソードに空間を介してアノード電極を配置した構成とした。シミュレーション結果をもとに、厚さ 1mm の空間を有するデバイスを作製した。デバイスへの光照射の有無に対する電圧-電流特性から、光入射により電子が空間へ放出され、アノードへ走行していることが示唆される結果が確認された。

(B)テラヘルツ波パルスビーム生成

テラヘルツ波の生成手法としてフォトミキシング技術は伝送容量・伝送距離の観点で優位性を持つによる、テラヘルツ波やテラヘルツパルス波をキャリアとする通信技術が研究されている。一方でフォトミキシング技術は、光源として二つのレーザとそれに伴う温調器及び駆動回路、

さらに光変調器が必要となり、装置規模・消費電力の観点で課題がある。そこでテラヘルツパルス波を生成する光源として一つの高速波長可変レーザを使用することで、レーザと温調器及び駆動回路を一組に減らすことができ、さらに光変調器が不要になるシステムを考案した。さらにこのシステムを用いて、テラヘルツ波の生成・変調の実証実験を行った。また、同様のシステムを用いて、任意のパルス幅でテラヘルツパルス波の生成が可能であること、及びパルス波通信に必須であるパルスとデータの同期を用いずに変調が可能であることを実験により確認した。

本提案システムでは、高速波長可変レーザから周波数差がテラヘルツ波帯の周波数 f_{THz} である f_1 と f_2 ($f_1 - f_2 = f_{THz}$) の光周波数を変調データのビット列に応じて切替えて発生させ、その光波を二光路に分岐後、一方の光路を1 bit 分だけ遅延させる。その結果、二光路を合波すると周波数を切替えたタイミングのみ一定の時間だけ f_1 と f_2 の二光波が共存し、これら光波をフォトミキサによってフォトミキシングすると、二光波が共存する区間だけ差周波数 f_{THz} のテラヘルツ波が生成される。遅延量をさらに短くすることで、周波数を切替えた際のテラヘルツ波の生成される時間を短くすることができ、任意のパルス幅のテラヘルツパルス波を生成できる。

実験ではまず、パルスパターンジェネレータ(PPG)からの矩形波繰り返しパターン電圧信号を、高速波長可変レーザである反射型トランスバーサルフィルタ(RTF)レーザに印加し、発生する光波の光周波数を193.228 THzと193.528 THzの間(光周波数差300 GHz)で切り替えた。そして光ファイバにより一方の光路に遅延を加え、単一走行キャリアフォトダイオード(UTC-PD)からなるフォトミキサモジュールにより光波を300 GHz テラヘルツ波に変換した。任意のパルス幅にてテラヘルツパルス波の生成・変調を行い、その動作実証に成功した。

本研究期間内では従来型300GHz級フォトダイオードを用いたテラヘルツパルス波生成に成功したが、今後由空間電子走行型光電変換デバイスでパルス波生成を行うことにより大出力化が可能となる。

(C) テラヘルツ波ビームの適用性の実証

応用システム開発の一環として、テラヘルツ波イメージングスキャナの被写界深度の拡大に関する検討と、ドローン搭載レーダの小型化・高速化の検討を行った。具体的にはテラヘルツイメージングにおいてビームを高速スキャンするシステムにおいて、被写界深度を大きくするために「600GHz帯ビームスキャンシステム」を開発した。イメージング応用では、被写体に対するビームの焦点距離が1点ではなく、軸方向にマージンがある(被写界深度が大きい)ことが要求される。同時に、集光ビームの幅が被写界深度内で一定であることが必要である。そこで、ビームスキャン方向に複数面からなる軸外し放物面鏡を設計し、ポリゴンミラーと組み合わせた。ポリゴンミラーのスキャン周波数250Hz、移動ステージ速度500mm/秒、被写界深度170mmという世界最高性能を、ビームスポットサイズ $2\mu\text{m}$ で実証した。

また「小型ドローン搭載型ミリ波レーダシステム」の開発に成功した。小型ドローンに軽量化したミリ波レーダのフロントエンドを搭載し、地上に配置する光信号発生システムと光ファイバで接続されている。軽量化の決め手は、レーダフロントエンドにおいて、フォトダイオードによって、ミリ波信号を生成している点である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 白水孝始, 清木直哉, 松本凌, 榎富直人, 三上裕也, 上田悠太, 加藤和利	4. 巻 51
2. 論文標題 波長可変レーザーを用いた変調テラヘルツパルス波の生成	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 レーザー研究	6. 最初と最後の頁 242 - 243
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 近藤和哉, 土居諒, 車明, 三上裕也, 加藤和利	4. 巻 Vol. J106-C
2. 論文標題 光フェーズドアレーを用いたテラヘルツ波の電子制御ビームステアリング	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 86 - 87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transelej.2022JCL0007	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 白水孝始, 清木直哉, 松本凌, 榎富直人, 三上裕也, 上田悠太, 加藤和利	4. 巻 J105-C
2. 論文標題 高速波長可変レーザーを用いたテラヘルツ波生成システムの提案と実証	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 384 - 385
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transelej.2022JCL0003	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 Ming Che, Kazuya Kondo, Kazutoshi Kato	4. 巻 13
2. 論文標題 Generating and Enhancing THz Pulses Via an Antenna-Coupled Uni-Traveling-Carrier Photodiode Array	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology	6. 最初と最後の頁 280 - 285
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TTHZ.2023.3251736	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 Ming Che , Kazuya Kondo, Haruichi Kanaya , Kazutoshi Kato	4. 巻 40
2. 論文標題 Arrayed Photomixers for THz Beam-Combining and Beam-Steering	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Lightwave Technology	6. 最初と最後の頁 6657 - 6665
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JLT.2022.3204113	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 Ming Che, Haruichi Kanaya, Kazutoshi Kato	4. 巻 Vol. 29, No. 13
2. 論文標題 Optically controlled THz power tuning based on interference at transmission line	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 OPTICS EXPRESS	6. 最初と最後の頁 -20043
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.423308	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 Ming Che, Ruo Yamamoto, Hiroshi Ito, Tadao Ishibashi, Kazutoshi Kato	4. 巻 242
2. 論文標題 Vibration insensitive THz wave interferometry for characterizing optical phase shifter	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 OPTIK	6. 最初と最後の頁 1-1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijleo.2021.167203	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 Younjin Kim , Takeshi Kuboki, Kazutoshi Kato	4. 巻 VOL. 33, NO. 24
2. 論文標題 Demonstration of 600-GHz Wave Beam Forming by Arrayed Light Sources With Arrayed Photomixers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Photonics Thecnology Letters	6. 最初と最後の頁 1435 - 1438
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LPT.2021.3124826	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 Kazutoshi Kato	4. 巻 2022, 9, 9
2. 論文標題 Photonics-Assisted Terahertz-Wave Beam Steering and Its Application in Secured Wireless Communication	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Photonics	6. 最初と最後の頁 1-1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/photonics9010009	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 Shenghong Ye, Ming Che, Takeshi Kuboki, Kazutoshi Kato	4. 巻 VOL.34, NO. 1
2. 論文標題 Fast Wavelength Switching at Tunable DFB LaserArray by Current/Temperature Cooperative Control	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Photonics Thecnology Letters	6. 最初と最後の頁 51 - 54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LPT.2021.3137808	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 Yuri Niiya, Takeshi Kuboki, Kazutoshi Kato	4. 巻 Vol. 57, No. 6
2. 論文標題 Full-range wavelength switching at tunable distributed amplification (TDA)-DFB laser with high-accuracy feedforward control	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Electronics Letters	6. 最初と最後の頁 270-271
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1049/el12.12122	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 Kenta Yamauchi, Kazutoshi Kato	4. 巻 Volume 18, Issue 4
2. 論文標題 Optical heterodyne AND operation as emulation of physical layer security at wireless communication	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Electronics Express	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) 10.1587/elex.18.20210008	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 Kazutoshi Kato	4. 巻 11499
2. 論文標題 Terahertz-wave beam control by photonics technology	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering	6. 最初と最後の頁 1-1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2567849	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38件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 23件)

1. 発表者名 土居諒, 近藤和哉, 車明, 三上裕也, 加藤和利
2. 発表標題 光フェーズドアレーと8アレーフォトミキサを用いたテラヘルツ波の強度増大
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 榎富直人, 白水孝始, 清木直哉, 松本凌, 三上裕也, 上田悠太, 加藤和利
2. 発表標題 高速波長可変レーザとアレー導波路回折格子を用いたテラヘルツパルス波発生
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ming Che, Kazutoshi Kato
2. 発表標題 Demonstration of Combined and Steered 300-GHz Waves via Optoelectronic Phased Array
3. 学会等名 OFC2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ming Che, Kazutoshi Kato
2. 発表標題 Passive WR3 combiner with a reflector-integrated horn for 50 dB gain
3. 学会等名 Photonics West2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Qingjie Song, Yuya Mikami, Kazutoshi Kato
2. 発表標題 Demonstration of 405-nm Two-Tone Lightwave for Terahertz-wave Generation at InGaN Photodiode
3. 学会等名 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Amalina Athira Ibrahim, Hanwei Chen, Takashi Shiramizu, Yuya Mikami, Kazutoshi Kato
2. 発表標題 Terahertz-Wave Phase Modulation Enabled by Optical Interferometric Phase Stabilization
3. 学会等名 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hanwei Chen, Yusuke Kawai, Takuya Yano, Ssali Hussein, Kazutoshi Kato
2. 発表標題 Demonstration of 500 Mbit/s Data Transmission Utilizing Secure Terahertz Communication Enabled by Phased Array UTC-PDs
3. 学会等名 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Naoya Seiki, Takashi Shiramizu, Ryo Matsumoto, Naoto Masutomi, Yuya Mikami, Yuta Ueda, Fumito Nakajima, Kazutoshi Kato
2. 発表標題 THz-wave intensity modulation by combining a high-speed wavelength-tunable laser and photomixing technique
3. 学会等名 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Amalina Athira Ibrahim, Takashi Shiramizu, Shenghong Ye, Yuya Mikami, Kazutoshi Kato
2. 発表標題 Pilot-Lightwave-based Terahertz Wave Phase Stabilization
3. 学会等名 28th International Semiconductor Laser Conference (ISLC 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takashi Shiramizu, Naoya Seiki, Ryo Matsumoto, Naoto Masutomi, Yuya Mikami, Yuta Ueda, Wataru Kobayashi, and Fumito Nakajima, Kazutoshi Kato
2. 発表標題 Demonstration of Novel THz Wave Generation Based on a Fast Wavelength Switching Laser
3. 学会等名 27th Microoptics Conference (MOC 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hanwei Chen, Yusuke Kawai, Takuya Yano, Yuya Mikami, Kazutoshi Kato
2. 発表標題 Demonstration of Secure Wireless Transmission at 500 Mbit/s Based on 300-GHz Waves from Separated Transmitters
3. 学会等名 27th Microoptics Conference (MOC 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Qingjie Song, Yuya Mikami, Kazutoshi Kato
2. 発表標題 First Demonstration of 405-nm Two-Tone Lightwave from GaN Laser for High Power Terahertz Wave Generation
3. 学会等名 27th Microoptics Conference (MOC 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuya Kondo, Ming Che, Ryo Doi, Kazutoshi Kato
2. 発表標題 THz-Wave Beam Steering with 4-Channel Optical Phased Array
3. 学会等名 27th Microoptics Conference (MOC 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Amalina Athira Ibrahim, Takashi Shiramizu, Hanwei Chen, Yuya Mikami, Kazutoshi Kato
2. 発表標題 Novel Phase Stabilization Technique at Photomixing-Based Terahertz Wave Phase Modulation System
3. 学会等名 27th Microoptics Conference (MOC 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 榎富直人, 白水孝始, 清木直哉, 松本凌, 三上裕也, 上田悠太, 加藤和利
2. 発表標題 波長可変レーザを用いたテラヘルツ波発生法の実証
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宋慶傑, 三上裕也, 加藤和利
2. 発表標題 InGaN真空フォトダイオード用405nm帯二光波生成
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤和利
2. 発表標題 フォトミキシングによる光 - テラヘルツ波信号変換技術
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 榎富直人, 白水孝始, 清木直哉, 松本凌, 三上裕也, 上田悠太, 加藤和利
2. 発表標題 波長可変レーザを用いたテラヘルツ波発生法の実証
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宋慶傑, 三上裕也, 加藤和利
2. 発表標題 InGaN真空フォトダイオード用405nm帯二光波生成
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤和利
2. 発表標題 フォトミキシングによる光 - テラヘルツ波信号変換技術
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 陳漢偉, 河合優佑, 矢野拓弥, 三上裕也, 加藤和利
2. 発表標題 テラヘルツ波高セキュリティ通信を用いた500 Mbit/s 無線伝送
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 榎富直人, 白水孝始, 清木直哉, 松本凌, 三上裕也, 上田悠太, 加藤和利
2. 発表標題 波長可変 レーザー によるテラヘルツパルス 波 生成
3. 学会等名 レーザー学会九州支部学生講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 土居諒, 近藤和哉, 車 明, 三上裕也 加藤和利
2. 発表標題 光フェーズドアレ - と アレー フォトミキサを用いた テラヘルツ波の強度増大
3. 学会等名 レーザー学会九州支部学生講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazutoshi Kato
2. 発表標題 Terahertz-Wave Beam Generation by Photonic Integrated Device
3. 学会等名 URSI-GASS (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuya Kondo, Yuki Matsuo, Kazutoshi Kato
2. 発表標題 60-Times Power Enhancement of 300-GHz Terahertz Wave by 8-arrayed UTC-PDs
3. 学会等名 26th Microoptics Conference (MOC) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takumi Saito, Shigehiro Takasaka, Kazutoshi Kato
2. 発表標題 Terahertz-Wave Beam Steering by Photomixing with Chromatic Dispersion of Optical Fibers
3. 学会等名 26th Microoptics Conference (MOC) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yusuke Kawai, Kenta Yamauchi, Hiroshi Ito, Tadao Ishibashi, Kazutoshi Kato
2. 発表標題 Demonstration of Data Transmission Based on AND Operation between Two Terahertz Waves for Secure Wireless Communication
3. 学会等名 2021 International Topical Meeting on Microwave Photonics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ming Che, Yuki Matsuo, Kazuya Kondo and Kazutoshi Kato
2. 発表標題 Arrayed Uni-traveling-carrier Photodiodes for Pulsed THz Wave Beam Steering
3. 学会等名 2021 International Topical Meeting on Microwave Photonics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yusuke Kawai, Kenta Yamauchi, Hiroshi Ito, Tadao Ishibashi, Kazutoshi Kato
2. 発表標題 Demonstration of Secure Wireless Communication System Using a Pair of Terahertz-Wave Beams
3. 学会等名 Photonics and Electromagnetic Research Symposium 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ruo Yamamoto, Kazutoshi Kato
2. 発表標題 Novel autocorrelation system for high-repetition THz pulse wave
3. 学会等名 Photonics and Electromagnetic Research Symposium 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Matsuo, Kazuya Kondo, Kazutoshi Kato
2. 発表標題 300-GHz Terahertz Wave Beam Steering using 8-arrayed Arrayed UTC-PDs
3. 学会等名 Photonics and Electromagnetic Research Symposium 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takumi Saito, Kazutoshi Kato
2. 発表標題 Terahertz-Wave Beam Steering by Wavelength Tuning at Dispersive Optical Fibers
3. 学会等名 Photonics and Electromagnetic Research Symposium 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shenghong Ye, Ming Che, Takeshi Kuboki, Kazutoshi Kato
2. 発表標題 Demonstration of Bi-directional 400-GHz-wide High-speed High-reliability Wavelength Switching at DFB Laser with Current/Temperature Cooperative Control
3. 学会等名 Photonics and Electromagnetic Research Symposium 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazutoshi Kato
2. 発表標題 Terahertz-wave beam control by photonics technology
3. 学会等名 SPIE Optical Engineering + Applications (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kohei Ichiyama, Ruo Yamamoto, Kazutoshi Kato
2. 発表標題 Generation and Observation of 200-GHz-Repetition Electromagnetic Pulse by THz Autocorrelator
3. 学会等名 25th OptoElectronics and Communications Conference (OECC) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuki Matsuo, Ming Che, Haruichi Kanaya, Kazutoshi Kato
2. 発表標題 THz-Wave Power Multiplication by Parallel-Connection UTC-PDs
3. 学会等名 25th OptoElectronics and Communications Conference (OECC) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ssali Hussein, Kazutoshi Kato
2. 発表標題 Gap-Assisted Power Enhancement of THz Wave at Planar Antenna on Semiconductor Substrate
3. 学会等名 2020 International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 新谷友里、久保木猛、加藤和利
2. 発表標題 非線形モデルによる波長可変レーザの高速波長切替制御
3. 学会等名 電子情報通信学会和文論文誌C (招待講演)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 高周波発生装置	発明者 加藤和利、上田悠太、中島史人	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2023-055025	出願年 2023年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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	永妻 忠夫 (Nagatsuma Tadao) (00452417)	大阪大学・基礎工学研究科・教授 (14401)	
研究分担者	碓塚 孝明 (Kakitsuka Takaaki) (20522345)	早稲田大学・理工学術院(情報生産システム研究科・センター)・准教授 (32689)	
研究分担者	金谷 晴一 (Kanaya Haruichi) (40271077)	九州大学・システム情報科学研究院・教授 (17102)	
研究分担者	前田 辰郎 (Maeda Tatsuro) (40357984)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・研究主幹 (82626)	
研究分担者	高畑 清人 (Takahata Kiyoto) (40780797)	早稲田大学・理工学術院(情報生産システム研究科・センター)・准教授 (32689)	
研究分担者	久保木 猛 (Kuboki Takeshi) (50756236)	九州大学・システム情報科学研究院・助教 (17102)	

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