様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

# 科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　６ 年　６ 月 １０ 日現在

機関番号：１４６０３
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2021～2023
課題番号：２１Ｈ０１３７０

研究課題名（和文）TPCO自己キャビティにおける励起子フォノンポラリトンレーザー発振

研究課題名（英文）Exciton-phonon polariton lasing in TPCO self-cavities

研究代表者
水野　斎（Mizuno, Hitoshi）

奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・助教

研究者番号：６０７３４８３７

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　12,500,000円

研究成果の概要（和文）：TPCOの一種であるBP3T単結晶において観測されたレーザー発振スペクトルを基にエネルギー対波数の分散プロットを作成した結果，励起子－分子振動－光子の結合状態を考慮した現象論的ハミルトニアンにより良く再現できることがわかった。これは，単結晶内で秩序配列した分子の協同的振動が励起子ポラリトン状態と結合した複合準粒子が形成されていることを示している。また，TPCO単結晶の育成条件を探索していた際，結晶成長方法を溶液成長・気相成長・溶融法と変化させることにより，結晶面・分子配向・結晶構造の異なる結晶多形を形成することを初めて見出し，光励起レーザー発振も観測した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
従来，励起子ポラリトンを形成されるためにはマイクロキャビティ構造が必要であった。本研究で観測された励起子－分子振動－光子の結合状態に基づくレーザー発振は，単結晶の両端面が共振器として働くことによって起こるため，外部共振器を必要としない。室温かつ外部共振器を必要としない状況で上記の強結合状態に基づくレーザー発振を有機結晶を用いて観測したことは初めてである。このことは，低コストで高機能な光源やセンシングに繋がる。今後，単結晶自己共振器中における上述した強結合状態が形成される条件を明らかにすることができれば，他の有機半導体材料にも拡張することができるため，汎用性が高く，学術的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：A dispersion plot of energy versus wavenumber based on the lasing spectrum observed in a BP3T single crystal which is a type of TPCO was found to be well reproduced by a phenomenological Hamiltonian that takes into account the exciton-molecular vibration-photon coupling state. This indicates that the formation of quasiparticles in which cooperative vibrations of ordered molecules in a single crystal were coupled with exciton-polariton states. In addition, while investigating conditions for growing TPCO single crystals, we found for the first time that crystal polymorphs with different crystal planes, molecular orientations, and crystal structures can be formed by using the crystal growth methods with solution growth, vapor phase growth, and melting methods. We also observed optically pumped lasing for those of crystal polymorphs.

研究分野：光物性物理学

キーワード：（チオフェン/フェニレン）コオリゴマー　レーザー発振　励起子ポラリトン　強結合

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## １．研究開始当初の背景

これまで申請者らは，高い発光量子収率を持つπ共役オリゴマーである（チオフェン/フェニレン）コオリゴマー（TPCO）（図 1 参照）のパラレルな両端面がファブリペロー共振器として働くことに基づく光励起レーザー発振特性について報告してきた。TPCO の一種である 2,5-bis(4'-methoxybiphenyl-4-yl)thiophene (BP1T-OMe)の単結晶をパルスレーザーを用いて高密度光励起したときには，励起時間原点から約 300 ps 遅れて発光が立ち上がる遅延時間を伴ったパルス型発光が室温で観測された。このような遅延型パルス発光は，気体分子や固体結晶における超蛍光や無機半導体マイクロキャビティにおける励起子ポラリトンに基づくレーザー発振で観測されている。先行研究における 300 ps に及ぶ遅延時間を伴ったパルス型発光は，超蛍光やポラリトンレーザー発振と現象的に酷似しているが，室温で外部共振器を持たないマクロなサイズの単結晶共振器（>100 μm）中で自発的にコヒーレンスを形成し得るのか，また励起子－光子強結合が実現するのか等，未解明な点があった。

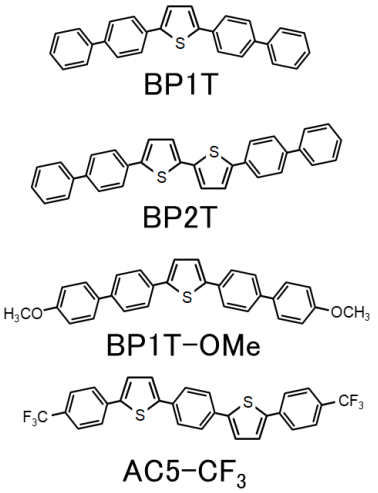

図 1. 種々の TPCO の分子構造.

このような TPCO 単結晶自己共振器から観測される特異なレーザー発振特性のメカニズムを明らかにしたいと考え，本研究を開始した。

## ２．研究の目的

パラレルな両端面を有する TPCO 単結晶を作製し，パルスレーザー励起下での光励起レーザー発振特性を調べることで，励起子－光子強結合状態や分子振動が結合した励起子－光子強結合状態が形成されているかどうかを明らかにすることを目的とした。

## ３．研究の方法

本研究では TPCO として，5,5”-bis(4-biphenylyl)-2,2':5',2”-terthiophene (BP3T)，5,5'-bis(4'-cyanobiphenyl-4-yl)-2,2'-bithiophene (BP2T-CN) 及び 5,5′-bis(4′-methoxybiphenyl-4-yl)-2,2′-bithiophene (BP2T-OMe)を用いた。

BP3T 結晶は，粉末を 190℃の 1,2,4-trichlorobenzene に溶解させて飽和溶液を作製し，15-36 時間かけて 30℃まで徐冷することにより薄板状単結晶を得た。BP2T-CN（図 2(a)）結晶は，粉末を石英管内に静置し，ヒーターで加熱して昇華させる気相成長を用いることにより，緑色発光ロッド状結晶を得た（図 2(b)）。60℃のテトラヒドロフラン (THF)に BP2T-CN 粉末溶解させ，その後 24 時間かけて 30℃まで徐冷することにより黄色発光ロッド状結晶を得た

（図 2(c)）。150℃の *o*-ジクロロベンゼン (*o*-DCB)に BP2T-CN 粉末を溶解させ, その後 20 時間かけて 30℃まで徐冷することにより黄色発光ファイバー状結晶を得た（図 2(d)）。また, BP2T-CN 粉末をヒーターを用いて溶解させ，石英基板上で自然冷却することによりオレンジ色発光ディスク状結晶を得た（図 2(e)）。BP2T-OMe 結晶は，粉末を 190 ℃の 1,2,4-trichlorobenzene に溶解させて飽和溶液を作製し，16 時間かけて 30℃まで徐冷することにより薄板状単結晶を得た（図 3）。

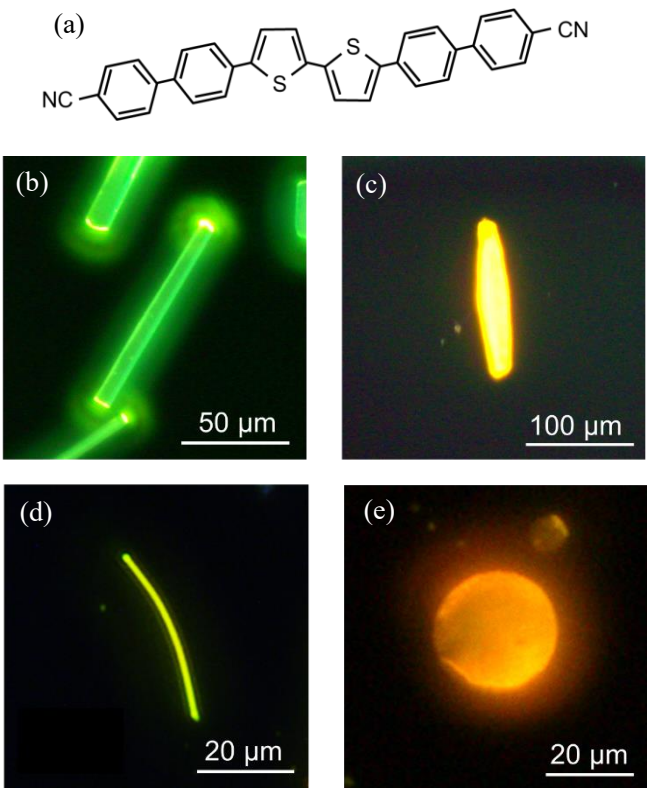


図 2. BP2T-CN の分子構造(a)．緑色発光ロッド状結晶 (b), 黄色発光ロッド状結晶 (c), 黄色発光ファイバー状結晶 (d)，オレンジ色発光ディスク状結晶 (e)の蛍光顕微鏡写真.

４．研究成果

Nd:YAG レーザー（$\lambda_{ex}$=355 nm, パルス幅：1.1 ns, 繰り返し周波数：1.2 kHz）及びチタンサファイアフェムト秒パルスレーザー（$\lambda_{ex}$=400 nm, パルス幅：150 fs, 繰り返し周波数：1 kHz）を用いて BP3T 単結晶の光励起レーザー発振特性を調べた。レーザー発振帯に対して複数に分裂した発光スペクトルにおいて現れたモード構造を基にエネルギー対波数の分散プロットを作成したところ，キャビティフォトン，0-0 励起子と分子振動と結合した励起子を考慮した現象論的ハミルトニアンにより実験結果を良く再現できることがわかった。これは，分子振動が結合した励起子ポラリトン状態がマクロな自己共振器中で形成されていることを示している（"Optically pumped lasing based on vibrationally dressed exciton polariton in single-crystal molecular cavity at room temperature", Takumi Matsuo, Yusuke Ueda, Hitoshi Mizuno, Fumio Sasaki, Kenichi Yamashita, Hisao Yanagi, ACS Photonics, vol. 9, pp. 2015-2023, 2022.）。レーザー発振帯に対して複数に分裂したスペクトルが観測されているときの時間分解測定を行った結果，約 60 ps の遅延時間を伴ったパルス型発光が観測された。コヒーレントな分子振動が強い分子間相互作用により誘起され，大域的に相関した 0-0 励起子が励起子リザーバーに形成されたとき，このコヒーレントな振動相互作用に要する時間が遅延時間として表れたと考えられる。このような集団励起子が形成され，基底状態の振動準位に遷移してレーザー発振する際，複数の分子振動が励起子ポラリトンと結合することにより，レーザー発振帯に対して複数に分裂した発光帯が観測されたと考えられる。

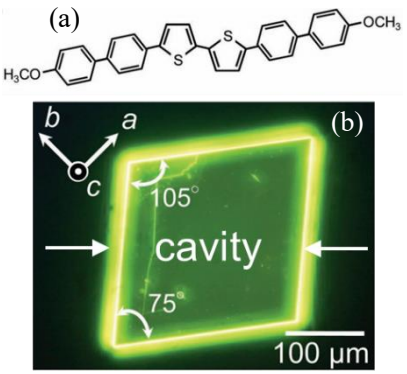


図 3. BP2T-OMe の分子構造(a)と単結晶の蛍光顕微鏡写真(b).

BP2T-CN を用いた実験については, BP2T-CN 緑色発光ロッド状結晶と黄色発光ロッド状

結晶の X 線構造解析の結果, それぞれ単斜晶系と三斜晶系に属することがわかった。このことから, 結晶多形を形成していることが明らかになった。図 2(d)に示す黄色発光ファイバー状結晶も三斜晶系をとり, 分子配向が図 2(c)と異なるために結晶形態が異なっていることがわかった。図 2(e)のオレンジ色ディスク状結晶は発光色も結晶形態も他と異なるが, 図 2(b)と同じ単斜晶系をとっていることが X 線構造解析の結果明らかになった。オレンジ色ディスク状結晶は, 緑色発光ロッド状結晶とは異なる結晶成長面と小さなスリップ角によりレッドシフトした発光が得られたと考えられる。

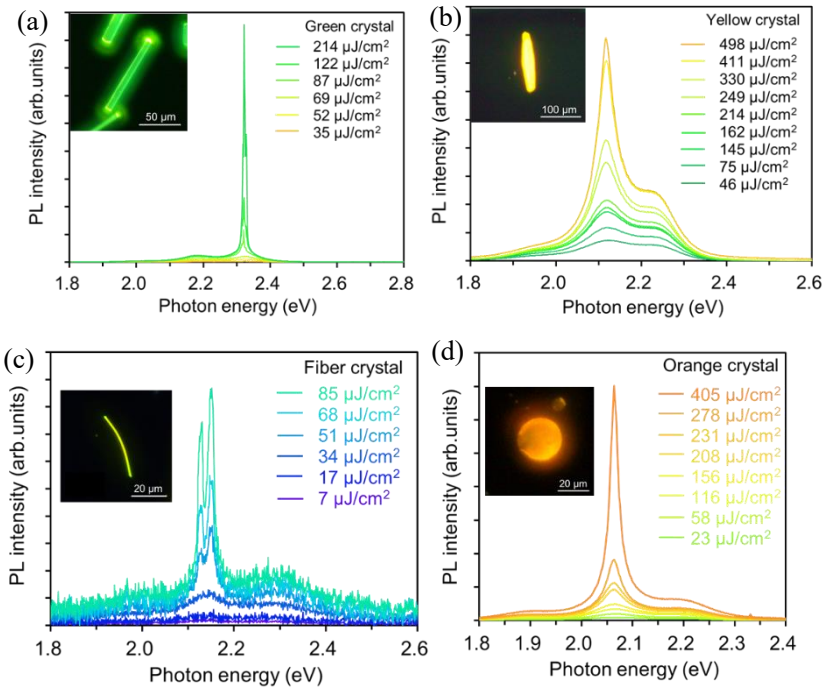


図 4. 緑色発光ロッド状結晶 (a), 黄色発光ロッド状結晶 (b), 黄色発光ファイバー状結晶 (c), オレンジ色発光ディスク状結晶 (d)からのレーザー発振スペクトル.

図 4 は, 図 2 に示した BP2T-CN 結晶それぞれからのレーザー発振スペクトルである。それぞれのレーザー発振閾値は, 87 μJ/cm$^2$, 214 μJ/cm$^2$, 17 μJ/cm$^2$, 156 μJ/cm$^2$ であり, 黄色発光ファイバー状結晶が最も低閾値であった。これは, 2 次元光閉じ込めと寝た分子配向による高い光吸収効率に起因する。このように, 結晶成長方法を変化させることで 4 種類の異なる結晶形態及び分子配向を持つ結晶を作製し, 光励起レーザー発振特性を調べた。TPCO において結晶多形形成を初めて実証し, その特性を明らかにした（"Polymorph- and molecular alignment-dependent lasing behaviors of cyano-substituted thiophene/phenylene co-oligomer", Tomomi Jinjyo, Hitoshi Mizuno, Fumio Sasaki, Hisao Yanagi, J. Mater. Chem. C, vol. 11. pp. 1714-1725, 2023.）。

BP2T-OMe 単結晶を用いた光励起レーザー発振の実験については, 単結晶のパラレルな両端面がファブリペロー共振器として働くことにより縦マルチモードのレーザー発振が観測された（フォトンレーザー発振）。このフォトンレーザー発振閾値以下の励起密度領域において, BP3T 単結晶の場合と同様にレーザー発振帯に対して複数に分裂した発光スペクトルが観測された。この時の時間分解発光スペクトルを調べたところ, 励起時間原点から約 80 ps 遅れて発光が立ち上がる遅延型パルス発光が観測された。レーザー発振帯に対して分裂した発光が現れているときのモード構造を基にエネルギー対波数の分散プロットを作成したところ, 0−1 帯励起子・0−2 帯励起子とキャビティフォトンが結合した結果生じる, 分子振動と結合した励起子ポラリトンのモデルで実験結果が良く再現された。このことは, 前閾値励起密度領域では, 分子振動が結合した励起子ポラリトンに基づくレーザー発振が発現していることを強く示唆している（論文投稿前のため, 詳細な説明と図の掲載は差し控え

る)。今後，BP3T と BP2T-OMe の実験結果をベースに，分子対称性・分子振動・光閉じ込め性能や分子間相互作用の大きさと分子振動が結合した励起子ポラリトンの光学特性の関係を明らかにしていく必要がある。

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計6件（うち査読付論文　6件／うち国際共著　0件／うちオープンアクセス　4件）

| | |
|---|---|
| １．著者名<br>Tomomi Jinjyo, Hitoshi Mizuno, Kazuki Bando, Fumio Sasaki, Hisao Yanagi | ４．巻<br>3 |
| ２．論文標題<br>Observation of Size-Dependent Optical Properties Based on Surface and Quantum Effects in Nanocrystals of 5,5′-Bis(4-Biphenylyl)-2,2′-Bithiophene | ５．発行年<br>2022年 |
| ３．雑誌名<br>Advanced Photonics Research | ６．最初と最後の頁<br>2100323-1-12 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1002/adpr.202100323 | 査読の有無<br>有 |
| オープンアクセス<br>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<br>－ |

| | |
|---|---|
| １．著者名<br>Tomomi Jinjyo, Hitoshi Mizuno, Fumio Sasaki, Hisao Yanagi | ４．巻<br>11 |
| ２．論文標題<br>Polymorph- and molecular alignment-dependent lasing behaviors of a cyano-substituted thiophene/phenylene co-oligomer | ５．発行年<br>2023年 |
| ３．雑誌名<br>Journal of Materials Chemistry C | ６．最初と最後の頁<br>1714-1725 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1039/d2tc04151k | 査読の有無<br>有 |
| オープンアクセス<br>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<br>－ |

| | |
|---|---|
| １．著者名<br>Tomoya Tagami, Yusuke Ueda, Keita Imai, Shun Takahashi, Hitoshi Mizuno, Hisao Yanagi, Takeshi Obuchi, Masaaki Nakayama, Kenichi Yamashita | ４．巻<br>29 |
| ２．論文標題<br>Anisotropic light-matter coupling and below-threshold excitation dynamics in an organic crystal microcavity | ５．発行年<br>2021年 |
| ３．雑誌名<br>Optics Express | ６．最初と最後の頁<br>26433-26443 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1364/OE.425461 | 査読の有無<br>有 |
| オープンアクセス<br>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<br>－ |

| | |
|---|---|
| １．著者名<br>Naho Kurahashi, Hitoshi Mizuno, Fumio Sasaki, Hisao Yanagi | ４．巻<br>11 |
| ２．論文標題<br>Micro-ring Laser with CH3NH3PbBr3/PEO Composite Coated inside Microcapillary | ５．発行年<br>2021年 |
| ３．雑誌名<br>AIP Advances | ６．最初と最後の頁<br>95301 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1063/5. 0057793 | 査読の有無<br>有 |
| オープンアクセス<br>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<br>－ |

| | |
|---|---|
| 1．著者名<br>Hitoshi Mizuno, Tomomi Jinjyo, Kazuki Bando, Fumio Sasaki, Kenichi Yamashita, Hisao Yanagi | 4．巻<br>9 |
| 2．論文標題<br>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<br>2021年 |
| 3．雑誌名<br>J. Mater. Chem. C | 6．最初と最後の頁<br>11189-11197 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1039/d1tc02024b | 査読の有無<br>有 |
| オープンアクセス<br>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<br>－ |

| | |
|---|---|
| 1．著者名<br>Tomomi Jinjyo, Hitoshi Mizuno, Kazuki Bando, Fumio Sasaki, Hisao Yanagi | 4．巻<br>2100323 |
| 2．論文標題<br>Observation of Size-Dependent Optical Properties Based on Surface and Quantum Effects in Nanocrystals of 5,5′-Bis(4-Biphenylyl)-2,2′-Bithiophene | 5．発行年<br>2022年 |
| 3．雑誌名<br>Advanced Photonics Research | 6．最初と最後の頁<br>2100323 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1002/adpr.202100323 | 査読の有無<br>有 |
| オープンアクセス<br>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<br>－ |

〔学会発表〕　計19件（うち招待講演　1件／うち国際学会　3件）

| |
|---|
| 1．発表者名<br>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<br>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<br>第83回応用物理学会秋季学術講演会 |
| 4．発表年<br>2022年 |

| |
|---|
| 1．発表者名<br>佐々木　史雄，松尾　匠，高田　徳幸，椋橋　奈穂，水野　斎，柳　久雄 |
| 2．発表標題<br>溶液キャスト法による有機半導体微小結晶共振器の pn 接合と EL 発光 |
| 3．学会等名<br>第83回応用物理学会秋季学術講演会 |
| 4．発表年<br>2022年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>水野　斎，甚上　知美，佐々木　史雄，柳　久雄 |
| ２．発表標題<br>（チオフェン/フェニレン）コオリゴマーナノ結晶を用いた有機EL素子の作製とその評価 |
| ３．学会等名<br>第83回応用物理学会秋季学術講演会 |
| ４．発表年<br>2022年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>甚上　知美，水野　斎，阪東　一毅，佐々木　史雄，柳　久雄 |
| ２．発表標題<br>（チオフェン/フェニレン）コオリゴマーナノ結晶のカソードルミネッセンス特性 |
| ３．学会等名<br>第83回応用物理学会秋季学術講演会 |
| ４．発表年<br>2022年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>甚上　知美，水野　斎，佐々木　史雄，柳　久雄 |
| ２．発表標題<br>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<br>第83回応用物理学会秋季学術講演会 |
| ４．発表年<br>2022年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>佐々木 史雄，松尾 匠，高田 徳幸，椋橋 奈穂，水野 斎，柳 久雄 |
| ２．発表標題<br>溶液キャスト法とcytopスピンコート法による有機半導体微小結晶共振器を有したEL素子の開発 |
| ３．学会等名<br>第70回応用物理学会春季学術講演会 |
| ４．発表年<br>2023年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>柳 久雄，松尾 匠，水野 斎，佐々木 史雄，阪東 一毅，山下 兼一 |
| ２．発表標題<br>TPCO低次元結晶の協同的発光増幅現象 |
| ３．学会等名<br>第41回レーザー学会年次大会（招待講演） |
| ４．発表年<br>2021年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>Naho Kurahashi, Hitoshi Mizuno, Fumio Sasaki, Hisao Yanagi |
| ２．発表標題<br>Fabrication of Perovskite Light-emitting Electrochemical Cells with Micro-ring Structure |
| ３．学会等名<br>2021 International Conference on Solid State Device and Materialss (SSDM 2021)（国際学会） |
| ４．発表年<br>2021年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>甚上 知美，水野 斎，阪東 一毅，佐々木 史雄，柳 久雄 |
| ２．発表標題<br>（チオフェン/フェニレン）コオリゴマーナノ結晶の作製と量子サイズ効果の検証 |
| ３．学会等名<br>第82回応用物理学会秋季学術講演会 |
| ４．発表年<br>2021年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>佐々木 史雄，松尾 匠，高田 徳幸，椋橋 奈穂，水野 斎，柳 久雄 |
| ２．発表標題<br>ペロブスカイト電荷移動層と(チオフェン/フェニレン)コオリゴマー発光層からなる有機EL素子の開発 |
| ３．学会等名<br>第82回応用物理学会秋季学術講演会 |
| ４．発表年<br>2021年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>水野 斎，甚上 知美，阪東 一毅，佐々木 史雄，柳 久雄 |
| ２．発表標題<br>ブチル基置換（チオフェン/フェニレン）コオリゴマーの結晶多形形成による光学特性の変化 |
| ３．学会等名<br>第82回応用物理学会秋季学術講演会 |
| ４．発表年<br>2021年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>椋橋 奈穂，水野 斎，佐々木 史雄，柳 久雄 |
| ２．発表標題<br>マイクロキャビラリ共振器を有するペロブスカイトLECの作製 |
| ３．学会等名<br>第82回応用物理学会秋季学術講演会 |
| ４．発表年<br>2021年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>樋口 献，甚上 知美，水野 斎，阪東 一毅，佐々木 史雄，柳 久雄 |
| ２．発表標題<br>シアノ基置換（チオフェン/フェニレン）コオリゴマーナノ結晶の作製とその光学特性 |
| ３．学会等名<br>第82回応用物理学会秋季学術講演会 |
| ４．発表年<br>2021年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>Tomomi Jinjyo, Hitoshi Mizuno, Kazuki Bando, Fumio Sasaki, Hisao Yanagi |
| ２．発表標題<br>Preparation of nanocrystals of thiophene/phenylene co-oligomers and crystal size effects on their photoluminescence properties |
| ３．学会等名<br>The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem2021)（国際学会） |
| ４．発表年<br>2021年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>Hitoshi Mizuno, Yuya Mekata, Tomomi Jinjyo, Kazuki Bando, Fumio Sasaki, Hisao Yanagi |
| ２．発表標題<br>Preparation of hexyl-substituted thiophene/phenylene co-oligomer nanocrystals and their opticalproperties |
| ３．学会等名<br>The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem2021)（国際学会） |
| ４．発表年<br>2021年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>佐々木 史雄，松尾 匠，高田 徳幸，椋橋 奈穂，水野 斎，柳 久雄 |
| ２．発表標題<br>溶液キャスト法による微小共振器形成とその有機EL素子開発 |
| ３．学会等名<br>レーザー学会第560回研究会「有機コヒーレントフォトニクス」 |
| ４．発表年<br>2021年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>甚上 知美，水野 斎，佐々木 史雄，柳 久雄 |
| ２．発表標題<br>シアノ基置換（チオフェン/フェニレン）コオリゴマーの結晶多形の光学特性 |
| ３．学会等名<br>2022年第69回応用物理学会春季学術講演会 |
| ４．発表年<br>2022年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>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<br>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<br>2022年第69回応用物理学会春季学術講演会 |
| ４．発表年<br>2022年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>菅原 拓実，水野 斎，甚上 知美，佐々木 史雄，柳 久雄 |
| ２．発表標題<br>ヘキシル基置換（チオフェン/フェニレン）コオリゴマー単結晶の作製とその光学特性 |
| ３．学会等名<br>2022年第69回応用物理学会春季学術講演会 |
| ４．発表年<br>2022年 |

〔図書〕　計0件

〔出願〕　計5件

| 産業財産権の名称 | 発明者 | 権利者 |
|---|---|---|
| 有機ナノ結晶の製造方法および分散液 | 水野 斎，甚上 知美，柳 久雄 | 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 | 出願年 | 国内・外国の別 |
| 特許、特願2021-148051 | 2022年 | 国内 |

| 産業財産権の名称 | 発明者 | 権利者 |
|---|---|---|
| 有機ナノ結晶の製造方法および分散液 | 水野 斎，甚上 知美，柳 久雄 | 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 | 出願年 | 国内・外国の別 |
| 特許、PCT/JP2022/ 33878 | 2022年 | 外国 |

| 産業財産権の名称 | 発明者 | 権利者 |
|---|---|---|
| 有機ナノ結晶の製造方法および分散液 | 水野斎,甚上知美,眞田隆,吉村大祐,高口卓也,井上浩,西村元 | 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 | 出願年 | 国内・外国の別 |
| 特許、特願2023-040120 | 2023年 | 国内 |

| 産業財産権の名称 | 発明者 | 権利者 |
|---|---|---|
| 有機半導体素子 | 水野斎,甚上知美,眞田隆,井上浩,吉村大祐,高口卓也,近藤克 | 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 | 出願年 | 国内・外国の別 |
| 特許、特願2023-040121 | 2023年 | 国内 |

| 産業財産権の名称 | 発明者 | 権利者 |
|---|---|---|
| 有機ナノ結晶の製造方法および分散液 | 水野 斎，甚上 知美，柳 久雄 | 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 | 出願年 | 国内・外国の別 |
| 特許、特願2021-148051 | 2021年 | 国内 |

〔取得〕　計0件

〔その他〕

| |
|---|
| 奈良先端科学技術大学院大学光量子物性研究室HP<br>https://qps-lab-naist.labby.jp/<br>光量子物性研究室（公式）(Quantum Photo-science)<br>https://twitter.com/QuantumMaterial<br>https://www.instagram.com/qms_lab/<br>qms_lab<br>量子物性科学研究室HP<br>https://mswebs.naist.jp/LABs/optics/index-j.html |

## ６．研究組織

| | 氏名<br>（ローマ字氏名）<br>（研究者番号） | 所属研究機関・部局・職<br>（機関番号） | 備考 |
|---|---|---|---|
| 研究分担者 | 山下　兼一<br>(Yamashita Kenichi)<br>(00346115) | 京都工芸繊維大学・電気電子工学系・教授<br>(14303) | |
| 研究分担者 | 阪東　一毅<br>(Bando Kazuki)<br>(50344867) | 静岡大学・理学部・教授<br>(13801) | |
| 研究分担者 | 佐々木　史雄<br>(Sasaki Fumio)<br>(90222009) | 国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・上級主任研究員<br>(82626) | |
| 研究分担者 | 柳　久雄<br>(Yanagi Hisao)<br>(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<br>(14603) | |

## 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1件

| 国際研究集会 | 開催年 |
|---|---|
| The Japan Society of Applied Physics, Kansai Chapter "Young Researchers Association on Organic Electronics and Photonics" | 2021年～2021年 |

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 | | | |
|---|---|---|---|---|
| イタリア | CNR-NANOTEC | | | |