

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：14303

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2021

課題番号：20K21000

研究課題名（和文）光-物質ハイブリッド状態を用いたニューロモルフィック機能の創出と高度化

研究課題名（英文）Development of neuromorphic functionality using a light-matter hybrid state

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） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、光と物質のハイブリッド状態であるポラリトン状態を利用した新概念により、集積性と低消費電力性に優れたニューロモルフィック機能の創成を目的とした。この目標を達成する手段として、高い分子配向特性をもつ有機結晶や鉛ハライドペロブスカイトなどの材料を、微小空間に光を強く閉じ込めることができる微小共振器と組み合わせることで、効率よくハイブリッド状態を形成することに成功した。特に、全無機鉛ハライドペロブスカイトの使用により、安定性に優れたポラリトン状態の生成とエネルギー凝縮が室温で可能であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ビッグデータの管理と解析を担い、ソサイエティ5.0を支える人工知能システムにはさらなる技術革新が求められる。そのシステムを構成するハードウェアにはニューロモルフィック素子が必要であり、現在はアナログ電子回路素子や強誘電体、抵抗変化型酸化物などの状態双安定性を持つデバイスが使用もしくは検討されている。しかし今後の更なる発展に向けては、エレメントの大規模集積化や省電力化が特に重要な課題である。本研究成果はこのような双安定性を持つエレメントを構成する新しい手段を、光と物質のハイブリッド状態を用いることで提案するものである。将来的には、オンデマンドでの発生、大規模集積性、省電力性などが期待できる。

研究成果の概要（英文）：This project was carried out to create a neuromorphic functional element with excellent integration and low power consumption capability by using a new concept based on polariton, which is a hybrid state of light and matter. As a means to achieve this goal, materials such as organic crystals with high molecular orientation characteristics and lead halide perovskite have been combined with a microcavity structure that can strongly confine the light to efficiently form a hybrid state. In particular, we have shown that the use of all-inorganic lead halide perovskite enables the generation of a highly stable polariton state and energy condensation at room temperature.

研究分野：光エレクトロニクス

キーワード：ポラリトン ポース・アインシュタイン凝縮 有機結晶 鉛ハライドペロブスカイト

1. 研究開始当初の背景

ビッグデータの管理と解析を担い、ソサイエティ 5.0 を支える人工知能システムにはさらなる技術革新が求められる。そのシステムを構成するハードウェアにはニューロモルフィック素子が必要であり、現在はアナログ電子回路素子や強誘電体、抵抗変化型酸化物などの状態双安定性を持つデバイスが使用もしくは検討されている。しかし今後の更なる発展に向けては、エレメントの大規模集積化や省電力化が特に重要な課題である。

これらの課題解決のために、本研究では光子と励起子の強結合（ポラリトン）状態を全く新しい概念のニューロモルフィック素子の基礎原理として検討する。ポラリトン状態はマイクロキャビティ中で光子と励起子の相互作用を高めることで生成される（図 1a）。ボーズ粒子性を有しており、ある閾値以上の密度で生成されると隣り合う粒子間で波動関数がミキシングし、空間的に広がったコヒーレント状態を形成する（ポラリトン凝縮、図 1b）。この波動関数の凝縮状態には双安定性があり（図 1c）周囲での瞬時的なポラリトン密度の上昇により誘発形成されるコヒーレント状態は励起後もそのまま記憶維持される。つまり、ニューロモルフィックな応答機能を実現する（図 2a）。

このポラリトン状態の利用により実現されるシステムには以下の特徴が考えられる。

1. 作り込まれた素子ではなくオンデマンド発生されるエレメントであるため、概念的には大規模集積化への自由度が高い。
2. ポラリトンの凝縮閾値は非常に低いことが知られており、システムとしての省電力化、発熱抑制、計算精度・速度の向上も期待できる。
3. ポラリトン粒子は光と物質のハイブリッドな特性を有しており、LSIおよびPLCの双方のシステムとの親和性が期待できる。また、電気的ノイズの影響も受けにくい。

このポラリトン状態を量子システムへと応用する研究が、最近になって特に海外では非常に注目を浴びるようになってきている。本研究で着目するポラリトン状態のニューロモルフィック機能は、量子シミュレータへの応用展開が期待される。

2. 研究の目的

以上のような最終目的に向けて、本研究ではまず、ポラリトン凝縮状態を室温にて長寿命で生成可能とするシステムを実現し、さらにポラリトン凝縮体の双安定性とニューロモルフィック機能の創出、およびその制御性を明らかにすることを目的とする。特にポラリトン生成のための活性層材料の検討を詳細に行い、室温でのポラリトン凝縮の達成とそのメカニズム解明に最初の焦点を絞る。また、ポラリトン状態の双安定性を実証するための新たな評価手法の確立を行う。

3. 研究の方法

1. 室温で安定にポラリトン生成可能なマイクロキャビティシステムの追究

申請者がこれまでに研究を進めてきた有機分子結晶やペロブスカイト結晶を室温ポラリトンの生成プラットフォームとして利用する。これらの材料中では強い遷移双極子モーメントを持った励起子が室温で安定に存在することができ、高 Q 値のマイクロキャビティに組み込むことで室温ポラリトンが生成可能である。

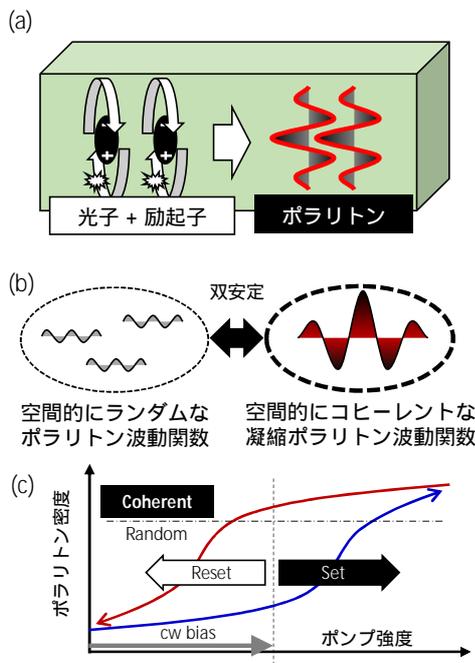


図 1 (a) 本研究で実現する室温ポラリトン生成システム (b) コヒーレントなポラリトン凝縮と (c) その双安定性

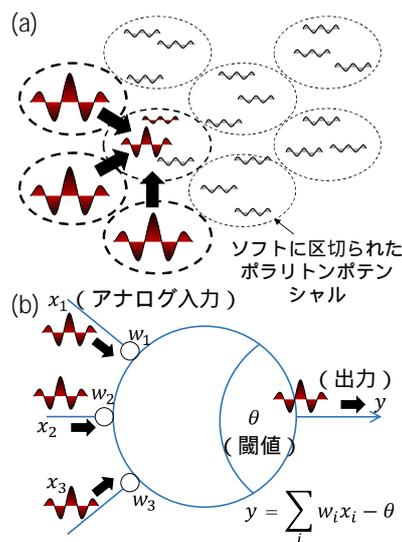


図 2 (a) ポラリトン凝縮状態のニューロモルフィック機能 (b) 対応させるパーセプトロンモデル

本申請研究ではこれらの材料系を用いた共振器作製と結晶成長の品質向上をさらに押し進め、長寿命で広範囲にポラリトン生成可能なマイクロキャビティシステムを実現する。空間コヒーレンスの発光自己相関像を観察するためのマイケルソン干渉顕微分光システムを構築し、ポラリトン凝縮の発現を実証する。

## 2. ポラリトン粒子の位置選択励起とニューロモルフィック機能の実証

上述のマイクロキャビティシステムを用いてポラリトン凝縮状態の双安定性とニューロモルフィック機能を実証する。均一な光励起によりシステム全体を閾値直前にバイアスしておく（図 1c）、ポラリトン凝縮状態をパルス光により位置選択的に制御発生させる（図 2a）。この入力に対する凝縮波動関数の空間コヒーレンス変化を、マイケルソン干渉顕微分光システムにより調べる。励起位置や強度をパラメータとした系統的測定により、単純なパーセプトロンとしてモデル化する（図 2b）。

## 4. 研究成果

以下に、研究期間内に得られた主な成果を示す。いずれも学術誌に投稿・掲載されたものを取りまとめている。

### (1) 有機単結晶マイクロキャビティにおける異方的な光物質カップリングと凝縮閾値以下のポラリトンダイナミクス

低閾値での室温ポラリトン凝縮のためには、共振器光子モードと結合する励起子遷移双極子モーメントが大きな活性層材料に使用するが有用である。我々は過去の研究において、(チオフェン/フェニレン)コオリゴマーの一つである 2,5-bis(4'-cyanobiphenyl-4-yl) thiophene (BP1T-CN) では、結晶面内のある方向に分子の長軸が強く配向しており、その方向に沿った光波電界との間で強い相互作用があることを見出していた [Appl. Phys. Lett. 109, 061101 (2016)]。また、この BP1T-CN マイクロキャビティにおけるポラリトン凝縮発光の超高速ダイナミクスの物理機構も解明した [ACS Photon. 5, 21821 (2018)]。しかしながら、この異方的なポラリトン形成の全偏光方向に対する詳細な測定や理論的解析、および、ポラリトン凝縮の閾値以下でのダイナミクスはまだ調査されていなかった。特に後者は、凝縮低閾値化を実現するためにカギとなる物性を明らかにするうえで必須である。以上より、本研究では、BP1T-CN マイクロキャビティにおけるポラリトンモードの異方的分散特性および閾値以下での励起状態ダイナミクスを明らかにした。

図 3 は、共振器長がおおよそ 440nm の BP1T-CN マイクロキャビティからの PL スペクトルの検出角度依存性のカラーマップである。図 3a の s 偏光状態では、2.32 eV と 2.53 eV に 2 つのモードが観測されており、これらは観測角度 に対して鈍感なエネルギー変化を示しており、純粋な光子モードではなく、結晶中の遷移双極子モーメントとの間で強い相互作用の存在を示している。一方、図 3b の p 偏光状態においては、角度に対するエネルギー変化の大きなモードが観測されており、相互作用は弱く、通常的光子モードに極めて近いことが分かる。これらの実験結果をトランスフォーマトリクス法および現象論的ハミルトニアンを用いて理論的に解析した。その結果、おおよそ 150meV のラビ分裂が、光子モードの電界振幅ベクトルと遷移双極子モーメントベクトルが平行な場合のみ発現していることが分かった。このような複屈折性に起因した異方的ポラリトンモードの形成は光領域でのスピン軌道相互作用を引き起こすことが知られており、トポロジカルな物性の観点でも今後興味深い展開が期待される。

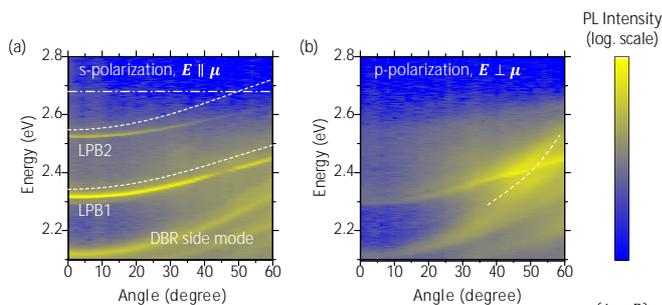


図 3 BP1T-CN マイクロキャビティからの角度分解発光スペクトル

次に、ポラリトン凝縮閾値以下での励起状態ダイナミクスについて示す（図 4）。それぞれのポラリトンモードはおおよそ 1ns 程度の時定数での発光減衰を示しており、同じサンプル内でも、高エネルギー側のポラリトンモードの方が低エネルギー側よりも短い寿命となっている。一方、マイクロキャビティ構造を持たないニートの BP1T-CN 単結晶からの発光は、検出エネルギーによらず、おおよそ一定の時定数で発光減衰していることが分かる。これらの結果を図 5e にまとめている。発光寿命の検出エネルギーに依存した振る舞いはマイクロキャビティとベアクリスタル間で明確な違いが表れており、この結果は、リザーバー準位からポラリトン準位（もしくは光子モード）への遷移経路が異なることを示している。詳細なレート方程式による解析を行ったところ、BP1T-CN マイクロキャビティにおいては、光子性/励起子性の共存したハイブリッド型の遷移プロセスが存在することを明らかにした。この発見は、動的なポラリトン状態の変化を詳細に理解し、低しきい値の凝縮相を示すポラリトンデバイスを設計するために有用である。

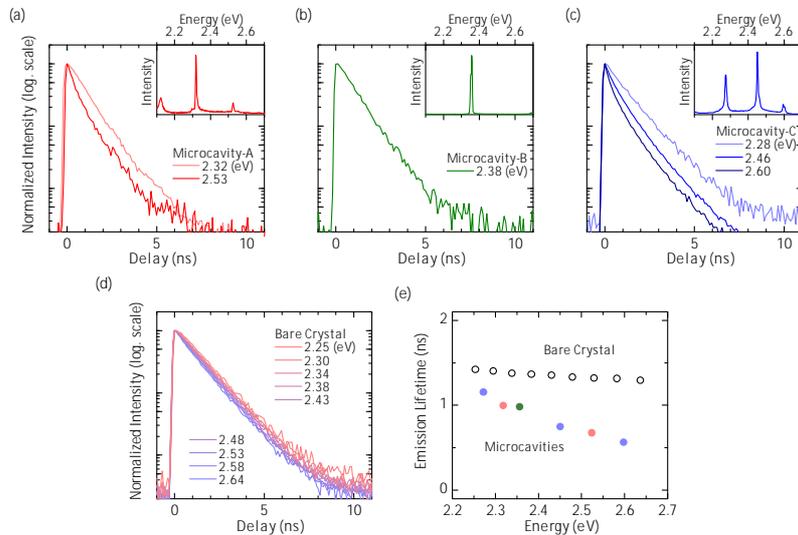


図4 BP1T-CN マイクロキャビティにおける時間分解発光測定

## (2) 全無機鉛ハライドペロブスカイトにおける安定形成に適したポラリトン凝縮状態の観測

鉛ハライドペロブスカイトは、太陽電池やレーザなどのさまざまなオプトエレクトロニクスデバイス応用に有望である。しかしながら、この材料系からのコヒーレント発光を説明するための基礎光物性は非常に複雑であり、しばしば議論の対象となっている。ここでは、室温での全無機ペロブスカイトマイクロキャビティのPL特性を体系的に調査し、励起密度に応じた励起状態と光と物質の結合状態について調査した。

全無機鉛ハライドペロブスカイトである CsPbBr<sub>3</sub> を活性層としたマイクロキャビティを作製し、そのPL特性を評価した。ある閾値励起光強度以上で発光スペクトルは狭線化し、発光強度の非線形な増加が確認され、いわゆるレーザの挙動が観測された(図5a-c)。また、角度分解フォトルミネッセンスでは、励起密度の増加に伴い、マイクロキャビティが弱結合状態から強

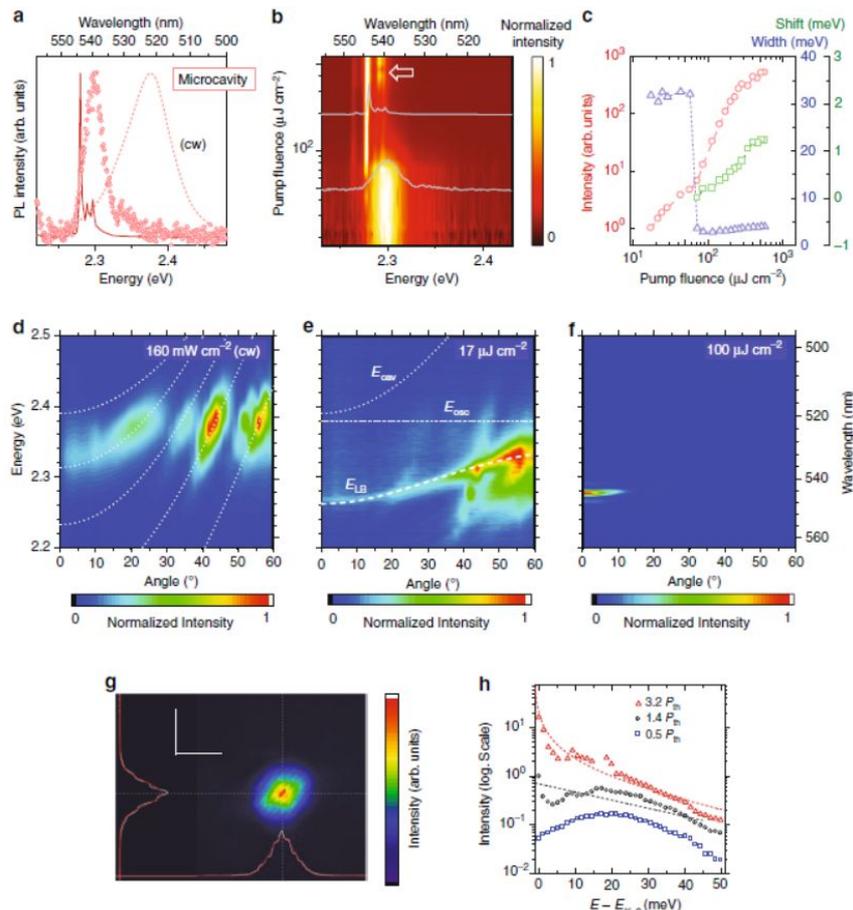


図5 CsPbBr<sub>3</sub> マイクロキャビティにおけるBCS型ポラリトンからの発光観測

結合状態へ遷移することを観測した(図 5d-e)。また、閾値以上では、PL 信号はポラリトンモード曲線の最低エネルギーに凝縮し(図 5f)、実空間での発光像からは長距離位相コヒーレンスが観測され、ポース統計を伴うレージング挙動を示した。しかしながら、この際の励起密度は、明らかにモット密度を超えており、クーロン相互作用による通常の励起子の存在は考えられない。以上の結果より、ここで観測したエネルギー凝縮現象は、スピン相関による電子正孔ペア、つまり BCS 型の励起子が関与したポラリトン状態の形成によるものと考えられる。これは高密度状態でも消滅しにくいいため、通常の BEC 型ポラリトンよりも凝縮によるコヒーレント状態が安定して形成できる可能性を示している。

以上の外部発表に至った成果に加え、現在、CsPbBr<sub>3</sub> による室温ポラリトンの双安定性を評価中である。励起用のレーザダイオード (LD) をパルス駆動し、励起光およびポラリトン発光のダイナミクスをオシロスコープでとらえることで、図 1c に示したコヒーレント/インコヒーレント状態の上方/下方掃引による時間変化を実測評価する。この測定を可能とするために、CsPbBr<sub>3</sub> 室温ポラリトンの連続励起での凝縮時間の拡大、および 励起用 LD の短パルス化をそれぞれ進めている。これらの準備が整うことで、最終目標としたポラリトン状態の双安定性の実証が可能になる見通しである。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Kong Jie, Zhang Wei, Guo Yuanyuan, Niu Xinmiao, Yamao Takeshi, Yamashita Kenichi, Xia Andong	4. 巻 124
2. 論文標題 Comprehensive Photophysical Properties of Thiophene/Phenylene Co-oligomers Investigated by Theoretical and Experimental Studies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 18946 ~ 18955
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 該当する
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 171901-1 ~ 6
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 ~ 26443
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	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) 10.35848/1882-0786/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, 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 ~ 27136
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	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 015001-1 ~ 4
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 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 8-1 ~ 8
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 -
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 -
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 -
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 -
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 -
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 Kong Jie, Zhang Wei, Guo Yuanyuan, Niu Xinmiao, Yamao Takeshi, Yamashita Kenichi, Xia Andong	4. 巻 124
2. 論文標題 Comprehensive Photophysical Properties of Thiophene/Phenylene Co-oligomers Investigated by Theoretical and Experimental Studies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 18946 ~ 18955
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c06311	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 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27件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 上田悠介、榎本柊生、田上智哉、藤原健太郎、高橋駿、山下兼一
2. 発表標題 全無機ペロブスカイト単結晶を活性層とする微小共振器の発光特性
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020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ニ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フォトニクスワークショップ
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フォトニクスワークショップ
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 2021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

1. 発表者名 山下兼一
2. 発表標題 有機室温ポラリトンとトポロジジーの出会い
3. 学会等名 CREST・さきがけ合同セミナー（招待講演）
4. 発表年 2021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室温ポラリトン
3. 学会等名 CREST・さきがけ合同セミナー（招待講演）
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 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次元フォトニック結晶における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 森山裕太、上田悠介、田上智哉、高橋駿、山下兼一
2. 発表標題 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
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 マイクロマニピ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ニクス
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ニクス
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ニクス
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ピ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

〔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)	
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			
英国	ケンブリッジ大学			
中国	中国科学院			