

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：14303

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）

研究期間：2020～2023

課題番号：20KK0088

研究課題名（和文）半導体微小共振器における光-物質混成励起状態の時空間ダイナミクスの解明と制御

研究課題名（英文）Dynamics of polaritonic excited states in organic and perovskite microcavities

研究代表者

山下 兼一（Yamashita, Kenichi）

京都工芸繊維大学・電気電子工学系・教授

研究者番号：00346115

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、光-物質混成状態の基礎光電子物性を理解し、それらを室温にて制御可能とするための基盤技術を開発することを目的とする。特異な電子状態を有する有機半導体における電子励起状態が光子と強く相互作用させることのできる微小共振器を作製した。この励起状態のダイナミクスを測定し、光閉じ込めの強化によって励起子状態からポラリトン状態への自発的遷移速度が増大することを見いだした。また、海外連携機関へ渡航して超高速分光評価を行うことで、この有機半導体の励起状態は分子間振動モードとカップルしており、超蛍光やポラリトン凝縮などのコヒーレント相形成に重要な役割を果たしている可能性があることを示唆した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

LEDやレーザー、太陽電池などの光電子デバイス技術にはさらなる発展が求められている。しかし、これらの分野における研究開発はこの四半世紀で急激に成熟が進んでおり、高機能性・多機能性を新たに追求していくための余地は非常に小さくなっている。この現状を打破するために、「新材料の開発」や「光波/光子状態の制御」などを手段として、光電子デバイス技術をさらに発展させるための試みがなされている。本研究で注目する光共振器やフォトニック結晶、プラズモニック構造などの導入により、光波（光子）を制御することで、レーザーの高出力化や波長可変性、高感度センサなどの実現が期待される。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to understand the fundamental optoelectronic properties of the photo-matter hybrid states and to develop fundamental technologies to control them at room temperature. We have fabricated microcavities in which electronic excited states in organic semiconductors with unique electronic states can strongly interact with photons. We measured the dynamics of these excited states and found that the spontaneous transition rate from the excitonic state to the polaritonic state is enhanced by the enhancement of optical confinement. In an overseas collaborating institutions, we have performed ultrafast spectroscopy, suggesting that the excited states of this organic semiconductor couple with intermolecular vibrational modes and may play an important role in the formation of coherent phases such as superfluorescence and polariton condensation.

研究分野：光エレクトロニクス

キーワード：半導体微小共振器 ポラリトン 有機半導体 ペロブスカイト

### 1. 研究開始当初の背景

レーザや太陽電池といった光電子デバイスの高性能化のためには、媒質中での電子と光の相互作用を理解することが不可欠であり、さらにその相互作用の効果を自在に制御できることが求められる。ところが実際の多くのデバイスにおいては、電子および光子はそれぞれ別々にふるまう粒子として取り扱われることでその動作原理は成立している。これに対して、電子と光の混成状態を利用した新たなデバイス原理が、近年注目を集め始めている。半導体微小共振器中での光波モードと励起子振動子間の強結合の結果として現れるコヒーレントな混成状態は共振器ポラリトンとして特に知られており(図1上)ポラリトン凝縮やパラメトリック発振など新たな光源の原理として期待されてきた。最近では、窒化物半導体や有機半導体などでの室温ポラリトンも注目されている。また、高効率太陽電池材料として注目を集める鉛ハライドペロブスカイトにおいては、光吸収と放出の繰り返し現象：フォトンリサイクリングが見出されている(図4下)これは光子と電荷分離キャリア間でのインコヒーレントな混成状態と考えることができ、ホットキャリア抽出や長距離エネルギー輸送などの高効率な光電変換メカニズムとしての可能性も指摘されている。また、申請者らの直近の研究では、コヒーレントおよびインコヒーレントな混成励起状態それぞれが同時に関与した独特なレーザ発振メカニズムも新たに見出されている(論文査読中)このように、光-物質混成状態に基づく光電子機能創出に関する分野が新たな研究展開を見せている。

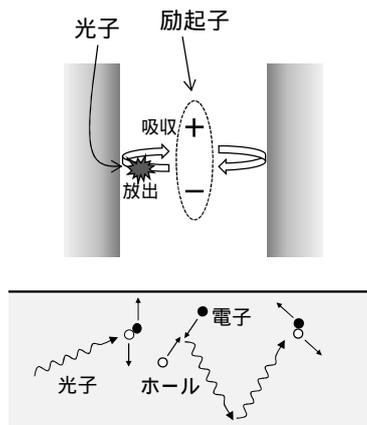


図1 本研究において着目する混成励起状態の模式図。  
(上)有機半導体微小共振器中での共振器ポラリトン  
(下)ペロブスカイト半導体におけるフォトンリサイクリング

### 2. 研究の目的

光-物質混成状態の基礎光電子物性を理解し、それらを室温にて制御可能とするための基盤技術を開発する。これまでにない特異な電子状態を有する半導体材料をモデル物質とし、励起子もしくは電荷分離キャリアによる電子励起状態が光子と強く相互作用できる微小空間を製作する。そこで生成される混成状態の half-light / half-matter 物性、およびそこから得られる新たな光電子機能を最先端の評価技術を駆使することにより多次的に調べ上げ、その状態の効率的な生成/制御手法を追究する。

混成励起状態のダイナミクスを詳細に調べるためには、物質中での光子状態あるいは電子状態を、何らかの物性をパラメータとして系統的にスキャンさせる試験が有効である。本研究の学術的独自性は、電子状態のスキャン方法として、分子配向制御有機結晶および次元制御ペロブスカイト結晶を用いることにある。TPCO 分子は強い振動子強度を持つと同時に構造や置換基によって分子主鎖配向の方向や強度が制御でき(図2)、これにより振動子と光子モードとの巨視的な結合係数を操作することができる。一方、ペロブスカイト半導体においては、原料の化学両論比を調整することで鉛ハライドからなる半導体層の厚さを容易に制御することができる(図3)。2D から 3D へと連続的に調整することで電子励起状態を励起子から電荷分離キャリアへと変貌させることができ、これにより TPCO とは異なった観点で巨視的結合係数を操作することができる。

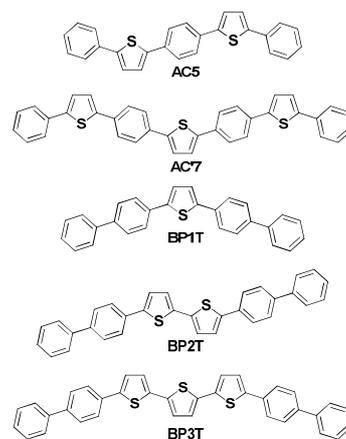


図2 様々な TPCO 分子

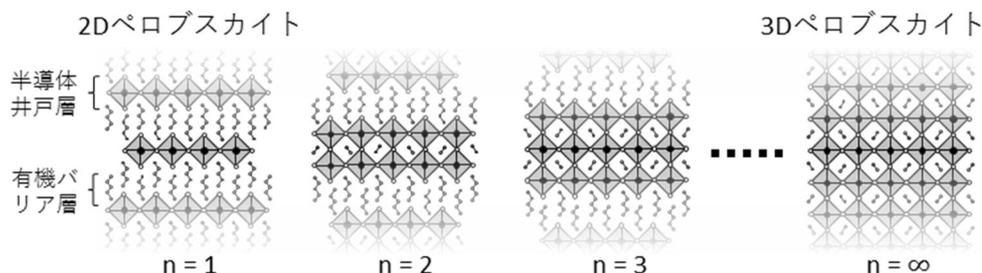


図3 次元性を变化させた鉛ハライドペロブスカイト構造

このように特異な電子状態を有する材料を系統的に用い、光子との混成状態を論じることは、本研究にきわめて大きな学術的創造性を与える。

### 3. 研究の方法

本研究では、海外連携機関であるケンブリッジ大学キャンペンディッシュ研究所の Akshay Rao 教授のラボを訪問、長期滞在し、励起子振動子の自発的共鳴現象である超蛍光現象のダイナミクス解明に着眼した。TPCO 材料の一つである BP1T-CN 単結晶を活性層材料とした微小共振器を作製し、その予備実験を国内で実施した後に、ケンブリッジへ渡航した。Rao 教授のラボでは、フェムト秒過渡吸収を  $1\ \mu\text{m}$  以下の空間分解能でマッピングする独自の顕微測定システム (fs-TAM) を開発しており (図 4)、半導体励起緩和ダイナミクスを多次的に超高分解能で解析することにごく最近成功している [Nat. Phys. 16, 171 (2020)]。ポラリトン状態の時空間でのダイナミクス解明を目的とした本研究にはこの fs-TAM をはじめとした超高速過渡吸収分光測定による評価が極めて有効である。

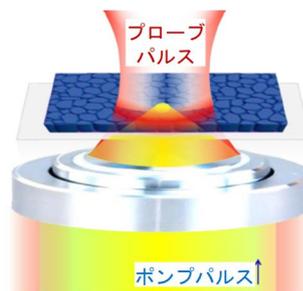


図 4 Rao 教授のラボで所有する fs-TAM システムの概略図

### 4. 研究成果

本研究では、微小共振器の構造として活性領域が短い VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting LASER) 構造を採用した。VCSEL とは垂直共振器表面発光型レーザのことであり、共振器が基板面に対して垂直方向に形成されているため、光出力は基板面に垂直に射出される。また、活性領域が短く利得長が長くとれないため、反射鏡には半導体もしくは誘電体の積層構造から成る高反射の分布ブラッグ反射器 (Distributed Bragg Reflector: DBR) を用いている。

気相成長により得られた BP1T-CN 単結晶を用いて、図 5 に示すように、上部 DBR の積層条件が異なる 2 種類の微小共振器を作製した。下部 DBR は、シリカ基板上に  $\text{SiO}_2$  と  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  の薄膜を堆積させたものであり、BP1T-CN 結晶の発光帯域をカバーする 2.26-2.80 eV のエネルギー範囲において 99% 以上の反射率を示す。気相成長で得られた板状単結晶を DBR に静電吸着させ、その上から  $\text{SiO}_2$  と  $\text{HfO}_5$  の薄膜から成る DBR を rf マグネトロンスパッタリング法で堆積させることで作製した。微小共振器 A、B の上部 DBR はそれぞれ、2.22-2.61 eV、2.41-2.75 eV のエネルギー範囲で反射率 90、98% 以上を有する。両サンプルにおいて鋭いピークが観測され、共振器の効果が発現していることが分かる。

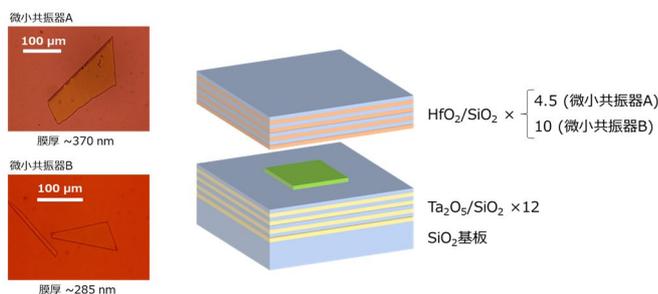


図 5 微小共振器の概略図

光子-励起子相互作用の大きさを評価するため、角度分解発光スペクトルを測定した。図 6 より、それぞれの発光ピークは検出角度の増加に伴って高エネルギー側にシフトしており、共振器の効果が現れる。また、励起子エネルギーの 2.68 eV 近傍で UPB と LPB の反交差の振る舞いが観測され、共振器ポラリトンが形成されていると考えられる。BP1T-CN 結晶の複屈折性のために、角度依存性が強く、弱い発光の P 偏光モードがモード混成の効果により現れている。また、0-1 遷移に対応する発光エネルギー (2.48 eV) 付近の LPB で強い発光が見られる。トランスファーマトリクス法によるシミュレーション解析の結果、光子と励起子の結合強度の指標となるラビ分裂エネルギーは 140meV 程度となり、これは先行研究と比較しても、光子と励起子の強結合状態を裏付ける大きな値と言える。

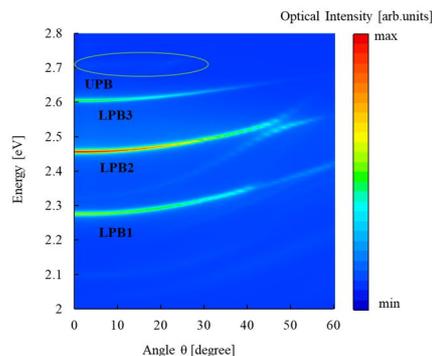


図 6 微小共振器 A の分散曲線

次に、ポラリトン凝縮相への誘導緩和を誘発する遷移過程について理解を深めるために、時間分解発光特性を解析することで、励起子の遷移過程について考察を行った。まず、共振器構造が励起子の遷移過程にもたらす影響を調べるために、ベアクリスタル、ハーフキャビティ、微小共振器 B の 3 つで測定し、比較を行った。それぞれの発光スペクトル、時間分解発光特性を図 7 に示す。光閉じ込めが強くなるにつれて、PL 減衰の加速、すなわち発光寿命の減少が見られる。ポラリトン状態の寿命 (<ps) はリザーバー励起子の寿命 (~ns) よりもはるかに小さいため、ここで測定している発光寿命は光励起を受けて形成されたリザーバー励起子がポラリトン状態へと遷移するまでの寿命と考えられる。これらの結果をまとめると、光閉じ込めの強化によって

リザーバー励起子状態からポラリトン状態への自発的遷移速度が増大したと言える。これはパーセル効果に類似した現象である。

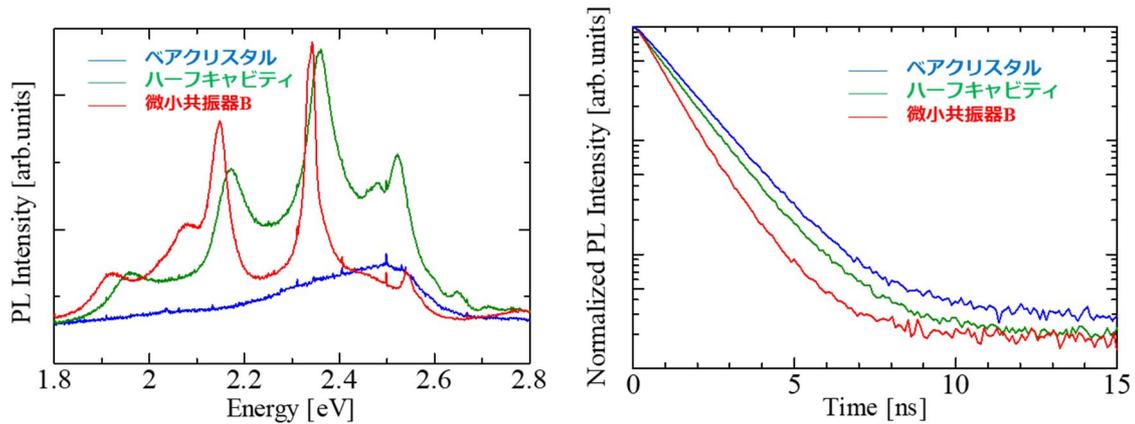


図 7 励起子遷移への共振器導入効果 (a)発光スペクトル (b)時間分解発光特性

この BP1T-CN 単結晶を用いて、2023 年度にケンブリッジへ渡航して、Rao 教授のラボにて過渡吸収測定を行った。BP1T-CN の吸収帯に適合する波長 400nm 中心で時間幅 30fs のパルスを図 8 の光学系を構築することで得た。図 9 は実際の過渡吸収スペクトルの測定結果である。結晶の表面裏面での反射に基づいた共振器効果による干渉信号と、750nm を中心としたブロードな励起状態吸収信号が観測されている。

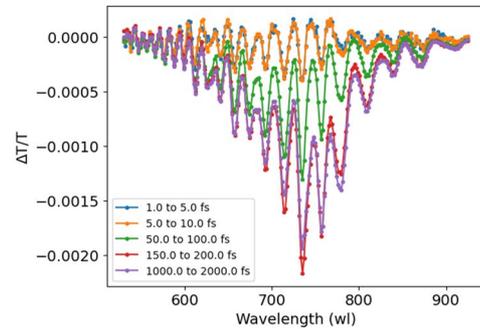
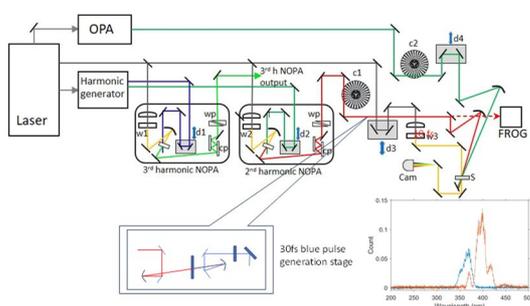


図 8 構築した超高速分光の励起光学系 図 9 BP1T-CN の過渡吸収スペクトル

図 9 の結果において干渉による波長軸に沿った振動成分と、励起状態の緩和による時間軸に沿った減衰成分を除去した結果が図 10(a)となる。750nm あたりを中心として、周期 500fs 前後の振動成分が残されていることがわかる。この振動成分の起源を同定するために結果のフーリエ変換解析を行った(図 10b)、20、40、69、および  $118\text{cm}^{-1}$  の周波数にモードが現れており、これらは BP1T-CN 結晶のラマン散乱測定の結果とよく合致する。つまり、BP1T-CN の励起状態は BP1T-CN 結晶の分子間振動と結合していることを示している。現時点では凝縮閾値以下での測定しかできていないが、この振動モードとのカップリングが超蛍光の期限である振動子の自発的なシンクロナイゼーション効果やポラリトン凝縮相などのコヒーレント相の形成に重要な役割を果たしている可能性があることが示唆された。

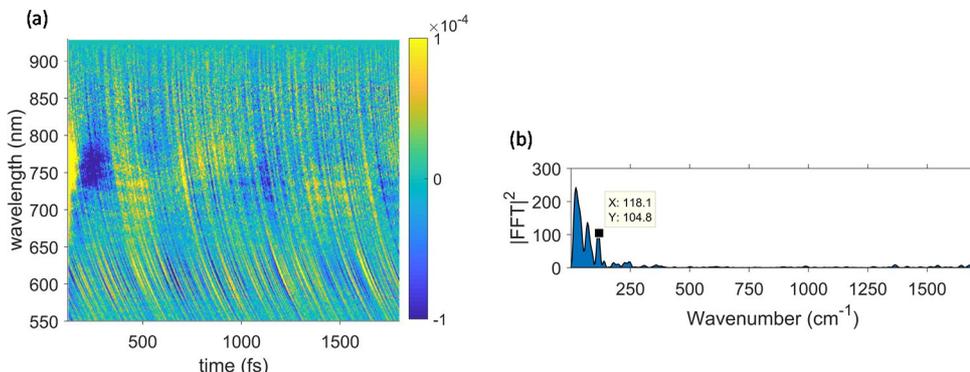


図 10 (a) 過渡吸収信号に含まれる振動成分と(b)そのフーリエ変換スペクトル

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Hayashi Ryotaro, Murota Ayane, Oka Kengo, Inada Yuhi, Yamashita Kenichi	4. 巻 13
2. 論文標題 UV ozone treatment for oxidization of spiro-OMeTAD hole transport layer	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 18561 ~ 18567
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3RA02315J	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 Moriyama Yuta, Inukai Takaya, Hirao Tsukasa, Ueda Yusuke, Takahashi Shun, Yamashita Kenichi	4. 巻 4
2. 論文標題 Polarization superposition of room-temperature polariton condensation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Communications Materials	6. 最初と最後の頁 110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s43246-023-00440-w	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 Enna Takuya, Adachi Yuji, Hirao Tsukasa, Takahashi Shun, Yamamoto Yohei, Yamashita Kenichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Microstructured Organic Cavities with High Reflective Flat Reflectors Fabricated by Using a Nanoimprint Bonding Process	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 2302956
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.202302956	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 Takahashi Shun, Ashida Yuya, Phan Huyen Thanh, Yamashita Kenichi, Ueda Tetsuya, Wakabayashi Katsunori, Iwamoto Satoshi	4. 巻 109
2. 論文標題 Microwave hinge states in a simple cubic lattice photonic crystal insulator	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 125304
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.109.125304	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 Murota Ayane, Oka Kengo, Hayashi Ryotaro, Fujiwara Kentaro, Nishida Takushi, Kobayashi Kei, Numata Youhei, Yamashita Kenichi	4. 巻 120
2. 論文標題 Morphological and functional characterizations of Sn <sub>2</sub> electron extraction layer on transparent conductive oxides in lead-halide perovskite solar cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 191604 ~ 191604
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0085559	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 Matsuo Takumi, Ueda Yusuke, Mizuno Hitoshi, Sasaki Fumio, Yamashita Kenichi, Yanagi Hisao	4. 巻 9
2. 論文標題 Optically Pumped Lasing Based on Vibrationally Dressed Exciton Polaritons in a Single-Crystal Molecular Cavity at Room Temperature	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Photonics	6. 最初と最後の頁 2015 ~ 2023
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsp Photonics.2c00123	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 Nagafusa Tsukasa, Hara Yuya, Nishio Koji, Isshiki Toshiyuki, Yamashita Kenichi	4. 巻 10
2. 論文標題 Broadband Optical Amplification of Waveguide Cut Off Mode in Polymer Waveguide Doped with Graphene Quantum Dots	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 2200255 ~ 2200255
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.202200255	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 Tagami Tomoya, Ueda Yusuke, Imai Keita, Takahashi Shun, Mizuno Hitoshi, Yanagi Hisao, Obuchi Takeshi, Nakayama Masaaki, Yamashita Kenichi	4. 巻 29
2. 論文標題 Anisotropic light-matter coupling and below-threshold excitation dynamics in an organic crystal microcavity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 26433 ~ 26433
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.425461	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 Mizuno Hitoshi, Jinjyo Tomomi, Bando Kazuki, Sasaki Fumio, Yamashita Kenichi, Yanagi Hisao	4. 巻 9
2. 論文標題 Impact of material parameters on strong exciton?photon coupling states formed in microcrystal resonators of p- and n-type thiophene/phenylene co-oligomers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 11189 ~ 11197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1TC02024B	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 Takahashi Shun, Tamaki Souma, Yamashita Kenichi, Yamaguchi Takuya, Ueda Tetsuya, Iwamoto Satoshi	4. 巻 29
2. 論文標題 Transmission properties of microwaves at an optical Weyl point in a three-dimensional chiral photonic crystal	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 27127 ~ 27127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.431233	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 Shun, Kimura Erika, Ishida Takeshi, Tajiri Takeyoshi, Watanabe Katsuyuki, Yamashita Kenichi, Iwamoto Satoshi, Arakawa Yasuhiko	4. 巻 15
2. 論文標題 Fabrication of three-dimensional photonic crystals for near-infrared light by micro-manipulation technique under optical microscope observation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 015001 ~ 015001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ac414a	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 Enomoto Shuki, Tagami Tomoya, Ueda Yusuke, Moriyama Yuta, Fujiwara Kentaro, Takahashi Shun, Yamashita Kenichi	4. 巻 11
2. 論文標題 Drastic transitions of excited state and coupling regime in all-inorganic perovskite microcavities characterized by exciton/plasmon hybrid natures	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Light: Science & Applications	6. 最初と最後の頁 8 ~ 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41377-021-00701-8	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 A. Murota, K. Oka, R. Hayashi, K. Fujiwara, T. Nishida, K. Kobayashi, Y. Numata, and K. Yamashita	4. 巻 Vol. 120
2. 論文標題 Morphological and functional characterizations of SnO <sub>2</sub> electron extraction layer on transparent conductive oxides in lead-halide perovskite solar cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 191604 ~ 191604
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 Nagafusa Tsukasa, Hara Yuya, Nishio Koji, Isshiki Toshiyuki, Yamashita Kenichi	4. 巻 10
2. 論文標題 Broadband Optical Amplification of Waveguide Cut Off Mode in Polymer Waveguide Doped with Graphene Quantum Dots	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 2200255 ~ 2200255
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.202200255	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. Matsuo, Y. Ueda, H. Mizuno, F. Sasaki, K. Yamashita, and H. Yanagi	4. 巻 9
2. 論文標題 Optically pumped lasing based on vibrationally dressed exciton polariton in single-crystal molecular cavity at room temperature	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Photonics	6. 最初と最後の頁 2015 ~ 2023
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 Kanbe Shota, Kagae Junta, Murota Ayane, Hara Yuya, Fujiwara Kentaro, Yamashita Kenichi	4. 巻 117
2. 論文標題 Dry-wet hybrid deposition of wide-bandgap mixed-halide perovskites for tandem solar cell applications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 171901 ~ 171901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0029784	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63件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 奥祐太
2. 発表標題 マイクロマニピュレーション法による3次元フォトリック結晶の作製と移送
3. 学会等名 電子情報通信学会 LQE研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 白井隆一郎
2. 発表標題 剥離-積層法を用いた3次元フォトリック結晶の作成手法の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 LQE研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 五十野誠生
2. 発表標題 半導体三次元フォトリック結晶における光応答の電氣的制御の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 LQE研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山下兼一
2. 発表標題 鉛ハライドペロブスカイトにおける室温ポラリトンの生成と制御
3. 学会等名 第167回微小光学研究会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 南谷大悟、上園晃平、稲田雄飛、山下兼一
2. 発表標題 全無機ハロゲン混晶ペロブスカイトにおける光誘起相分離の抑制
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 上園晃平、山下兼一
2. 発表標題 CsPbBr <sub>3</sub> 薄膜のハイブリッド堆積手法の最適化
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 沖野翔太郎、岡憲吾、山下兼一、小林圭
2. 発表標題 ポンプロープケルビンプロープフォース顕微鏡によるペロブスカイト太陽電池の局所光起電力評価
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 芝野遼平、森下順喜、高橋駿、山下兼一
2. 発表標題 2次元フォトニック構造を導入したCsPbBr <sub>3</sub> 微小共振器の分散特性
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 大倉黎巳、犬飼剛也、高橋駿、水野斎、山下兼一
2. 発表標題 異方の有機結晶を用いた微小共振器における光学的疑似スピン軌道相互作用
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 塩冶卓也、足立雄志、高橋駿、山下兼一
2. 発表標題 ナノインプリントリソグラフィーにより作製した2次元フォトニック構造を有する強結合有機マイクロ共振器の分散特性
3. 学会等名 第579回レーザー学会研究会「有機コヒーレントフォトニクス」
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 犬飼剛也、平尾司、高橋駿、山下兼一
2. 発表標題 2次元波数空間におけるポラリトンモード分散の測定自動化と可視化
3. 学会等名 第579回レーザー学会研究会「有機コヒーレントフォトニクス」
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 林亮太郎、室田絢音、岡憲吾、山下兼一
2. 発表標題 ペロブスカイト光電変換層のスペクトル感度特性
3. 学会等名 第579回レーザー学会研究会「有機コヒーレントフォトニクス」
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 唐沢 之辰、河本 悠暉、大西 綾乃、山下 兼一、北村 恭子
2. 発表標題 高周波領域における歪フォトニック結晶中の光伝搬
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 沖野 翔太郎、林 亮太郎、山下 兼一、小林 圭
2. 発表標題 ケルビンプローブフォース顕微鏡によるペロブスカイト太陽電池の時間分解光起電力評価
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 T. Enna, Y. Adachi, T. Hirao, S. Takahashi, and K. Yamashita
2. 発表標題 Dispersion characteristics of strongly coupled organic microcavity with 2D photonic structure fabricated with nanoimprint lithography
3. 学会等名 The 12th Asia-Pacific Laser Symposium (APLS2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Inukai, Y. Moriyama, T. Hirao, Y. Ueda, S. Takahashi, and K. Yamashita
2. 発表標題 Polarization switching of room-temperature polariton condensation modes in a CsPbBr <sub>3</sub> microcavity
3. 学会等名 The 12th Asia-Pacific Laser Symposium (APLS2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋駿、芦田侑也、山下兼一、上田哲也、若林克法、岩本敏
2. 発表標題 3次元フォトニック結晶における高次トポロジカル状態の観測
3. 学会等名 電子情報通信学会 LQE研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 林亮太郎、室田彩音、岡憲吾、山下兼一
2. 発表標題 UVオゾン処理によるSpiro-OMeTADホール輸送層の酸化反応促進
3. 学会等名 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 芦田侑也、山下兼一、上田哲也、若林克法、岩本敏、高橋駿
2. 発表標題 3次元ウッドパイル型フォトニック結晶におけるヒンジ状態のマイクロ波領域での観測
3. 学会等名 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 沖野翔太郎、山下兼一、小林圭
2. 発表標題 ケルビンプローブ原子間力顕微鏡によるペロブスカイト太陽電池の光起電力測定
3. 学会等名 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 塩治卓也、足立雄志、平尾司、高橋駿、山下兼一
2. 発表標題 2次元周期構造による有機ポラリトンモードの分散特性制御
3. 学会等名 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 門司悠佑、水野斎、甚上知美、山下兼一、佐々木史雄、柳久雄
2. 発表標題 シアノ基置換(チオフェン/フェニレン)コオリゴマーを含有するマイクロキャビティの作製とその光学特性
3. 学会等名 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 松尾匠、上田悠介、水野斎、佐々木史雄、山下兼一、柳久雄
2. 発表標題 有機単結晶共振器における分子振動をまとった励起子ポラリトン形成に由来する光励起レーザ発振
3. 学会等名 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 犬飼剛也、森山裕太、上田悠介、平尾司、高橋駿、山下兼一
2. 発表標題 CsPbBr <sub>3</sub> 微小共振器の2次元波数空間におけるポラリトン凝縮特性
3. 学会等名 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 五十野誠生、山下兼一、高橋駿
2. 発表標題 半導体薄膜内の量子ドットにおける量子閉じ込めシュタルク効果に関する考察
3. 学会等名 第7回JSAPフォトニクスワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 芦田侑也、木村陽、山下兼一、上田哲也、若林克法、岩本敏、高橋駿
2. 発表標題 単純立方格子からなる3次元フォトニック結晶におけるマイクロ波高次トポロジカル状態のロバスト性の検証
3. 学会等名 第7回JSAPフォトニクスワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋駿、芦田侑也、山下兼一、上田哲也、若林克法、岩本敏
2. 発表標題 トポロジーに基づいたマイクロ波伝送
3. 学会等名 令和4年電気関係学会関西連合大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山下兼一
2. 発表標題 (チオフェン/フェニレン)コオリゴマー (TPCO)によるポラリトニクス
3. 学会等名 電子情報通信学会POC研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森山裕太、犬飼剛也、高橋駿、山下兼一
2. 発表標題 CsPbBr <sub>3</sub> 微小共振器におけるポラリトン凝縮相の偏光特性
3. 学会等名 第572回レーザー学会研究会「有機コヒーレントフォトニクス」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 南谷大悟、森山裕太、犬飼剛也、高橋駿、山下兼一
2. 発表標題 ハロゲン混晶ペロブスカイト結晶の作製と発光特性
3. 学会等名 第572回レーザー学会研究会「有機コヒーレントフォトニクス」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡憲吾、山下兼一
2. 発表標題 アンチソルベント法によるペロブスカイト薄膜の大面积スピコート成膜
3. 学会等名 第572回レーザー学会研究会「有機コヒーレントフォトニクス」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 足立雄志、塩冶卓也、高橋駿、山下兼一
2. 発表標題 ナノインプリント法による有機ポラリトン格子の作製と分散特性評価
3. 学会等名 第572回レーザー学会研究会「有機コヒーレントフォトニクス」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 犬飼剛也、平尾司、高橋駿、山下兼一
2. 発表標題 2次元波数空間におけるポラリトンモード分散の測定と可視化
3. 学会等名 第572回レーザー学会研究会「有機コヒーレントフォトンクス」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山下兼一
2. 発表標題 全無機鉛ハライドペロブスカイトにおける室温ポラリトン凝縮
3. 学会等名 第572回レーザー学会研究会「有機コヒーレントフォトンクス」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 沖野翔太郎、岡憲吾、山下兼一、小林圭
2. 発表標題 時間分解ケルビンプローブフォース顕微鏡によるペロブスカイト太陽電池の局所電気特性評価
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Moriyama, Y. Ueda, T. Horao, T. Tagami, S. Takahashi, and K. Yamashita
2. 発表標題 Polarization Characteristics of Polaritonic BCS in CsPbBr <sub>3</sub> Microcavity
3. 学会等名 CLEO-PR 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Adachi, T. Hirao, T. Enna, T. Inukai, S. Takahashi, and K. Yamashita
2. 発表標題 Organic VCSEL Lattice Fabricated by Nanoimprint Lithography
3. 学会等名 CLEO-PR 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 J. Morishita, Y. Adachi, T. Enna, S. Takahashi, Y. Yamamoto, and K. Yamashita
2. 発表標題 Fabrication of Lead-Halide Perovskite Film with Two-Dimensional Photonic Lattice
3. 学会等名 CLEO-PR 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Ashida, K. Yamashita, T. Ueda, K. Wakabayashi, S. Iwamoto, and S. Takahashi
2. 発表標題 Microwave Hinge State in a Three-Dimensional Photonic Crystal Composed of Simple Cubic Lattices
3. 学会等名 CLEO-PR 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡憲吾、藤原健太郎、室田絢音、山下兼一
2. 発表標題 混晶型ペロブスカイト太陽電池におけるAサイトカチオンの影響調査
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 室田絢音、藤原健太郎、岡憲吾、山下兼一
2. 発表標題 SnO <sub>2</sub> 電子輸送層に着目したペロブスカイト太陽電池の特性評価
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西田拓志、室田絢音、山下兼一、小林圭、山田啓文
2. 発表標題 KFMを用いたペロブスカイト太陽電池の局所電気特性評価
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
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、山下兼一、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 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 芦田侑也、山下兼一、上田哲也、若林克法、岩本敏、高橋駿
2. 発表標題 単純立方格子からなる3次元フォトリック結晶におけるHinge状態のマイクロ波領域での観測
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 室温ポラリトンの応用に向けたCsPbBr <sub>3</sub> 微小共振器の作製と光学特性評価
2. 発表標題 森山裕太、上田悠介、田上智哉、高橋駿、山下兼一
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森下順喜、森山裕太、上田悠介、山下兼一、山本洋平
2. 発表標題 ペロブスカイト半導体バルク結晶の作製と微小共振器への応用
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 足立優志、平尾司、山下兼一
2. 発表標題 UVナノインプリント法による有機VCSELアレイの作製と評価
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大西諒人、高橋駿、山下兼一、石田丈、渡邊克之、岩本敏、荒川泰彦
2. 発表標題 光学顕微鏡マイクロマニピュレータで作製したウッドパイル型3次元フォトニック結晶の角度分解透過測定
3. 学会等名 第6回JSAPフォトニクスワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五十野誠生、高橋駿、山下兼一、藤田高史、木山治樹、大岩顕、渡邊克之、岩本敏、荒川泰彦
2. 発表標題 マイクロニビュレーション法で配置したGaAs薄膜における量子ドット発光波長の電氣的制御
3. 学会等名 第6回JSAPフォトニクスワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡憲吾、藤原健太郎、室田絢音、山下兼一
2. 発表標題 ペロブスカイト太陽電池におけるAサイト混晶化の影響調査
3. 学会等名 応用物理学会関西支部セミナー 有機エレクトロニクス&フォトニクス若手研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森山裕太、上田悠介、平尾司、山下兼一
2. 発表標題 溶液プロセスによる CsPbBr <sub>3</sub> 微小共振器の作製と光学特性評価
3. 学会等名 応用物理学会関西支部セミナー 有機エレクトロニクス&フォトニクス若手研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 足立優志、平尾司、山下兼一
2. 発表標題 光ナノインプリント法により作製した有機 VCSEL アレイの評価
3. 学会等名 応用物理学会関西支部セミナー 有機エレクトロニクス&フォトニクス若手研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上田悠介、森山裕太、足立優志、山下兼一
2. 発表標題 気相成長によるペロブスカイト微結晶の光学特性評価
3. 学会等名 第560回レーザー学会研究会「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 平尾司、田上智哉、森下順喜、山下兼一
2. 発表標題 有機系オープンキャビティVCSELにおけるレーザー発振特性
3. 学会等名 第560回レーザー学会研究会「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 長房司、原優也、山下兼一
2. 発表標題 広帯域発光カーボンドットの作製と光学特性評価
3. 学会等名 第560回レーザー学会研究会「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 門司悠佑、水野斎、甚上知美、山下兼一、佐々木史雄、柳久雄
2. 発表標題 シアノ基置換（チオフェン/フェニレン）コオリゴマー単結晶マイクロキャビティの作製とその光学特性
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西田拓志、室田絢音、山下兼一、小林圭、山田啓文
2. 発表標題 KFMとEFMを用いたペロブスカイト太陽電池の局所光起電力評価
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山下兼一
2. 発表標題 有機系光機能材料による微小共振器科学の新展開
3. 学会等名 筑波大学物質科学・学術融合セミナー（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤誠野、高橋駿、山下兼一、館林潤、岩本敏、荒川泰彦
2. 発表標題 光学顕微鏡マイクロマニピュレーターで作製したカイラルフォトリック結晶における量子ドット円偏光放射の観測
3. 学会等名 第5回JSAPフォトリックワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長房司、原優也、山下兼一
2. 発表標題 広帯域光増幅特性を有するグラフェン量子ドットの作製と評価
3. 学会等名 第5回JSAPフォトリックワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山下兼一
2. 発表標題 鉛ハライドペロブスカイト微小共振器における励起状態ダイナミクス
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第41回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平尾司、田口巴里絵、原優也、山下兼一
2. 発表標題 有機発光材料によるオープンキャビティVCSELの動的波長チューニング
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第41回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 原優也、長房司、山下兼一
2. 発表標題 小型波長可変レーザーへの応用のためのグラフェン量子ドットにおける広帯域光増幅効果
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第41回年次大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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	高橋 駿  (Takahashi Shun)  (60731768)	京都工芸繊維大学・電気電子工学系・准教授    (14303)	

6. 研究組織（つづき）

	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	柳 久雄  (Yanagi Hisao)  (00220179)	奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授    (14603)	
研究分担者	水野 斎  (Mizuno Hitoshi)  (60734837)	奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・助教    (14603)	
研究分担者	稲田 雄飛  (Inada Yuhi)  (90770941)	京都工芸繊維大学・材料化学系・助教    (14303)	

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