

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02168

研究課題名（和文）金属ナノワイヤのキャリア制御による動的熱制御技術の確立

研究課題名（英文）Establishment of active heat transfer control of metallic nanowires by carrier control techniques

研究代表者

廣谷 潤 (Hirofumi, Jun)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号：80775924

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：金属型原子層材料MXeneに強電界を印加して熱伝導の変調を調べるために、単層剥離されたMXeneを得る必要があった。しかしながら、得られるMXeneはMXene層間にAlが残留した状態となっており、これによりそのままの溶液分散等の手法では剥離が困難な課題があった。そこで、力学的にマイルドなin-situエッチング反応を用いることで、MXene層間の残留金属を除去しつつ、数ミクロンサイズのMXeneを得る方法を確立することができた。さらに熱伝導率変調を検証するために、周波数領域サーモリフレクタンス法の実験系を新たに構築し、等方性材料および異方性材料の熱伝導率計測が可能な実験系を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した単層の原子層材料であるMXeneはバッテリー応用や水素発生用の触媒やセンサ応用など、様々な応用が期待されている材料である。これまで単層剥離が困難であった課題に対して、本研究で得られたMXeneを用いて様々な応用展開が考えられる。さらに、開発した周波数領域サーモリフレクタンス法による熱伝導率評価手法は様々な材料の熱伝導評価が可能であり、電子材料分野や材料科学分野など多方面での共同研究成果の創出が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In order to investigate the modulation of thermal conduction by applying a strong electric field to metallic atomic layer material MXene, it was necessary to obtain monolayer-exfoliated MXene. However, the obtained MXene had Al residues between the MXene layers, which made it difficult to exfoliate by solution dispersion or other methods. Therefore, we established a method to obtain MXene of several microns by using a mechanically mild in-situ etching reaction. To further validate the thermal conductivity modulation, a new experimental system for the frequency-domain thermoreflectance method was established, which enables thermal conductivity measurements for both isotropic and anisotropic materials.

研究分野：電子工学

キーワード：MXene サーモリフレクタンス イオン液体 熱伝導

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

電子・正孔をキャリアとして用いるダイオードやトランジスタが世界中で幅広く普及し現代社会を豊かにしているのは、絶縁体/半導体/導体を使い分けした上で、電氣的に半導体のキャリアを容易に制御することが可能だからである。今回の熱制御の新原理発案に至った着眼点は、まさに熱伝導も電氣的トランジスタのようにキャリアを電氣的なゲート電圧印加によって制御することは可能か否か?という問いにある。熱を輸送するキャリア量を電氣的に精密に制御することが可能となれば、熱伝導を自在に制御することも夢ではない。今回提案する原理は、電氣的に変調可能なキャリアによる熱伝導が支配的な系を用いることで、熱制御を実験的に創製可能な汎用性のある手法であり、熱科学分野にブレイクスルーをもたらすチャレンジングなテーマである。

通常の熱伝導による伝熱を考えた場合、熱を輸送するキャリアは、格子振動(フォノン)、電子(正孔)、スピンによる寄与の和で与えられる。電子(正孔)、スピンは外部からの電磁場により制御することが可能であるものの、フォノンはエネルギー値と量の違いこそあれ、室温ではすべての材料に存在しているため、モノが接触していれば必ずフォノンによる熱伝導が発生してしまい完全な熱伝導の遮断は難しい。

2. 研究の目的

そこで本研究では、電圧などを印加することにより熱を動的に制御するための基礎学理の探求と原理検証を研究目的とする。そこで申請者が考えた動的な熱制御を実現するためのスキームは以下の3点である。

- (1) 熱輸送において電氣的に変調可能なキャリア(電子)が支配的な系(金属材料)を対象とする。金属材料中の電子密度は非常に高いが、比表面積の大きい1次元ナノ材料である金属ナノワイヤを対象とし、その表面にイオン液体を用いた電氣二重層により強い表面電荷を集めることで、金属ナノワイヤ中の電子密度変調を可能とする。
- (2) フォノンの平均自由行程よりも短いナノ材料を用いてサイズ効果(畳み込み)により存在できるフォノン周波数を制限することで、電子は散乱させずにフォノンだけ散乱させてフォノン熱伝導成分を低減させる。これにより電子伝導主体の高いON/OFF比の熱制御を行う。
- (3) ナノワイヤを用いて熱に指向性を持たせ、熱流の方向制御を可能にする。

以上のスキームを検証するために、まずは原理検証に必要な熱計測装置開発と金属薄膜作製方法の確立とデバイスレベルでの原理検証を実施することとした。

3. 研究の方法

用いる材料としてはAuやPtなどの金属薄膜以外にも原子層材料の一つであるMXeneを用いる。MXeneは2011年に初めて報告された新規二次元セラミック材料であり、一般的に $Mn+1Xn$ ($n=1, 2, 3$)の化学式で表現されMはTi、V、Cr、Moなどの遷移金属、XはC(炭素)もしくはN(窒素)を表す。金属に匹敵する電子密度と親水性を有しており、原子の組み合わせにより50以上の異なる特性、表面修飾による状態変調や高機能化が可能であることから、蓄電技術、触媒技術、透明導電膜、バイオ・医療など幅広い分野での応用が期待されている材料である。今回使用するMXeneは最も一般的な Ti_3C_2 の金属型のものを単層剥離して使用することにした。

熱計測については、本研究を通じて周波数領域サーモリフレクタンス法と 3ω 法による熱計測を確立させる。それぞれの測定方法では、周波数領域サーモリフレクタンス計測ではpump光とprobe光によるレーザー加熱および温度計測手法であるのに対して、 3ω 法は金属細線を直接加熱してその変化をセンシングする方法である。使用する周波数帯域の関係から熱浸透深さは異なるが、一般に周波数領域サーモリフレクタンス計測では、数百nm程度またはそれよりもさらに薄い材料の熱計測も可能であるが、レーザー反射用の金属のトランスデューサー層を必要とする。一方 3ω 法は金属細線を直接加熱する方法でありトランスデューサー層が不要であることから、MXeneを金属細線として用いることができればトランスデューサー層が不要な環境での熱計測が可能であることから開発を実施することとした。以上をまとめると、本研究では以下の3点の研究の手法に取り組んだ。

(1) MXeneの単層剥離方法の開発と電氣伝導特性評価

入手したMXeneは層間の残留金属の影響により従来の溶液中での剥離が困難である課題があった。そこで、力学的にマイルドなin-situエッチング反応を用いることで、MXene層間の残留金属を除去しつつ、数ミクロンサイズのMXeneを得る方法を確立することに取り組んだ。また単層剥離したMXene薄膜を作製し、その電氣伝導率と透過率の関係を調査した。

(2) 周波数領域サーモリフレクタンス法を用いた熱伝導率計測手法の確立

ナノ厚さの原子層材料に対する異方性熱伝導率計測手法である周波数領域サーモリフレクタンス法について開発した。構築したシステムを熱伝導率が既知の材料(酸化シリコン、酸化アルミニウム、シリコン、ダイヤモンド)などの既存の材料に対して熱計測を行い、その有効性を確認することとした。

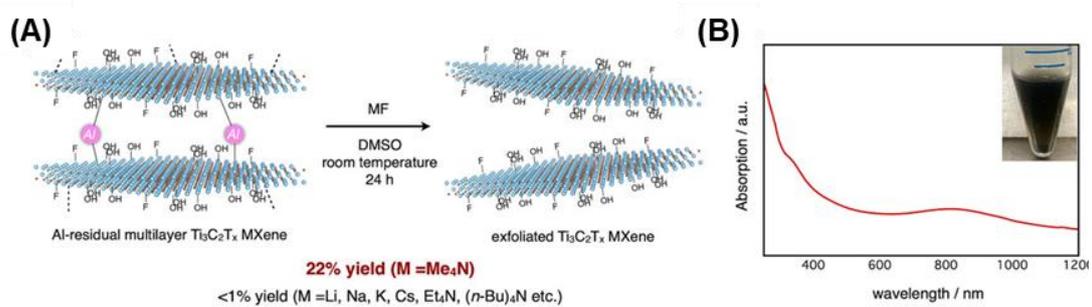


図 1 (A)層間残留 Al の剥離の様子 (B)剥離後の分散液と吸光度測定結果

(3) 3 ω 法による熱計測手法の確立

3 ω 法を用いた計測システムをまずは構築し、その有効性を検証した。こちらもサンプルは熱伝導率が既知の材料（石英など）を用いて評価を実施することとした。

4. 研究成果

本研究の要でもある金属型原子層材料 MXene に強電界を印加して熱伝導の変調を調べるために、単層剥離された MXene を得る必要があった。しかしながら、得られる MXene は図 1(A)にしめすような MXene 層間に Al が残留した状態となっており、これによりそのままの溶液分散等の手法では剥離が困難な課題があった。そこで、力学的にマイルドな in-situ エッチング反応を用いることで、MXene 層間の残留金属を除去しつつ、数ミクロンサイズの MXene を得る方法を確立することができた。得られた MXene 水溶液は長時間にわたって良い分散性を示し、5 μm 以上の大きさの単層 MXene が多く得られているところまで確認した。また MXene 薄膜を作製し、その電気伝導率と透過率の関係を明らかにしつつ、導電膜応用のポテンシャルを示すことができた。(図 1)

金属型原子層材料 MXene の安定かつ収率の高い単層剥離技術を探求するとともに、デバイス応用を見据えて大面積かつナノメートル厚さの MXene 薄膜形成手法を探求した。従来まで用いていたスプレーコートでは成膜時間がかかりすぎる課題とスプレーコート用の溶剤作製段階における分散溶液中での MXene の凝集が課題として残されていた。そこで、減圧濾過法と転写による MXene 薄膜作製を実施した。今回の手法は、減圧濾過により得られたフィルムをいったん純水で湿らせた後に濾紙と MXene 間の熱膨張の違いを利用することで、転写が可能になっている。(図 2A) また、用いる濾紙の材質を疎水性の PTFE 系のものを用いるよりも、親水性の MCE 系のものを用いることが均一な薄膜作製に有効であることがわかった。(図 2B)

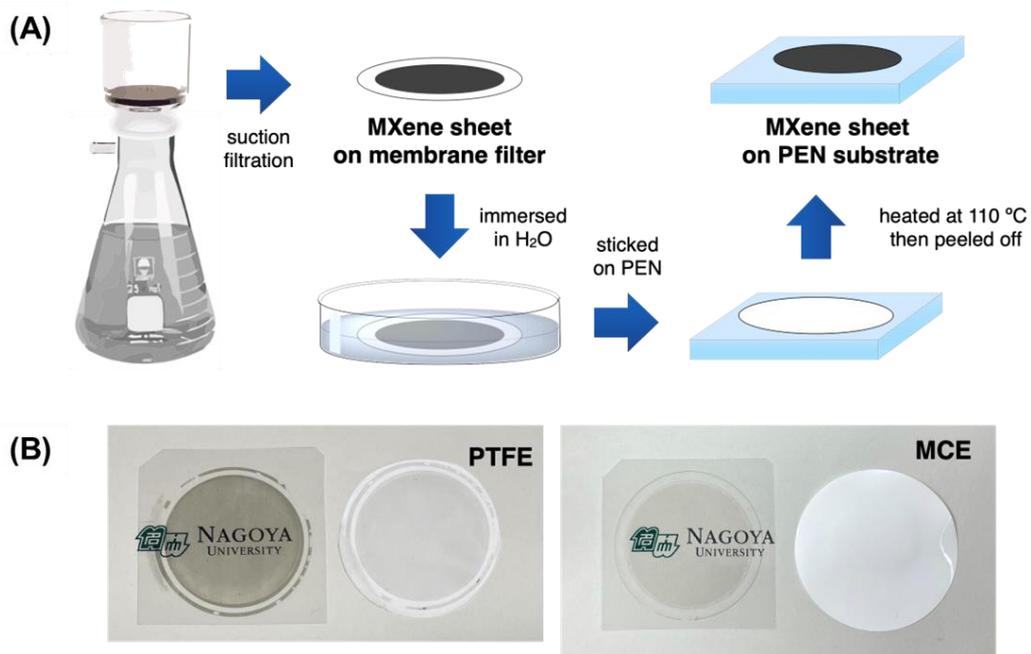


図 2 MXene 薄膜形成方法の概略(A) 減圧濾過と転写(B)濾紙の材質の違いによる転写効率の違い

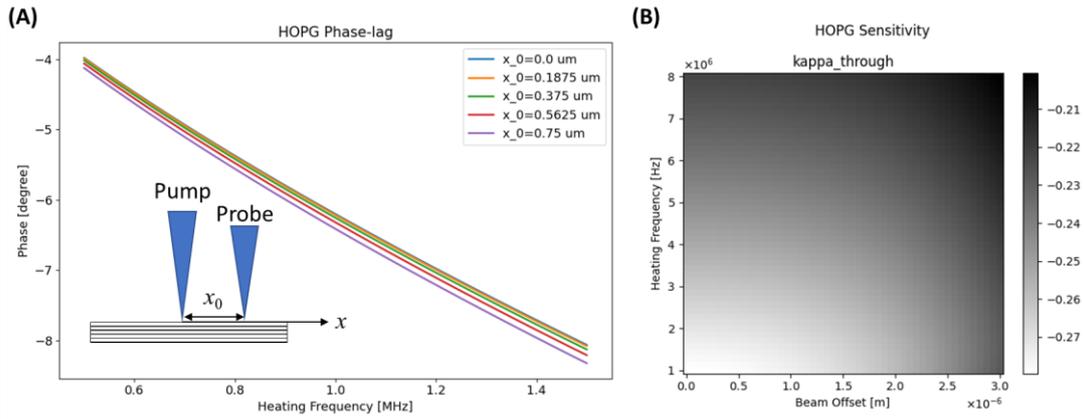


図 3 (A) 異方性の材料の熱伝導計測システムのモデル解析結果 (B)面内方向の熱伝導測定感度解析結果

さらに成膜する基板は、プラスチック基板だけでなく伸縮基板上への転写も可能になった。次に得られた MXene などの異方性原子層材料の熱特性を評価するための非接触熱計測の実験系を構築した。具体的には、ナノ厚さの原子層材料に対する異方性熱伝導率計測手法である周波数領域サーモフレクタンス(FDTR)法の開発を開発した。150MHz までの高周波領域におけるレーザー加熱システムを構築することができた。通常の pump-probe 光の周波数領域サーモフレクタンス法だけでなく、ヘテロダインによる差周波による計測系とすることで、これまで 20MHz 以上の高周波加熱による S/N 比低下の問題を回避しつつ、より高周波で加熱するシステムを構築することができた。まずは、構築したシステムを熱伝導率が既知の材料(酸化シリコン、酸化アルミニウム、シリコン、ダイヤモンド)に対して熱計測を行い、その有効性を確認することができた。さらに異方性材料の熱伝導率は面内方向と面外方向で異なるが、これを計測するために加熱用の pump 光と温度計測用の probe 光を相対距離 x_0 ずらすことによる計測手法を構築した。実際のモデル計算結果を図 3(A)、相対距離 x_0 と測定周波数ごとの熱伝導測定感度解析結果を図 3(B)に示す。図 3(A)に示す通り、早退距離 x_0 が大きくなるにつれて pump 光と probe 光の位相差が大きくなっており、原理的に正しい結果が得られている。また、図 3(B)から、高周波かつ相対距離 x_0 をずらすことで測定感度が低下することも確認することができた。理論解析と並行して、FDTR の実験系を構築したが、従来の手法では Probe 光をずらすにつれてレーザースポット形状が楕円になる課題があったが、これを回避する実験系を構築することができ、現在成果出しを進めているところである。

最後に 3 ω 法を用いた測定方式について検討を実施した。3 ω 法を用いた測定方式はそのセンサ構造から主に金属細線を用いた方式と基板上的金属薄膜を用いた方式の二つに大別される。

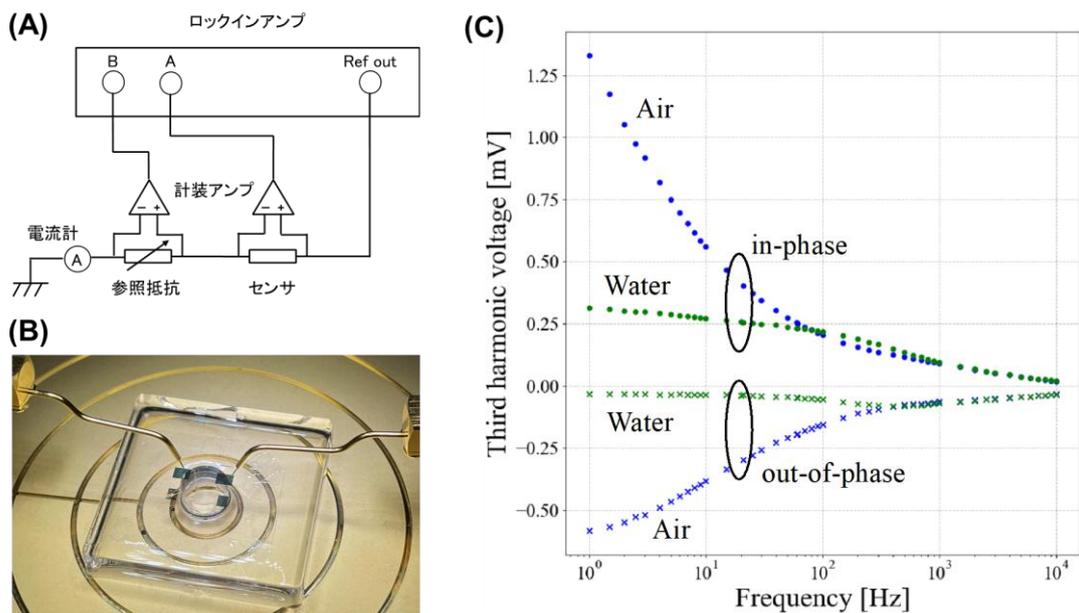


図 4 (A) 3 ω 法で用いた測定系の回路図 (B)作製したデバイスを測定している様子 (C) 水と空気の場合において得られた 3 ω 信号

ここではまず、既存の 2 種類のセンサ構造の出力信号と感度の特性を数値計算によって評価し、それぞれの課題点を見出した。その結果、金属細線を用いた方式は小型化に限界があること、基板上金属薄膜を用いた方式は熱源から基板への熱散逸により出力信号や感度が低下することがわかった。数値計算によるセンサ構造の特性評価を踏まえ、本研究では 3 ω 法による流体の熱伝導率計測のための新たなセンサとして、パリレン C フィルムを基板として金属薄膜をセンサとするフレキシブルなデバイスを提案し、試料流体の設置方式としてパリレン C フィルムの表面と裏面の 2 種類を想定して数値計算による特性評価を実施した。パリレン C は熱伝導率が低く、さらにサブミクロン程度までの任意の厚さで成膜することが可能であるため、熱源から基板への熱散逸を削減でき、数値計算の結果から出力信号や感度特性を向上させることが可能であることがわかった。

さらに、提案したフレキシブルな 3 ω センサを実現するために半導体プロセスを用いて実際にその作製を試みた。作製開始にあたり、熱剥離シートを用いたパリレン C フィルムの剥離手法を検証し、厚さ 1 μm 程度のフィルムの剥離に成功した。また、この剥離手法を用いて厚さ 6.45 μm のパリレン C フィルムを基板とするプロトタイプのセンサを作製し、これを用いてまずは物性のよく知られている空気や水を対象とした 3 ω 法による熱伝導率測定を行った。実験結果を理論値と比較した結果、得られた出力信号の測定値は理論値よりも小さかった。

(図 4) この原因として、電極パッドを含めた水平方向への熱散逸や流体と電極間の熱伝達などの影響が考えられる。今後は、卒業研究で確立した本計測手法とデバイス作製技術を深堀することで、測定値と理論値の乖離の原因を明らかにする必要がある。また、さらなる高感度計測を目指してより薄いパリレン C フィルムを基板とするセンサの開発を試み、センサ特性の向上を目指していく。

以上が本研究期間中に得られた成果であるが、今後は当初の研究目的で掲げた熱伝導率の動的変調にむけて、MXene 薄膜に対してイオン液体を用いた電気二重層によるキャリア変調実験を引き続き行っていく。金属薄膜に対してはイオン液体を用いた電気二重層による変調検証は進んではいるものの、EB 蒸着で成膜した膜であるために膜厚が 15nm 程度と比較的厚いものしか検証できておらずその電気抵抗値変化は 20%程度にとどまっている。今後はスパッタなどで成膜した膜による検証実験などでも評価を進める方針である。

本研究では、熱伝導率計測装置開発と MXene 薄膜形成のところに大幅な時間を要してしまっていたが、任意のナノスケール薄膜の熱伝導率装置開発と金属型原子層材料である MXene の単層剥離と導電膜作製まで達成することができ、今後の研究の進展が期待できる。今後は、作製した MXene 薄膜に対して、イオン液体を用いた電気二重層による変調検証を進めるとともに熱伝導率の変調検証を引き続き行っていく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Endo Masanori, Uchiyama Haruki, Ohno Yutaka, Hirotani Jun	4. 巻 15
2. 論文標題 Temperature dependence of Raman shift in defective single-walled carbon nanotubes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 1~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ac4678	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 Saita Emi, Iwata Masaki, Shibata Yuki, Matsunaga Yuki, Suizu Rie, Awaga Kunio, Hirotani Jun, Omachi Haruka	4. 巻 10
2. 論文標題 Exfoliation of Al-Residual Multilayer MXene Using Tetramethylammonium Bases for Conductive Film Applications	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Chemistry	6. 最初と最後の頁 1~8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fchem.2022.841313	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 Tsuji Mori Kota, Hirotani Jun, Harada Shunta	4. 巻 51
2. 論文標題 Application of Bayesian Super-Resolution to Spectroscopic Data for Precise Characterization of Spectral Peak Shape	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 712~717
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11664-021-09326-4	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 Nishio Yuya, Hirotani Jun, Kishimoto Shigeru, Kataura Hiromichi, Ohno Yutaka	4. 巻 7
2. 論文標題 Low Voltage Operable and Strain Insensitive Stretchable All Carbon Nanotube Integrated Circuits with Local Strain Suppression Layer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 2000674~2000674
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aelm.202000674	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 Matsunaga Yuki, Hirotani Jun, Ohno Yutaka, Omachi Haruka	4. 巻 14
2. 論文標題 Cross-linking gelation of isomaltodextrin for the chromatographic separation of semiconducting carbon nanotubes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 017001 ~ 017001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/abd28b	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 Matsumoto Kaisei, Ueno Kazuki, Hirotani Jun, Ohno Yutaka, Omachi Haruka	4. 巻 26
2. 論文標題 Fabrication of Carbon Nanotube Thin Films for Flexible Transistors by Using a Cross Linked Amine Polymer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 6118 ~ 6121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202000228	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 Ito Yuji, Funayama Keita, Hirotani Jun, Ohno Yutaka, Tadokoro Yukihiro	4. 巻 7
2. 論文標題 Stochastic Optimal Control to Minimize the Impact of Manufacturing Variations on Nanomechanical Systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 171195 ~ 171205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2019.2955697	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 Matsunaga Masahiro, Hirotani Jun, Kishimoto Shigeru, Ohno Yutaka	4. 巻 67
2. 論文標題 High-output, transparent, stretchable triboelectric nanogenerator based on carbon nanotube thin film toward wearable energy harvesters	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nano Energy	6. 最初と最後の頁 104297 ~ 104297
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nanoen.2019.104297	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 Omachi Haruka, Komuro Tomohiko, Matsumoto Kaisei, Nakajima Minako, Watanabe Hikaru, Hirotsuni Jun, Ohno Yutaka, Shinohara Hisanori	4. 巻 12
2. 論文標題 Aqueous two-phase extraction of semiconducting single-wall carbon nanotubes with isomaltodextrin and thin-film transistor applications	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 097003 ~ 097003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab369e	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 Funayama Keita, Tanaka Hiroya, Hirotsuni Jun, Shimaoka Keiichi, Ohno Yutaka, Tadokoro Yukihiro	4. 巻 30
2. 論文標題 Dependence of enhancement factor on electrode size for field emission current from carbon nanotube on silicon wafer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 425201 ~ 425201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/ab33c8	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 Funayama Keita, Tanaka Hiroya, Hirotsuni Jun, Shimaoka Keiichi, Ohno Yutaka, Tadokoro Yukihiro	4. 巻 7
2. 論文標題 Noise Modeling in Field Emission and Evaluation of the Nano-Receiver in Terms of Temperature	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 57820 ~ 57828
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2019.2913692	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8件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 M. Endo, H. Uchiyama, Y. Ohno, J. Hirotsuni
2. 発表標題 Temperature dependence of Raman G-band shift in defective single-walled carbon nanotubes
3. 学会等名 The 59th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Lijun Liu, Daisuke Matsunaka, Yoji Shibutani
2. 発表標題 New Deep Learning Interatomic Potential for Pure Magnesium
3. 学会等名 The 11th International Conference on Computational Methods (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Lijun Liu, Yoji Shibutani
2. 発表標題 Long-Time Molecular Dynamics: Parallel-in-Time Integration and Machine Learning Interatomic Potentials
3. 学会等名 14th WCCM & ECCOMAS Congress 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松永正広, 廣谷潤, 岸本茂, 大野雄高
2. 発表標題 フレキシブルなエレクトレット/摩擦帯電ハイブリッド発電シート
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 嶋崎悠斗, 廣谷潤, 岸本茂, 大野雄高
2. 発表標題 フレキシブルカーボンナノチューブ薄膜トランジスタのヒステリシス抑制
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 Y. Shimasaki, J. Hirotsu, S. Kishimoto, Y. Ohno
2. 発表標題 Suppression of Hysteresis in Flexible Carbon Nanotube Thin-film Transistors
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Matsunaga, J. Hirotsu, S. Kishimoto, and Y. Ohno
2. 発表標題 Self-powered wireless optical transmitter based on triboelectric generator with carbon nanotube thin film
3. 学会等名 The 57th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Matsunaga, J. Hirotsu, S. Kishimoto, and Y. Ohno
2. 発表標題 Flexible Free-Standing-Mode Triboelectric Generator Realized by Surface Modification
3. 学会等名 20th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-Dimensional Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 積層体、積層体の製造方法、および、積層体を備えるデバイス	発明者 大町遼，廣谷潤	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2020-009996	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 薄膜形成方法	発明者 廣谷潤，大町遼	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2020-009995	出願年 2020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	劉 麗君 (LIU LIJUN) (80809195)	大阪大学・工学研究科・助教 (14401)	

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