

令和 4 年 6 月 1 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15383

研究課題名(和文)原子層遷移金属ダイカルコゲナイドによる室温円偏光レーザー素子の創出

研究課題名(英文) Room-temperature chiral light sources and lasers of atomically thin transition metal dichalcogenides

研究代表者

蒲江(Pu, Jiang)

名古屋大学・工学研究科・助教

研究者番号：00805765

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、空間反転対称性が破れた原子層材料、遷移金属ダイカルコゲナイド(TMDC)、が有する特異な電子構造を利用することで、室温において円偏光発光の電氣的制御法を確立し、光共振器の導入を行うことで最終的には円偏光発光素子及びレーザー素子の作製を目的とした。これに対し、まず、TMDCの歪み効果による対称性変調を活かした室温円偏光の電氣的制御法を確立した。次に、この手法を基に、TMDCのヘテロ接合の界面歪みを利用した円偏光発光素子の作製に成功した。最後、様々な光共振器を導入した発光素子を作製することで、共振器モードや励起子ポラリトンによる発光を観測し、高機能な発光素子を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、円偏光光源・レーザー素子に向けた既存手法とは異なる、材料物性・素子構造・機能化によりアプローチしている。特に、遷移金属ダイカルコゲナイド(TMDC)の内因的な自由度であるバレーを発光機能として活かすアイデアは、本材料の物理的特徴を最大限活用した独創的な応用例といえる。これに加え、ヘテロ構造や共振器導入による室温円偏光発光素子及び高機能発光素子の実現は、世界的にみても新規性の高い研究成果であり、基礎的な原理確認に留まっていたTMDCの光物性を、円偏光光源という工学応用展開へ押し上げると期待する。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to establish the control method of chiral light at room temperature by utilizing the unique electronic structures of atomically thin transition metal dichalcogenides (TMDCs), which can finally yield room-temperature chiral light sources and lasers. To achieve this goal, first, we focused on the strain-induced crystal symmetry breaking, which results in the electrical generation and control of chiral EL. Next, we realized room-temperature chiral light-emitting devices using in-plane heterostructures. Third, by introducing various cavities, we achieved functional TMDC light-emitting devices that can generate cavity EL and exciton-polariton light emission.

研究分野：ナノ構造物理

キーワード：遷移金属ダイカルコゲナイド 円偏光発光 電解質 発光デバイス バレー分極

1. 研究開始当初の背景

今日の情報社会は、光通信技術により下支えされているが、近年のインターネットの爆発的普及により、その処理容量や安全性は物理的限界に達しつつある。これを打破する新たな通信技術として、光子と電子の量子状態を変換する光量子通信が注目を集めている。具体的には、光子の内部情報である偏光と電子のスピンを変換することで情報転写・暗号化を行う研究が活発に行われている。その中核を担う物理的インタフェースとして、コヒーレントな円偏光を選択的に制御する光源が必要不可欠である。にもかかわらず、電気的に円偏光を生成・切り替え可能な発光素子及びレーザー素子は未だ実現されていない。その結果、現状における光量子通信の光源技術は既存の半導体レーザーに、光学素子をマニュアルで配置・操作せざるを得ず、処理容量・速度・安全性に関する光量子通信の長所を根本的に制限する課題となっている。また、実用化に向けては素子の小型化、操作性、寿命、コスト、消費電力、等あらゆる面において極めて不利となる。ゆえに、円偏光発光・レーザー素子の創出は、光量子通信の将来発展を昇華する至上命題といえる。電気的に円偏光を制御する素子は現状、二つの手法により研究が進められている。一つ目は、半導体量子井戸へのスピン注入により円偏光変換が行われる。一般に、この手法では、磁場印加や強磁性電極が必須であり、かつ最適なスピン輸送構造が必要不可欠となる。これらを同時に達成した上で、レーザー発振は極めて困難である。二つ目は、キラルな有機発光材料であるが、材料のキャリア輸送特性が円偏光発光素子及びレーザー素子作製そのものを大きく制限している。

2. 研究の目的

そこで本研究の目標は、次世代光量子通信を担う円偏光光源の創出である。具体的には、空間反転対称性が破れた新奇原子層材料、遷移金属ダイカルコゲナイド (TMDC)、が有する特異な電子構造 (バレー分極) を利用することで、室温において円偏光発光の電気的制御法を確立する。さらに、光共振器の導入を行うことで、最終的には室温円偏光レーザー素子の作製を目指す。本研究を通して、円偏光光源創出に向けた物性・素子・機能の統一的な基盤技術を確立する。

3. 研究の方法

本研究では、TMDC と電解質を用いた発光素子の組み合わせを基軸として、(I) 歪みによる室温円偏光発光の制御技術確立、(II) TMDC ヘテロ接合を用いた室温円偏光発光制御、(III) TMDC 発光素子への微小光共振器導入、の三項目に挙げる物性制御と素子技術を構築することで、電気制御可能な室温円偏光発光素子を作製し、最終的には共振器導入による超高機能円偏光発光素子の実現を目指す。

4. 研究成果

具体的な研究成果については、以下の項目ごとに示す。

(I) 歪みによる TMDC 発光素子の室温円偏光発光の生成と制御

単層 TMDC 発光素子において、歪みを電流に垂直に導入することで誘起される有効磁場により、室温において円偏光制御可能な発光素子作製を行った。具体的には、化学合成した高品質な単結晶単層膜を用いて、電解質発光素子を作製し、電流励起発光の円偏光分解発光分光・イメージング測定行って評価した。その結果、TMDC の特殊な電子構造 (バレー分極) を反映した室温円偏光発光を観測した (図 1)。特に、温度依存性や空間分解を詳細に調べたところ、TMDC 結晶内の局所歪みが円偏光発光制御に寄与していることを見出した。理論による検証を通して、歪みによる結晶対称性 (三回対称性) の破れに起因した電子構造変化が、室温円偏光の生成に寄与していることが明らかになった。この知見を基に、歪みを活かした円偏光発光素子を作製するために、化学成長した TMDC 単層膜をプラスチック基板上に転写し、一軸性歪みを印加しながら円偏光特性評価を行った。その結果、意図的に歪みを印可・制御した発光素子では電気的に円偏光発光の二色性を室温で切り替えることに成功した。また、歪み方向や強度を最適化することで、100%室温円偏光が制御可能な発光素子構造についても、シミュレーションを行い、様々な単層 TMDC において円偏光発光デバイス作製の技術基盤を構築した。この TMDC の歪み効果を利用した室温円偏光発光制御及びその

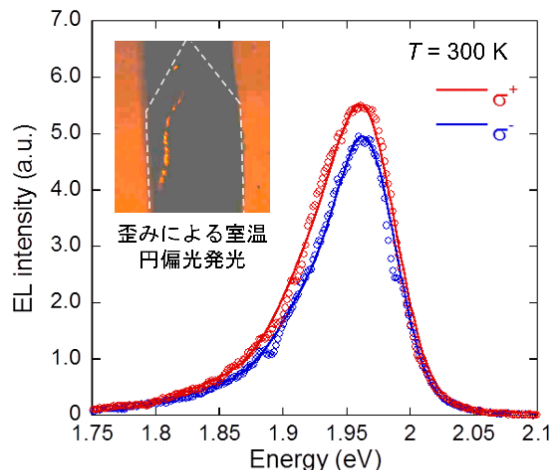


図1 単層TMDCを用いた室温円偏光発光素子

メカニズム解明については、「Advanced Materials」誌に掲載され、多様な TMDC 発光デバイスの作製・評価に関する成果は「ACS Nano」誌に掲載された。

(II) TMDC 面内ヘテロ接合を用いた室温円偏光発光素子

TMDC によるヘテロ構造は異なる電子構造を精密制御でき、新たな光機能の創出が可能である。特に、面内ヘテロ接合界面においては、格子定数不整合による大きな歪み効果が生じると知られており、電子構造変化や光学特性の変調が期待できる。これを調べるために、ここでは、化学合成により高品質なヘテロ接合結晶を様々な材料の組み合わせで作製し、電解質による発光素子構造と組み合わせることで、接合界面における発光特性の解明を行った。SiO₂ 基板上に化学気相成長した WS₂/WSe₂, MoS₂/WSe₂, WS₂/MoS₂, MoS₂/MoSe₂, WS₂/MoSe₂, WSe₂/MoSe₂ の計 6 種類の単層ヘテロ接合結晶を準備した。これらの単層膜上に二端子電極を形成し、イオン液体をゲル化したイオンゲルをスピコート成膜した。作製した素子に電圧を印加するのみで、ヘテロ接合を跨いで p-i-n 接合が形成され(図 2 上)、全ての素子から界面において EL が観測された(図 2 下)。特に、WS₂/WSe₂ ヘテロ接合界面から得られた電流励起発光 (EL) スペクトルの円偏光分解を行った結果、室温において 10% 程度の EL 分極も観測された。この起源を探るため、ヘテロ界面の詳細な光励起発光 (PL) 評価及び走査プローブ顕微鏡観察を行った。その結果、接合界面の歪み効果が室温円偏光発光に寄与していることが明らかになった。これは上述 (I) の歪みによる円偏光発光制御に基づく結果であり、ヘテロ接合の界面歪みを活かした円偏光発光制御を示している。本成果は現在論文投稿中である。

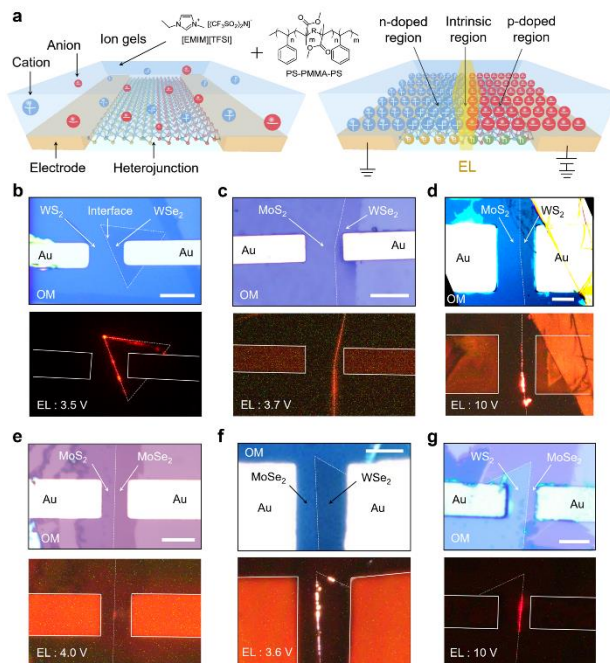


図2 様々な面内ヘテロ接合を用いた発光素子

(III) 光共振器導入による高機能 TMDC 発光素子

TMDC 単層膜は強い量子閉じ込め効果に起因した室温安定な励起子を形成し、特に微小光共振器との組み合わせにより興味深い光物性や機能性デバイスが実現できる。具体的には、新たな量子状態として注目される光共振器内の光と励起子の結合状態である励起子ポラリトンが TMDC において室温観測され、将来的には超低閾値のレーザー発振も期待される。ここでは、電解質を用いたシンプルな発光素子構造を微小共振器と組み合わせた共振器発光素子及び励起子ポラリトン発光素子の作製を行った。より具体的には、絶縁性高分子とイオン液体の混合物を共振器媒質および電解質とし、分布ブラッグ反射鏡 (DBR ミラー) を用いたファブリ・ペロー型共振器と一体化させ、TMDC の EL 発光に起因した共振器モード及び励起子ポラリトンの評価を行った。化学気相成長により SiO₂ 基板上に合成した WS₂ 単層膜を DBR ミラー上に転写し、二端子の金電極を蒸着した。その上に、PMMA とイオン液体の混合溶液をスピコートし、最後にハーフミラーとして金属薄膜を蒸着した(図 3 上)。まず、PL 評価により、共振器モードと励起子ポラリトンに由来する分散関係を観測し、共振器としての機能を確認した(図 3 中)。さらに、二端子電極間に電圧を印加し、電解質中のイオン変位による p-i-n 接合の形成と EL 発光も観測された(図 3 下)。以上の結果から、TMDC 共振器発光素子の作製に成功し、励起子ポラリトンを制御可能な高機能素子も実現可能となった。加えて、様々な共振器構造(微小球や分布帰還形共振器)を導入した発光素子においても共振器 EL の観測に成功した。これらの素子に高電流密度注入を行うことで、今後レーザー発振、及び上述の (I) と (II) を組み合わせることで、高機能な円偏光光源の創出が期待できる。

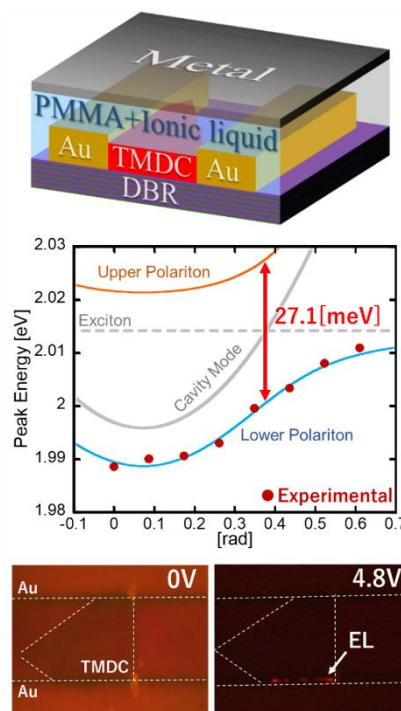


図3 共振器導入したTMDC発光素子

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 5件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Hao Ou, Tomoyuki Yamada, Masaya Mitamura, Yusuke Edagawa, Tatsuma D. Matsuda, Kazuhiro Yanagi, Chang-Hsiao Chen, Lain-Jong Li, Taishi Takenobu, Jiang Pu	4. 巻 Just accepted
2. 論文標題 Electric-field-induced metal-insulator transition and quantum transport in large-area polycrystalline MoS ₂ monolayers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 Just accepted
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 該当する

1. 著者名 Hiroshi Shimizu, Jiang Pu, Zheng Liu, Hong En Lim, Mina Maruyama, Yusuke Nakanishi, Shunichiro Ito, Iori Kikuchi, Takahiko Endo, Kazuhiro Yanagi, Yugo Oshima, Susumu Okada, Taishi Takenobu, Yasumitsu Miyata	4. 巻 -
2. 論文標題 Formation of a Two-Dimensional Electronic System in Laterally Assembled WTe Nanowires	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	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） 10.1021/acsnm.2c00377	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 Hong En Lim, Zheng Liu, Juan Kim, Jiang Pu, Hiroshi Shimizu, Takahiko Endo, Yusuke Nakanishi, Taishi Takenobu, Yasumitsu Miyata	4. 巻 5
2. 論文標題 Nanowire-to-Nanoribbon Conversion in Transition-Metal Chalcogenides: Implications for One-Dimensional Electronics and Optoelectronics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 1775-1782
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsnm.1c03160	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 Jiang Pu, Taishi Takenobu	4. 巻 60
2. 論文標題 Recent Advances in Light-Emitting Electrochemical Cells with Low-Dimensional Quantum Materials	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Imaging Society of Japan	6. 最初と最後の頁 656-672
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11370/isj.60.656	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 Jiang Pu, Wenjin Zhang, Hirofumi Matsuoka, Yu Kobayashi, Yuhei Takaguchi, Yasumitsu Miyata, Kazunari Matsuda, Yuhei Miyauchi, Taishi Takenobu	4. 巻 33
2. 論文標題 Room-Temperature Chiral Light-Emitting Diode Based on Strained Monolayer Semiconductors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 2100601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.202100601	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 Hao Ou, Hirofumi Matsuoka, Juliette Tempia, Tomoyuki Yamada, Togo Takahashi, Koshi Oi, Yuhei Takaguchi, Takahiko Endo, Yasumitsu Miyata, Chang-Hsiao Chen, Lain-Jong Li, Jiang Pu, Taishi Takenobu	4. 巻 15
2. 論文標題 Spatial Control of Dynamic p-i-n Junctions in Transition Metal Dichalcogenide Light-Emitting Devices	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 12911-12921
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.1c01242	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 Yoshitaka Kawasugi, Hikaru Masuda, Jiang Pu, Taishi Takenobu, Hiroshi M. Yamamoto, Reizo Kato, Naoya Tajima	4. 巻 11
2. 論文標題 Electric Double Layer Doping of Charge-Ordered Insulators -(BEDT-TTF)2I3 and -(BETS)2I3	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 791
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst11070791	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 Hirotto Ogura, Masahiko Kaneda, Yusuke Nakanishi, Yoshiyuki Nonoguchi, Jiang Pu, Mari Ohfuchi, Toshifumi Irisawa, Hong En Lim, Takahiko Endo, Kazuhiro Yanagi, Taishi Takenobu, Yasumitsu Miyata	4. 巻 13
2. 論文標題 Air-stable and efficient electron doping of monolayer MoS2 by salt-crown ether treatment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 8784-8789
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1NR01279G	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 Takahashi Togo, Ando Chisato, Saito Mitsufumi, Miyata Yasumitsu, Nakanishi Yusuke, Pu Jiang, Takenobu Taishi	4. 巻 5
2. 論文標題 Three-dimensional networks of superconducting NbSe2 flakes with nearly isotropic large upper critical field	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 npj 2D Materials and Applications	6. 最初と最後の頁 31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41699-021-00210-7	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 Ichinose Yota, Matsubara Manaho, Yomogida Yohei, Yoshida Akari, Ueji Kan, Kanahashi Kaito, Pu Jiang, Takenobu Taishi, Yamamoto Takahiro, Yanagi Kazuhiro	4. 巻 5
2. 論文標題 One-dimensionality of thermoelectric properties of semiconducting nanomaterials	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 25404
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.5.025404	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 Lim Hong En, Nakanishi Yusuke, Liu Zheng, Pu Jiang, Maruyama Mina, Endo Takahiko, Ando Chisato, Shimizu Hiroshi, Yanagi Kazuhiro, Okada Susumu, Takenobu Taishi, Miyata Yasumitsu	4. 巻 21
2. 論文標題 Wafer-Scale Growth of One-Dimensional Transition-Metal Telluride Nanowires	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 243 ~ 249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.0c03456	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 Tanaka Yuki, Pu Jiang, Takenobu Taishi	4. 巻 13
2. 論文標題 A versatile structure of light-emitting electrochemical cells for printed electronics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 084002 ~ 084002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/aba56c	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 Matsuki Keiichiro, Pu Jiang, Takenobu Taishi	4. 巻 30
2. 論文標題 Recent Progress on Light Emitting Electrochemical Cells with Nonpolymeric Materials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 1908641 ~ 1908641
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.201908641	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 Tu Chien-Liang, Lin Kuang-I, Pu Jiang, Chung Tsai-Fu, Hsiao Chien-Nan, Huang An-Ci, Yang Jer-Ren, Takenobu Taishi, Chen Chang-Hsiao	4. 巻 12
2. 論文標題 CVD growth of large-area InS atomic layers and device applications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 9366 ~ 9374
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0NR01104E	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 Kawasugi Yoshitaka, Seki Kazuhiro, Tajima Satoshi, Pu Jiang, Takenobu Taishi, Yunoki Seiji, Yamamoto Hiroshi M., Kato Reizo	4. 巻 5
2. 論文標題 Two-dimensional ground-state mapping of a Mott-Hubbard system in a flexible field-effect device	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eaav7282
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aav7282	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 Ito Hiroshi, Edagawa Yusuke, Pu Jiang, Akutsu Hiroki, Suda Masayuki, Yamamoto Hiroshi M., Kawasugi Yoshitaka, Haruki Rie, Kumai Reiji, Takenobu Taishi	4. 巻 13
2. 論文標題 Electrolyte Gating Induced Metal Like Conduction in Nonstoichiometric Organic Crystalline Semiconductors under Simultaneous Bandwidth Control	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 physica status solidi (RRL) ? Rapid Research Letters	6. 最初と最後の頁 1900162 ~ 1900162
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssr.201900162	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, Matsuki Keichiro, Chu Leiqiang, Kobayashi Yu, Sasaki Shogo, Miyata Yasumitsu, Eda Goki, Takenobu Taishi	4. 巻 13
2. 論文標題 Exciton Polarization and Renormalization Effect for Optical Modulation in Monolayer Semiconductors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 9218 ~ 9226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.9b03563	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 Kawasugi Yoshitaka, Seki Kazuhiro, Pu Jiang, Takenobu Taishi, Yunoki Seiji, Yamamoto Hiroshi M., Kato Reizo	4. 巻 100
2. 論文標題 Non-Fermi-liquid behavior and doping asymmetry in an organic Mott insulator interface	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 115141
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.115141	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 Kanahashi Kaito, Pu Jiang, Takenobu Taishi	4. 巻 10
2. 論文標題 2D Materials for Large Area Flexible Thermoelectric Devices	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Energy Materials	6. 最初と最後の頁 1902842 ~ 1902842
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aenm.201902842	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 Tu Chien-Liang, Lin Kuang-I, Pu Jiang, Chung Tsai-Fu, Hsiao Chien-Nan, Huang An-Ci, Yang Jer-Ren, Takenobu Taishi, Chen Chang-Hsiao	4. 巻 12
2. 論文標題 CVD growth of large-area InS atomic layers and device applications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 9366 ~ 9374
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0NR01104E	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

[学会発表] 計53件(うち招待講演 3件/うち国際学会 36件)

1. 発表者名 櫻糺大仁, 川楯義高, 蒲江, 竹延大志, 加藤礼三, 山本浩史, 田嶋尚也
2. 発表標題 量子スピン液体候補物質 -(BEDT-TTF) ₂ Cu ₂ (CN) ₃ に対するひずみ効果と電界効果
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryusuke Natsui, Hiroshi Shimizu, Zheng Liu, Iori Kikuchi, Jiang Pu, Taishi Takenobu, Hong En Lim, Takahiko Endo, Yusuke Nakanishi, Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Intercalation of group-XIII metals in crystalline bundles of WTe atomic wires
3. 学会等名 第62回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jiang Pu
2. 発表標題 Monolayer in-plane heterojunction light-emitting devices with tunable composition distribution
3. 学会等名 A3 The 9th International Workshop on 2D Materials(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hao Ou, Jaing Pu, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Electric-Field-Induced Metal-Insulator Transition and Quantum Transport in Large-Area Polycrystalline MoS ₂ Monolayers
3. 学会等名 A3 The 9th International Workshop on 2D Materials(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 蒲江
2. 発表標題 ゲル状電解質を用いた機能性発光デバイス
3. 学会等名 レーザー学会第 560 回研究会 「有機コヒーレントフォトンクス」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中 友規, 蒲江, 畠山 琢次, 竹延 大志
2. 発表標題 高色純度青色発光低分子 -DABNA を用いた電気化学発光セル
3. 学会等名 レーザー学会第 560 回研究会 「有機コヒーレントフォトンクス」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Tanaka, Jiang Pu, Takuji Hatakeyama, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Ultrapure-blue Light-emitting Electrochemical Cell Using -DABNA
3. 学会等名 MNC2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroto Ogura, Masahiko Kaneda, Yusuke Nakanishi, Yoshiyuki Nonoguchi, Jiang Pu, Mari Ohfuchi, Toshifumi Irisawa, Hong En Lim, Takahiko Endo, Kazuhiro Yanagi, Taishi Takenobu, Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Air-stable, efficient n-type doping of MoS ₂ by salt-crown ether treatment
3. 学会等名 MNC2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroto Ogura, Masahiko Kaneda, Yusuke Nakanishi, Yoshiyuki Nonoguchi, Jiang Pu, Mari Ohfuchi, Toshifumi Irisawa, Hong En Lim, Takahiko Endo, Kazuhiro Yanagi, Taishi Takenobu, Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Air-stable n-type doping of monolayer MoS ₂ by crown-ether complexe
3. 学会等名 RPGR2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jiang Pu, Naoki Wada, Wenjin Zhang, Yuhei Takaguchi, Kazunari Matsuda, Yuhei, Miyauchi, Yasumitsu Miyata, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Chiral electroluminescence in monolayer lateral heterojunctions
3. 学会等名 RPGR2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hao Ou, Hirofumi Matsuoka, Juliette Tempia, Tomoyuki Yamada, Togo Takahashi, Koshi Oi, Yuhei Takaguchi, Takahiko Endo, Yasumitsu Miyata, Chang-Hsiao Chen, Lain-Jong Li, Jiang Pu, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Spatial Control of Dynamic p-i-n Junctions in Transition Metal Dichalcogenide Light-Emitting Devices
3. 学会等名 RPGR2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Togo Takahashi, Chisato Ando, Mitsufumi Saito, Yasumitsu Miyata, Yusuke Nakanishi, Jiang Pu, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Large-area Superconducting NbSe ₂ Films with Nearly Isotropic Large Upper Critical Field
3. 学会等名 RPGR2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hong En Lim1, Yusuke Nakanishi, Zheng Liu , Jiang Pu, Mina Maruyama, Takahiko Endo, Chisato Ando, Hiroshi Shimizu, Kazuhiro Yanagi, Susumu Okada, Taishi Takenobu, Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Wafer-Scale Growth of 1D Transition Metal Telluride Atomic Wires
3. 学会等名 RPGR2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Tanaka, Jiang Pu, Takuji Hatakeyama, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Ultrapure-blue Light-emitting Electrochemical Cell Using -DABNA
3. 学会等名 ICFPE2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福井 遼太郎, 宇佐美 怜, 鈴木 壮磨, 高橋 統吾, 遠藤 尚彦, 宮田 耕充, 北浦 良, 蒲 江, 竹延 大志
2. 発表標題 歪み印加したWS ₂ /WSe ₂ ファンデルワールスヘテロ構造の光学特性
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋 統吾, 安藤 千里, 斎藤 光史, 宮田 耕充, 中西 勇介, 蒲 江, 竹延 大志
2. 発表標題 三次元構造を有する大面積NbSe ₂ 薄膜の超伝導特性
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jiang Pu
2. 発表標題 Light-Emitting Electrochemical Cells for Functional Optoelectronic Device Applications
3. 学会等名 錯体化学会第71回討論会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木 壮磨, 小椋 友寛, 遠藤 尚彦, 宮田 耕充, 山下 健一, 蒲江, 竹延 大志
2. 発表標題 遷移金属ダイカルコゲナイドを用いた微小共振器発光デバイス
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡田 光博, 林 永昌, 菊地 伊織, 岡田 直也, 張 文馨, 清水 哲夫, 久保 利隆, 蒲江, 竹延 大志, 山田 貴壽, 入沢 寿史
2. 発表標題 気体原料を用いた1T 相WS ₂ の化学気相成長
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中友規, 蒲江, 畠山 琢次, 竹延 大志
2. 発表標題 高色純度青色発光低分子 -DABNA を用いた LEC
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋 統吾, 蒲 江, 遠藤 尚彦, 宮田 耕充, 竹延 大志
2. 発表標題 単層WS2における異常光起電力効果
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Iori Kikuchi, Hiroshi Shimizu, Lim Hong En, Takahiko Endo, Yusuke Nakanishi, Yasumitsu Miyata, Jiang Pu, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Electrical Transport Properties of W6Te6 Nanowire Network Films
3. 学会等名 The 61st Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hong En Lim, Zheng Liu, Jiang Pu, Hiroshi Shimizu, Takahiko Endo, Yusuke Nakanishi, Taishi Takenobu, Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Wire-to-Ribbon Conversion in Transition Metal Chalcogenides
3. 学会等名 The 61st Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Soma Suzuki, Tomohiro Ogura, Takahiko Endo, Yasumitsu Miyata, Kenichi Yamashita, Jiang Pu, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Electrolyte-based transition metal dichalcogenide light-emitting devices with microcavity
3. 学会等名 The 61st Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Togo Takahashi, Jiang Pu, Takahiko Endo, Yasumitsu Miyata, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Anomalous Photovoltaic Effect in Strained Monolayer WS ₂
3. 学会等名 The 61st Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Rei Usami, Ryotaro Fukui, Takahiko Endo, Yasumitsu Miyata, Souma Suzuki, Togo Takahashi, Ryo Kitaura, Jiang Pu, Taishi Takenob
2. 発表標題 The strain effect of optical properties on hetetostructure
3. 学会等名 The 61st Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hirotu Ogura, Masahiko Kaneda, Yusuke Nakanishi, Yoshiyuki Nonoguchi, Jiang Pu, Mari Ohfuchi, Toshifumi Irisawa, Hong En Lim, Takahiko Endo, Taishi Takenobu, Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Air-Stable, Efficient Electron Doping of Monolayer MoS ₂ by Salt-Crown Ether Treatment
3. 学会等名 第60回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroschi Shimizu, Jiang Pu, Zheng Liu, Hong En Lim, Yusuke Nakanishi, Takahiko Endo, Kazuhiro Yanagi, Taishi Takenobu, Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Two-dimensional electron gas in laterally-assembled WTe atomic wires
3. 学会等名 第60回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jiang Pu
2. 発表標題 Chiral electroluminescence in monolayer heterojunctions
3. 学会等名 6th International Workshop on 2D Materials (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroshi Shimizu, Jiang Pu, Hong En Lim, Yusuke Nakanishi, Zheng Liu, Takahiko Endo, Taishi Takenobu, Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Electron transport properties of WTe nanowire networks
3. 学会等名 第59回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yota Ichinose, Manaho Matsubara, Yohei Yomogida, Akari Yoshida, Kan Ueji, Kaito Kanahashi, Jiang Pu, Taishi Takenobu, Takahiro Yamamoto, Kazuhiro Yanagi
2. 発表標題 One dimensionality of the thermoelectric properties in semiconducting single walled
3. 学会等名 第59回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hong En Lim, Yusuke Nakanishi, Zheng Liu, Jiang Pu, Takahiko Endo, Chisato Ando, Hiroshi Shimizu, Kazuhiro Yanagi, Taishi Takenobu, Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Wafer-scale synthesis of 1D transition metal chalcogenide nanowires
3. 学会等名 第59回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Togo Takahashi, Chisato Ando, Mitsufumi Saito, Yasumitsu Miyata, Yusuke Nakanishi, Jiang Pu, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Superconducting properties in three-dimensional networks of NbSe ₂ films
3. 学会等名 第59回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoki Wada, Jiang Pu, Tomoyuki Yamada, Wenjin Zhang, Zheng Liu, Yusuke Nakanishi, Yutaka Maniwa, Kazunari Matsuda, Yuhei Miyauchi, Taishi Takenobu, Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Anomalous electroluminescence from WS ₂ /WSe ₂ in-plane heterostructures
3. 学会等名 第59回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋 統吾, 蒲 江, 安藤 千里, 中西 勇介, 斎藤 光史, 宮田 耕充, 竹延 大志
2. 発表標題 化学気相成長した大面積 NbSe ₂ 薄膜の超伝導特性
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 蒲 江, Ming-Yang Li, Jing-Kai Huang, 和田 尚樹, 高口 裕平, Wenjin Zhang, 宮内 雄平, 松田 一成, 宮田 耕充, Lain-Jong Li, 竹延 大志
2. 発表標題 原子層面内ヘテロ接合を用いた発光デバイス
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 蒲江, 和田 尚樹, Wenjin Zhang, 高口 祐平, 松田 一成, 宮内 雄平, 宮田 耕充, 竹延 大志
2. 発表標題 原子層面内ヘテロ接合界面における電流励起発光
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Zhang, 小林 佑, 宮田 耕充, 松田 一成, 宮内 雄平, 竹延 大志
2. 発表標題 単層遷移金属ダイカルコゲナイドの電流励起発光イメージング
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田 知之, 松岡 拓史, 蒲江, 宮田 耕充, 竹延 大志
2. 発表標題 プラスチック基板における原子層発光素子
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jiang Pu, Hirofumi Matsuoka, Tomoyuki Yamada, Yu Koayashi, Yuhei Takaguchi, Yasumitsu Miyata, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Room-Temperature Valley-Polarized Light-Emitting Devices via Strained Monolayer Semiconductors
3. 学会等名 The Fullerenes, Nanotubes and Graphene Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Ogura, Tomoyuki Yamada, Naoki Wada, Takahiko Endo, Kenichi Yamashita, Yasumitsu Miyata, Jiang Pu, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Monolayer WS ₂ Light-Emitting Devices with micro-cavity
3. 学会等名 The Fullerenes, Nanotubes and Graphene Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chisato Ando, Yusuke Nakanishi, Jiang Pu, Togo Takahashi, Taishi Takenobu, Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Nearly Isotropic and Large Critical Field from Three-Dimensional Networks of Anisotropic Superconducting Flakes
3. 学会等名 The Fullerenes, Nanotubes and Graphene Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoki Wada, Jiang Pu, Wenjin Zhang, Zheng Liu, Hirofumi Matsuoka, Kazunari Matsuda, Yusuke Nakanishi, Yutaka Maniwa, Yuhei Miyauchi, Taishi Takenobu, Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Interface electroluminescence from WS ₂ /WSe ₂ in-plane heterostructures
3. 学会等名 The Fullerenes, Nanotubes and Graphene Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 蒲江, Ming-Yang Li, Jing-Kai Huang, 和田 尚樹, 山田 知之, 宮内 雄平, 松田 一成
2. 発表標題 原子層面内ヘテロ接合を用いた発光デバイス
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋 統吾, 蒲 江, 安藤 千里, 中西 勇介, 斎藤 光史, 宮田 耕充, 竹延 大志
2. 発表標題 化学気相成長した大面積NbSe ₂ 薄膜の超伝導特性
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jiang Pu, Hirofumi Matsuoka, Yu Kobayashi, Yasumitsu Miyata, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Room-Temperature Valley-Polarized Light-Emitting Devices via Strained Monolayer Semiconductors
3. 学会等名 SSDM2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jiang Pu, Hirofumi Matsuoka, Yu Kobayashi, Yasumitsu Miyata, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Room-Temperature Chiral Light-Emitting Devices via Strained Monolayer Semiconductors
3. 学会等名 RPGR2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoyuki Yamada, Jiang Pu, M.-Y. Li, J.-K. Huang, Y. Miyauchi, K. Matsuda, Y. Miyata, L.-J. Li, T. Takenobu
2. 発表標題 Monolayer Transition Metal Dichalcogenide Lateral Heterojunction Light-Emitting Diodes
3. 学会等名 RPGR2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoki Wada, Jiang Pu, Wenjin Zhang, Hirofumi Matsuoka, Kazunari Matsuda, Yusuke Nakanishi, Yutaka Maniwa, Yuhei Miyauchi, Taishi Takenobu, Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Interface electroluminescence from WS ₂ /WSe ₂ in-plane heterostructures
3. 学会等名 RPGR2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chisato Ando, Yusuke Nakanishi, Jiang Pu, Taishi Takenobu, Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Simple Preparation of Superconducting NbSe ₂ Films by Selenization
3. 学会等名 Graphene Flagship (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoki Wada, Jiang Pu, Wenjin Zhang, Hirofumi Matsuoka, Kazunari Matsuda, Yusuke Nakanishi, Yutaka Maniwa, Yuhei Miyauchi, Taishi Takenobu, Yasumitsu Miyata
2. 発表標題 Interface electroluminescence from WS ₂ /WSe ₂ in-plane heterostructures
3. 学会等名 Graphene Flagship (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jiang Pu, Hirofumi Matsuoka, Yu Kobayashi, Yasumitsu Miyata, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Room-Temperature Valley-Polarized Light-Emitting Devices via Strained Monolayer Semiconductors
3. 学会等名 MRM2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jiang Pu, Han-Ching Chang, Chien-Liang Tu, Kuang-I Lin, Chien-Nan Hsiao, Chang-Hsiao Chen, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Electric Double Layer Transistors of CVD-grown monolayers InSe and InS
3. 学会等名 MRM2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 蒲江、竹延 大使	4. 発行年 2020年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 558
3. 書名 グラフェンから広がる二次元物質の新技术と応用	

1. 著者名 蒲江、竹延 大志	4. 発行年 2020年
2. 出版社 (株)エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 pp.203-210
3. 書名 グラフェンから広がる二次元物質の新技术と応用「2. イオンゲルによるトランジスタと発光・受光素子」	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>究極的に細い原子細線からなる大面積薄膜を実現～次世代の電子・エネルギーデバイス応用に期待～ https://www.nagoya-u.ac.jp/about-nu/public-relations/researchinfo/upload_images/20201214_engg1.pdf</p>

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