

令和 6 年 5 月 24 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01755

研究課題名（和文）液体流動と電子材料界面における動電現象解明と新規電子デバイス創成

研究課題名（英文）Investigation of electrokinetics at liquid/material interface and its application for devices

研究代表者

岡田 健（Okada, Takeru）

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号：90616385

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,700,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では液体流動と電子材料界面における動電現象の物理描像を明らかにすることで液体流動によって発電、または動作する革新的な電子デバイス創成を目的とした。流動相界面における動電現象は新たなエネルギー源としてだけでなく多様な応用展開が期待される。電子材料微細加工・表面改質、及び物性解析技術を駆使し、互いに影響を与える固相、液相、界面の状態を操り・観ることで流動によって誘起する界面動電現象の要素メカニズムを解明した。流動状態が電気特性に影響を与えることを電気計測、および分光測定によって実証し、新たなデバイス創成への可能性を示す成果を得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は科学的理解が進んでいない液体流動と電子材料界面における動電現象のメカニズム解明と応用展開を目的とした。半導体・電子材料の微細加工改質技術を用いて流動状態を制御し、材料の電気伝導特性を計測することに成功した。また流体がトリガーとなる電子材料の電気伝導が流動状態や流体の電解質濃度などによって制御できる可能性を示した。これらの成果は将来的に革新的な電子デバイス創成に期待を持たせるものである。また新たなエネルギー源としての評価にも成功している。本研究で示したこれらの成果は、これまで接点のなかったエレクトロニクス分野と流体力学分野を結ぶ新たな学際領域開拓に貢献する点で意義があるといえる。

研究成果の概要（英文）：Development of innovative electricity generation system and devices using liquid flow by investigating the physical view of the electrokinetic phenomena at the interface between flowing water and electronic materials. Electrokinetic phenomena are expected to be used not only as a new energy source but also for a variety of applications. The electrokinetic phenomena can be understood by nano and micro fabrication techniques, surface modification, and physical property analysis technologies that enable to manipulate and observe the solid phase, liquid phase, and interface that influence each other. The correlation between flow state and electrical properties was investigated by electrical and spectroscopic measurements, resulting in the achievements show the possibility for developing novel devices.

研究分野：ナノ材料科学

キーワード：グラフェン 動電 流体 発電

1. 研究開始当初の背景

近年の人口知能(AI)やInternet of Things(IoT)関連技術の発展によって、近い将来には1兆個のセンサーを活用するトリリオンセンサー社会が到来するとされる。トリリオンセンサー社会では多数のセンサーで収集した膨大な情報をAIやIoTを用いて処理、活用する新たな社会インフラの構築が期待されている。この社会構想ではワイヤレスで電力供給、デバイス駆動、情報通信の全てを実現することが課題であり、環境中からエネルギーを得るエネルギーハーベスティングの重要性が認識されている。環境中に存在する熱、振動、光、流体、摩擦などの物理現象から大規模なエネルギーを生み出すことは難しいが、発電の高効率化やデバイスの消費電力低減、あるいは物理現象の相補的な利用によって将来構想の実現が期待できる。

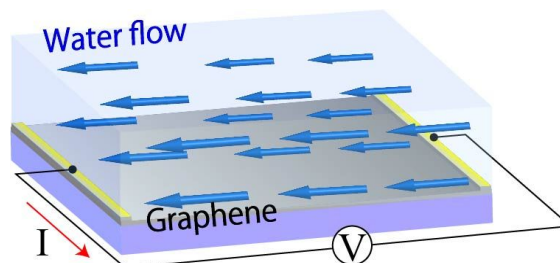


図1: 水の流動とグラフェン界面における動電現象の模式図。流動と同じ方向に電流が流れ、溶液(流体)には電流が流れない。

固体電子材料上における液体流動が固体材料中の電荷移動を誘起し電力を得る動電現象がある(図1)。液体流動が引き金となって固体材料に電流が流れる現象であり、タービンのような力学的仕事と電気エネルギーの変換や電気化学における流動電位とは異なる。地球上には多様な形態(雨滴、河川、海洋、動植物)で液体の水が存在し多くは流れを伴うため水の流動を利用するメリットは大きい。動電現象はグラフェン(カーボンナノチューブ)と水溶液(純水含む)からなる系で主に観察されている現象であるが、詳細なメカニズムは未解明であり議論が行われている。液体が流れている間グラフェンに連続的な通電が起きるため液体流動自体をデバイス動作に必要な外部電源と同等にみなすことができ、発電機構を備えたデバイスとして電子デバイス全般に応用できると期待できる。

一般に固体電子材料中における電気伝導を担うキャリアの振る舞いは電界、磁界、熱、光など外部刺激の種類や強度によって説明される。本研究で対象とする固液界面動電現象は固体電子材料に接する液体流動が電流発生に寄与していると考えられる。流体と伝導キャリアの物理量変換メカニズムが解明できれば、液体流動が電子材料のキャリア伝導を誘起する刺激となり得ることを意味し興味深い。また、本研究は水の新たな活用法を提案するものであり、水資源に恵まれた我が国で実施する意義は大きい。

2. 研究の目的

本研究の目的は、水の流動と低次元材料がつくる界面における動電現象の全貌を明らかにし、液体流動で動作する革新的電子デバイスの創成を目指すことである。固液界面における動電現象は新たなエネルギー源として有効であり多様な応用が期待されるが学術基盤が確立されていない。そこで申請者のこれまでの研究を基盤に流動がつくる固液界面における動電現象の核となる物理現象を導き出し、液体流動で動作するこれまでにない電子デバイス創成を目指す。

3. 研究の方法

最初に微細加工改質技術によるナノ流路の作製を行った。まずナノスケールの平坦さを持ち数マイクロメートルの垂直な側壁を持つ石英製マイクロ流路を作製する。プラズマプロセスを基盤とし、プラズマから照射される活性種のフラックス、入射角度、混合ガスによるガスケミストリー制御を駆使して流路作製した。次に流路内へのグラフェンと電極のアッセンブリを行った。化学気相蒸着法によって予め合成したグラフェンを用いた。なお、結晶性の高い高品質グラフェンはナノテクプラットフォーム(名古屋工業大学・種村教授、カリタ准教授)を通してサンプルの提供を受けた。基板への転写プロセスは確立された手法を用いた。当初懸念された転写プロセスによってグラフェンに生じる歪みや皺は大きな問題とはならなかった。このようにして製作した流路チップにシリンジ

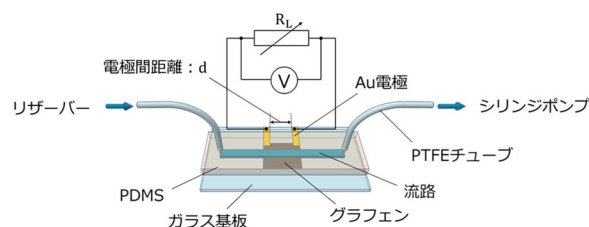


図2: 測定系概略図

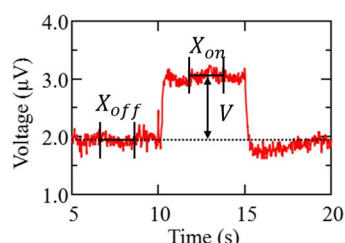


図3: 解析方法

ポンプで水流を印加する。

図 2 に示すセットアップを基本構成として流動存在下における様々な物性評価と電気特性評価を行った。外部負荷抵抗を接続し出力電力が最大となる条件下において電圧を計測した。発生する電圧は水流印加の ON/OFF に追従し、水流の印加時は電圧が維持されることがわかった。また、ON/OFF 時の電圧を測定し、図 3 に示すように ON/OFF 時の平均、標準偏差を以下の式から算出した。

$$V = V_{on} - V_{off}, \quad \sigma = \sqrt{\sigma_{on}^2 + \sigma_{off}^2}$$

これまでの研究からマイクロ流路を用いた実験系の等価回路が定電圧源と仮定すると出力特性とよい一致を示すことがわかっているため、出力を最大化した条件下において起電力の計測を行った。

4. 研究成果

図 4 に示すように異なる流路断面サイズをもつマイクロ流路を用いて起電力測定を行った。予備検討と同様に流速に対して起電力が線形に増加することが確認できた。一方で流路断面のアスペクト比が同一でも起電力が異なることがわかった（図中 $w/h=1.5/0.5$ 、および $2.1/0.7$ ）。この条件下では流速はレイノルズ数をほぼ同義と考えてよい。つまり、流路サイズと流路断面のアスペクト比に対して明確な相関は見られなかったことは起電力が流体のレイノルズ数で決定できないことを示しており、流路内部の流動状態を考慮する必要がある。そこで数値シミュレーションと実験の相関を解析した。

図 5 に本検討で使用した流路形状を示す。ここでは流路サイズが一定となる点を $x = 0$ と定義している。図 6 に典型的な発生電圧波形を示す。電圧の発生は流れを印加するとただちに発生し、前述と同様に水流の ON/OFF によく追従している。また、流入口近く ($x = 4, 7$) では発生電圧が低く、中央部 ($x = 14, 20$) では高く、流出口付近 ($x = 27, 30$) では再び低下する。流入口に近い $x = 4$ の場合、水流の ON/OFF は明確に観測できず起電力の値も小さい。 $14 < x < 24$ では水流 ON 時の電圧は安定しておりその値も大きい。さらに下流側である $x = 30$ では水流 ON 時の電圧が安定せず起電力は低かった。これらをまとめると図 6 (g, h) となり、流路中央部で電圧が極大となり両端では減少していることがわかる。また、電圧シグナルの分散は流路両端部で増加することも明らかになった。これらを流れ方向 x に対してプロットすると（図 6 (g), (h)）より明瞭にその傾向が見られ、流速に依存して極大値をとる位置が下流方向に移動することもわかる。

十分に発達した流動状態は粘性と慣性の比であるレイノルズ数で表され、 $Re < 2000$ では層流、 $Re > 2000$ では乱流となることが知られている。本検討で用いた流路と流速の条件では、およそ $Re \approx 500$ となり数値としては層流となる。しかし、 z 方向から流入する流体は流路内では空間的に発達する過程にあり、流路内において一様ではない。つまり、バルクの流体としての指標であるレイノルズ数とは異なる指標で評価する必要がある。そこで流れが十分に発達するまでの空間的には長さを示す「助走距離」を考慮した。一般に助走距離は Re が大きいときに長くなる。

これらの傾向を数値シミュレーションによって検証した。まず、流れを印加してから定常状態に落ち着くまでの時間設定を行った。 z 方向から水流を印加し、 $-3 < x < 0$ 、および $34 < x < 37$ の区間で流路幅が変化しているため流れに擾乱が生じることが推測できる。シミュレーション結果も同様であり、 $14 < x$ では速やかに流れが発達し速度分布が一定となることがわかった。こ

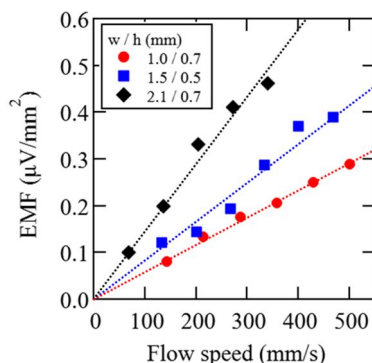


図 4：異なる流路を用いた場合の起電力

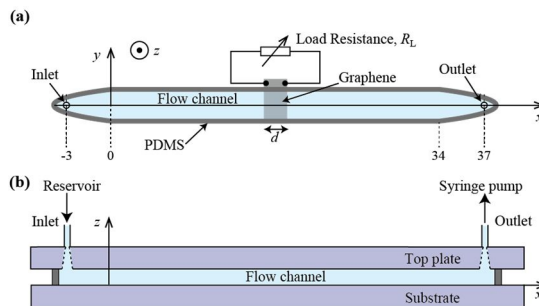


図 5：流路形状。

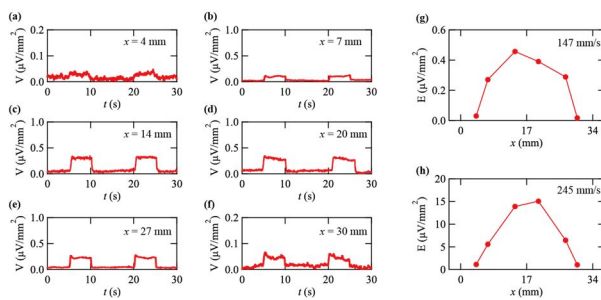


図 6：(a)-(f) 典型的な発生電圧。(g), (h) 流路内の位置 x との相関

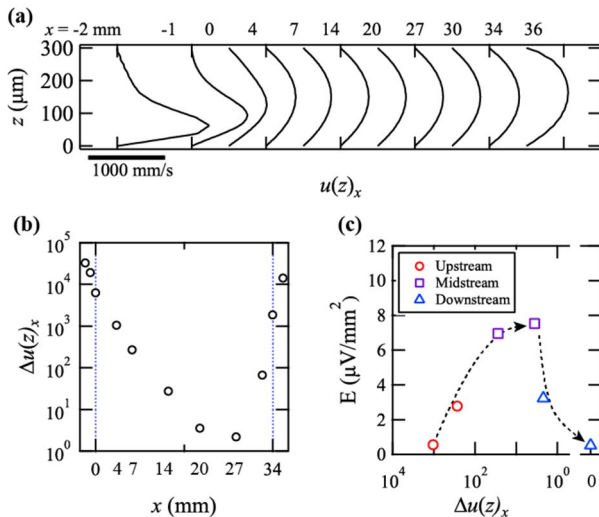


図7：(a)数値シミュレーションによって求めた流速分布。(b) $x = 30$ における流速分布を基準としたときの流路内の各位置 x における流速分布差。(c)起電力と流速分布差の相関。

($\Delta u(z)_x$) を求め、 x に対してプロットした (図7 (b))。このとき $x = 30$ が助走距離と同義となる。 $\Delta u(z)_x$ は流れの発達過程を示し、流入口である $x = 0$ から急激に減少する傾向は微小流路内において粘性の効果が顕著となるため層流に遷移することを再現している。 $x > 30$ では再度増加しており流出口の影響を表している。図7 (c) に起電力 E と $\Delta u(z)_x$ の関係を示す。 $x = 30$ 、つまり $\Delta u(z)_x = 0$ は流路内において流れが十分に発達した助走距離の位置であり理想的な層流であるため起電力は非常に小さい。層流状態においては壁近傍 (グラフェン直上) の速度がゼロであり、流路内中央部が最も速度が大きくなる。壁近傍における速度成分がゼロであるとき界面には電気二重層が形成される。このときグラフェンは流れを感じることがないため静水に接したときと同様だと考えれば、これらのメカニズムは低い起電力が計測されたことと矛盾しない。一方で流れの発達開始部では不規則な流動状態となっており電気二重層が形成される平衡状態に達することはない。流速のベクトルはランダムな方向に存在するため流れの方向に依存した現象は考えにくい。そのため起電力が低く計測されたと考える。

これらのことから起電力発生には、流れの状態が密接に関係し不規則な乱流から層流に遷移する過程において最大の出力を得ることができるといえる。流路内の流れ方向中央付近におけるこれらの遷移過程では、流れの発達とともに電気二重層が形成される。電気二重層はグラフェンにキャリアを誘起し、その結果起電力が増加したと考えられる。この検証結果は発電デバイスとして利用するときの設置場所検討の指針となる可能性がある。

次に流動によってグラフェンの電子状態が変化する様子を計測するためにラマン分光測定を行った (図8)。グラフェンのラマンスペクトルは主に 1580 cm^{-1} 付近の G バンドと 2700 cm^{-1} 付近の 2D バンドであり、いずれも低波数側にシフトしたときには n ドープの電子状態であることが知られている。図8 に流入口からの距離 x における G バンドと 2D バンドのピーク位置をプロットした。流入口に近い $x = 12$ に比べ、下流に移動するにつれてピーク位置が低波数側 (図中では左下) にシフトしていることがわかる。乱流 (不規則な流動状態) 状態では、液体流動の速度が大きいため界面近傍に電気二重層が形成されない。一方で層流状態時における界面では、流動の速度が理想的にはゼロであり、静水と同様に電気二重層が形成されると考えられる。ラマンスペクトル解析によって、これまで想定していた上流から下流にかけて流動状態が乱流から層流に遷移し、下流の層流部では電気二重層による電界ドーピング (n ドープ) が起こることがラマンスペクトルから実証できた。なお、 $x = 35$ の条件でばらつきが大きいのは、流出口の影響による流れの不規則性と逆流が影響していると考えられる。

の条件を各 x 点で満たすのは、 0.15 s であった。そこで、以降のシミュレーションは 0.15 s 経過後の流動状態で議論する。

時間的に流れの状態が収束した条件における流路内の速度分布を求めた (図7 (a))。 z 方向から流入する水流は ($x < 0$) において大きく歪んだ速度分布を示しており、不規則な流動状態となっていることを示している。流路内の各 x における速度分布をみると速度分布も流路中央部に進行するにつれてパラボリックな分布を示し層流へと遷移していく様子が確認できる。また下流部付近においては流出口の影響で再び歪んだ分布になる。このように、一般にマイクロ流路内の流動状態は層流であるとされるが、実際には z 方向に流入口を設置することで乱流から層流に遷移する状態 (助走距離) が存在することがわかった。

流れの発達は、 $x = 30$ 付近で十分に発達することがわかったため各 x との差

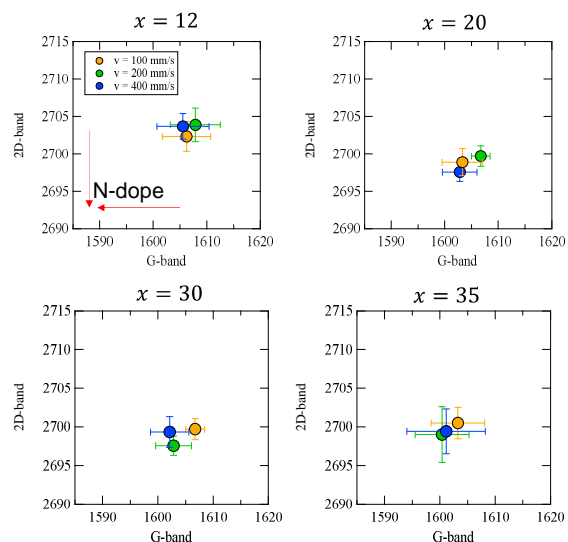


図8：流動存在下におけるラマン測定結果。

さらに基板の影響を調べるため、フルオロカーボン膜とガラス基板で比較を行った。通常の実験条件ではガラス(またはシリコン基板)を用いるが、ここではフッ素を含むフルオロカーボン膜を基板材料に用いた。フルオロカーボン膜はプラズマ化学気相蒸着法によって成膜し、その上にグラフェンを転写し同様の起電力測定を行った。図9に示すように、ガラス基板に比較してフルオロカーボン基板(CF)を用いることで起電力が増加していることがわかる。界面近傍に形成される電気二重層がつくる電界はこの条件下において表面電位で決まる。ガラス基板とフルオロカーボン基板のゼータ電位(表面電位)はそれぞれ約-20 mV、および-40 mVであり、フルオロカーボン膜がつくる電界の効果が起電力に反映されていると考えられる。本実施項目によって、流体とグラフェンに加えて基板材料によっても起電力を増加させることが可能であると示された。

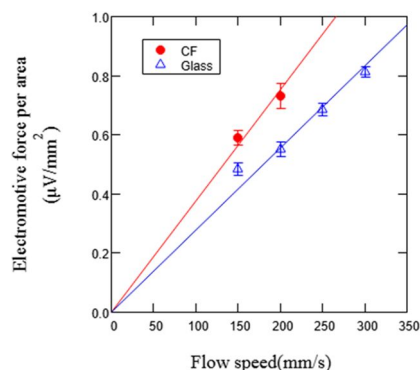


図9：異なる基板による起電力の比較

以上のように本研究は当初の目的をおよそ達成でき、液体流動と電子材料界面における動電現象のメカニズム解明の進展に貢献できたと考えられる。特に流動状態と電気シグナルの相関を解明した成果は独創的であり、特許申請や複数回の招待講演につながったことから国内外において高い評価を受けたといえる。また、新たな流動センシングデバイス開発に期待ができる有益な成果が得られている。今後は詳細な物理現象の理解を進め新領域創成や新たな原理に基づく発電、デバイスとしての展開が期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takeya Toru, Han Huanwen, Yamashita Ichiro, Okada Takeru	4. 巻 62
2. 論文標題 Zeta potential variations in bonding states of fluorocarbon films deposited by plasma-enhanced chemical vapor deposition	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SL1007 ~ SL1007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/accde7	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 Kakuta Sho, Okada Takeru	4. 巻 42
2. 論文標題 Formation of ZnWO ₄ /WO ₃ composite film by RF magnetron sputtering and calcination	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Vacuum Science & Technology A	6. 最初と最後の頁 013411-1 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1116/6.0003180	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 Nashimoto Kazuki, Horiguchi Yoshiko, Kumatani Akichika, Okada Takeru	4. 巻 63
2. 論文標題 Electrochemical catalysis of aluminum diboride thin film fabricated by radio-frequency magnetron sputtering	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 04SP24 ~ 04SP24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ad2fde	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 Kazuki Nashimoto, Yoshiko Horiguchi, Akichika Kumatani, Takeru Okada	4. 巻 1
2. 論文標題 Single Crystal Formation of Aluminum Diboride and Electrocatalytic Synthesis of Ammonia	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Microprocesses and Nanotechnology Conference	6. 最初と最後の頁 16P-1-24
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 Okada Takeru, Ohno Kotaro, Kanzaki Makoto, Washio Katsuyoshi	4. 巻 61
2. 論文標題 A comparative study of the antibacterial properties of copper-based transparent oxides at the solid/liquid interface	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 108001 ~ 108001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac9169	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 Kazuki Nashimoto, Yoshiko Horiguchi, Akichika Kumatani, and Takeru Okada	4. 巻 HW6.00108
2. 論文標題 Comparative Study on Formation of Boride Thin Films Deposited by Co-sputtering with Molybdenum	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of ICRP-11/GEC2022	6. 最初と最後の頁 299 ~ 300
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 無
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 Sho Kakuta, Takeru Okada, and Katsuyoshi Washio	4. 巻 HW6.00105
2. 論文標題 Investigation of optical property of tungsten-doped zinc oxide films deposited by sputtering	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of ICRP-11/GEC2022	6. 最初と最後の頁 293 ~ 294
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 無
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 Toru Toru and Takeru Okada	4. 巻 HT4.00078
2. 論文標題 Investigation of Material Properties of Fluorocarbon Films Deposited by Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of ICRP-11/GEC2022	6. 最初と最後の頁 167 ~ 168
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 無
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 4件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 岩本 直也、岡田 健、神田 雄貴、小宮 敦樹
2. 発表標題 Evaluation of flow aspects of EMFs at a water-graphene interface and the Seebeck effect
3. 学会等名 第23回日本伝熱学会学生発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takeru Okada, Hikaru Takeda, Naoya Iwamoto, Koichi Takano, Mitsuhiro Honda, Masaki Tanemura, Ichiro Yamashita, Atsuki Komiya
2. 発表標題 Output characteristic of flow-induced electricity generation at graphene-water interface
3. 学会等名 The 65th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 平井 力、岡田 健
2. 発表標題 チタン酸化物の酸化数制御とペロブスカイト太陽電池特性
3. 学会等名 第84回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 梨本 一樹、堀口 佳子、熊谷 明哉、岡田 健
2. 発表標題 二ホウ化アルミニウムの結晶成長と窒素還元反応評価
3. 学会等名 第84回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 武田 光流、岩本 直也、本田 光裕、種村 眞幸、山下 一郎、小宮 敦樹、岡田 健
2. 発表標題 グラフェンと液体流動の相界面における起電力計測
3. 学会等名 第71回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 岡田健
2. 発表標題 水の流れがつくるグラフェンの電気伝導
3. 学会等名 第136回黒鉛化合物研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuki Nashimoto, Yoshiko Horiguchi, Akichika Kumatani, and Takeru Okada
2. 発表標題 Comparative Study on Formation of Boride Thin Films Deposited by Co-sputtering with Molybdenum
3. 学会等名 75th Annual Gaseous Electronics Conference / 11th International Conference on Reactive Plasmas (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sho Kakuta, Takeru Okada, and Katsuyoshi Washio
2. 発表標題 Investigation of optical property of tungsten-doped zinc oxide films deposited by sputtering
3. 学会等名 75th Annual Gaseous Electronics Conference / 11th International Conference on Reactive Plasmas (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Toru Takeya and Takeru Okada
2. 発表標題 Investigation of Material Properties of Fluorocarbon Films Deposited by Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition
3. 学会等名 75th Annual Gaseous Electronics Conference / 11th International Conference on Reactive Plasmas (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹谷 透、岡田 健
2. 発表標題 フルオロカーボン薄膜の結合状態と物性評価
3. 学会等名 2022年 第83回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 梨本 一樹、堀口 佳子、熊谷 明哉、岡田 健
2. 発表標題 コスバツタによるモリブデン添加ホウ化物堆積と窒素還元反応
3. 学会等名 2022年 第83回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takeru Okada
2. 発表標題 Bonding state selective doping of graphene and its application
3. 学会等名 Material Research Meeting 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takeru Okada
2. 発表標題 Energy harvesting application of water/graphene interface by elecctrokinetic phenomenon
3. 学会等名 International Conference on PROCESSING & MANUFACTURING OF ADVANCED MATERIALS -Processing, Fabrication, Properties, Applications- (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡田健
2. 発表標題 グラフェン上を流れる水を利用したエネルギー創出
3. 学会等名 D2TスペシャルセミナーONLINE (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 発電素子、発電装置	発明者 岡田健、小宮敦樹	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2024-26913	出願年 2024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
---------------------------	-----------------------	----

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