

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：14303

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2022～2023

課題番号：22K18794

研究課題名（和文）ニューロモルフィック素子応用に向けた室温ポラリトンの生成制御

研究課題名（英文）Control of room temperature polariton toward neuromorphic device applications

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、集積性と低消費電力性に優れたニューロモルフィックデバイスおよび量子シミュレータの創成に、光子と励起子の結合量子状態であるポラリトン状態を利用するための基礎物理を確立することを目的とした。室温でのエネルギー凝縮相形成が可能な全無機鉛ハライドペロブスカイト材料を活性層とした微小共振器デバイスにおいて、直交する2つの偏光状態間で個別の凝縮状態が形成可能であり、それらがお互いに相互作用効果を持つことを実証した。また、空間的に隣接した凝縮相の間での相互作用効果も実証し、全く新しい概念でのニューロモルフィック素子や量子シミュレータのための基礎原理となる可能性があると期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

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発展が求められており、ニューロモルフィック素子や量子シミュレータの技術革新が不可欠である。これらハードウェアの構成要素には、メモリ機能としての状態双安定性と、情報伝達のためのエレメント間相互作用を持つことが条件となり、現在はアナログ電子回路や強誘電体、抵抗変化型酸化物などのデバイスが検討されている。今後の更なる発展に向けては、大規模集積化や省電力化が重要になる。この課題解決に向けて、ポラリトン状態を用いた手法では大規模化への自由度が高い、発熱抑制が期待できるなどの大きなメリットがある。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study is to establish the fundamental physics for the use of polariton states, which are coupled quantum states of photons and excitons, for the creation of neuromorphic devices and quantum simulators with excellent integration and low power consumption. In a microcavity device using an all-inorganic lead halide perovskite material as the active layer, which is capable of forming an energy condensed phase at room temperature, we have demonstrated that individual condensed states can be formed between two orthogonal polariton states and that they have interaction effects with each other. We also demonstrated interaction effects between spatially adjacent condensed phases, which is expected to be a fundamental principle for a completely new concept of neuromorphic devices and quantum simulators.

研究分野：光エレクトロニクス

キーワード：ポラリトン 微小共振器 鉛ハライドペロブスカイト ニューロモルフィックデバイス

### 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発展が求められており、システムの基盤となるハードウェアであるニューロモルフィック素子や量子シミュレータにおいては飛躍的な技術革新が不可欠である。これらハードウェアの構成エレメントには、メモリ機能としての状態双安定性と、情報伝達のためのエレメント間相互作用を持つことが条件となり、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重要課題になると考えられる。

### 2. 研究の目的

この課題解決に向けて、本研究では光と物質の強結合状態（ポラリトン）を、ニューロモルフィック素子や量子シミュレータのための全く新しい概念の基礎原理として確立することを目指す。ポラリトンは半導体光共振器中での光子と励起子の相互作用により生成される準粒子状態である（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）。この凝縮状態の形成には双安定性があり（図 2a）、瞬時的なポラリトン密度の上昇により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。また、隣り合う 2 つのポラリトンサイト間ではジョセフソン効果による相互作用が働き、コヒーレンスが伝搬形成される（図 2b）。これら 2 つの物理効果によりニューロモルフィックな応答機能を実現し、これを大規模拡張していくことで量子シミュレーションシステムへの応用展開が期待できる。

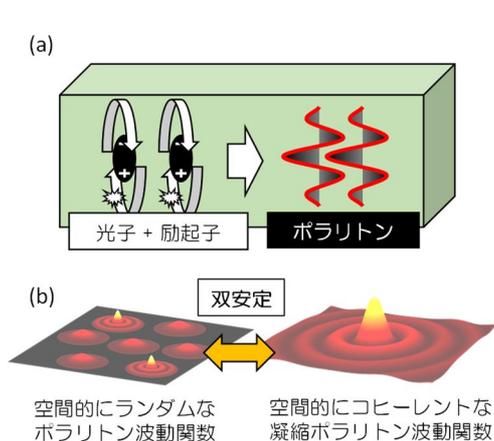


図 1 (a) 本研究で実現する室温ポラリトン生成システムと (b) コヒーレントなポラリトン凝縮相の波動関数の模式図

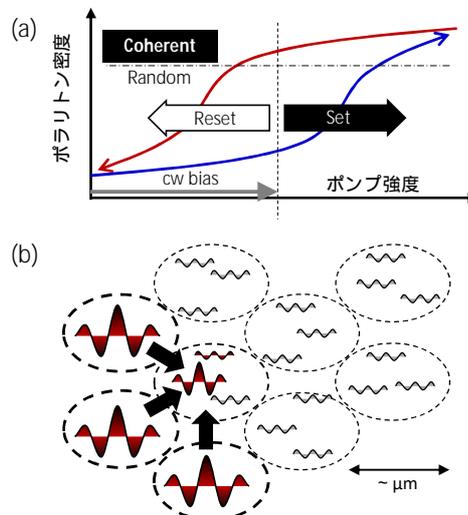


図 2 (a) ポラリトン凝縮状態の双安定性と (b) ジョセフソン相互作用によるコヒーレント状態の伝搬形成の模式図

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ような特徴が期待される。

1. 作り込まれた素子ではなく、光励起にてオンデマンドで発生可能な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. ポラリトン凝縮相の発現閾値は非常に低いことが知られており、しかも室温で凝縮可能とすることで、システムとしての省電力化、発熱抑制が期待できる。

以上のような最終目標に向けて、本研究では、特殊な半導体材料の適用により、ポラリトン凝縮状態を室温にて安定に生成可能とするシステムを実現し、ポラリトン凝縮相の双安定形成と相互作用効果を実証することを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では、空間制限溶液プロセスの中でもキャストキャッピング法と呼ばれる手法を改良したものをを用いた。まず、DMSO を溶媒に CsBr と PbBr<sub>2</sub> を溶解させて 60 °C で約 1 時間攪拌を行い、0.5M の CsPbBr<sub>3</sub> の前駆体溶液を作製する。2 枚の DBR ミラーは水、エタノール、アセトンの順で超音波洗浄を各 15 分ずつ行い、UV オゾンで親水化する。その後、一枚の DBR ミラーに、CsPbBr<sub>3</sub> 前駆体溶液を滴下（キャスト）する。その上からもう一枚の DBR ミラーをピンセット等で載せて、先の DBR ミラーとともにクリップ等で挟み（キャッピング）、上下から圧力を加えた状態で固定する。これがキャストキャッピング法である。このまま室温で 1 日ほど結晶成長させる。次に、スポイト等を用いて 2 枚の DBR ミラーの隙間に前駆体溶液を注入し、室温で 1 日

間結晶成長させる。この操作を複数回行う。その後、スポイト等を用いて2枚のDBRミラーの隙間に純粋な溶媒を注入し、50 で数日間結晶成長させる。その後、溶媒を除去し、さらに数日してからクリップを除去して作製終了である。

溶液プロセスにより作製した CsPbBr<sub>3</sub> 微小共振器を用いて光学特性評価を行った。測定は約 20 の室温で行った。光学励起には波長 355nm、1kHz のパルスレーザを用いて、微小共振器に対して垂直に入射させた。角度分解発光スペクトルの測定にはフーリエ空間イメージング手法を用いた。

#### 4. 研究成果

CsPbBr<sub>3</sub> 微小共振器中の凝縮閾値以下でのポラリトン分散について、室温での偏光特性を調査した。90°異なる偏光方向において角度分解発光スペクトルを測定した結果、ポラリトン分散の X-Y 分裂が観測された。観測した分散特性を図 3 に示す。

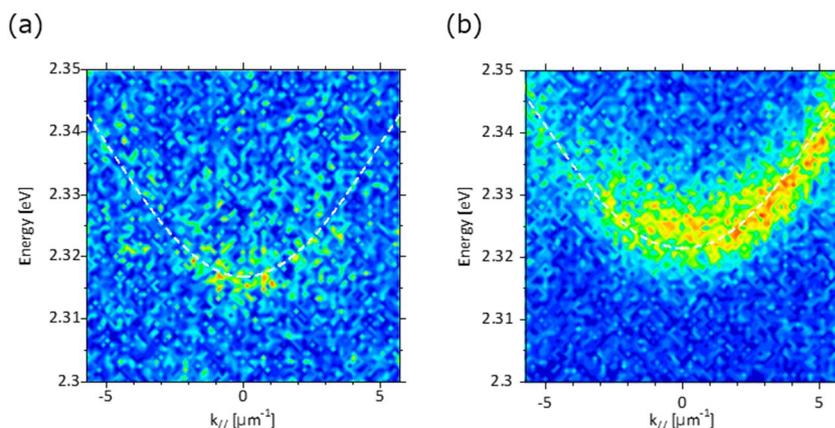


図 3 ポラリトンモードの角度分解発光スペクトル。白線はフィッティングしたポラリトンブランチを示す。(a)X 偏光(b)Y 偏光

エネルギー分裂は約 6.1meV であり、運動量依存性がないことからこれが X-Y 分裂であると判断できる。偏光方向が直交していることは、それぞれのモードがそれと直交する偏光方向の発光スペクトルには見られないことから判断できる。また、フィッティングの結果、離調度は 23~30meV、ラビ分裂エネルギーは 45~50meV であると分かった。これらの値は、CsPbBr<sub>3</sub> 微小共振器中のポラリトン状態としては典型的なものと言える。

次に、この分裂したポラリトンモードについて、それぞれの偏光方向において励起強度依存性を測定した。測定した角度分解発光スペクトルを図 4 に、発光のピーク強度の励起光強度依存性を図 5 に示す。

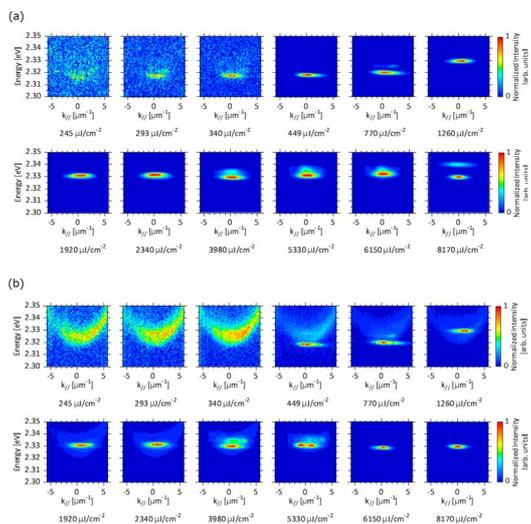


図 4 角度分解発光スペクトルの励起光強度依存性 (a)X 偏光(b)Y 偏光

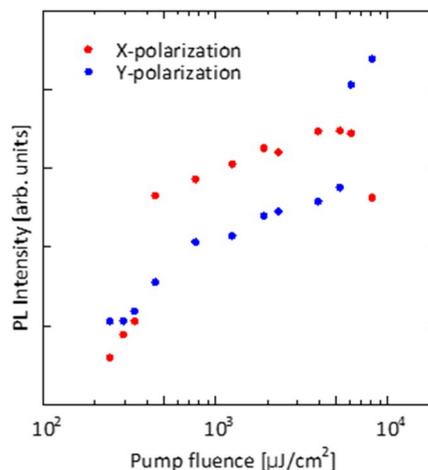


図 5 発光ピーク強度の励起光強度依存性

励起強度を強めると、X 偏光を持つポラリトンモードでポラリトン凝縮が発生する。その後さらに励起強度を高めていくと、Y 偏光を持つポラリトン凝縮が発生する 2 つ目の閾値に到達する。そして、同時に X 偏光の発光強度が弱まる。これは、X 偏光を持っていた凝縮体が、2 つめの閾値において Y 偏光方向を持つ状態へ移行するという、凝縮体の偏光スイッチング現象が発生していることを示している。これは、先行例で報告されていた 2 つの偏光方向での独立したポラリトン凝縮とは異なるものである。

この結果から、この現象が X Y 偏光モード間のカップリングに由来するのではないかと考えた。簡略化した概念図を図 6 示す。エネルギーシフトを伴う 2 つの偏光状態がカップリングしたことでカップリングモードが発生し、凝縮体がそこへ遷移したと考えると、ここで確認されたようなエネルギーの遷移と反転を説明することが出来る。そして、2 つの偏光状態がカップリングした状態で Y 偏光モードのポラリトン凝縮が発生したことで、凝縮体の偏光スイッチングがもたらされたと考えることが出来る。

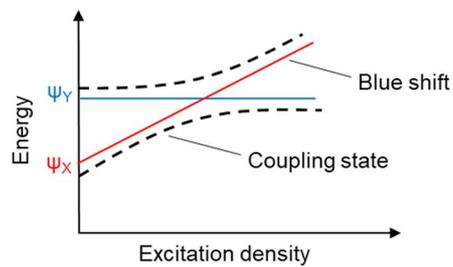


図 6 偏光モード間カップリングの模式図

以上の結果より、直交する 2 つの偏光状態間で個別の凝縮状態が形成可能であり、それらがお互いに相互作用効果を持つことを実証した。空間的に隣接した凝縮相の間での相互作用効果も存在するため、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状態を用いることにより、全く新しい概念でのニューロモルフィック素子や量子シミュタのための基礎原理となる可能性があると期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4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 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) 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 -

〔学会発表〕 計39件（うち招待講演 3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次元フォトニ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 剝離-積層法を用いた3次元フォトニ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ニ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 ポンブローブ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次元フォトリ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 異方的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 塩治卓也, 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 塩冶卓也、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ピ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 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ー発振
2. 発表標題 松尾匠、上田悠介、水野斎、佐々木史雄、山下兼一、柳久雄
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ンコート成膜
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ニクス」
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

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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