

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 実績報告書

本様式の内容は一般に公表されません

研究課題名	環境計測の基盤技術創成に向けた高機能テラヘルツ分光イメージング開発
研究機関・ 部局・職名	東京工業大学・量子ナノエレクトロニクス研究センター・准教授
氏名	河野 行雄

1. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

	交付決定額	交付を受けた額	利息等収入額	収入額合計	執行額	未執行額	既返還額
直接経費	121,000,000	121,000,000	14,062	121,014,062	121,014,062	0	0
間接経費	36,300,000	36,300,000	0	36,300,000	36,300,000	0	0
合計	157,300,000	157,300,000	14,062	157,314,062	157,314,062	0	0

3. 執行額内訳

(単位:円)

費目	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	合計
物品費	299,250	35,279,160	34,137,547	50,358,775	120,074,732
旅費	0	239,923	450,100	0	690,023
謝金・人件費等	0	0	0	0	0
その他	40,376	43,636	52,794	112,501	249,307
直接経費計	339,626	35,562,719	34,640,441	50,471,276	121,014,062
間接経費計	101,887	16,407,113	13,893,000	5,898,000	36,300,000
合計	441,513	51,969,832	48,533,441	56,369,276	157,314,062

4. 主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関名
テラヘルツガスレーザーシステム	テラヘルツ領域で100mW以上の出力	1	34,828,500	34,828,500	2012/3/22	東京工業大学
走査型光学画像イメージングシステム	検出信号から高次高調波を復調可能	1	31,185,000	31,185,000	2013/3/12	東京工業大学
セパレート式冷却水循環装置	(株)AMU冷熱製 AS-24000-A137 室外機付タイプ	1	2,940,000	2,940,000	2013/5/10	東京工業大学
テラヘルツレーザーシステム	英国エジンバラ社製 中赤外レーザーをポンプ光として連続テラヘルツ光を発振	1	20,370,000	20,370,000	2013/6/19	東京工業大学
低振動型温度可変装置	仁木工芸(株)製 Model LTS-082-LVEC-OP5-M	1	8,295,000	8,295,000	2013/9/13	東京工業大学
モジュラDCソース/モニタ	半導体電気伝導測定用	1	999,380	999,380	2013/8/9	東京工業大学
ラボラトリージャッキ、ジンバルミラーマウント、ミラーマウント等	THz光学部品用	1	547,890	547,890	2013/7/31	東京工業大学

様式20

半導体誘電率測定装置	(有)スペクトル デザイン製 取り込み信号 ダイナミックレ ンジ 16ビット以 上	1	15,500,000	15,500,000	2013/12/17	東京工業大学
光波形画像解析ソフトウェア	波形表示、関 数フィッティング 機能有	1	610,000	610,000	2014/2/12	東京工業大学

5. 研究成果の概要

テラヘルツ (THz、 10^{12} ヘルツ) 波の計測技術は、様々な物質や生体分析への応用が期待されている。ところが、THz波の技術は他の周波数帯に比べて発展が後れている。特に高分解能THz画像化技術や広帯域分光技術の開発が大きな課題になっていた。本研究では、半導体やカーボンのナノ構造を用いて、THz波の波長による限界を遙かに超える高分解能、従来にない広帯域周波数チューナブル検出を達成した。さらに、これらの技術が半導体・アンテナ・高分子の分析に有用であることを実証した。今回の成果の中でも特に外部光源を用いないパッシブ型近接場イメージングやグラフェンによる広帯域チューナブル検出は高い優位性を持つ技術である。今後は、半導体デバイスや薬の検査、生体分析等への応用により、産業・医療や日常生活へ直接的に貢献することが期待できる。

課題番号	GR097
------	-------

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 研究成果報告書

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名 (下段英語表記)	環境計測の基盤技術創成に向けた高機能テラヘルツ分光イメージング開発
	Development of high-performance terahertz spectroscopy and imaging for environmental measurements
研究機関・部局・ 職名 (下段英語表記)	東京工業大学・量子ナノエレクトロニクス研究センター・准教授
	Tokyo Institute of Technology, Quantum Nanoelectronics Research Center, Associate Professor
氏名 (下段英語表記)	河野行雄
	Yukio Kawano

研究成果の概要

(和文):

テラヘルツ (THz、 10^{12} ヘルツ) 波の計測技術は、様々な物質や生体分析への応用が期待されている。ところが、THz 波の技術は他の周波数帯に比べて発展が後れている。特に高分解能 THz 画像化技術や広帯域分光技術の開発が大きな課題になっていた。本研究では、半導体やカーボンのナノ構造を用いて、THz 波の波長による限界を遙かに超える高分解能、従来にない広帯域周波数チューナブル検出を達成した。さらに、これらの技術が半導体・アンテナ・高分子の分析に有用であることを実証した。今回の成果の中でも特に外部光源を用いないパッシブ型近接場イメージングやグラフェンによる広帯域チューナブル検出は高い優位性を持つ技術である。今後は、半導体デバイスや薬の検査、生体分析等への応用により、産業・医療や日常生活へ直接的に貢献することが期待できる。

(英文):

Terahertz (THz; 10^{12} Hz) measurements are expected to be utilized as a tool for analyzing various materials and biomolecules. However, THz technologies have not been well established compared to other frequency regions. One big issue was the development of high-resolution THz imaging and wide-band THz spectroscopy. In this research we have

achieved high-resolution THz imaging beyond the diffraction limit and wide-band tunable THz detection by using nanostructured semiconductors and carbon materials. It has been further demonstrated that our technologies are effectively applicable to analyses of semiconductors, antennas, and polymers. Our achievements are novel and original in the development of passive near-field THz imaging without external THz sources and wide-band tunable THz detection with graphene. We expect that our THz devices will serve as useful tools in factories, hospitals and our daily life through examinations of semiconductor devices, drugs and biomolecules.

1. 執行金額 157,314,062 円
(うち、直接経費 121,014,062 円、間接経費 36,300,000 円)

2. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

3. 研究目的

(1) 研究の背景

THz 波の計測技術は、物質・生体分析への利用が期待されている。ところが、THz 波の技術は他の周波数帯に比べて発展が後れている。特に物質・生体計測への応用には、高分解能 THz 画像化技術や広帯域分光技術の開発が今後の大きな課題になっていた。

(2) 研究の目的

本研究は、「固体ワンチップ型」をキーワードに、高性能なテラヘルツ (THz) 分光・イメージング素子の開発を目的とする。具体的な目標は以下の通りである。

- ① 高分解能 THz 撮像素子の開発
- ② 広帯域 THz 分光素子の開発
- ③ 上記の応用研究

半導体やナノカーボン材料(カーボンナノチューブやグラフェン)を利用して、高分解能画像計測・広帯域分光を可能にする THz 技術を創出する。

4. 研究計画・方法

(1) 高分解能 THz 撮像素子の開発

半導体 (GaAs/AlGaAs ヘテロ構造) 電界効果トランジスタに、アパーチャーと金属製平面プロローブを配置した近接場 THz 検出デバイスを作製する。この素子を音叉の片側に装着し、ナノメータ領域でエバネッセント光のみを画像検出する機構を構築する。

(2) 広帯域 THz 分光素子の開発

磁場中グラフェンにおいて形成される幅広いランダウ準位、ならびに値電子帯と伝導帯の各々の基底ランダウ準位がディラック点で一致していることを利用する。これらの特徴から、通常の半導体とグラフェンを比較した場合、同じ磁場範囲に対しても、ランダウ準位間隔に相当する周波数帯域は 10 倍以上グラフェンの方が広いことが予想される。

(3) 上記の応用研究

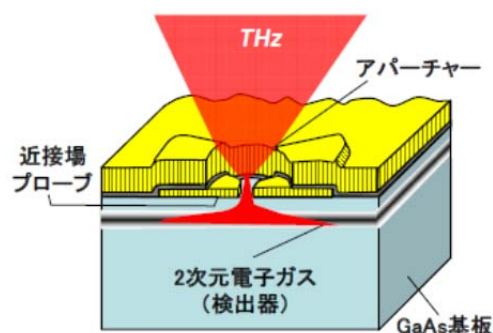
半導体、金属、さらには生体系の基である高分子へ THz 画像・分光計測を応用する。これにより物質中電子・格子・分子の性質を明らかにし、計測の有用性を実証する。

5. 研究成果・波及効果

(1) 高分解能 THz 撮像素子の開発

① アクティブ & パッシブ近接場 THz イメージング

半導体 (GaAs/AlGaAs ヘテロ構造) 電界効果トランジスタに、アパーチャーと金属製平面プローブを配置した近接場 THz 検出デバイスを作製した(右図)。このデバイスにより透過型の THz イメージング測定(アクティブ計測)を行うことで、空間分解能 350nm (THz 波の波長に対して 614 分の 1) の超高解像度な THz イメージングを実現した。さらに、同技術の高感度なエバネッセント場直接検出という特徴を生かして、外部 THz 光源を用いないパッシブ型の近接場 THz イメージングも達成した。



② アンテナ結合型量子ドットによる THz 検出

THz 波の波長よりも小さいナノメートルサイズの量子ドットと THz 波の結合効率を大きく向上させることを目的とした研究を行った。アンテナ結合型量子ドットに THz 波を照射したところ、THz 応答信号(量子ドットの電流変化)を観測した。アンテナありとなしのデバイスに対する信号強度の比較から、アンテナ結合により検出効率が 20 倍以上向上していることが確認できた。

③ カーボンナノチューブアレイによる室温 THz 検出

通常の半導体とは異なる優れた性質を持つカーボンナノチューブによる THz 検出を試みた。単層カーボンナノチューブが高配向にアレイ化されたユニークな構造(試料はライス大学より提供)を用いて、室温で THz 検出が可能であることを実証した。また高配向性の特徴を利用して、THz 波の偏光依存検出、つまり偏光子としても機能させられることが分かった。この結果は半導体に代わる検出器用材料として有望であることを示している。

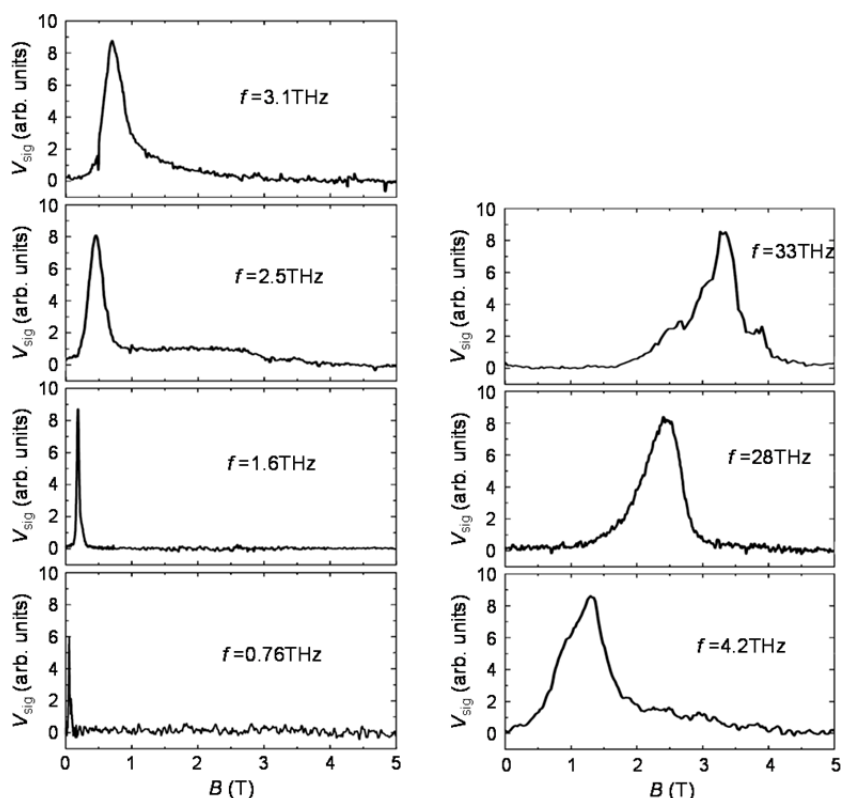
④プラズモン構造の検討

近接場イメージング用センサのさらなる高性能化に向けてプラズモン構造の導入を検討した。この構造により、THz 波を局所領域に集中させたり、周波数を選択したりすることが可能である。電磁界シミュレーションを用いて、電界集中効果や周波数選択性に応じた、具体的な構造を決めることができた。

(2)広帯域 THz 分光素子の開発

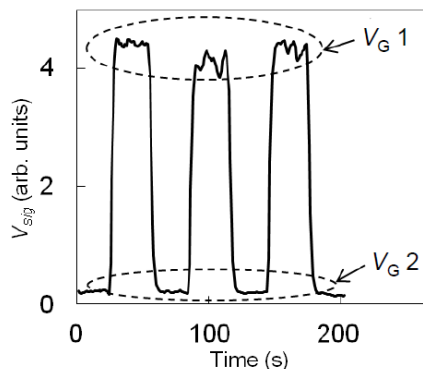
①グラフェンによる広帯域 THz 分光素子の開発

グラフェンを用いて THz 波のチューナブル検出を可能にした。検出帯域は 0.76~33THz にまで達する(下に実験結果)。これにより、サブミリ波から赤外光領域というきわめて広い周波数帯域を1つの素子で分光検出可能という優れた性能を持たせることに成功した。



②THz 分光信号のゲート電圧変調

分光特性に外部変調機能を持たせることを目的とした研究を行った。GaAs/AlGaAs 電界効果トランジスタのゲート電圧により、THz 分光信号をオンオフさせることに成功した(右図)。この効果は、ゲート電圧によって、フェルミ準位における2次元電子ガス(GaAs/AlGaAs 界面に存在)の状態密度が大きく変化することに起因することが



分かった。この機能により、分光信号の信号－雑音比を大きく向上させることが可能となった。この技術は上記のグラフェンにも応用可能である。

(3) THz 画像・分光計測の応用研究

①半導体への応用

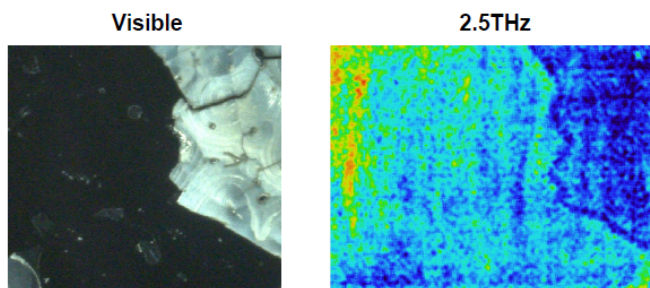
パンプ型近接場 THz イメージングを用いて、半導体中を流れる励起電子の可視化に成功した。電子の散乱長に起因する非一様な空間依存性を見出した。

②金属アンテナ構造への応用

金属から成るアンテナ構造における電界分布を可視化した。シミュレーション結果と合致する結果を得て、アンテナ構造の分析に強力な手段となることを示した。

③高分子への応用

高分子の THz 画像観察を達成した(右図)。この結果から、THz 領域における高分子の空間ダイナミクスを探求する道筋を示した。



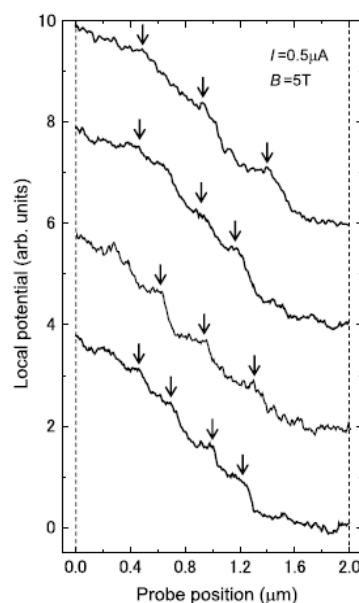
(4) その他(計画外の成果)

①グラフェン中ポテンシャル揺らぎ構造の観察

自前で開発した走査型エレクトロメータを用いてグラフェン中のポテンシャル揺らぎ分布を直接観察し(右図)、THz 検出との相関を強く示唆する結果を得た。この結果は、グラフェン中の THz 励起キャリアの挙動を深く理解し、デバイス研究へフィードバックする上で有用な知見である。

②カーボンナノチューブアレイにおけるアンダーソン局在と巨大 THz 応答

上記のカーボンナノチューブアレイは、温度を下げるにつれてホッピング伝導からアンダーソン局在への状態遷移が起こり、後者の状態では前者の状態に比べて 35 倍もの巨大な THz 応答が生じることが分かった。これは新しいタイプの THz デバイスの可能性を示唆している。



(5) 他技術と比べた本成果の優位性・特筆点

THz 撮像技術については、高分解能とともにエバネッセント場の高感度直接検出という特徴も持つ。これがパッシブ計測を可能にした礎になっている。これにより、外部 THz 光源の有無に無関係に使用可能である。パッシブ計測では、試料固有のエネルギーあるいは熱分布に関する情報を得ることができるため、高い優位性を持つ。

グラフェンによる広帯域分光素子は、サブミリ波から赤外光領域という広大な周波数帯域を1つの素子でカバーし、かつ周波数チューニング可能である。この優れた特徴は他の材料では不可能であり、われわれの独自技術による先駆的な成果である。

計画外の特筆する成果は、カーボンナノチューブアレイにおけるアンダーソン局在と巨大 THz 応答の観測である。現在さらなる探求を続けているが、この結果は新しいタイプの THz デバイスの可能性を示唆している。

(6) 当初の計画からの達成度

本プロジェクトは THz 波技術のうち、①イメージング、②分光、③応用の3つを目標に掲げて進めてきた。①高分解能化、②広帯域化、③様々な材料系への応用という点で当初の目標は達成できた。今後はこれらの計測技術の多機能化や実用化を進めていく予定であるが、そのための準備的研究もすでに平成 25 年度に開始することができた。

(7) 波及効果

大気汚染ガスや生体高分子の特徴的な周波数が THz 帯に属するため、本プロジェクトを基にした THz 分析装置は環境計測・生体計測への応用が可能である。本研究の成果の大きな特徴は「高分解能」「広帯域」であるため、今後は個々の分子、個々のナノ材料、個々のトランジスタ等の解析が可能である。半導体 LSI の検査、がん細胞のチェック、薬の検査、大気モニタリング、農作物の鮮度や水分情報のモニタリングなど、産業・医療や日常生活への大きな貢献が期待できる。

6. 研究発表等

以下で、*記を付した論文・発表は年度別実施状況報告書には記さなかったものに相当。年度別実施状況報告書では主に招待講演に絞って報告したが、今回は期間全体の成果報告書のため一般講演(*記を付した成果発表)も含めて記した。

雑誌論文 計 13 件	(掲載済み一査読有り) 計 7 件 1. Y. Kawano and K. Ishibashi, “Spatial mapping of potential fluctuation in GaAs/AlGaAs and graphene by a scanning nanoelectrometer“, Journal of Physics: Conference Series, Vol. 334, pp. 012018-1-5, 2011 年 2. Y. Kawano, “Terahertz Sensing and Imaging Based on Nanostructured Semiconductors and Carbon Materials“, Laser & Photonics Reviews (Wiley-VCH, Berlin) , Vol. 6, No. 2, pp. 246-257, 2012 年 (Review) 3. 河野行雄、“テラヘルツ光子の検出とその応用”、日本光学会誌「光学」、Vol. 41, No. 10, pp. 521-528, 10 月, 2012 年 4. D. Suzuki, S. Oda and Y. Kawano, “GaAs/AlGaAs field-effect transistor for tunable terahertz detection and spectroscopy with built-in signal modulation”, Applied Physics Letters Vol. 102, Issue 12, pp. 122102-1-4, 3 月, 2013 年 5. R. Chen, J. Song, T.-Y. Lin, G. R. Aizin, Y. Kawano, N. Aoki, Y. Ochiai, V. R. Whiteside, B. D. McCombe, D. Thomas, M. Einhorn, J. L. Reno, G. Strasser, and J. P. Bird, “Terahertz Detection With Nanoscale Semiconductor Rectifiers”, IEEE Sensors Journal Vol. 13, No. 1, pp. 24-30, 1 月, 2013 年 6. Y. Kawano, “Terahertz Waves: A tool for Condensed Matter, the Life Sciences and Astronomy”, Contemporary Physics Vol. 54, pp. 143-165, 9 月, 2013 年 (Invited Review Paper) (表紙に採択) 7. Y. Kawano, “Wide-Band Frequency-Tunable Terahertz and Infrared Detection with Graphene”, Nanotechnology Vol. 24, pp. 214004-1-6, 4 月, 2013 年 (掲載済み一査読無し) 計 5 件 1. Y. Kawano, “Terahertz Sensing and Imaging Based on Nano-Carbon Devices”, Proceedings of 36th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves , 10 月, 2011 年 * 2. L. Crespi, T. Kodaera, S. Oda and Y. Kawano, “Terahertz Radiation Detection through a Micro-Scale Antenna and a Silicon-Based Quantum Dot”, Proceedings of 37th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves , 9 月, 2012 年 3. D. Suzuki, S. Oda and Y. Kawano, “Gate-Voltage Tunable Terahertz Detection by a GaAs/AlGaAs Quantum Device”, Proceedings of 37th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, 9 月, 2012 年
--------------------	--

	<p>4. Y. Kawano, "Semiconductor- and Carbon-Devices for Nanoscale THz Sensors and Imagers", Proceedings of International Conference on Frontiers in THz.Technology, 11月, 2012年 *</p> <p>5. Y. Kawano, "Near-Field Terahertz Microcopy: Characterization of Semiconductors, Graphene, and Polymers", Proceedings of 9th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices '13, 12月, 2013年</p> <p>(未掲載) 計1件</p> <p>1. 河野 行雄、“グラフェンのテラヘルツ・赤外光検出応用”、レーザー研究、2014年内出版予定</p>
<p>会議発表 計38件</p>	<p>専門家向け 計32件</p> <p>1. Y. Kawano (Invited), "Terahertz characterization of graphene and its application to an ultra-wide band tunable detector", 9th Metamaterials & Nanophotonics Symposium (RIKEN, Wako, March 2011).</p> <p>2. Y. Kawano (Invited), "Highly Sensitive and Frequency-Tunable Terahertz Detection with Carbon Nanotubes and Graphene", 1st International Symposium on Terahertz Nanoscience (Osaka, November 24-29, 2011).</p> <p>3. Y. Kawano (Keynote), "Terahertz Sensing and Imaging Based on Nano-Carbon Devices", 36th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (Houston TX USA, October 2-7, 2011).</p> <p>4. 河野 行雄(シンポジウム講演)、“半導体・カーボンデバイスを用いたナノ分解能テラヘルツ波イメージング”、2011年秋季第72回応用物理学会学術講演会シンポジウム「光科学の未来を拓く-10年先の新規研究領域開拓のために-」(山形大学、2011年8月29日)。</p> <p>5. 河野 行雄(シンポジウム講演)、“テラヘルツ波によるグラフェン物性評価と素子応用”、2011年秋季第72回応用物理学会学術講演会シンポジウム「ナノカーボン材料の最新動向(3):グラフェンおよびナノチューブ」(山形大学、2011年8月29日)。</p> <p>6. 河野 行雄(依頼講演)、“近接場デバイス”、応用物理学会テラヘルツ電磁波技術研究会・若手研究者サマースクール(岡山、2011年8月8~10日)。</p> <p>7. Y. Kawano (Invited), "Scanning nanoelectrometer for mapping electric potential and its fluctuation", 2011 CMOS Emerging Technologies Workshop (Whistler, BC, Canada, June 15-17, 2011).</p> <p>8. 河野 行雄(依頼講演)、“テラヘルツナノイメージングの開発と物質材料研究への応用”、第1回超高速光エレクトロニクス研究会(慶應義塾大学、2011年4月19日)</p> <p>9. 河野 行雄、“低次元電子系の機能に基づいたテラヘルツ波の検出”, Sir Martin Wood Prize Lecture (大阪大学、2011年12月) *</p> <p>10. 河野 行雄(依頼講演)、“半導体・カーボンの低次元構造を用いたテラヘルツ波センシング・</p>

	<p>イメージング”、日本学術振興会 将来加工技術第136委員会・第3回合同研究会「ものづくりを支え、育てる加工・評価技術」(東京、2012年9月)</p> <p>11. 河野 行雄、宮本 悟、“音叉結合型近接場 THz イメージングの開発”、応用物理学会(岡山大学、2012年9月)</p> <p>12. 河野 行雄(依頼講演)、“半導体量子構造・カーボンナノチューブ・グラフェンを用いたテラヘルツ波検出・画像計測”、応用物理学会テラヘルツ電磁波技術研究会・若手研究者サマースクール(長野、2012年8月).</p> <p>13. Y. Kawano (Invited), “Nanoscale THz Sensing and Imaging with Nano-Carbon Devices”, 2nd International Symposium on Terahertz Nanoscience (Okinawa, July 2012).</p> <p>14. Takayoshi Kuga, Luca Crespi, Jun Kamioka, Daichi Suzuki, Tetsuo Kodera, Shunri Oda, Yukio Kawano, “Terahertz detection with log-spiral antenna-coupled Si quantum dots”, 2nd International Symposium on Terahertz Nanoscience (Okinawa, July 2012). *</p> <p>15. Y. Kawano (Invited), “Terahertz sensor and imager with nanostructured semiconductor and carbon devices”, IEEE International Microwave Symposium (Montreal, Canada, June 2012).</p> <p>16. Y. Kawano (Invited), “Nanoscale THz Sensors and Imagers”, IEEE Topical Symposium on RF NanoTechnology (Singapore, May 2012).</p> <p>17. L. Crespi, T. Kodera, S. Oda and Y. Kawano, “Terahertz Radiation Detection through a Micro-Scale Antenna and a Silicon-Based Quantum Dot”, 37th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (Houston, Sep., 2012). *</p> <p>18. D. Suzuki, S. Oda and Y. Kawano, “Gate-Voltage Tunable Terahertz Detection by a GaAs/AlGaAs Quantum Device”, 37th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (Houston, Sep., 2012). *</p> <p>19. Y. Kawano, “Semiconductor- and Carbon-Devices for Nanoscale THz Sensors and Imagers”, International Conference on Frontiers in THz Technology (Nara, Nov. 2012). *</p> <p>20. 鈴木大地, 小田俊理, 河野行雄、“GaAs/AlGaAs を用いた周波数可変テラヘルツ波検出器のゲート電圧による応答制御”, 第73回応用物理学会学術講演会, 2012.*</p> <p>21. 河野 行雄(依頼講演)、“半導体量子構造・カーボンナノチューブ・グラフェンを用いた超高感度テラヘルツ波・赤外センサ”、日本学術振興会 薄膜第131委員会・第260研究会(第141委員会との共催)「センサ用薄膜技術」(東京、2012年5月)</p> <p>22. 鈴木大地, 小田俊理, 河野行雄、“GaAs/AlGaAs を用いたテラヘルツ帯分光器のゲート電圧による出力変調”, 第60回応用物理学会春季学術講演会, 2013. *</p> <p>23. Daichi Suzuki, Shunri Oda, Yukio Kawano, “Terahertz spectroscopic signal modulation by the gate voltage with a GaAs/AlGaAs field-effect transistor”, IEEE EDS WIMNACT-37, P-12, 2013. *</p> <p>24. Takayoshi Kuga, Luca Crespi, Jun Kamioka, Daichi Suzuki, Tetsuo Kodera, Shunri Oda, Yukio Kawano, “Terahertz detection with antenna-coupled heavily P-doped Si quantum dots”, IEEE</p>
--	---

	<p>EDS, WIMNACT-37, P-14, 2013. *</p> <p>25. 陸昂義, 神岡純, 小寺哲夫, 小田俊理, 河野行雄, “広帯域アンテナを結合したシリコン量子ドットによるテラヘルツ波検出”, 第74回応用物理学会秋季学術講演会, Sep. 2013. *</p> <p>26. 河野 行雄(招待講演)、“グラフェンによる広帯域周波数可変テラヘルツ・赤外光検出”、応用物理学会応用電子物性分科会「グラフェンの基礎物性とデバイス応用の新展開」(東京工業大学、2013年12月)</p> <p>27. 河野 行雄(招待講演)、“半導体・グラフェンによるテラヘルツ波検出・分光・撮像デバイス”、電子情報通信学会・THz 応用システム研究会(北海道大学、2013年8月)</p> <p>28. Y. Kawano (Invited), “Graphene-Based Terahertz and Infrared Spectrometer”, Collaborative Conference on Materials Research 2013 (Jeju island, South Korea, June 2013).</p> <p>29. 河野 行雄(招待講演)、“新規開拓電磁波「テラヘルツ波」で捉える物質の機能～半導体、ナノカーボン、ソフトマター～”、丸文財団 特別公開シンポジウム「フォトニクス・エレクトロニクス融合の最先端」(東京大学 先端科学技術研究センター、2013年5月)</p> <p>30. Y. Kawano (Invited), “Active and passive near-field THz imaging”, International Workshop on Terahertz Science and Technology 2013 (Kyoto, April 2013).</p> <p>31. Y. Kawano, “Near-Field Terahertz Microcopy: Characterization of Semiconductors, Graphene, and Polymers”, 9th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices '13 (Hawaii, Dec., 2013).</p> <p>32. 河野 行雄(招待講演)、“オンチップ型近接場テラヘルツ分光イメージングとその応用:半導体・グラフェン・高分子”、先端光量子科学アライアンスセミナー(慶應大学、2014年3月)</p> <p>一般向け 計6件</p> <p>1. 河野 行雄、“新規開拓電磁波「テラヘルツ波」で目に見えない物を見る～最先端科学と産業・医療への応用～”、高校生・一般向け講演会「東工大が誇る若手研究者たち」(東京工業大学、2011年11月15日)。</p> <p>2. 河野 行雄、“低次元電子系の機能に基づいたテラヘルツ波の検出”、日本科学技術ジャーナリスト会議・3月月例会(プレスセンタービル、2012年3月14日)。</p> <p>3. 河野 行雄、「テラヘルツ波」で目に見えない物を見る 2012年8月29日、東京工業大学大岡山キャンパス(東工大蔵前会館 ロイヤルブルーホール) 高校生・一般向け公開講演会</p> <p>4. 河野 行雄、「『テラヘルツ波』で目に見えない物を見る」2013年9月6日、東京工業大学田町キャンパスイノベーションセンター(4階 410号室)一般向け公開講演会</p> <p>5. 河野 行雄、「テラヘルツ波」で目に見えないものを見る 2013年10月13日、東京工業大学大岡山キャンパス(西9号館2階デジタル多目的ホール) 一般向け公開講演会</p> <p>6. 河野 行雄、スーパーサイエンスハイスクールへの出前講義 特別授業 2014年1月11日、東京都立多摩科学技術高等学校</p>
--	---

様式21

<p>図書 計3件</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Y. Kawano, “ Terahertz Technology Based on Nanoelectronic Devices ”, “Integrated Microsystems: Electronics, Photonics, and Biotechnology”, Taylor & Francis Group, USA, pp. 289-308, 2011 年(総ページ数 742) 2. Y. Kawano, “ Terahertz nano-devices and nano-systems ”, Handbook of Terahertz Technology for Imaging and Sensing and Communications, Woodhead Publishing Ltd., UK, pp. 403-422, 2013 年 3. Y. Kawano, “Terahertz Technology Based on Nano-Electronic Devices”, Chapter 1 of “High-Speed Devices and Circuits with THz Applications”, CRC Press, in press.
<p>産業財産権 出願・取得 状況 計6件</p>	<p>(取得済み) 計5件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 米国特許登録:Y. Kawano (90%)and K. Ishibashi (10%), “Apparatus and method for detecting terahertz wave”, (RIKEN), US7947955B2, (2011 年 5 月 24 日取得) 2. 米国特許登録:Y. Kawano (80%) and K. Ishibashi (20%), US8148688B2 “Near-field terahertz wave detector” (2012 年 4 月 3 日取得) 3. 特許登録:河野行雄(70%)、石橋幸治(30%)、5107183 「テラヘルツ光検出装置とその検出方法」(2012 年 10 月 12 日取得) 4. 特許登録:河野 行雄(80%)、石橋 幸治(20%)、特願 2008-178041 「近接場テラヘルツ光検出器」(2013 年 10 月 25 日取得) 5. 特許登録:河野 行雄(90%)、石橋 幸治(10%)、特願 2009-27537 「テラヘルツ電磁波検出装置とその検出方法」(2014 年 2 月 14 日取得) <p>(出願中) 計1件</p> <p>河野 行雄、特願(国内)2011-212667 「電界効果トランジスタ」(東京工業大学)(2011 年 9 月 28 日出願)</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>http://diana.pe.titech.ac.jp/kawano/index.html</p>
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2011 年 11 月 15 日 高校生・一般向け公開講演会「新規開拓電磁波「テラヘルツ波」で目に見えない物を見る ～最先端科学と産業・医療への応用～」東京工業大学 85 名参加:テラヘルツ技術についての講演を行った。 ・ 2012 年 3 月 14 日 日本科学技術ジャーナリスト会議・3 月月例会「低次元電子系の機能に基づいたテラヘルツ波の検出」プレスセンタービル、約 40 名参加:ジャーナリスト向けの講演を行った。 ・ 「テラヘルツ波」で目に見えない物を見る 2012 年 8 月 29 日、東京工業大学大岡山キャンパ

	<ul style="list-style-type: none"> ・ ス(東工大蔵前会館 ロイヤルブルーホール) 高校生・一般向け公開講演会 参加者 80 名 ・ 『テラヘルツ波』で目に見えない物を見る」 2013 年 9 月 6 日、東京工業大学 田町キャンパスイノベーションセンター(4 階 410 号室)一般向け公開講演会 参加者 62 名 ・ 「テラヘルツ波」で目に見えないものを見る 2013 年 10 月 13 日、東京工業大学大岡山キャンパス(西 9 号館 2 階デジタル多目的ホール) 一般向け公開講演会、参加者 250 名 ・ スーパーサイエンスハイスクールへの出前講義 特別授業 2014 年 1 月 11 日、東京都立多摩科学技術高等学校 参加者 25 名
<p>新聞・一般雑誌等掲載計 10 件</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nature Publishing Index 2013 で当研究室の紹介, “Terahertz technology takes off” 2. 科学新聞(2014 年 2 月 21 日) “学術振興会賞・学士院学術奨励賞授賞式” 3. 科学新聞(2014 年 1 月 1 日) “第 10 回日本学術振興会賞” 4. 日経産業新聞(2012 年 1 月 5 日 11 面)「先端人」“高解像度呼んだ探求心” 5. 日刊工業新聞(2012 年 11 月 19 日)「キラリ研究開発」後編 6. 日刊工業新聞(2012 年 11 月 5 日)「キラリ研究開発」前編 7. Laser Focus World Japan(2012 年 10, 11 月号):「研究室探訪 テラヘルツ波検出器」 8. WINWING 19 号(2012 年 8 月): “Science Now”「大きな可能性を秘めたテラヘルツ光開拓で新たな世界が見えてきた」 9. 日経サイエンス(2012 年 7 月号):「フロントランナー挑む」 10. 日本科学技術ジャーナリスト会議・会報 (2012 年 6 月): “「テラヘルツ波」を分かりやすく伝える”
<p>その他</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 東工大挑戦的研究賞・学長特別賞受賞(2011 年) ・ Sir Martin Wood Prize 受賞(2011 年) ・ 日本 IBM 科学賞(エレクトロニクス分野)受賞(2011 年) ・ 平成 24 年度東工大・工系創成的研究賞受賞(2012 年) ・ 平成 24 年度丸文学術賞受賞(2013 年) ・ 日本学術振興会賞受賞(2014 年) ・ 船井学術賞受賞(2014 年) ・ Contemporary Physics 誌の表紙に選定 <p>以下、当研究室所属の学生の受賞</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ テラヘルツサマースクール・優秀プレゼン賞 鈴木 大地 (2011 年) ・ Young Researcher Award (International Symposium on Terahertz Nanoscience) 鈴木 大地 (2011 年) ・ TeraNano PIRE Prize: Mitchell Trafford (2012 年) ・ The Best Poster Award of the IEEE EDS WIMNACT-37 鈴木 大地 (2013 年)

7. その他特記事項

「東工大の星」に選定 (<http://www.titech.ac.jp/news/2014/025285.html>)

「フロントランナー・挑戦する科学者たち(仮題)」(日本経済新聞出版社)で紹介(2014年6月発行予定)