

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02590

研究課題名（和文）二次元電子系素子の界面電子状態の時空間変化の機構解明と素子特性向上

研究課題名（英文）Mechanistic study of interface electronic states in 2D electron devices and improvement of the device performances

研究代表者

吹留 博一（Fukidome, Hirokazu）

東北大学・電気通信研究所・准教授

研究者番号：10342841

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：時空間オペランドX線分光(o-STXS)を開発し、二次元電子系を電子輸送層（チャネル）とした電界効果トランジスタ（2D-FET）における電子状態の時空間変化を観測した。InGaAsをチャネルとしたInGaAs-HEMTへの研究展開にも着手している。たとえば、表面処理によるバンド湾曲がInGaAs-HEMTの遮断周波数や最大発振周波数（電力増幅の上限周波数）に大きな影響を及ぼしていることを示唆する結果を得ている。さらに、この観測手法が、他の2D-FET、次世代高周波デバイスであるグラフェン・トランジスタにも適用できることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究において、従来の巨視的な電気計測法や分光法では得られない、「外場印加により誘起されるデバイス物性の時空間ダイナミクス」が時空間オペランドX線分光により得られた。このような成果は、Society 5.0の基盤インフラになるBeyond 5Gの中核を成すGaN高電子移動度トランジスタやグラフェン・トランジスタなどの超高周波デバイスの更なる性能向上に資するものとなる。よって、本研究の成果は、2030年代以降に到来するSociety 5.0の実現に貢献するものになると言える。

研究成果の概要（英文）：We developed a spatiotemporal x-ray spectroscopy, and observed surface electronic states of FETs using 2D electrons as channels. We also started a study on InGaAs-HEMT, for instance, the effect of surface treatment high-frequency characteristics. We demonstrated that this spectromicroscopy is applicable to 2D-FET, the next-generation high-frequency devices, graphene transistors,

研究分野：半導体表面科学

キーワード：二次元電子 トランジスタ オペランド X線分光 時空間

1. 研究開始当初の背景

代表者は、キャリア移動度が室温で $10^5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ にも達する世界最高水準の高品質グラフェンの成長法を確立した (Fukidome et al. APL(2013))。しかし、グラフェン・トランジスタ (GFET) の高速電気特性の実測値は、キャリア移動度やフェルミ速度などの物性値から予想される理論値の 1/3 以下だった (Jung, Fukidome et al. Proc. IEEE (2013). Impact factor: 9.107)。

1. 出発点：オペランド顕微X線分光 (σ -SXS) の開発

代表者と分担者は、基盤研究(B) (H27~H29) 等の助成を受け、 σ -SXS を世界に先駆けて実現した；

GFET：界面電子状態変化により素子特性が劣化することを見出した (Fukidome, Kotsugi et al. Sci. Rep. (2014))。

GaN-HEMT：住友電工との産学連携共同研究を行い、従来の電気特性評価では困難だった表面準位の存在領域や密度の定量分析に成功した (Fukidome et al. Sci. Rep. (2018)) (図1)。

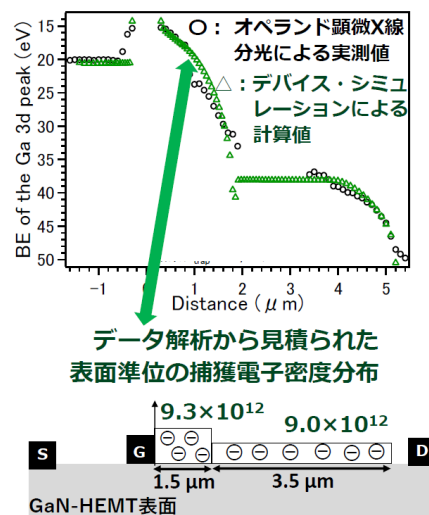


図1 GaN-HEMT の σ -SXS 研究

2. 転機：SiC基板上グラフェンのキャリア輸送特性の研究 時間分解光電子分光を用いて、光照射により励起されたキャリア輸送特性が時間ドメインによって異なることを明らかにした (Someya, Fukidome et al. PRB (2017), APL (2018))：光励起直後 (ns以下) はグラフェン自身の物性が、少し時間が経過するとSiC基板からのキャリア注入が、グラフェンのキャリア輸送特性を決める。

3. 着想 高速素子動作は、電圧印加に伴う有限の時定数を有する過渡的電荷移動を伴う。この点と上記2. の研究を踏まえ、2D-FETのキャリア輸送特性の機構解明には、機能の担い手である界面に関し、空間的变化だけでなく時間的变化も理解する必要があると代表者は推論した。この推論を検証する為には、 σ -SXSに時間分解能を付与した σ -STXSを開発し、電子状態の時空間変化を観測する必要があると代表者は認識した。

2. 研究の目的

上記の問いに答えるべく、本研究では、2D-FET のどこの界面の電子状態が、どの時間ドメインで、キャリア輸送特性に影響するのか、その機構を実験的に解明する。具体的には、 σ -SXS に時間分解能を賦与した時空間オペランド X 線分光 (σ -STXS) を開発し、2D-FET の電子状態の時空間変化を観測する。この観測結果を解析し、2D-FET のどの界面が、どの時間ドメインでキャリア輸送特性に影響するのか、その機構を解明し、2D-FET の高速電気特性を理論限界にまで押し上げるための知見を得ることを目指す。

3. 研究の方法

代表者らが世界に先駆けて開拓した o-SXS に時間分解能を賦与した革新的分光法「時空間オペランド X 線分光(o-STXS)」を用いて、二次元電子系を電子輸送層（チャンネル）とした電界効果トランジスタ（2D-FET）における電子状態の時空間変化を観測する。

4. 研究成果

(1) 代表者らが世界に先駆けて開拓した o-SXS に高い時間分解能を賦与することで、革新的分光法「時空間オペランド X 線分光(o-STXS)」の創出を目指した。その結果、高時空間分解能(100ns, 100 nm) で、時空間分解 X 線吸収フル・スペクトルの取得に世界に先駆けて成功した。

(2) 時空間オペランド X 線分光(o-STXS)を用いて、二次元電子系を電子輸送層（チャンネル）とした電界効果トランジスタ（2D-FET）における電子状態の時空間変化を観測した。

・代表者らは、o-STXS を用いて、GaN-HEMT 表面の Ga-L₃ 吸収端近傍における時空間分解 X 線吸収スペクトルを取得することに成功した。その概略を図 2 に示している。本測定においては、試料へのパルス電圧印加をポンプ、試料へ入射するパルス化された X 線をプローブとして用いている。

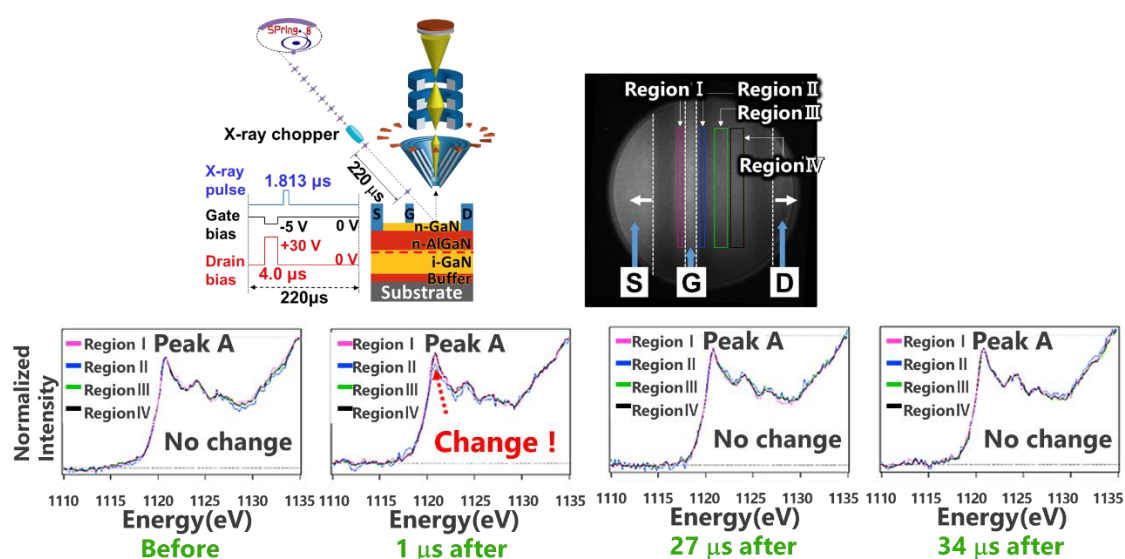


図 2 GaN-HEMT 表面の時空間分解吸収スペクトル測定系の概略（上左）、スペクトル・イメージングの例（上右）、および、実際に取得したスペクトル（下）。

(3) 観測結果から、ゲート電圧をオフした直後のゲート電極近傍ドレイン側においてのみ、スペクトルが弱化していることが判明した。このことは、この時間ドメインにおいてのみ、表面 Ga が電子捕獲により中性化していることを示すものである。すなわち、GaN-HEMT 表面上において、外場印加が表面電子捕獲の時空間ダイナミクスを変調させていることを明らかにした。

このことから、我々は図 3 に示すような表面電子捕獲の機構を提案した（図 3）。表面電子捕獲の初期過程においては、表面電子捕獲がゲート電極近傍においてのみ発生している（図 3(a)）。しばらく時間が経過すると、ゲート電極近傍にいた表面捕獲電子がホッピングし、ドレイン側に

も表面捕獲電子が存在するようになる (図 3(b))。本成果は、従来の計測法では直接観測することが困難であり、時空間オペランド X 線分光ならではの成果であると言える。本成果は、GaN-HEMT の高信頼性に向けた重要な設計指針を与えるものとなり、現在、詳細なデバイス設計を行おうとしているところである。

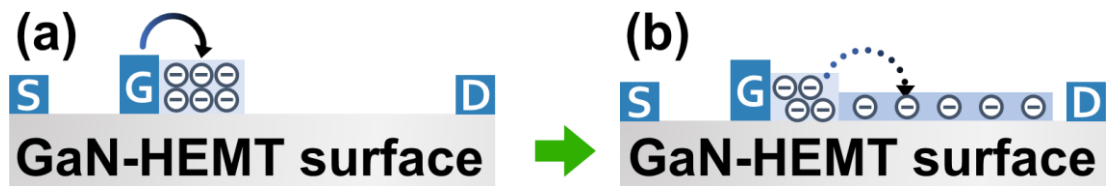


図 3 我々が新たに提案した GaN-HEMT 表面における電子捕獲機構。

(4) InGaAs をチャネルとした高電子移動度トランジスタ (InGaAs-HEMT) への研究展開にも着手した。たとえば、表面処理によるバンド湾曲が InGaAs-HEMT の遮断周波数や最大発振周波数 (電力増幅の上限周波数) に大きな影響を及ぼしていることを示唆する結果を得ている。さらに、本観測手法が、他の 2D-FET、たとえば、次世代高周波デバイスであるグラフェン・トランジスタにも適用できることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件／うち国際共著 7件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 FUKIDOME Hirokazu	4. 巻 64
2. 論文標題 Creation of Affordable Manufacturing Processes of Ultrahigh-quality Graphene Growth and High-frequency Graphene Devices by Using Single-crystalline SiC Thin Films on Device-type Substrates	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Vacuum and Surface Science	6. 最初と最後の頁 318 ~ 323
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1380/vss.64.318	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 Fukaya Yuki, Zhao Yuhao, Kim Hyun-Woo, Ahn Joung Real, Fukidome Hirokazu, Matsuda Iwao	4. 巻 104
2. 論文標題 Atomic arrangements of quasicrystal bilayer graphene: Interlayer distance expansion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L180202-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.L180202	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 Zhao Y., Suzuki T., Iimori T., Kim H.-W., Ahn J. R., Horio M., Sato Y., Fukaya Y., Kanai T., Okazaki K., Shin S., Tanaka S., Komori F., Fukidome H., Matsuda I.	4. 巻 105
2. 論文標題 Environmental effects on layer-dependent dynamics of Dirac fermions in quasicrystalline bilayer graphene	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 115304-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.115304	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 Otsuji Taiichi, Boubanga-Tombet Stephane Albon, Satou Akira, Yadav Deepika, Fukidome Hirokazu, Watanabe Takayuki, Suemitsu Tetsuya, Dubinov Alexander A., Popov Vyacheslav V., Knap Wojciech, Kachorovskii Valentin, Narahara Koichi, Ryzhii Maxim, Mitin Vladimir, Shur Michael S., Ryzhii Victor	4. 巻 11
2. 論文標題 Graphene-based plasmonic metamaterial for terahertz laser transistors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nanophotonics	6. 最初と最後の頁 1677 ~ 1696
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/nanoph-2021-0651	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 Kim Kwan-Soo, Fukidome Hirokazu, Suemitsu Maki	4. 巻 31
2. 論文標題 Direct Formation of Solution-based Al ₂ O ₃ on Epitaxial Graphene Surface for Sensor Applications	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 2291 ~ 2291
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM.2019.2317	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 FUKIDOME Hirokazu	4. 巻 64
2. 論文標題 Creation of Affordable Manufacturing Processes of Ultrahigh-quality Graphene Growth and High-frequency Graphene Devices by Using Single-crystalline SiC Thin Films on Device-type Substrates	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Vacuum and Surface Science	6. 最初と最後の頁 318 ~ 323
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1380/vss.64.318	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 Fukaya Yuki, Zhao Yuhao, Kim Hyun-Woo, Ahn Joung Real, Fukidome Hirokazu, Matsuda Iwao	4. 巻 104
2. 論文標題 Atomic arrangements of quasicrystal bilayer graphene: Interlayer distance expansion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L180202-1 ~ 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.L180202	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 Zhao Y., Suzuki T., Iimori T., Kim H.-W., Ahn J. R., Horio M., Sato Y., Fukaya Y., Kanai T., Okazaki K., Shin S., Tanaka S., Komori F., Fukidome H., Matsuda I.	4. 巻 105
2. 論文標題 Environmental effects on layer-dependent dynamics of Dirac fermions in quasicrystalline bilayer graphene	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 115304-1 ~ 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.115304	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 Otsuji Taiichi, Boubanga-Tombet Stephane Albon, Satou Akira, Yadav Deepika, Fukidome Hirokazu, Watanabe Takayuki, Suemitsu Tetsuya, Dubinov Alexander A., Popov Vyacheslav V., Knap Wojciech, Kachorovskii Valentin, Narahara Koichi, Ryzhii Maxim, Mitin Vladimir, Shur Michael S., Ryzhii Victor	4. 巻 0
2. 論文標題 Graphene-based plasmonic metamaterial for terahertz laser transistors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nanophotonics	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/nanoph-2021-0651	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 Shiga Kanako, Komiyama Takahiro, Fuse Yoshiki, Fukidome Hirokazu, Sato Akira, Otsuji Taiichi, Uchino Takashi	4. 巻 59
2. 論文標題 Electrical transport properties of gate tunable graphene lateral tunnel diodes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SIID03 ~ SIID03
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab83de	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 Padmanabhan Prashant, Boubanga-Tombet Stephane, Fukidome Hirokazu, Otsuji Taiichi, Prasankumar Rohit P.	4. 巻 116
2. 論文標題 A graphene-based magnetoplasmonic metasurface for actively tunable transmission and polarization rotation at terahertz frequencies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 221107 ~ 221107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0006448	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 Omika Keiichi, Takahashi Kensuke, Yasui Akira, Ohkochi Takuo, Osawa Hitoshi, Kouchi Tsuyoshi, Tateno Yasunori, Suemitsu Maki, Fukidome Hirokazu	4. 巻 117
2. 論文標題 Dynamics of surface electron trapping of a GaN-based transistors revealed by spatiotemporally resolved x-ray spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 171605 ~ 171605
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0020500	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 Kim Kwan-Soo, Fukidome Hirokazu, Suemitsu Maki	4. 巻 31
2. 論文標題 Direct Formation of Solution-based Al ₂ O ₃ on Epitaxial Graphene Surface for Sensor Applications	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 2291 ~ 2291
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM.2019.2317	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 Fukidome Hirokazu, Funakubo Kazutoshi, Nagamura Naoka, Horiba Koji, Tateno Yasunori, Oshima Masaharu, Suemitsu Maki	4. 巻 31
2. 論文標題 Modulation of Electronic States near Electrodes in Graphene Transistors Observed by Operando Photoelectron Nanospectroscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 2303 ~ 2303
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM.2019.2327	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 Nagamura Naoka, Fukidome Hirokazu, Nagashio Kosuke, Horiba Koji, Ide Takayuki, Funakubo Kazutoshi, Tashima Keiichiro, Toriumi Akira, Suemitsu Maki, Horn Karsten, Oshima Masaharu	4. 巻 152
2. 論文標題 Influence of interface dipole layers on the performance of graphene field effect transistors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 680 ~ 687
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2019.06.038	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 Suzuki Takeshi, Iimori Takushi, Ahn Sung Joon, Zhao Yuhao, Watanabe Mari, Xu Jiadi, Fujisawa Masami, Kanai Teruto, Ishii Nobuhisa, Itatani Jiro, Suwa Kento, Fukidome Hirokazu, Tanaka Satoru, Ahn Joung Real, Okazaki Kozo, Shin Shik, Komori Fumio, Matsuda Iwao	4. 巻 13
2. 論文標題 Ultrafast Unbalanced Electron Distributions in Quasicrystalline 30° Twisted Bilayer Graphene	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 11981 ~ 11987
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.9b06091	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14件（うち招待講演 6件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 D. Ogiura, A. Satou, H. Fukidome, and T. Otsuji
2. 発表標題 Fast terahertz detection in an asymmetric dual-grating-gate epitaxial graphene-channel FET
3. 学会等名 RPGR2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Tamura, D. Ogiura, K. Suwa, H. Fukidome, A. Satou, Y. Takida, H. Minamide, and T. Otsuji
2. 発表標題 High Speed Terahertz Detection by an Asymmetric Dual-Grating-Gate Graphene FET
3. 学会等名 RJUSE-TeraTech2021: 9th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Otsuji, A. Satou, H. Fukidome, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and K. Narahara
2. 発表標題 Controlling the parity and time-reversal symmetry of non-Hermitian graphene Dirac plasmons and its application to terahertz lasers
3. 学会等名 WINDS: the Workshop on Innovative Nanoscale Devices and Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吹留博一
2. 発表標題 SiCをプラットフォームとしたBeyond 5Gデバイスの創出とデバイス物理の探求
3. 学会等名 第27回電子デバイス研究会 (EDIT 27) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吹留博一
2. 発表標題 二次元材料成膜・形成および機能発現評価の課題
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会シンポジウム「二次元材料を集積回路に」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 D. Ogiura, A. Satou, H. Fukidome, and T. Otsuji
2. 発表標題 Fast terahertz detection in an asymmetric dual-grating-gate epitaxial graphene-channel FET
3. 学会等名 RPGR2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Tamura, D. Ogiura, K. Suwa, H. Fukidome, A. Satou, Y. Takida, H. Minamide, and T. Otsuji
2. 発表標題 High Speed Terahertz Detection by an Asymmetric Dual-Grating-Gate Graphene FET
3. 学会等名 RJUSE-TeraTech2021: 9th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Otsuji, A. Satou, H. Fukidome, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and K. Narahara
2. 発表標題 Controlling the parity and time-reversal symmetry of non-Hermitian graphene Dirac plasmons and its application to terahertz lasers
3. 学会等名 WINDS: the Workshop on Innovative Nanoscale Devices and Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吹留博一
2. 発表標題 SiCをプラットフォームとしたBeyond 5Gデバイスの創出とデバイス物理の探求
3. 学会等名 第27回電子デバイス研究会 (EDIT 27) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吹留博一
2. 発表標題 二次元材料成膜・形成および機能発現評価の課題
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会シンポジウム「二次元材料を集積回路に」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Sugawara, K. Suwa, H. Fukidome, J. A. Delgado-Notario, A. Satou, and T. Otsuji
2. 発表標題 Process development and crystal quality evaluation of van der Waals nanocapacitors using graphene/h-BN heterostructures stacked by a transfer/stacking method
3. 学会等名 6th A3 Foresight International Workshop on 2D Materials
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Uchino, K. Shiga, K. Imai, M. Kusano, H. Fukidome, A. Satou, and T. Otsuji
2. 発表標題 Improved sensitivity of surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS) substrates using monolayer graphene
3. 学会等名 MNC2020: 33rd Int. Microprocesses and Nanotechnology Conference
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 V.V. Utochkin, S.V. Morozov, M.A. Fadeev, V.V. Rumyantsev, N.N. Mikhailov, S.A. Dvoretzky, T. Komiyama, T. Watanabe, H. Fukidome, A. Satou, T. Otsuji
2. 発表標題 96.Terahertz photoluminescence from narrow gap HgTe/CdHgTe heterostructures and multilayer graphene
3. 学会等名 RJUSE2019: 8th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies, & GDR-I FIR-LAB Workshop, (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Komiyama, T. Watanabe, S. Morozov, M. Fadeev, V. Utochkin, H. Fukidome, A. Satou, and T. Otsuji
2. 発表標題 Realization of the high-performance graphene transistor by controlling the interface between graphene and gate dielectric
3. 学会等名 RPG2019: Recent Progress on Graphene and 2D Materials, Matsue, Shimane, Japan, 2019.10.7-9. (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 アンテナモジュールおよびその製造方法	発明者 吹留博一、末光哲也、渡邊一世、川原実、秋山昌次他	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-207486	出願年 2021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	保井 晃 (Yasui Akira) (40455291)	公益財団法人高輝度光科学研究センター・分光推進室・主幹 研究員 (84502)	
研究分担者	小嗣 真人 (Kotsugi Masato) (60397990)	東京理科大学・先進工学部マテリアル創成工学科・教授 (32660)	

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