

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K19055

研究課題名（和文）遷移金属ダイカルコゲナイド超薄膜におけるバレー分極緩和メカニズムの解明

研究課題名（英文）Study on the relaxation mechanism of valley polarization in atomically-thin transition metal dichalcogenides

研究代表者

宮内 雄平（MIYAUCHI, Yuhei）

京都大学・エネルギー理工学研究所・准教授

研究者番号：10451791

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、代表的な遷移金属ダイカルコゲナイド層状半導体の一つである二セレン化タングステンWSe₂の単層薄膜を対象とし、円偏光励起によって生成される励起子バレー分極の緩和メカニズム解明を目的として研究を行った。その結果、電子正孔交換相互作用を通じたバレー状態間の結合と、試料にドーピングされているキャリアによるクーロン相互作用の遮へい効果を考慮することで、実験で観測される励起子バレー緩和現象を包括的に理解・予測・制御できることが明らかとなった。また、機械学習により、室温の発光スペクトルの特徴から、低温で得られるバレー分極度を高精度で予測する新手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、代表的な遷移金属ダイカルコゲナイドWSe₂の単層膜をモデルケースとして、円偏光によって生成された励起子のバレー分極情報が失われる機構を突き止めた。さらに、機構の理解に基づいて材料に工夫を施すことで、バレー状態をより長く保つことができることを見出した。本研究の成果は、2次元原子層半導体の基礎的かつ重要な光物性の1つが明らかになったという意義に加え、バレー自由度を情報キャリアとして用いる将来の高速・省エネルギー光情報デバイス実現に向けた材料設計の工学的指針を与えるものである。

研究成果の概要（英文）：We studied the relaxation mechanism of exciton valley polarization in a single layer of tungsten diselenide WSe₂, one of the typical transition metal dichalcogenide layered semiconductors. We found that the exciton valley relaxation observed in the experiments can be comprehensively understood, predicted, and controlled by taking into account the coupling between the two valley states through electron-hole exchange interactions with the screening effect by the doped carriers. We have also developed a new method to predict the valley polarization at low temperatures with high accuracy based on the characteristics of the emission spectra at room temperature using a machine learning algorithm.

研究分野：ナノ物質科学・光物性・熱光物性

キーワード：遷移金属ダイカルコゲナイド バレー 励起子

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現代社会を支える「エレクトロニクス」には、電流が流れることによるエネルギー消費に起因する省エネルギー化の限界がある。また、長距離情報伝達を担う光ネットワークと電子回路の接続では、光が高速であっても、光と電流の相互変換に伴う時間遅延が全体の情報処理速度を決めてしまうため、高速化の限界がある。これらは、エレクトロニクス/光エレクトロニクス技術の動作原理に由来する本質的な物理限界である。このような、従来技術における物理限界の原理的克服の可能性を探求する試みの1つとして、従来の光エレクトロニクス技術で利用されてきた電子の電荷ではなく、電子の未利用自由度である「バレー（擬スピン）自由度」と光子スピン ($\sigma+$, $\sigma-$) を情報の担い手として用いる、既存技術の省エネルギー化・高速化限界にとらわれない新たな光電子工学概念「光バレートロンクス」が提案されている[1]。光バレートロンクスでは、光子スピン ($\sigma+$, $\sigma-$) と、光生成された励起子（光励起により生成される電子と正孔の相互束縛状態）の量子力学的な「バレー自由度」を情報の担い手として利用する。光バレートロンクスのための物質系としては、遷移金属ダイカルコゲナイド(TMDC) (MoS_2 , WSe_2 等) 単層膜が有力視されている。TMDC 単層膜は、極めて安定な励起子（結合エネルギーおおよそ 0.5 eV (室温の熱揺らぎエネルギーの 20 倍程度)）を保持可能で、グラフェンに類似、かつ空間反転対称性を持たない蜂の巣格子結晶構造の帰結として、円偏光 ($\sigma+$, $\sigma-$) とバレー励起子 ($+K$, $-K$) の相互変換が可能な光学選択則を持つなど、光バレートロンクスのプラットフォームとして優れた性質を数多く有する 2 次元原子層半導体である。バレートロンクスに用いる物質中では、バレー分極状態が情報処理に必要な十分長い時間保持できることが、まず第一に重要である。しかしながら、現実の TMDC 単層膜においては、バレー分極状態は時間の経過とともに短時間で失われて（緩和して）しまう（バレー分極状態が失われるまでの時間をバレー緩和時間と呼ぶ）ことが指摘されていた。研究開始当初は、このバレー緩和のメカニズム解明が待たれている状況であった。

2. 研究の目的

情報の保持時間に関する根本的に重要な物性パラメータは、励起子バレー分極状態がどの程度の時間長持ちするかを表すバレー分極状態の緩和時間（バレー緩和時間）であり、これが長ければ長いほど応用上都合がよい。そこで本研究では、光バレートロンクスの実現に向けた第一歩として、未だ包括的な理解が待たれている励起子バレー分極状態が時間の経過とともに失われるメカニズム（緩和機構）を解明し、その自在制御に繋がる工学学理を見いだすことを目的として研究を行った。

3. 研究の方法

本研究では、これまでの研究で蓄積した知見と光計測技術（温度・励起波長可変偏光分解分光マッピング測定等）を活用し、バレー分極度の温度依存性、励起子線幅依存性、キャリア密度依存性等について詳細な実験を行い、最新の理論予測との比較を行うことで、TMDC 単層膜におけるバレー分極緩和メカニズムを検討した。また、バレー分極の空間マッピング測定において得られる大量のデータを活用した新しい研究支援技術として、励起子バレー分極と光学スペクトルの各種特徴量の対応を、機械学習の手法を用いて解析する新手法の開発も行った。

4. 研究成果

(1) 代表的な遷移金属ダイカルコゲナイド超薄膜である単層 WSe_2 において、バレー分極度とバレー励起子の有効寿命の温度依存性を同時に測定することで温度ごとのバレー緩和時間 (図1) を見積もり、それを理論と比較しつつ解析を行うことで、励起子バレー分極の緩和メカニズムの検討を行った。また、理論的に予測される励起子バレー分極緩和時間の励起子スペクトル線幅への依存性を調べるため、励起子密度を制御することで励起子線幅を変調し、励起子線幅とバレー分極度の相関を調べた。バレー分極度の励起光エネルギー依存性の測定も行い、励起子のバレー分極度が励起光エネルギーに依存し、 $2s$ 励起子状態の共鳴励起によって、比較的高いバレー分極度が得られることが明らかとなった。これらの結果について、試料にあらかじめドーピングされているキャリア密度による電子正孔交換相互作用の長距離成分への遮蔽効果を考慮した解析を進め、励起子バレー分極緩和時間の温度依存性や、励起子バレー分極度の励起子密度依存性や励起光エネルギー依存性を包括的に理解・予測できることが明らかとなった[2]。

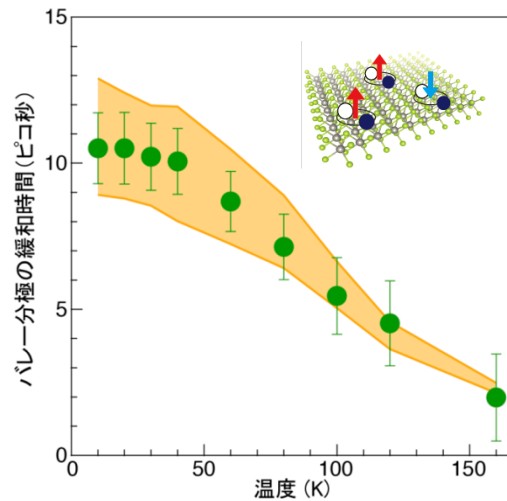


図1. 励起子のバレー分極緩和時間の温度依存性。緑色の丸が実験結果。オレンジ色の帯の範囲は、電子正孔交換相互作用の強さと、電子密度をフィッティングパラメータとして、理論式によりフィットした温度依存性。実験の温度変化が、理論式の与えるオレンジ色の帯で表される温度変化によってよく再現されていることがわかる。黄色い帯で示した幅があるのは、理論式への入力パラメータである励起子の運動量 (実験から推定) の見積り精度による。挿入図は励起子のバレー分極状態 (バレー擬スピン分布に偏りが生じている状態) の模式図。

(2) 独立した2つの方法 (①ファンデルワールスヘテロ構造を用いる方法[2] (図2) と②電界効果による方法[3]) によりキャリア密度と励起子バレー分極の関係についての実験的な検討を進め、キャリア密度が励起子バレー緩和に与える影響を詳細に明らかにした。①ファンデルワールスヘテロ構造を用いる方法では、

グラフェンとのファンデルワールスヘテロ構造の作製によりキャリア密度を変調した上でのバレー分極度の測定を行った。その結果、成果(1)によるバレー分極予測式に整合する、キャリア散乱による励起子寿命の変更の寄与だけでは説明できないバレー分極の大きな

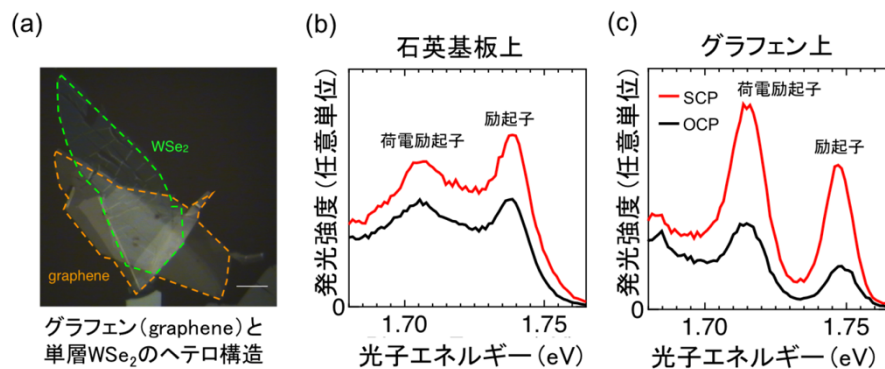


図2. (a) グラフェン(graphene)と単層二セレン化タングステン (WSe_2) を重ねたヘテロ構造の写真。(b) 石英基板上で測定した発光スペクトル。赤線 SCP (same circular polarization) と黒線 OCP (opposite circular polarization) は、それぞれ、照射した円偏光と同じ電場の回転方向を持つ発光の成分と、逆の回転方向を持つ発光の成分に対応する。赤線 (SCP) と黒線 (OCP) の強度の違いが大きいほど、発光が生じている間、励起子のバレー分極がよく保持されていることを示している。右側のピークが励起子、左側のピークは、荷電励起子に対応する発光ピーク。

向上が観測されることが確認された (図 2)。また、②電界効果による方法でも、単層 WSe₂ に電界キャリアドープした際に、バレー分極度が変調を受けることが見出され、その変化は成果(1)によるバレー分極緩和機構の理解に整合することが確認された[3]。

(3)バレー分極の空間マッピング測定によって、多数の試料上の光学スペクトルおよびバレー分極度の不均一性を測定し、低温で観測される励起子バレー分極と、室温で観測される光学スペクトルの各種特徴の対応に関する大量のデータを収集した

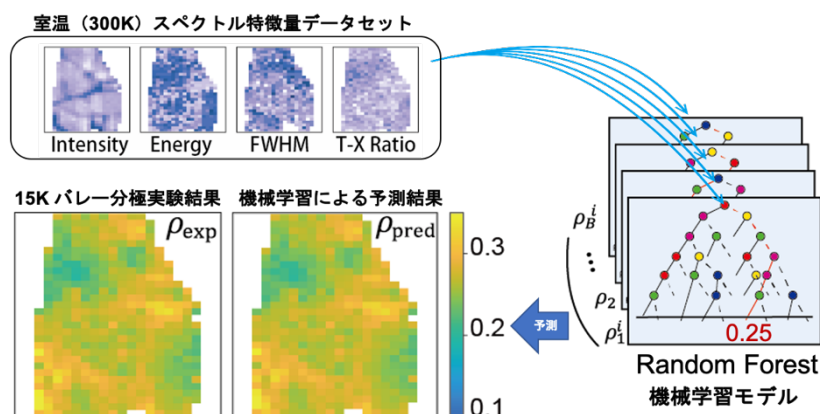


図 3. 室温光学スペクトル特微量からの低温バレー分極予測の流れ。予測結果 ρ_{pred} と低温 (15 K) におけるバレー分極測定値 ρ_{exp} を比べると、高精度の予測が可能であることがわかる。

[4]。この大量のデータを解析するために、Random Forest アルゴリズムによる機械学習の手法を用いた光学スペクトル解析手法を開発した。機械学習モデルにより、室温のデータのみから、低温のバレー分極を予測することが可能となった (図 3)。さらに、機械学習により自動生成されたモデルの変数重要度解析から、局所的なキャリア密度が、局所的な励起子バレー分極の重要な決定要因の 1 つであることを示す結果が得られた。この結果は、上記 (1), (2) の研究で得られた知見と整合しており、明確な物理モデルを想定できない状況においても、機械学習モデルの解析により、物理を理解する上で重要な物性パラメータを抽出できることを示している。この手法の適用範囲は広く、今後の様々な物性研究の解析支援技術として有用と考えている。

(4) 上記の研究で得られた知見に基づき、キャリアドープ条件下[5-7]の荷電励起子のバレー光物性についての検討も進め、荷電励起子においては、中性の励起子では難しい 70% を超える高いバレー分極度と比較的長い非輻射寿命の両立が可能であることを示した[7]。

<引用文献>

- [1] K. F. Mak, D. Xiao, and J. Shan, Nat. Photonics **12**, 451 (2018).
- [2] Y. Miyauchi, S. Konabe, F. Wang, W. Zhang, A. Hwang, Y. Hasegawa, L. Zhou, S. Mouri, M. Toh, G. Eda, and K. Matsuda, Nat. Commun. **9**, 2598 (2018).
- [3] K. Shinokita, X. Wang, Y. Miyauchi, K. Watanabe, T. Taniguchi, and K. Matsuda, Adv. Funct. Mater., 1900260 (2019).
- [4] K. Tanaka, K. Hachiya, W. Zhang, K. Matsuda, and Y. Miyauchi, ACS Nano **13**, 12687 (2019).
- [5] W. Zhang, K. Matsuda, and Y. Miyauchi, J. Phys. Chem. C **122**, 13175 (2018).
- [6] W. Zhang, K. Matsuda, and Y. Miyauchi, ACS Omega **4**, 10322 (2019).
- [7] W. Zhang, K. Tanaka, Y. Hasegawa, K. Shinokita, K. Matsuda, and Y. Miyauchi, Appl. Phys. Express **13**, 035002 (2020).

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 6件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 W. Zhang, K. Tanaka, Y. Hasegawa, K. Shinokita, K. Matsuda, Y. Miyauchi	4. 巻 13
2. 論文標題 Bright and highly valley polarized trions in chemically doped monolayer MoS ₂	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 035002 ~ 035002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ab7485	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 F. Yang, J. Liu, X. Wang, K. Tanaka, K. Shinokita, Y. Miyauchi, A. Wakamiya, K. Matsuda	4. 巻 11
2. 論文標題 Planar Perovskite Solar Cells with High Efficiency and Fill Factor Obtained Using Two-Step Growth Process	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 15680 ~ 15687
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.9b02948	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 K. Shinokita, X. Wang, Y. Miyauchi, K. Watanabe, T. Taniguchi, K. Matsuda	4. 巻 29
2. 論文標題 Continuous Control and Enhancement of Excitonic Valley Polarization in Monolayer WSe ₂ by Electrostatic Doping	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 1900260 ~ 1900260
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.201900260	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 W. Zhang, K. Matsuda, Y. Miyauchi	4. 巻 4
2. 論文標題 Photostability of Monolayer Transition-Metal Dichalcogenides in Ambient Air and Acidic/Basic Aqueous Solutions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 10322 ~ 10327
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.9b01067	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 K. Shinokita, X. Wang, Y. Miyauchi, K. Watanabe, T. Taniguchi, S. Konabe, K. Matsuda	4. 巻 99
2. 論文標題 Ultrafast dynamics of bright and dark positive trions for valley polarization in monolayer WSe ₂	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 245307 ~ 245307
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.245307	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 K. Kojima, H. E. Lim, Z. Liu, W. Zhang, T. Saito, Y. Nakanishi, T. Endo, Y. Kobayashi, K. Watanabe, T. Taniguchi, K. Matsuda, Y. Maniwa, Y. Miyauchi, Y. Miyata	4. 巻 11
2. 論文標題 Restoring the intrinsic optical properties of CVD-grown MoS ₂ monolayers and their heterostructures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 12798 ~ 12803
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9NR01481K	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 X. Wang, K. Shinokita, Y. Miyauchi, T. C. Nguyen, S. Okada, K. Matsuda	4. 巻 29
2. 論文標題 Experimental Evidence of Anisotropic and Stable Charged Excitons (Trions) in Atomically Thin 2D ReS ₂	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 1905961 ~ 1905961
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.201905961	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 K. Tanaka, K. Hachiya, W. Zhang, K. Matsuda, Y. Miyauchi	4. 巻 13
2. 論文標題 Machine-Learning Analysis to Predict the Exciton Valley Polarization Landscape of 2D Semiconductors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 12687 ~ 12693
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.9b04220	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 K. Shinokita, X. Wang, Y. Miyauchi, K. Watanabe, T. Taniguchi, S. Konabe, K. Matsuda	4. 巻 100
2. 論文標題 Phonon-mediated intervalley relaxation of positive trions in monolayer WSe2	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 161304 ~ 161304
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.161304	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 M-Y. Li, J. Pu, J-K. Huang, Y. Miyauchi, K. Matsuda, T. Takenobu, L-J Li	4. 巻 28
2. 論文標題 Self-Aligned and Scalable Growth of Monolayer WSe2-MoS2 Lateral Heterojunctions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 1706860(1~7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.201706860	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 D. Tan, X. Wang, W. Zhang, H.E. Lim, K. Shinokita, Y. Miyauchi, M. Maruyama, S. Okada, K. Matsuda	4. 巻 14
2. 論文標題 Carrier Transport and Photoresponse in GeSe/MoS2 Heterojunction p-n Diodes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Small	6. 最初と最後の頁 1704559(1~7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/smll.201704559	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 Y. Miyauchi, S. Konabe, F. Wang, W. Zhang, A. Hwang, Y. Hasegawa, L. Zhou, S. Mouri, M. Toh, G. Eda, K. Matsuda	4. 巻 9
2. 論文標題 Evidence for line width and carrier screening effects on excitonic valley relaxation in 2D semiconductors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 2598(1~10)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-018-04988-x	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 W. Zhang, K. Matsuda, Y. Miyauchi	4. 巻 122
2. 論文標題 pH-Dependent Photoluminescence Properties of Monolayer Transition-Metal Dichalcogenides Immersed in an Aqueous Solution	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 13175 ~ 13181
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b03427	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 T. Yamaoka, H-E. Lim, S. Koirala, K. Shinokita, M. Maruyama, S. Okada, Y. Miyauchi, K. Matsuda	4. 巻 28
2. 論文標題 Efficient Photocarrier Transfer and Effective Photoluminescence Enhancement in Type I Monolayer MoTe ₂ /WSe ₂ Heterostructure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 1801021(1~7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.201801021	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 F. Yang, J. Liu, H-E. Lim, Y. Ishikura, K. Shinokita, Y. Miyauchi, A. Wakamiya, Y. Murata, K. Matsuda	4. 巻 122
2. 論文標題 High Bending Durability of Efficient Flexible Perovskite Solar Cells Using Metal Oxide Electron Transport Layer	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 17088 ~ 17095
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b05008	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 N. B. Mohamed, K. Shinokita, X. Wang, H-E. Lim, D. Tan, Y. Miyauchi, K. Matsuda	4. 巻 113
2. 論文標題 Photoluminescence quantum yields for atomically thin-layered ReS ₂ : Identification of indirect-bandgap semiconductors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 121112(1~4)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5037116	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 X. Wang, K. Shinokita, H.E. Lim, N. B. Mohamed, Y. Miyauchi, N.T. Cuong, S. Okada, K. Matsuda	4. 巻 29
2. 論文標題 Direct and Indirect Exciton Dynamics in Few Layered ReS ₂ Revealed by Photoluminescence and Pump Probe Spectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 1806169(1-7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.201806169	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 N. B. Mohamed, H. E. Lim, F. Wang, S. Koirala, S. Mouri, K. Shinokita, Y. Miyauchi, and K. Matsuda	4. 巻 11
2. 論文標題 Long radiative lifetimes of excitons in monolayer transition-metal dichalcogenides MX ₂ (M = Mo, W; X = S, Se)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 015201(1-4)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.11.015201	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 D. Tan, W. Zhang, X. Wang, K. Sandhaya, Y. Miyauchi, and K. Matsuda	4. 巻 9
2. 論文標題 Polarization-sensitive and broadband germanium sulfide photodetectors with excellent high-temperature performance	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 12425-12431
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7NR03040A	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 S. Mouri, W. Zhang, D. Kozawa, Y. Miyauchi, G. Eda and K. Matsuda	4. 巻 9
2. 論文標題 Thermal dissociation of inter-layer excitons in MoS ₂ /MoSe ₂ hetero-bilayers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 6674-6679
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7NR01598D	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21件（うち招待講演 9件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Yuhei Miyauchi
2. 発表標題 Novel excitonic phenomena in one-and two-dimensional semiconducting nanomaterials and their applications
3. 学会等名 20th International Conference on Dynamical Processes in Excited States of Solids (New Zealand) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮内 雄平
2. 発表標題 単層カーボンナノチューブ・原子層半導体の新物性と応用開拓
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会（北海道大学）（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuhei Miyauchi
2. 発表標題 Exploring Novel Physical Properties of Single-Walled Carbon Nanotubes and Atomically Thin Semiconductors Toward Energy Applications
3. 学会等名 第338回GMSI公開セミナー（東京大学）（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masafumi Shimasaki, Naoki Wada, Yasumitsu Miyata, Keisuke Shinokita, Taishi Nishihara ¹ , Kazunari Matsuda ¹ , Yuhei Miyauchi
2. 発表標題 Directional Exciton Transport in a Monolayer WS ₂ -WSe ₂ Lateral Heterostructure with a Wide Alloy Region
3. 学会等名 2019 MRS Fall Meeting (USA) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中 絢也, 八谷 健吾, 張 文金, 松田 一成, 宮内 雄平
2. 発表標題 機械学習による原子層バレー光物性の解析・予測手法の開拓
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会 (北海道大学)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masafumi Shimasaki, Naoki Wada, Yasumitsu Miyata, Keisuke Shinokita, Taishi Nishihara, Kazunari Matsuda, Yuhei Miyauchi
2. 発表標題 Exciton Dynamics in a Monolayer WS ₂ -WSe ₂ Lateral Heterostructure with Wide Alloy Region
3. 学会等名 Recent Progress in Grapheren and 2D Materials Research (RPGR) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenya Tanaka, Kengo Hachiya, Wenjin Zhang, Kazunari Matsuda, Yuhei Miyauchi
2. 発表標題 Prediction of low temperature valley polarization characteristics in 2D semiconductors using machine-learning approach
3. 学会等名 20th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-Dimensional Materials (NT19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Miyauchi
2. 発表標題 Carrier screening effects on the exciton valley relaxation in monolayer transition metal dichalcogenide
3. 学会等名 Nanophotonics of 2D Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 篠北啓介, 王曉凡, 宮内雄平, 渡邊賢司, 谷口尚, 松田一成
2. 発表標題 キャリアドーピングによる単層WSe ₂ における励起子バレー分極の増大
3. 学会等名 第56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
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 W. Zhang, K. Matsuda, Y. Miyauchi
2. 発表標題 Stability of monolayer WSe ₂ and MoS ₂ in an aqueous solution under light irradiation
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 島崎 雅史, 和田 尚樹, 宮田 耕充, 松田 一成, 宮内雄平
2. 発表標題 単層WS ₂ -WSe ₂ 面内ヘテロ構造の発光特性
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 宮内雄平
2. 発表標題 原子層半導体とそのヘテロ構造の光物性
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 W. Zhang, K. Matsuda, Y. Miyauchi
2. 発表標題 Photoluminescence properties of monolayer transition metal dichalcogenides in aqueous solutions
3. 学会等名 Graphene Korea 2019 International Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Shimasaki, T. Saito, Y. Miyata, Y. Miyauchi, K. Matsuda
2. 発表標題 Optical properties of two-dimensional lateral hetero structure WS ₂ /MoS ₂
3. 学会等名 第55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
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 W. Zhang, K. Matsuda, Y. Miyauchi
2. 発表標題 Photoluminescence properties of monolayer MoS ₂ in an aqueous solution
3. 学会等名 APS March Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮内雄平
2. 発表標題 低次元ナノ物質の光物性工学とその応用
3. 学会等名 第24回京都大学宇治キャンパス産学交流会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮内雄平
2. 発表標題 原子層物質のバレー励起子光物性
3. 学会等名 応用電子物性分科会 研究例会-二次元層状物質研究の最前線- (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Miyauchi
2. 発表標題 Linewidth and carrier screening effects on exciton valley relaxation in monolayer transition metal dichalcogenides
3. 学会等名 The 3rd International Conference on 2D Materials and Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮内雄平
2. 発表標題 原子層物質の励起子バレー緩和
3. 学会等名 CUPALワークショップ トポロジカル物質・原子層物質の新規物性 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 W. Zhang, A. Hwang, T. Saito, Y. Kobayashi, T. Taniguchi, K. Watanabe, Y. Miyata, K. Matsuda, Y. Miyauchi
2. 発表標題 Substrate and sample dependent exciton transport properties in monolayer transition metal dichalcogenides
3. 学会等名 第53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
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Shimasaki, W. Zhang, X. Wang, T. Taniguchi, K. Watanabe, K. Matsuda, Y. Miyauchi
2. 発表標題 Photoluminescence properties of twisted bilayer transition metal dichalcogenides
3. 学会等名 第54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
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>京都大学プレスリリース http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2018/180703_2.html</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
連携研究者	小鍋 哲 (Kanabe Satoru) (40535506)	法政大学・生命科学部 環境応用化学科・准教授 (32675)	