

令和 7 年 6 月 1 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2022～2024

課題番号：22K19059

研究課題名（和文）Printed Organic Laserへの挑戦

研究課題名（英文）Challenge to Printed Organic Laser

研究代表者

竹延 大志（TAKENOBU, Taishi）

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：70343035

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、有機材料の特性を活かした塗布型レーザー素子の実現を目的とし、電気化学発光セル（LEC）を基盤とした発光素子の開発に取り組んだ。有機高分子に加え、遷移金属ダイカルコゲナイド（TMD）単層膜を導入し、電解質の最適化やパルス電圧印加により、1 MA/cm²を超える高電流密度の印加を達成した。これは、電流励起による反転分布の形成に向けた重要な進展である。レーザー発振には至らなかったものの、材料探索、素子構造設計、駆動条件の検討を通じて、塗布型レーザー素子実現に向けた基盤を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、次世代のレーザー素子の実現を目指し、有機材料や遷移金属ダイカルコゲナイドと呼ばれる原子1層の超薄膜材料を用いて、高性能な発光素子の開発に取り組みました。特に、電解質の最適化とパルス電圧を組み合わせることで、毎平方センチメートルあたり100万アンペアを超える高電流を安定して印加する技術を確立しました。これは様々な材料を用いた「電流励起レーザー」の実現に向けた重要な成果です。今後は、従来の材料が限定されたレーザー装置に代わる低コストかつ柔軟な光源技術として、医療診断、次世代通信、環境センシングなど多様な分野への応用が期待されます。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to realize solution-processed laser devices by leveraging the unique properties of organic materials, focusing on the development of light-emitting devices based on light-emitting electrochemical cells (LECs). In addition to organic polymers, monolayer transition metal dichalcogenides (TMDs) were incorporated, and optimization of electrolytes combined with pulsed voltage application enabled the injection of high current densities exceeding 1 MA/cm². This represents a significant step toward achieving population inversion under electrical excitation. Although laser emission was not attained, foundational technologies, including material exploration, device architecture design, and driving condition optimization, were established to support the future realization of printable laser devices.

研究分野：デバイス物理

キーワード：レーザー 電気化学

1. 研究開始当初の背景

近年、有機エレクトロニクスは急速に発展しており、特に有機 EL (エレクトロルミネッセンス) 素子や有機トランジスタは、フレキシブルディスプレイ、ウェアラブルデバイス、環境センサなど、多様な応用を実現する基盤技術として注目を集めている。有機材料の最大の特長は、その柔軟性や軽量性に加え、溶液プロセスを用いた低温・低コスト製造が可能である点にある。真空蒸着を必要とせず、印刷技術により大面積・大量生産が可能であることは、次世代エレクトロニクスにおける大きな利点である。

このような背景のもと、有機材料による発光素子の開発は極めて活発に行われてきたが、電流注入によるレーザー発振 (電流励起レーザー) の実現に関しては、依然として高い技術的障壁が存在している。有機材料は一般に励起子束縛エネルギーが大きく、励起子寿命も短いため、反転分布の形成が困難であり、誘導放出による利得増幅が得られにくいという根本的な制約を持っている。さらに、有機材料に大電流を注入すると、ジュール加熱や化学分解、トリプレット励起子やポーラロンの生成といった問題が顕在化し、これが発振動作の妨げとなっている。

これまでに報告されている有機レーザーの多くは、光励起により利得を得る方式であり、電流注入による発振例は非常に限定的である。特に、世界初の電流励起型有機レーザー発振が報告されたのは 2019 年であり (Sandanayaka ら)、それも多層構造の蒸着素子を低温下で動作させるという特殊な条件下であった。これは技術的ブレイクスルーではあるが、実用化を視野に入れた量産プロセスとはかけ離れた方法であり、有機材料が本来持つ簡便性や柔軟性は十分に活かされていない。

一方で、有機材料の持つ優れた加工性・構造自由度を活かすには、やはり塗布型・印刷型によるレーザー素子の実現が鍵となる。塗布型のレーザー素子が実現できれば、真空装置を用いずに製造可能であり、基板の制約から解放され、フレキシブルかつ安価なレーザー光源の開発が可能となる。これは、医療用センサや生体内デバイス、ウェアラブル光通信などの分野において大きな波及効果を持つと考えられる。

さらに、近年新たに注目されているのが、遷移金属ダイカルコゲナイド (Transition Metal Dichalcogenide: TMD) と呼ばれる二次元材料である。MoS₂、WS₂、WSe₂などに代表される TMD 単層膜は、直接遷移型のバンド構造を有し、室温での明確な発光特性を示す。さらに、原子 1 層という極薄の構造にも関わらず、励起子束縛エネルギーが大きく、明るく安定な発光を示すことから、ナノスケールの新しい発光材料として世界的に研究が進められている。これらは高い光利得を得る可能性を秘めており、有機材料とのハイブリッド化によって全く新しい素子アーキテクチャの可能性を拓く。

このような背景のもと、本研究では、有機高分子材料と TMD 単層膜の両者を対象とし、それらに電解質を組み合わせた塗布型発光素子の開発に取り組んだ。特に、pn 接合を自発的に形成する電気化学発光セル (LEC) 構造に着目し、共振器構造の導入やパルス電圧による高電流密度駆動を組み合わせることで、反転分布を形成し、最終的には塗布型レーザー素子の実現を目指したものである。

2. 研究の目的

本研究の最終的な目的は、従来の蒸着法や単結晶材料に依存しない、塗布・印刷プロセスにより作製可能な電流励起型レーザー素子の実現である。これにより、製造の低コスト化、省エネルギー化、柔軟基板対応など、既存のレーザー技術では困難であった新たな応用領域の開拓が可能となる。特に、電解質を活用した電気化学発光セル (Light-Emitting Electrochemical Cell: LEC) 構造は、素子構造がシンプルである一方、pn 接合を自発的に形成しうるため、レーザー動作に必要な電流注入・反転分布の形成を、きわめてコンパクトな構造で実現できる可能性がある。

具体的には、(i) 発光性高分子や TMD 単層膜など新規材料の活用、(ii) 分布帰還型 (DFB) や誘電体多層膜型 (DBR) 共振器構造との融合、(iii) 1 MA/cm² 以上の高電流密度印加技術の確立、という三本の柱を据えて研究を展開した。これらを通じて、電流励起レーザーの実現に必要な「反転分布」および「光共振構造内での利得の増幅」を、溶液プロセスのみで実現することを目指した。

3. 研究の方法

本研究は、「塗布型レーザー素子」の実現に向けて、有機高分子および遷移金属ダイカルコゲナイド (TMD) 単層膜という異なる性質を持つ発光材料を対象に、電解質と組み合わせた発光素子の構築と評価を行った。研究の展開は大きく 3 つの段階に分けて構成され、それぞれが相互に連携しながら進化した。

第一段階では、発光材料と電解質の組み合わせにより構成される LEC (Light-Emitting Electrochemical Cell) 構造の最適化を行った。LEC は、発光性高分子または TMD 単層膜と電解質を混合し、金属電極間に塗布するだけで作製できるシンプルな構造を特徴とする。印加電圧によりイオンが移動し、電極界面で p 型および n 型ドーピングが自発的に進行し、内部に pn 接合

が形成される。この過程は、レーザー素子に必要なキャリア注入と再結合の場を提供する上で極めて有利であり、さらに溶液プロセスに完全に適合することから、本研究の中核となる技術と位置付けた。

LEC の試作に際しては、発光性高分子とさまざまなイオン液体または固体電解質を組み合わせ、塗布条件、乾燥温度、濃度比などを系統的に変化させて最適条件を探索した。また、発光波長やキャリア移動度、イオン伝導性の違いがデバイス動作に与える影響についても詳細に評価した。一方、TMD 材料については、CVD 法で合成した単層 MoS_2 や WSe_2 を機械的転写法により基板上に導入し、その上に電解質層を積層する手法を採用した。

第二段階では、レーザー動作の要件である「共振器構造の導入」に取り組んだ。まず、DFB (Distributed Feedback) 型構造として、基板上に高精度の回折格子を形成し、その上に LEC 層を塗布することで、発光層が周期構造と一体化した素子を作製した。これにより、発光スペクトルの狭帯域化や発振モードの制御が可能となり、レーザー発振に近いスペクトル特性を得ることができた。

さらに、DBR (Distributed Bragg Reflector) 構造では、 SiO_2 と TiO_2 などの高・低屈折率層を交互に積層した多層膜をミラーとして用い、垂直共振器 (VCSEL) 型素子の作製も試みた。また、球状 SiO_2 微粒子を用いたランダム共振やウィスパーリングギャラリーモード共振の導入も行い、異なる共振機構の比較評価を実施した。

第三段階では、高電流密度印加を可能にする駆動手法の確立に取り組んだ。有機材料や TMD 材料は一般に絶縁性が高く、直流印加では高電流が流れず、かつ長時間の電流印加により劣化や発熱が顕著となる。これを解決するために、本研究ではパルス電圧を用いることで、瞬間的に 1 MA/cm^2 以上の電流密度を注入しつつ、素子の損傷を抑える方法を確立した。パルス条件 (立ち上がり時間、パルス幅、繰返し周波数など) は、高速オシロスコープと電流プローブによりリアルタイムでモニターしながら最適化を行った。

また、イオンの移動を抑制し酸化還元反応を制御するために、室温で固体状態を保つ高融点イオン液体や、冷却によって凍結状態にする方法も導入した。特に低温環境下 ($2 \text{ K} \sim 200 \text{ K}$) での測定は、イオン移動がほぼ凍結されるため、電子的な注入・発光特性の本質を評価する上で極めて有効であった。冷却装置 (光学測定用冷凍機) を用いて、パルス印加下での温度変化、応答速度、発光効率の変化を定量的に測定した。

以上のように、本研究では「材料の選定・最適化」「共振器構造の導入」「駆動手法の高度化」の三点において、段階的かつ体系的に研究を展開し、塗布型レーザー素子実現に必要な要素技術を積み重ねていった。これらの基盤的アプローチの蓄積により、次節で述べるような重要な成果が得られた。

4. 研究成果

本研究では、塗布・印刷プロセスによるレーザー素子の実現を目指し、有機高分子材料および原子層材料を対象とした電解質ドーピング技術の最適化、共振器構造の導入、高電流密度印加手法の確立に取り組んだ。その結果、以下のような成果を得ることができた。

まず、有機材料を用いた LEC 構造においては、発光性高分子と電解質の混合膜によって自発的に pn 接合が形成されることを確認し、これをトランジスタ構造に展開してゼーバック効果の測定にも成功した。温度や磁場変化に応じた電気特性の変化も詳細に測定し、ドーピング機構の定量的理解が進んだ。

次に、原子層材料に対しても LEC 構造を適用し、従来の有機材料に加えて新たな発光媒体としての可能性を示した。特に、TMD 単層膜と室温で固体となる電解質を組み合わせ、パルス電圧を印加することで、 1 MA/cm^2 を大きく超える電流密度の注入を世界で初めて実現した。これは、レーザー発振に必要な反転分布の形成条件を満たす初めての成果である。

さらに、2022 年度には DFB 構造導入のための回折格子の作製と、その上での LEC 構造の形成に成功し、明確な発光スペクトルを得ることができた。2023 年度には、微小 SiO_2 球による三次元共振器構造を導入し、原子層材料との組み合わせにより高効率な共振発光を観測した。また、電解質凍結を活用した低温駆動によって、酸化還元反応を抑制しつつ安定した大電流駆動を可能とした。

最終年度である 2024 年度には、パルス印加と特殊な電解質を組み合わせることで、高電流密度を安定して達成可能な LEC デバイスを実現した。これにより、レーザー素子の基盤技術として不可欠な要素、すなわち高利得、高安定性、高速駆動、共振構造との整合性の多くを網羅的に確立することができた。

以上の結果から、本研究はレーザー発振そのものには至らなかったものの、塗布型レーザー実現に向けた材料、構造、駆動法の複合的基盤を構築した点において、非常に大きな学術的意義を有する。また、今後の医療・通信・センシングなど応用展開の基盤となる技術的土台を整える成果を得たと考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

| | |
|--|---------------------------------|
| 1. 著者名 Tanaka Yuki, Ito Shun ichiro, Liu Junfeng, Ou Hao, Tanaka Hisaaki, Pu Jiang, Ikeno Atsuhiko, Hatakeyama Takuji, Takenobu Taishi | 4. 巻 11 |
| 2. 論文標題 Solution Processable Ultrapure Blue Light Emitting Electrochemical Cells | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Advanced Optical Materials | 6. 最初と最後の頁 2301119-1-7 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.202301119 | 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 Pu Jiang, Ou Hao, Yamada Tomoyuki, Wada Naoki, Naito Hibiki, Ogura Hiroto, Endo Takahiko, Liu Zheng, Irisawa Toshifumi, Yanagi Kazuhiro, Nakanishi Yusuke, Gao Yanlin, Maruyama Mina, Okada Susumu, Shinokita Keisuke, Matsuda Kazunari, Miyata Yasumitsu, Takenobu Taishi | 4. 巻 34 |
| 2. 論文標題 Continuous Color Tunable Light Emitting Devices Based on Compositionally Graded Monolayer Transition Metal Dichalcogenide Alloys | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Advanced Materials | 6. 最初と最後の頁 2203250 ~ 2203250 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.202203250 | 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 Ou Hao, Oi Koshi, Usami Rei, Endo Takahiko, Miyata Yasumitsu, Pu Jiang, Takenobu Taishi | 4. 巻 62 |
| 2. 論文標題 Ion-gel-based light-emitting devices using transition metal dichalcogenides and hexagonal boron nitride heterostructures | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics | 6. 最初と最後の頁 SC1026 ~ SC1026 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/acaeb2 | 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 Natsui Ryusuke, Shimizu Hiroshi, Nakanishi Yusuke, Liu Zheng, Shimamura Akito, Hung Nguyen Tuan, Lin Yung-Chang, Endo Takahiko, Pu Jiang, Kikuchi Iori, Takenobu Taishi, Okada Susumu, Suenaga Kazu, Saito Riichiro, Miyata Yasumitsu | 4. 巻 17 |
| 2. 論文標題 Vapor-Phase Indium Intercalation in van der Waals Nanofibers of Atomically Thin W6Te6 Wires | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 ACS Nano | 6. 最初と最後の頁 5561 ~ 5569 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.2c10997 | 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24件（うち招待講演 8件 / うち国際学会 15件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 Taishi Takenobu |
| 2. 発表標題 Unsolved problem in organic polymer materials |
| 3. 学会等名 熱電材料の高性能化はどこまで行くか(東京大学 物性研究所 短期研究会) (招待講演) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Taishi Takenobu |
| 2. 発表標題 Functional devices based on transition metal dichalcogenides and hexagonal boron nitride heterostructures |
| 3. 学会等名 15th Global Plasma Forum (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hao Ou, Koshi Oi, Rei Usami, Takahiko Endo, Keisuke Shinokita, Kazunari Matsuda, Yasumitsu Miyata, Jiang Pu, Taishi Takenobu |
| 2. 発表標題 Strain Modulation to Moir Superlattices in Two-Dimensional Material van der Waals Heterostructures |
| 3. 学会等名 65th FNTG symposium (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 田中 久暁、山床 凌太郎、伊藤 駿一郎、竹延 大志 |
| 2. 発表標題 ドナー・アクセプタ型高分子DPPT-TTドーブ膜の伝導特性 |
| 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 Hao Ou, Koshi Oi, Rei Usami, Takahiko Endo, Keisuke Shinokita, Kazunari Matsuda, Yasumitsu Miyata, Jiang Pu, Taishi Takenobu |
| 2. 発表標題 Strain Modulation to Moir Superlattices in Transition Metal Dichalcogenide van der Waals Heterostructures |
| 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 伊藤 駿一郎、上治 寛、蓬田 陽平、竹延 大志、柳 和宏 |
| 2. 発表標題 電気化学ドーピングによる導電性高分子の熱流制御 |
| 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 宇佐美 怜、遠藤 尚彦、宮田 耕充、蒲 江、竹延 大志 |
| 2. 発表標題 ファンデルワールスヘテロ構造への電気二重層キャリアドーピング |
| 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 伊藤 駿一郎、上治 寛、蓬田 陽平、竹延 大志、柳 和宏 |
| 2. 発表標題 電気化学ドーピングによる導電性高分子の熱流制御() |
| 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 石黒圭祐, 伊東裕, 竹延大志, 上田顕, 藤野智子, 森初果 |
| 2. 発表標題 -H3(Cat-EDT-TTF)2に対する電解質ゲート効果の探索 |
| 3. 学会等名 日本物理学会第78回年次大会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Shuta Hori, Jiang Pu, Ichiro Oya, Ryujiro Sumiya, Koshi Oi, Masayuki Suda, Shinji Miwa, Masashi Shiraishi, Taishi Takenobu |
| 2. 発表標題 Giant effective magnetic field in MoS2 monolayer induced by chiral ionic liquid |
| 3. 学会等名 66th FNTG symposium (国際学会) |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 後藤 拓, 伊藤 駿一郎, 田中 久暁, 尾坂 格, 竹延 大志 |
| 2. 発表標題 導電性高分子PTzBT-14HD電気化学ドーブ膜の伝導特性 |
| 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 Taishi Takenobu |
| 2. 発表標題 Functionalization of materials by strain and doping |
| 3. 学会等名 Advanced Electronic and Optoelectronic Materials (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Taishi Takenobu |
| 2. 発表標題 Strain engineering in atomically thin materials |
| 3. 学会等名 MINI WORKSHOP ON FUNCTIONAL MATERIALS SCIENCE (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Shun- ichiro Ito, Kaito Kanahashi, Hisaaki Tanaka, Binjie Chen, Hiromichi Ohta, Taishi Takenobu |
| 2. 発表標題 Thermoelectric Properties Temperature Dependence of Electrical Conductivity and Seebeck Coefficient in Electrochemically Electrochemically-Doped Conducting Polymer PBTTT |
| 3. 学会等名 2023 International Conference on Solid State Devices and Materials (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Taishi Takenobu |
| 2. 発表標題 Circularly Polarized Electroluminescence Induced by Strain Effect |
| 3. 学会等名 ISPSA 2022(The 20th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Taishi Takenobu |
| 2. 発表標題 Functional light-emitting devices based on heterostructures of 2D materials |
| 3. 学会等名 RPGR2022(The 13th Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Taishi Takenobu |
| 2. 発表標題 Thermoelectric Properties of van der Waals Materials |
| 3. 学会等名 ICFMS2022(6th International Conference on Functional Materials Science 2022) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 竹延 大志 |
| 2. 発表標題 有機高分子材料における階層性と金属伝導 |
| 3. 学会等名 2023年第70回応用物理学会 春季学術講演会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Jiang Pu, Naoki Wada, Yuhei Takaguchi, Wenjin Zhang, Zheng Liu, Takahiko Endo, Toshifumi Irisawa, Kazunari Matsuda, Yuhei Miyauchi, Yasumitsu Miyata, Taishi Takenobu |
| 2. 発表標題 Efficient and Chiral Electroluminescence from In-Plane Heterostructure of Transition Metal Dichalcogenide Monolayers |
| 3. 学会等名 SSDM2022(2022 International Conference on Solid State Devices and Materials) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hao Ou, Jiang Pu, Tomoyuki Yamada, Naoki Wada, Hibiki Naito, Zheng Liu, Toshifumi Irisawa, Yusuke Nakanishi, Yasumitsu Miyata, Taishi Takenobu |
| 2. 発表標題 Continuous Color-Tunable Light-Emitting Devices Based on Compositionally Graded Monolayer Transition Metal Dichalcogenide Alloys |
| 3. 学会等名 SSDM2022(2022 International Conference on Solid State Devices and Materials) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Hisaaki Tanaka, Ryotaro Yamatoko, Shun-ichiro Ito, Taishi Takenobu |
| 2. 発表標題 Signature of carrier delocalization in electrochemically doped conducting polymer DPPT-TT with electrolyte-gated transistor |
| 3. 学会等名 SSDM 2022 (2022 International Conference on Solid State Devices and Materials) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Rei Usami, Koshi Oi, Motoki Matsuno, Takahiko Endo, Yasumitsu Miyata, Jiang Pu, Taishi Takenobu |
| 2. 発表標題 Electric double layer doping in WSe ₂ /WS ₂ van der Waals heterostructure |
| 3. 学会等名 MNC2022(35th International Microprocesses and Nanotechnology Conference) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Jiang Pu, Naoki Wada, Yuhei Takaguchi, Wenjin Zhang, Takahiko Endo, Zheng Liu, Toshifumi Irisawa, Kazunari Matsuda, Yuhei Miyauchi, Yasumitsu Miyata, Taishi Takenobu |
| 2. 発表標題 Efficient and Chiral Electroluminescence from In-Plane Heterostructure of Transition Metal Dichalcogenide Monolayers |
| 3. 学会等名 RPGR2022(The 13th Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Rei Usami, Koshi Oi, Motoki Matsuno, Takahiko Endo, Yasumitsu Miyata, Jiang Pu, Taishi Takenobu |
| 2. 発表標題 EL Emission in van der Waals Heterostructures |
| 3. 学会等名 RPGR2022(The 13th Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

〔図書〕 計1件

| | |
|--|-----------------|
| 1. 著者名 竹延大志 | 4. 発行年 2023年 |
| 2. 出版社 シーエムシー出版 | 5. 総ページ数 326 |
| 3. 書名 遷移金属ダイカルコゲナイドの基礎と最新動向（電気二重層トランジスタと熱電デバイス） | |

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|---|
| 無機ナノファイバーに金属原子を挿入する技術を開発 https://www.nagoya-u.ac.jp/researchinfo/result/2023/03/post-467.html |
|---|

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|