

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：13302

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03861

研究課題名(和文) シングルナノスケール・グラフェンNEMS技術を基盤とする熱フォノン制御技術の創製

研究課題名(英文) Heat phonon engineering based on single-nanometer-scale graphene NEMS technology

研究代表者

水田 博 (MIZUTA, HIROSHI)

北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授

研究者番号：90372458

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,100,000円

研究成果の概要(和文)：宙吊りグラフェンチャンネル上に、ビーム径 < 1 nmの集束ヘリウムイオンビームミリングを用いて、直径3～6 nm、間隔 < 25 nmのグラフェンフォニック結晶(GPnC)を形成する技術を開発した。これを用いて、長さ500 nm、幅1200 nmのチャンネルの半面だけにGPnCを形成した非対称フォニック素子を作製した。ナノスケール熱輸送特性の計測手法としてDifferential Thermal Leakage法を構築し、非対称素子の熱電度特性を評価した結果、GPnC側に熱源を置いた場合に熱伝導率が高くなる熱整流現象を観測した。熱整流率は環境温度250 Kで60%超であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

原子層材料グラフェンのNEMS技術と集束ヘリウムイオンビーム超微細加工技術を初めて融合させ、宙吊りグラフェン上にシングルナノメータスケールのフォニック結晶構造を形成し、熱フォノン輸送を制御して熱整流素子の原理検証に成功した独創性の高い研究成果である。現在のナノ集積回路やパワーデバイスで深刻な問題となっている局所発熱に対する新たなサーマルマネジメント技術を拓くだけでなく、従来の熱電変換技術のようにレアメタルや毒性の強い重金属を含む材料を使用せず、安全で環境に優しい炭素材料で低価格のシステムを実現できるため、新学術領域開拓・新産業展開両面で波及効果が大きい。

研究成果の概要(英文)：By using focused Helium ion beam milling, a new nanofabrication technology was built to pattern graphene phononic crystal (GPnC) with nanopores of 3 - 6 nm in diameter and pitch less than 25 nm on a suspended graphene channel. An asymmetric phononic device was fabricated by patterning GPnC into only a half of a 500-nm-long and 1200-nm-wide graphene channel. A new Differential Thermal Leakage method was developed to measure thermal transport properties at nanoscale and applied to evaluate the fabricated asymmetric GPnC devices. Thermal rectifying phenomena were observed with a higher thermal conductance when a heater was placed on the GPnC side, resulting in a thermal rectification ratio of over 60 % at 250 K.

研究分野：ナノエレクトロニクス

キーワード：グラフェン フォノン NEMS 集束イオンビーム 熱整流素子

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、半導体ナノワイヤやカーボンナノチューブなどのナノ材料に、表面ラフネス・界面散乱などフォノン散乱を増大する要因を導入することで、熱フォノン伝導を低下させる研究が盛んになってきた。さらに、フォノンの波動的伝播をトップダウン的技術で制御しようとするフォノンニック結晶(PnC)の試みも行われている。しかし、制御すべきフォノンの周波数帯域はサブ THz ~ 10 THz に及ぶため、このフォノン伝播をナノ構造で精密に制御することは容易ではない。現在の Si ベース PnC で用いられているナノ孔周期構造は ≤ 100 nm であり、結晶 Si の機械的特性 (ヤング率 ~ 100 – 200 GPa、デバイ温度 ~ 640 K) と合わせて、フォノン帯域は GHz 帯域に留まる。もし Si PnC を用いて熱フォノン帯域をカバーしようとする、必要な加工寸法は ≤ 1 nm となり、現在の半導体技術では極めて困難である。これに対して、炭素原子が 2 次元平面内で SP^2 結合したグラフェンのヤング率は $1\sim 4$ TPa と Si に比べて一桁大きく、またデバイ温度は約 2800 K と非常に高い。この機械的性質は、熱フォノンの制御に必要な構造寸法を緩和するという大きな利点をもたらす。さらにグラフェンのフォノン平均自由行程は、室温でも 775 nm と長い値が報告されており、フォノン波動性を利用した素子を探索する上で優位性が高いと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、原子層材料のグラフェンにシングルナノメータスケール超微細加工技術を用いてフォノンニック結晶構造や弾道フォノン制御構造を導入し、ナノ電子機械 (NEM) 素子技術によって熱フォノン伝播機構を制御する新奇な『原子層・熱フォノン制御技術』の創製を目指す。グラフェンを宙吊り構造とした NEM(GNEM)構造上に、ビーム径 < 1 nm の集束ヘリウムイオンビーム超微細加工技術を駆使して、直径、間隔 < 10 nm の 2 次元ナノ孔アレイ (グラフェンフォノンニック結晶: GPnC) を作製し、フォノン状態密度スペクトルを局所的に変化させることでフォノン物性を人工的に設計・制御する革新的技術を構築する。これによって、サブ THz ~ 数 THz 帯域のフォノンバンド構造を制御し、熱整流素子など新奇機能素子の動作原理を開拓する。

3. 研究の方法

フォノンニック素子の作製においては、研究代表者のグループが構築しているグラフェン NEMS 技術と、産総研グループの集束ヘリウムイオンビームによるシングルナノ加工技術を融合させて、宙吊りグラフェンチャンネル上での GPnC 形成を行う。長さ幅が数百 nm ~ 数 μ m の大面積宙吊りグラフェン梁を作製した後、ヘリウムイオン顕微鏡(HIM)を用いて集束 He⁺ビームによるグラフェン梁の直接ミリング加工を行い、ナノ孔直径 $1\sim 10$ nm、ナノ孔ピッチ (孔中心間の距離) < 30 nm の 2 次元周期アレイ GPnC を、大面積で高速かつ安定的に形成する技術を確立する。

フォノンニック素子の解析・評価においては、GPnC 構造におけるフォノン分散関係と、フォノン伝導チャンネルにおけるフォノン伝播モードおよび非平衡フォノンダイナミクスを解明する大規模フォノンシミュレーション技術の構築を行う。また横浜国大グループの STM 技術を基盤として、GPnC 上でのトンネル分光測定を実施し、GPnC の局所的電子・フォノン状態の評価を試みる。さらに、新奇機能素子の開拓においては、グラフェンチャンネル上に局所的に GPnC を形成した非対称フォノンニック構造などを作製し、熱整流現象などの新奇素子動作原理の開拓を狙う。

4. 研究成果

フォノンニック素子の設計と作製においては、集束ヘリウムイオンビームミリング(HIBM)技術を用いて、長さ 200 nm ~ 10 μ m、幅 50 nm ~ 6 μ m の宙吊りグラフェンチャンネル上で GPnC を精度良く形成するプロセス技術を構築した [1-6] (図 1)。グラフェン表面のカーボン付着コンタミにより、部分的にナノ孔が形成されない問題が生じたが、HIM への試料導入時に窒素・酸素混合ラジカル照射洗浄を行った結果、ラマン分光で評価した G バンド強度と D バンド強度の

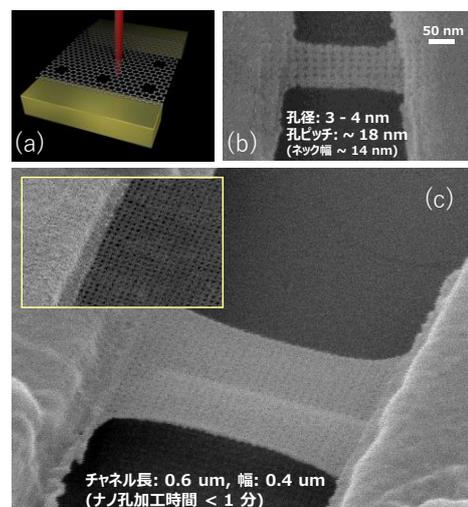


図 1 (a) 集束 He⁺ビームによるナノ孔配列形成の模式図、(b) 小規模 2 次元 GPnC、(c) 大面積 GPnC 形成の例 (挿入図は GPnC と電極境界の拡大写真)。

比が 0.6 (未照射) から 0.78 (45 分) へと増加し、結晶性が改善されることを見出した。この技術を駆使して、ナノ孔直径 3 ~ 6 nm、ナノ孔ピッチ 10 ~ 25 nm の様々な対称・非対称 GPnC 構造を作製することに成功した [1,3]。並行して、3次元有限要素計算により種々のナノ孔形状と配列におけるフォノンバンド構造解析を実施し (図 2) [7,8]、従来の円形ナノ孔と同じピッチであっても、クロス形やスノーflake形孔の方がフォノンバンドギャップの広帯域化と群速度低下で優位性があることを見出した。さらに、分子動力学シミュレーションを用いた非平衡フォノン分布解析を実施し、局所フォノン状態密度および温度分布を詳細に解析した。

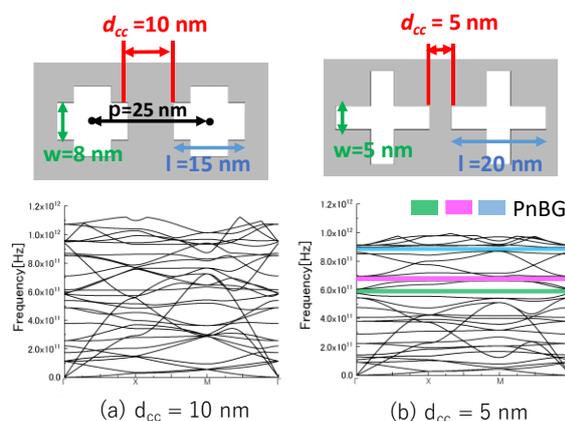


図 2 クロス形ナノ孔 GPnC のフォノン分散特性：孔間距離 10 nm (a)、5 nm (b)。(b)では完全フォノンバンドギャップの形成が見られる。

GPnC における電子・フォノン状態の計測においては、CVD グラフェン膜を SiO₂(300 nm)/Si 基板上に転写し、単層から 10 層のグラフェン領域に対し G モードおよび 2D モードの高周波ラマン信号の励起強度依存性を評価し、ファノ共鳴の非対称性から電子・電子、電子・フォノンカップリングを明らかにした。また、超高真空下で動作するテラヘルツ走査トンネル顕微鏡 (THz-STM) に発光検出光学系を組み込むことで、ナノスケールでの時間分解発光が計測可能なテラヘルツ誘起走査トンネル発光分光 (THz-STL) 手法を開発した [9,10]。STM により宙吊りグラフェン及び GPnC のトンネル分光測定を行った (図 3)。DC バイアス印加による電流・電圧 (I-V) 特性および微分コンダクタンスのマッピングから、宙吊りグラフェン及び GPnC のテラス部分では、グラフェン特有のディラック電子の分散を反映した電子状態が見られたのに対し、GPnC のナノ孔付近ではエネルギーギャップが形成されることを見出した。

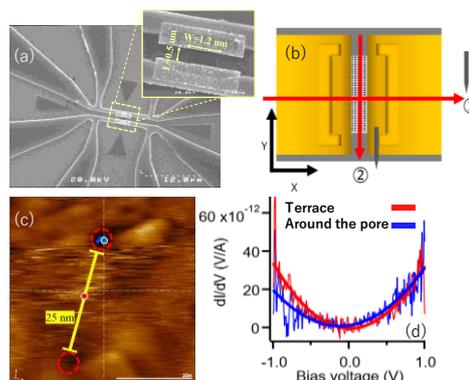


図 3 (a) STM 分光測定用 GPnC 素子構造と (b) スキャン方向、(c) 2つのナノ孔イメージと、(d) 微分コンダクタンス特性 (青：ナノ孔近傍、赤：孔と孔の間点)。

新奇フォノン機能素子の開拓においては、ナノスケールでの熱輸送特性計測の独自手法として Differential Thermal Leakage (DTL) 法を考案し、GPnC チャネルの電気伝導特性と熱電度特性を同一デバイスで評価することに成功した (図 4) [11]。長さ 500 nm、幅 1200 nm の宙吊りグラフェンチャネルを形成した後、HIBM 技術で直径 5~6 nm、ピッチ 30 nm をグラフェン全面に形成したフルメッシュ GPnC 構造、およびチャネル方向に片面だけ加工したハーフメッシュ GPnC 構造の 2 種類のチャネルを形成した [12]。

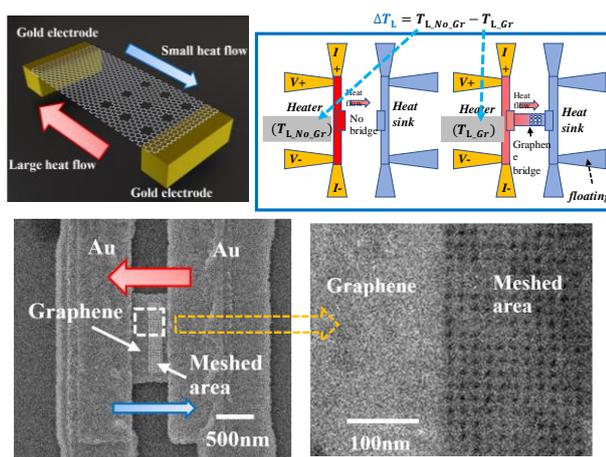


図 4 Differential Thermal Leakage (DTL) 法の原理図 (上図) と評価に用いたハーフメッシュ GPnC 構造素子 (下図)。

その後、グラフェンチャネルの両端に電気・熱測定用 4 端子電極を備えたナノフォノンデバイスを作製した。まず両端のバイアス電圧の極性を変えてフルメッシュ、ハーフメッシュ GPnC 素子のコンダクタンスを温度 4K ~ 室温で測定し、どちらの素子においてもバイアス極性に依らず全温度領域でコンダクタンスが一致すること (電気伝導特性の対称性) を確認した。次に、DTL 法を用いて、熱バイアスの極性を変えて熱伝導特性を測定した結果、フルメッシュ GPnC の特性は対称であるのに対し、ハーフメッシュ GPnC では、GPnC 側に熱源を置いた場合に熱伝導率が高くなる非対称性を観測した (図 5)。熱整流率は環境温度 150 K で 80% 超、250 K で 60% 超であった [13]。さらに、シリコン基板からバックゲート電圧を印加したところ、電気伝導特性には明瞭なアンビ

ポーラ特性を観測した一方、熱伝導特性の変調は見られなかった。このことから、観測された熱整流作用がフォノン伝導に支配されていることを確認した。観測された熱整流現象の物理的メカニズムを解明するため、分子動力学による非平衡フォノン分布解析を行った結果、GPnC領域内で高エネルギーフォノンの局在状態が形成され、熱バイアスの極性を入れ替えた際、チャンネル全体の温度分布に非対称性が生じることを見出した (図6) [14]。

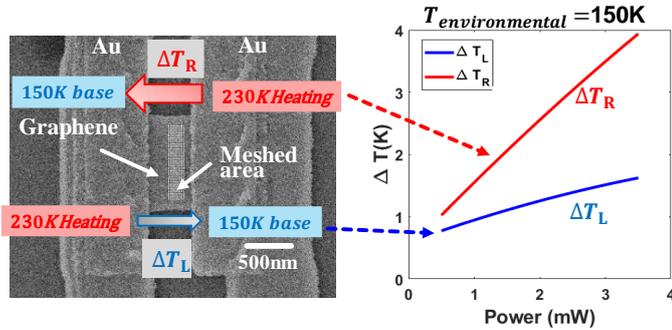


図5 熱バイアス順・逆方向で観測された熱整流作用 (環境温度 150 K)。

参考文献

- [1] M. E. Schmidt, T. Iwasaki, M. Muruganathan, M. Haque, N. H. Van, S. Ogawa and H. Mizuta, 'Structurally Controlled Large-Area 10 nm Pitch Graphene Nanomesh by Focused Helium Ion Beam Milling', ACS Applied Materials & Interfaces **10**(12), 10362-10368 (2018)
- [2] M. E. Schmidt, M. Muruganathan, T. Kanzaki, T. Iwasaki, A. M. M. Hammam, S. Suzuki, S. Ogawa, H. Mizuta, 'Dielectric-Screening Reduction Induced Large Transport Gap in Suspended Sub-10-nm Graphene Nanoribbon Functional Devices', Small **15**, 1903025 (2019)
- [3] F. Liu, Z. Wang, S. Nakanao, S. Ogawa, Y. Morita, M. Schmidt, M. Haque, M. Muruganathan and H. Mizuta, 'Conductance Tunable Suspended Graphene Nanomesh by Helium Ion Beam Milling', Micromachines **11**(4), 387 (2020)
- [4] F. Liu, M. Muruganathan, S. Ogawa, Y. Morita, Z. Wang, J. Guo, M. Haque, M. Schmidt and H. Mizuta, 'Quantum dot formation on suspended graphene nanomesh by helium ion beam milling technology', 2021 5th IEEE Electron Devices Technology & Manufacturing Conference (EDTM2021); DOI: 10.1109/EDTM50988.2021.9421016
- [5] F. Liu, J. Guo, S. Ogawa, Y. Morita, M. Schmidt, M. Muruganathan and H. Mizuta, 'Graphene nanomesh for electron and phonon engineering', The 4th EuFN and FIT4NANO Joint Workshop / Meeting, p. 34 (2021)
- [6] M. Haque, A. Kareekunnan, F. Liu, S. Ganesh, G. Ellrott, A. Hammam, M. Muruganathan and H. Mizuta, 'Design of Graphene Phononic Crystals for Heat Phonon Engineering', Micromachines **11**(7), 655 (2020)
- [7] M. Haque, Marek E. Schmidt, M. Muruganathan, I. Katayama, J. Takeda, S. Ogawa, H. Mizuta, 'Phononic Bandgap Engineering in Single Nanometer Graphene Nanomesh', The 16th International Conference on Phonon Scattering in Condensed Matter and the 4th International Conference on Phononics and Thermal Energy Science, (2018)
- [8] S. Kubo, M. E. Schmidt, M. Muruganathan, H. Mizuta, 'Finite element method simulation of graphene phononic crystals with cross-shaped nanopores', The 20th EuroSimE, Hannover, 24-27 March (2019)
- [9] J. Takeda, K. Yoshioka, Y. Minami, Y. Arashida, and I. Katayama, "THz-Field-Driven Electron Tunneling On the Nanoscale," 43rd International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), pp. 1-3 (2018) ; DOI: 10.1109/IRMMW-

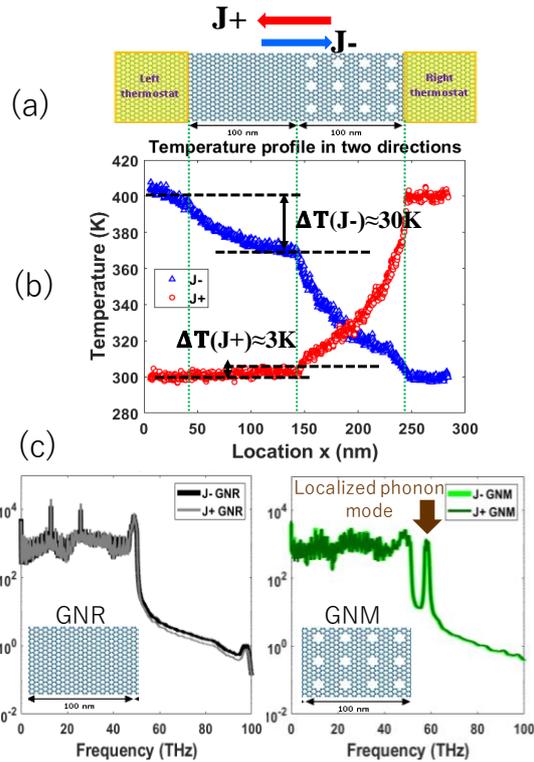


図6 分子動力学・非平衡フォノンシミュレーションに用いたハーフメッシュ GPnC チャンネル構造(a)、熱バイアスの極性を替えた時の温度分布 (b) と GNR 領域と GPnC 領域でのフォノン状態密度スペクトルの比較 (c)。

THz.2018.8510042

- [10] K. Yoshioka, I. Katayama, Y. Arashida, A. Ban, Y. Kawada, H. Takahashi, and J. Takeda, "Sub-cycle Manipulation of Electrons in a Tunnel Junction with Phase-controlled Single-cycle THz Near-fields", *EPJ Web of Conferences* 205, 08007 (2019) ; doi.org/10.1051/epjconf/201920508007
- [11] F. Liu, M. Muruganathan, S. Ogawa, Y. Morita, Z. Wang, J. Guo, M. Haque, M. Schmidt and H. Mizuta, 'Thermal rectification phenomenon on suspended half-meshed graphene devices', 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2020), pp. 509-510 (2020)
- [12] F. Liu, M. Muruganathan, S. Ogawa, Y. Morita, M. Schmidt and H. Mizuta, 'Half-meshed and fully-meshed suspended graphene for transport gap engineering', 2020 IEEE Silicon Nanoelectronics Workshop, pp. 69-70 (2020); DOI: 10.1109/SNW50361.2020.9131629
- [13] F. Liu, M. Muruganathan, Y. Feng, S. Ogawa, Y. Morita, C. Liu, J. Guo, M. Schmidt and H. Mizuta, 'Thermal rectification on asymmetric suspended graphene nanomesh devices', *Nano Futures* 5(4), 045002 (2021)
- [14] F. Liu, J. Guo, M. Muruganathan, S. Ogawa, Y. Morita and H. Mizuta, 'Molecular dynamics study on Asymmetric graphene nanomesh thermal rectifier', 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会, 2021 年 9 月

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 14件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Zhongwang Wang, Yahua Yuan, Xiaochi Liu, Manoharan Muruganathan, Hiroshi Mizuta, and Jian Sun	4. 巻 118
2. 論文標題 Double quantum dot-like transport in controllably doped graphene nanoribbon	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0038419	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 Takuya Iwasaki, Shu Nakamura, Osazuwa G. Agbonlahor, Manoharan Muruganathan, Masashi Akabori, Yoshifumi Morita, Satoshi Moriyama, Shinichi Ogawa, Yutaka Wakayama, Hiroshi Mizuta, Shu Nakaharai	4. 巻 175
2. 論文標題 Room-temperature negative magnetoresistance of helium-ion-irradiated defective graphene in the strong Anderson localization regime	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 87-92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2020.12.076	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 Chunmeng Liu, Jiaqi Zhang, Xiaobin Zhang, Manoharan Muruganathan, Hiroshi Mizuta, Yoshifumi Oshima	4. 巻 32
2. 論文標題 In-situ electrical conductance measurement of suspended ultra-narrow graphene nanoribbons observed via transmission electron microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/abbca7	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 Haqee Mayeasha Masrura, Afsal Kareekunnan, Fayong Liu, Sankar Ganesh Ramaraj, Gunter Ellrott, Ahmed M. M. Hammam, Manoharan Muruganathan and Hiroshi Mizuta	4. 巻 11
2. 論文標題 Design of Graphene Phononic Crystals for Heat Phonon Engineering	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mi11070655	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 Chunmeng Liu, Jiaqi Zhang, Manoharan Muruganathan, Hiroshi Mizuta, Yoshifumi Oshima, Xiaobin Zhang	4. 巻 165
2. 論文標題 Origin of nonlinear current-voltage curves for suspended zigzag edge graphene nanoribbon	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 476-483
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2020.05.010	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 Fayong Liu, Zhongwang Wang, Soya Nakanao, Shinichi Ogawa, Yukinori Morita, Marek Schmidt, Mayeasha Haque, Manoharan Muruganathan and Hiroshi Mizuta	4. 巻 11
2. 論文標題 Conductance Tunable Suspended Graphene Nanomesh by Helium Ion Beam Milling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mi11040387	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 Marek E. Schmidt, Manoharan Muruganathan, Teruhisa Kanzaki, Takuya Iwasaki, Ahmed M. M. Hammam, Shunei Suzuki, Shinichi Ogawa, Hiroshi Mizuta	4. 巻 15
2. 論文標題 Dielectric-Screening Reduction Induced Large Transport Gap in Suspended Sub-10-nm Graphene Nanoribbon Functional Devices	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Small	6. 最初と最後の頁 1903025 (1-7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/smll.201903025	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 Afsal Kareekunanan, Manoharan Muruganathan, Hiroshi Mizuta	4. 巻 11
2. 論文標題 Electrically controlled valley states in bilayer graphene	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 14707-14711
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9NR03621K	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 Fayong Liu, Zhongwang Wang, Soya Nakanao, Shinichi Ogawa, Yukinori Morita, Marek Schmidt, Mayeasha Haque, Manoharan Muruganathan, Hiroshi Mizuta	4. 巻 11
2. 論文標題 Conductance Tunable Suspended Graphene Nanomesh by Helium Ion Beam Milling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 387-387
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mi11040387	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 Iwasaki Takuya, Wang Zhongwang, Muruganathan Manoharan, Mizuta Hiroshi	4. 巻 12
2. 論文標題 Formation of quantum dot in graphene single nanoconstriction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 025004 ~ 025004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/aaf993	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 P. X. Thi, M. Miyata, H. V. Ngoc, P. T. Lam, N. T. Tung, M. Muruganathan, P. T. Tue, M. Akabori, D. H. Chi, H. Mizuta, Y. Takamura and M. Koyano	4. 巻 255
2. 論文標題 Thermoelectric Properties and Carrier Localization in Ultrathin Layer of Nb-Doped MoS2	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Status Solidi B	6. 最初と最後の頁 1800125 ~ 1800132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssb.201800125	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 K. Jothiramalingam, M. E. Schmidt, M. Muruganathan, A. M.M Hammam, and H. Mizuta	4. 巻 24
2. 論文標題 Stacking of nanocrystalline graphene for nano-electro-mechanical (NEM) actuator applications	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Microsystem Technologies	6. 最初と最後の頁 1~7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00542-018-4180-z	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 M. E. Schmidt, A. M. M. Hammam, T. Iwasaki, T. Kanzaki, M. Muruganathan, S. Ogawa, and H. Mizuta	4. 巻 29
2. 論文標題 Controlled Fabrication of Electrically Contacted Carbon Nanoscrolls	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 235605-1~7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/aab82c	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 Zhongwang Wang, Xiaochi Liu, Huixia Lei, Yang Lu, Yahua Yuan, Yuanyuan Qu, Yifan Huang, Hiroshi Mizuta, Won Jong Yoo, and Jian Sun	4. 巻 17
2. 論文標題 Comprehensive modulation of conductance anisotropy in low-symmetry ReS ₂ transistors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 044017-044017
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.17.044017	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 Sankar Ganesh Ramaraj, Manoharan Muruganathan, Osazuwa G. Agbonlahor, Hisashi Maki, Yosuke Onda, Masashi Hattori, Hiroshi Mizuta	4. 巻 190
2. 論文標題 Carbon molecular sieve-functionalized graphene sensors for highly sensitive detection of ethanol	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 359-365
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2022.01.023	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 Gabriel Osazuwa Agbonlahor, Manoharan Muruganathan, Sankar Ganesh Ramaraj, ZHONGWANG Wang, Hammam Ahmed, Afsal Kareekunanan, Hisashi Maki, Masahi Hattori, Kenichi Shimomai, Hiroshi Mizuta	4. 巻 13
2. 論文標題 Interfacial Ammonia Selectivity, Atmospheric Passivation, and Molecular Identification in Graphene-Nanopored Activated Carbon Molecular-Sieve Gas Sensors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 61770-61779
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acssami.1c19138	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 Fayong Liu, Manoharan Muruganathan, Yu Feng, Shinichi Ogawa, Yukinori Morita, Chunmeng Liu, Jiayu Guo, Marek Schmidt and Hiroshi Mizuta	4. 巻 5
2. 論文標題 Thermal rectification on asymmetric suspended graphene nanomesh devices	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nano Futures	6. 最初と最後の頁 045002-045002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2399-1984/ac36b5	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 Chunmeng Liu, Jiaqi Zhang, Sankar Ganesh Ramaraj, XiaobinZhang, Muruganathan Manoharan, Hiroshi Mizuta, Yoshifumi Oshima	4. 巻 573
2. 論文標題 Current effect on suspended graphene nanoribbon studied using in-situ transmission electron microscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Surface Science	6. 最初と最後の頁 151563-151563
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apsusc.2021.151563	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 Gunter Ellrott, Shinichi Ogawa, Munenori Uno, Yukinori Morita, Manoharan Muruganathan, Maria Kolesnik-Gray, Vojislav Krstic, Hiroshi Mizuta	4. 巻 249
2. 論文標題 Dose-dependent Milling Efficiencies of Helium and Nitrogen Beams in PMMA	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Microelectronic Engineering	6. 最初と最後の頁 111621-111621
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mee.2021.111621	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 Takuya Iwasaki, Shu Nakamura, Osazuwa G. Agbonlahor, Manoharan Muruganathan, Masashi Akabori, Yoshifumi Morita, Satoshi Moriyama, Shinichi Ogawa, Yutaka Wakayama, Hiroshi Mizuta, Shu Nakaharai	4. 巻 175
2. 論文標題 Room-temperature negative magnetoresistance of helium-ion-irradiated defective graphene in the strong Anderson localization regime	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 87-92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2020.12.076	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 17件 / うち国際学会 24件）

1. 発表者名 Manoharan Muruganathan, Afsal Kareekunnan, Tatsufumi Agari, Huynh Van Ngoc, Takeshi Kudo, Takeshi Maruyama, and Hiroshi Mizuta
2. 発表標題 High-Performance Graphene Devices and the Detection of Silent Voices from Thunder Clouds
3. 学会等名 6th International Conference on Advances in Functional Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chunmeng Liu, Jiaqi Zhang, Sankar Ganesh Ramaraj, Xiaobin Zhang, Muruganathan Manoharan, Hiroshi Mizuta, and Yoshifumi Oshima
2. 発表標題 In-situ current annealing of suspended graphene nanoribbon devices
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 Fayong Liu, Manoharan Muruganathan, 小川 真一, 森田 行則, 郭 嘉裕, Marek Schmidt, 水田 博
2. 発表標題 Thermal rectification based on asymmetric nanomesh formed on suspended graphene
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 Takuya Iwasaki, Shu Nakamura, Osazuwa Gabriel Agbonlahor, Manoharan Muruganathan, Masashi Akabori, Yoshifumi Morita, Satoshi Moriyama, Shinichi Ogawa, Yutaka Wakayama, Hiroshi Mizuta, Shu Nakaharai
2. 発表標題 Observation of charge carrier localization-induced negative magnetoresistance at room temperature in helium-ion-irradiated defective graphene
3. 学会等名 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名	Osazuwa Gabriel Agbonlahor, Manoharan Muruganathan, Tomonori Imamura, Hisashi Maki, Masashi Hattori, Hiroshi Mizuta
2. 発表標題	Adsorption Distance Effects on Gas Adsorption Induced Scattering in Graphene Gas Sensors
3. 学会等名	2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Ahmed M. M. Hammam, Manoharan Muruganathan, Hiroshi Mizuta
2. 発表標題	Staircase Conductance in Asymmetric Work Function Contacted Graphene-Nanoribbon Devices
3. 学会等名	2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Fayong Liu, Manoharan Muruganathan, Shinichi Ogawa, Yukinori Morita, Zhongwang Wang, Jiayu Guo, Mayeesha Haque, Marek Schmidt, Hiroshi Mizuta
2. 発表標題	Thermal rectification phenomenon on suspended half-meshed graphene devices
3. 学会等名	2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Z.Wang, M. Muruganathan, J. Sun and H. Mizuta
2. 発表標題	Impacts of Local Doping Control upon the Spatial Potential Profile Engineering in Quantum Dot(s)-Like Graphene Nanoribbons
3. 学会等名	20th IEEE International Conference on Nanotechnology (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名 Fayong Liu, Manoharan Muruganathan, Shinichi Ogawa, Yukinori Morita, Marek Schmidt, Hiroshi Mizuta
2. 発表標題 Half-meshed and fully-meshed suspended graphene for transport gap engineering
3. 学会等名 2020 IEEE Silicon Nanoelectronics Workshop (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroshi Mizuta, Guo Jiayu, Mayeesha Haque, Marek E. Schmidt, Shinichi Ogawa, Yukinori Morita, Zhongwang Wang, Manoharan Muruganathan and Fayong Liu
2. 発表標題 集束ヘリウムイオンビームによるグラフェンのシングルナノメータ加工と機能デバイス応用
3. 学会等名 第21回「イオンビームによる表面・界面の解析と改質」特別研究会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuya Iwasaki, Manoharan Muruganathan, Masashi Akabori, Yoshifumi Morita, Satoshi Moriyama, Shinichi Ogawa, Yutaka Wakayama, Hiroshi Mizuta, Shu Nakaharai
2. 発表標題 Negative magnetoresistance of helium-ion-irradiated graphene in the strong Anderson localization regime
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 F. Liu, M. Manoharan, M. Haque, S. Ogawa, Y. Morita, Z. Wang, M. Schmidt, H. Mizuta
2. 発表標題 Asymmetric thermal properties observed for nanomesh patterned locally on a suspended graphene
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 A. Banerjee, O. G. Agbonlahor, M. Muruganathan, H. Mizuta
2 . 発表標題 Electrical characterization of suspended graphene nanoribbons fabricated by b-HF free process
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 Ahmed Hamam, Shinichi Ogawa, Yukinori Morita, AMIT BANERJEE, Manoharan Muruganathan, Hiroshi Mizuta
2 . 発表標題 Helium Ion Beam Induced Stress on Graphene Cantilever
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 S. Nakaharai, N. Fariha Ahmad, T. Iwasaki, K. Komatsu, K.Watanabe, T. Taniguchi, H. Mizuta, Y. Wakayama, A. Manaf Hashim, Y. Morita, S. Moriyama
2 . 発表標題 Fabry-Pérot resonances in narrowly separated p-n interfaces in hBN/graphene/hBN with quantum point contact
3 . 学会等名 The 11th annual Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Manoharan Muruganathan, Seiya Kubo, Haque Mayeeshah, Hiroshi Mizuta
2 . 発表標題 Graphene Phononic Crystals based on Nanopore/Nanopillar structures
3 . 学会等名 International Conference on Global Research and Education, Inter-Academia conference (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuya Iwasaki, Manoharan Muruganathan, Masashi Akabori, Yoshifumi Morita, Satoshi Moriyama, Shinichi Ogawa, Yutaka Wakayama, Hiroshi Mizuta, Shu Nakaharai
2. 発表標題 Negative magnetoresistance in helium-ion-irradiated graphene
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 M. Haque, S. Kubo, G. Ellrott, K. Afsal, M. Muruganathan, H. Mizuta
2. 発表標題 Finite Element Method (FEM) Simulation on Snowflake Shaped Graphene Phononic Crystal
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 F. Liu, S. Nakano, M. Haque, Z. Wang, M. Schmidt, S. Ogawa, Y. Morita, M. Manoharan, H. Mizuta
2. 発表標題 Transport properties of large-area fully & half meshed suspended graphene
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 水田 博, G. Agbonlahor, 宮下 寛也, 古川 篤, F. Liu, M. Haque, 中野 颯也, M. Muruganathan, 横 恒, 恩田 陽介, 服部 将志, 下舞 賢一, 関根 嘉香
2. 発表標題 グラフェンナノデバイスによる超高感度環境・生体ガスセンシング技術と熱制御技術の現状と展望
3. 学会等名 北陸産業活性化フォーラム(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Z. Wang, M. Muruganathan, Marek E. Schmidt, Y. Morita, S. Ogawa, H. Mizuta
2. 発表標題 Helium Ion Beam Milling Patterned Suspended Graphene Double Quantum Dots
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 水田 博
2. 発表標題 グラフェンNEMSとナノイオンビーム加工技術：サブサーマルスイッチング・極限センシング・熱フォノン制御への応用
3. 学会等名 2019年2回極限ナノ造形・構造物性研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Takeda, K. Yoshioka, Y. Arashida, and I. Katayama
2. 発表標題 Ultrafast Electron Manipulation Using THz Scanning Tunneling Microscopy With Tailor-Made Near Fields
3. 学会等名 International Photonics and OptoElectronics Meetings (POEM 2019)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉岡克将、五十嵐一步、吉田昭二、嵐田雄介、片山郁文、武田淳、重川秀実
2. 発表標題 光波駆動 STM のための高繰り返しサブサイクル中赤外パルス発生
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 片山郁文、吉岡克将、武田淳
2. 発表標題 パルステラヘルツ近接場によるナノスケール・超高速トンネル電子制御
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会 Optics Photonics Japan 2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小玉暢之、嵐田雄介、浅川寛太、金島圭佑、片山郁文、武田淳
2. 発表標題 表面電子系の高強度THz現象解明へ向けた超高真空THz-STMの開発
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Yoshioka, I. Katayama, Y. Arashida, A. Ban, Y. Kawada, H. Takahashi, and J. Takeda
2. 発表標題 Sub-cycle Manipulation of Electrons in a Tunnel Junction with Phase-controlled Single-cycle THz Near-fields
3. 学会等名 EPJ Web of Conferences (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Kubo, M. E. Schmidt, M. Muruganathan, H. Mizuta
2. 発表標題 Finite element method simulation of graphene phononic crystals with cross-shaped nanopores
3. 学会等名 The 20th EuroSimE (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Mizuta, M. Haque, S. Kubo, G. Agbonlahor, H. Miyashita, K. Taketomi, J. Kulothungan, S. Ogawa and M. Muruganathan
2. 発表標題 Downscaled graphene devices for extreme sensing, sub-thermal switching and heat phonon engineering
3. 学会等名 The 4th Malaysia-Japan Joint Symposium on Nanoelectronics 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Iwasaki, S. Nakamura, M. Manoharan, M. Akabori, Y. Morita, S. Moriyama, S. Ogawa, Y. Wakayama, H. Mizuta, S. Nakaharai
2. 発表標題 Study on magnetoresistance and carrier localization in graphene with defects induced by helium ion microscopy
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Mizuta, M. Haque, S. Kubo, Y. Oshima, S. Ogawa, M. Muruganathan
2. 発表標題 Design and fabrication of single-nanometer-scale graphene phononic crystals for thermal engineering by using focused helium ion beam
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Kareekunnan, M. Muruganathan, H. Mizuta
2. 発表標題 Berry Curvature Study of hBN-Bilayer Graphene Heterostructure
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 H. Mizuta, M. E. Schmidt, M. Haque, S. Kubo, G. Agbonlahor, H. Miyashita, J. Kulothungan, S. Ogawa and M. Muruganathan
2 . 発表標題 Graphene nano-electro-mechanical (NEM) device technology for extreme sensing, sub-thermal switching and heat phonon engineering
3 . 学会等名 3rd International Conference on Emerging Advanced Nanomaterials (ICEAN 2018) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Muruganathan, H. Miyashita, J. Kulothungan, M. Schmidt, H. Mizuta
2 . 発表標題 Zeptogram Level Mass Sensing of Light Weight Gas Molecules Using Graphene Nanomechanical (GNEM) Resonator
3 . 学会等名 IEEE Sensors 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Mizuta, M. E. Schmidt, M. Haque, S. Kubo, G. Agbonlahor, H. Miyashita, J. Kulothungan, S. Ogawa and M. Muruganathan
2 . 発表標題 Graphene NEMS technology for extreme sensing and nano thermal engineering
3 . 学会等名 19th EuroSciCon Conference on Nanotechnology & Smart Materials (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Muruganathan, H. V. Ngoc, J. Kulothungan, M. Schmidt, H. Mizuta
2 . 発表標題 Low-Voltage Multifunctional Graphene Nanoelectromechanical Devices
3 . 学会等名 International Conference on Global Research and Education (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Mizuta, and M. Muruganathan
2 . 発表標題 Graphene NEMS technology for extreme sensing, sub-thermal switching and heat phonon engineering
3 . 学会等名 ナノ学会合同部会 (招待講演)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Afsal, M. Manoharan, and H. Mizuta
2 . 発表標題 First-Principle Study of Bilayer Graphene Valley States
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 H. Mizuta, M. Haque, S. Kubo, M. Koyano, Y. Oshima, M. Muruganathan, Y Arashida, I. Katayama, J. Takeda, S. Ogawa, M.E. Schmidt
2 . 発表標題 Graphene nanoelectromechanical (GNEM) devices functionalized by using helium ion beam for nanoscale thermal engineering
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 Marek E. Schmidt, Shinichi Ogawa, Hiroshi Mizuta
2 . 発表標題 Nanopatterning by helium ion beam: Only as good as the sample
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 M. Haque, S. Kubo, M. E. Schmidt, M. Muruganathan, S. Ogawa, H. Mizuta
2. 発表標題 Fabrication process and thermal conductivity measurement setup of graphene phononic crystal
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 久保 聖也, マレク・シュミット, ハック・マイ シャ・マスルラ, マノハラン・ムルガナタン, 水田 博
2. 発表標題 非円形ナノ孔グラフェンフォノン結晶の3次元有限要素法解析
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 岩崎 拓哉, Gabriel Agbonlahor, Manoharan Muruganathan, 赤堀 誠志, 守田 佳史, 森山 悟士, 小川 真一, 若山 裕, 水田 博, 中払 周
2. 発表標題 ヘリウムイオン照射グラフェンの負の磁気抵抗
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 水田 博
2. 発表標題 原子層材料ナノ電子機械デバイス技術による極限センシングとナノスケールエネルギー制御
3. 学会等名 日本学術振興会 接合界面創成技術191委員会 第17回委員会・研究会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 J. Takeda, K. Yoshioka, Y. Arashida, and I. Katayama
2. 発表標題 Nanoscale Electron Manipulation Using Phase-controlled THz Near-fields
3. 学会等名 CLEO: Science and Innovations 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 J. Takeda, K. Yoshioka, Y. Minami, Y. Arashida, and I. Katayama
2. 発表標題 THz-Field-Driven Electron Tunneling On the Nanoscale
3. 学会等名 2018 43rd International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奈良脩平、嵐田雄介、小野頌太、井ノ上泰輝、千足昇平、丸山茂夫、長尾忠昭、北島正弘、武田淳、片山郁文
2. 発表標題 サブ10 fsポンプ・プローブ分光によるグラフェンの超高速運動量緩和
3. 学会等名 日本物理学会2018秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奈良脩平、嵐田雄介、小野頌太、井ノ上泰輝、千足昇平、丸山茂夫、長尾忠昭、北島正弘、武田淳、片山郁文
2. 発表標題 sub-10fsポンププローブ分光を用いたグラフェンの超高速エネルギー・運動量緩和
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第39回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷口将太郎、片山郁文、嵐田雄介、吉岡克将、吉田昭二、重川秀実、桑原正史、武田淳
2. 発表標題 カルコゲナイド合金Ge ₂ Sb ₂ Te ₅ におけるナノスケール光誘起相変化
3. 学会等名 2019年第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 H. Mizuta
2. 発表標題 Graphene Nano-electro-mechanical device technology for extreme sensing and nanoscale thermal engineering
3. 学会等名 NIMS WEEK 2021 Academic Symposium "Quantum Revolution in Nanomaterials" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Fayong Liu, Jiayu Guo, Shinichi Ogawa, Yukinori Morita, Marek Schmidt, Manoharan Muruganathan, Hiroshi Mizuta
2. 発表標題 Graphene nanomesh for electron and phonon engineering
3. 学会等名 The 4th EuFN and FIT4NANO Joint Workshop / Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Mizuta, G. Jiayu, S. Ogawa, Y. Morita, M. Muruganathan and F. Liu
2. 発表標題 Graphene NEMS Technology with He Ion beam Single-Nanometer Patterning for Advanced Sensing and Thermal Engineering
3. 学会等名 International Meet & Expo on Nanotechnology (NANOMEET2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Afsal Kareekunnan, Hiroshi Mizuta, Manoharan Muruganathan
2. 発表標題 Effect of hBN in inducing valleytronics properties in hBN/Bilayer graphene commensurate heterostructure
3. 学会等名 2021 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Fayong Liu, Manoharan Muruganathan, Shinichi Ogawa, Yukinori Morita, Zhongwang Wang, Marek Schmidt, Hiroshi Mizuta
2. 発表標題 Quantum dot formation on suspended graphene nanomesh by helium ion beam milling technology
3. 学会等名 2021 5th IEEE Electron Devices Technology & Manufacturing Conference (EDTM2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jiayu Guo, Fayong Liu, 小川 真一, 森田 行則, Manoharan Muruganathan, 水田 博
2. 発表標題 Asymmetric Thermal Transport on Suspended Trapezoidal Graphene Channels
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Osazuwa Gabriel Agbonlahor, Manoharan Muruganathan, Sankar Ganesh Ramaraj, Kohei Taketomi, Hisashi Maki, Masashi Hattori, Hiroshi Mizuta
2. 発表標題 Real-time Conformational Switching of Graphene-Molecule van der Waals Bonding Complexes in Graphene Gas Sensors
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 Sankar Ganesh Ramaraj, Manoharan Muruganathan, Gabriel Agbonlahor Osazuwa, Maki Hisashi, Masashi Hattori, Mizuta Hiroshi
2. 発表標題 Enhanced acetone gas sensing of activated carbon functionalized graphene nanoribbon FET in the real-air environment
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 石井 幹也, Afsal Kareekunanan, 赤堀 誠志, 水田 博, Manoharan Muruganathan
2. 発表標題 多層MoS2におけるバレーホール効果の観測
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 Fayong Liu, Jiayu Guo, Manoharan Muruganathan, Shinichi Ogawa, Yukinori Morita, Hiroshi Mizuta
2. 発表標題 Molecular dynamics study on Asymmetric graphene nanomesh thermal rectifier
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

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Manoharan Muruganathan, Hiroshi Mizuta	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Jenny Stanford Publishing	5. 総ページ数 41
3. 書名 Graphene Nanoelectromechanical Switch: Ultimate Downscaled NEM Actuators to Single-Molecule and Zeptogram Mass Sensors, Convergence of More Moore, More Than Moore, and Beyond Moore, Deleonibus, Simon, ed.	

1. 著者名 Marek E. Schmidt, Masashi Akabori and Hiroshi Mizuta	4. 発行年 2018年
2. 出版社 InTech Open	5. 総ページ数 113-135
3. 書名 Nitrogen Ion Microscopy / Ion Beam Applications, ed. by I. Ahmad and M. Zaaza	

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計2件

産業財産権の名称 TUNNEL CURRENT CONTROL APPARATUS AND TUNNEL CURRENT CONTROL METHOD	発明者 Y. Kawada, J. Takeda、他4名	権利者 浜松ホトニクス
産業財産権の種類、番号 特許、US20190064209A1	取得年 2020年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 TUNNEL CURRENT CONTROL APPARATUS AND TUNNEL CURRENT CONTROL METHOD	発明者 Y. Kawada, J. Takeda、他4名	権利者 浜松ホトニクス
産業財産権の種類、番号 特許、US20190064210A1	取得年 2019年	国内・外国の別 外国

〔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	武田 淳 (Takeda Jun) (60202165)	横浜国立大学・大学院工学研究院・教授 (12701)	
研究分担者	森田 行則 (Morita Yukinori) (60358190)	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・研究グループ長 (82626)	
研究分担者	小川 真一 (Ogawa Shinichi) (00590085)	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・招聘研究員 (82626)	

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