

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H02771

研究課題名(和文) スライドボート法による有機半導体ダブルヘテロ積層構造と微小共振器レーザーの開発

研究課題名(英文) development of organic semiconductor double-heterostructures and microcavity lasers fabricated by slide boat method

研究代表者

佐々木 史雄 (Sasaki, Fumio)

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

研究者番号：90222009

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：有機半導体レーザーの実現を目指して、スライドボート法でのダブルヘテロ積層構造の作製に取り組んできた。本研究開始時には単結晶的なダブルヘテロ構造が担保できる領域が小さく、電流リークのないLED作製が困難であった。この改善のため、スライドボート装置のルツボ周辺の改良を進め、単結晶的ドメインの大きな積層膜を形成する事を目指し、これに微小共振器形成プロセスを施し、発振閾値の低い電流注入型LD構造を形成する。さらに電極付近周辺にp,nドープした(チオフェン/フェニレン)コオリゴマー(TPCO)材料での積層構造を形成し、素子全体の低抵抗化を進め、有機LDの実現を図る事を目的として研究開発を進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

有機ELの実用化が着実に進んでおり、より高輝度が必要とされる照明分野においても、既に蛍光灯を上回る高輝度光源も実現している。一方無機半導体からなるLDによる照明応用も省エネルギーの観点から期待されている。より低コスト・省エネルギープロセスでの製造ができる有機半導体での電流注入型レーザーの実現による照明応用も期待できる。我々は光学特性、伝導特性共に有機半導体として優れた特性を有している、結晶性有機半導体材料TPCOについて研究を進めてきた。この有機半導体材料特性を保持したまま、半導体レーザー共振器が形成できれば、電流注入発振も十分に起きうる水準になってきておりその実現を目指した。

研究成果の概要(英文)：In order to realize an organic semiconductor laser, we have been studying on the fabrication of a double hetero structure by the slide boat method. At the beginning of this research, the region where a single crystal double heterostructure can be secured was small, and it was difficult to manufacture an LED without current leakage. In order to improve this, we will continue to improve the area around the crucible of the slide boat device, aiming to form a large laminated film with a single crystal domain. We also improve the fabrication methods of microcavity formation process, and apply a current injection type LD structure with a low lasing threshold. Furthermore, research and development was carried out with the aim of forming a laminated structure with p, n-doped TPCO around the electrode, reducing the resistance of the entire device, and realizing an organic LD.

研究分野：有機半導体レーザー

キーワード：有機半導体レーザー ダブルヘテロ構造 スライドボート法 (チオフェン/フェニレン)コオリゴマー 微小共振器

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

本研究を開始した 2016 年当時は有機 EL の実用化が着実に進んでおり、小型のディスプレイだけでなく大画面ディスプレイの商品展開も韓国メーカーなどが中心に進めてきていた。一方、より高輝度が必要とされる照明分野においても、研究レベルでは既に蛍光灯を上回る高輝度光源 (~ 130lm/W) が実現しており、今後面型光源の特長などを生かした新たな市場を開拓できるかその真価が問われようとしている。さらに、LD からなる照明応用も省エネルギーの観点から期待され、一部高機能のヘッドライトやレーザープロジェクター分野で実用化が進みつつある。これら産業技術的には LD の応用は無機半導体材料系に限られており、この分野への有機系材料を浸透させるには、電流注入型有機半導体レーザーを実現する必要があり、学術的には盛んに研究されてきた。残念ながら、現在に至るまで、確たる有機半導体レーザーの電流注入発振は実現していなかったが、その兆候となる報告や液体からなる電流注入型発光デバイスの開発など、興味深い取り組みがなされてきていた。我々は今までに、室温で高い発光効率を示し、かつトランジスタ動作や EL の観測など光学特性、伝導特性共に有機半導体として優れた特性を有している、結晶性材料(チオフェン/フェニレン)コオリゴマー(TPCO)について研究を進めてきた。この有機半導体材料の優れた特性を保持したまま、半導体レーザー共振器が形成できれば、電流注入発振も十分に起きうる水準になってきた。その形成には半導体レーザーとして代表的なダブルヘテロ構造を如何に作製するか、即ち、結晶性薄膜の積層構造が実現できるかが重要な課題である。これを実現するために、我々はスライドボート法を用いた TPCO 系薄膜作製技術開発を進めてきた。この手法は液相からの薄膜結晶成長技術として、現在も III-V 族無機半導体薄膜作製に使われており、産業レベルでの LED 製造に寄与している。2019 年には有機半導体共振器からの明らかな電流注入増幅・発振が遂に実現し 2 件の報告がされたが、その内の 1 件は TPCO の 1 種である 5,5''-bis(4-biphenyl)-2,2':5',2''-terthiophene (BP3T) という材料であり、この系の高性能が実証された事になる。

## 2. 研究の目的

スライドボート法でのダブルヘテロ積層構造の作製には成功していたが、単結晶的なダブルヘテロ構造が担保できる領域が小さく、電流リークのない LED 作製が困難であった。この改善のため、スライドボート装置のルツボ周辺の改良を進め、単結晶的ドメインの大きな積層膜を形成する事を目指す。また、これに微小共振器形成プロセスを施し、発振閾値の低い電流注入型 LD 構造を形成する。さらに電極付近周辺に p,n ドープした TPCO との積層構造を形成し、素子全体の低抵抗化を進め、有機 LD の実現を図る事を目的とした。

## 3. 研究の方法

図 1 にスライドボート装置の概要を示す。単結晶的なドメインサイズ拡大のため、現在のスライドボート法に加え、ブレードコーティング的結晶成長技術を導入する。この手法は溶液からの有機結晶成長技術として近年大きな成果を上げつつ有り、ブレードの送引方向には cm サイズの単結晶的ドメインが形成できる事も報告されている。要は、有機結晶材料の溶け込んだ溶液を基板の上に塗布後、ブレードに接触させ、それを 1 方向に送引する結晶成長なので、このスライドボート法との整合性が非常に良い。また、現在ルツボの材料出射部分の目詰まりが高頻度で生じており、成膜レートが安定しない問題などもあった。これらを解決するには、ブレードの固定部分には板バネなどを導入し接触力の調整を出来るようにし、ノズル部分の目詰まりを防ぐにはルツボ内の固体材料がノズル出射部分に直接接触しないようにする、またはノズル出射部分のみを高温にし、原料が付着しにくくする等の改善を行う。さらに、ルツボ-基板間の距離を長くし、断熱材などを導入すれば、BP1T 上への BP3T コートの際のダメージ低減も可能である。これらの装置改造・改良を行った。この改造の概要を図 2 に示した。

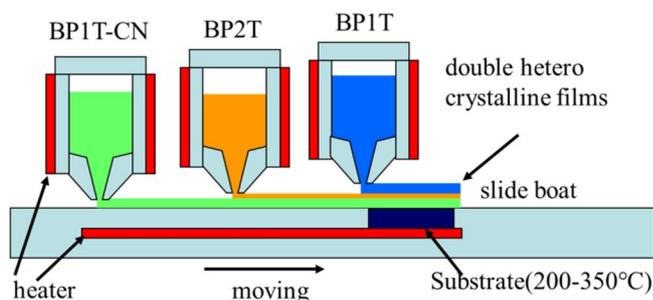


図 1 スライドボート装置の概要図

さらに、分子両端に置換基としてシアノ基(CN)を付けた TPCO 系材料を用いると、基板上に分子長軸がほぼ横たわって配置され、 $\pi$  結合へのキャリア注入特性が良好になる。その結果、EL 特性では 1 桁以上の特性向上が可能となり、面射出型微小共振器(VCSEL)による光結合も実現できる事から、CN 系 TPCO を第 1 層に用いた薄膜作製を進める。

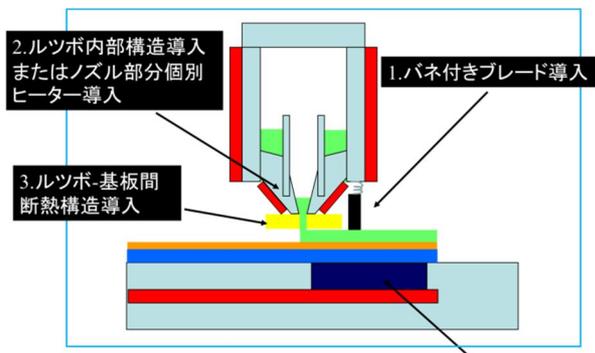


図 2 ルツボ周辺の改造

#### 4. 研究成果

各種 TPCO 系材料をスライドポート法で成長した時の成長温度  $T_g$  とそれぞれの融点  $T_m$  を表 1 に示す。結果を図 3 に示す。これからわかるように、CN 系以外の TPCO 材料ではいずれも融点より低い温度での製膜が出来ているのに対し、BP1T-CN では融点と同程度、

表 1 各種 TPCO 系材料の融点  $T_m$  と成長温度  $T_g$

Molecules	Melting point ( $T_m$ )	Growth temperature ( $T_g$ )
BP1T	337 °C	260 °C–290 °C
BP2T	358 °C	320 °C–355 °C
BP3T	386 °C	—
AC5-CF <sub>3</sub>	277 °C	240 °C–280 °C
BP1T-CN	300 °C	290 °C–310 °C
BP2T-CN	316 °C	365 °C

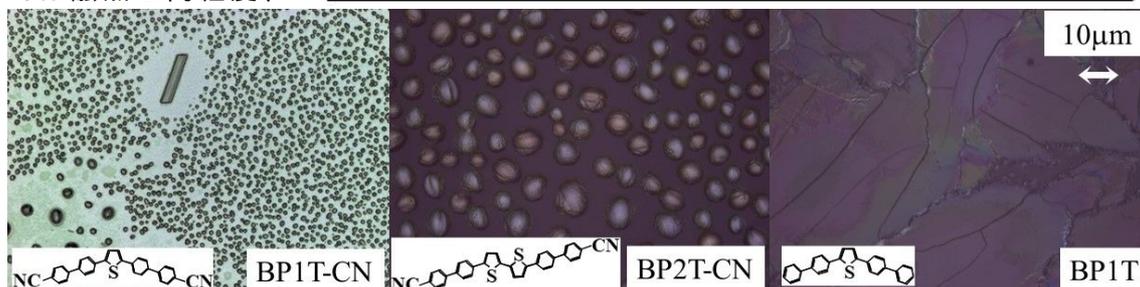


図 3 3 種類の TPCO 結晶の顕微鏡像

BP2T-CN では融点より 50°C以上高温にしないと製膜できない。これは、BP1T, BP2T などはルツボからの原料射出が高濃度の気相から成長しているのに対し、BP1T-CN, BP2T-CN 系の場合は液相からの原料射出が多いためであると考えられる。実際、膜の状態を顕微鏡観察した結果を図 3 に示す。図には載せていないが、BP2T, AC5-CF<sub>3</sub> も BP1T と同様な膜状のモルフォロジーで製膜されている。それに対し、BP1T-CN, BP2T-CN ではマイクロドット状の結晶が多くを占めている。一般的に分子性結晶は van der Waals 力により構造が維持されており、その多くの物では昇華圧が高いと思われる。BP1T, BP2T などの TPCO 結晶はこの範疇に入るため、気相での原料射出が生じ、融点以下で製膜できると思われる。一方、CN 系 TPCO 分子の場合、隣り合う分子末端についているシアノ基同士のイオン結合が強くなり昇華圧が低くなると考えられる。その結果、融点以上で液滴状の結晶が基板上に析出すると思われる。また、分子長が長いほど分子間力が強いので、BP1T-CN より BP2T-CN の方が融点より高温での成長が多く、気相からできるやすいニードル状の結晶が全くないこともわかる。これらの膜のモルフォロジー改善やドメインサイズ拡大が、図 2 に示したような改良により期待できる。このスライドポート法で作製したドット状の BP1T-CN, BP2T-CN 結晶はいずれも光励起で発振する。その様子を図 4 に示す。

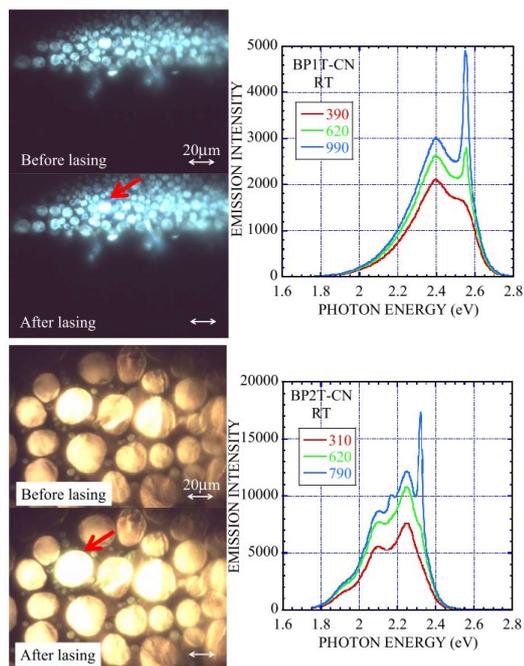


図 4 ドット状の BP1T-CN(上図)と BP2T-CN(下図)結晶の光励起発振スペクトルとその際の蛍光顕微鏡像

実際、この原料ルツボのノズル部分の改造を行った際に、内部構造などの導入のため、当初 3cc 程度だったルツボ内体積が大幅に上昇したため、原料射出量の制御が難しくなり、成膜が

出来ない状況が続いていたが、ルツボ内体積をおよそ 20% 程度に制限することで成膜状況の安定化が確認できた。また、ポート部分の温度設定を従来より 100°C 程度高くした 350°C 程度に対応させるため、ヒーター部分もポートと一体にスライドする機構に設計変更し、その動作チェックも確認できた。さらに、ブレード部分と基板との接触状況の改善も図りつつあるが、残念ながら、最終年度を迎えても安定な成膜が出来るところまでは達成できなかった。図 5 に第 1 層目の BP1T-CN のブレード動作下で製膜した顕微鏡写真を示す。図 3 と比べると気相からの成長に近いニードル状の微結晶が多くできている事が判るが、ブレードとの接触部分がまだ基板のごく一部にとどまっている事や、接触した部分でも大きな結晶に成長できていないこともわかる。現在、ブレード部分を単一のブレードではなく、細かな分割を導入し、基板との接触状況を改善し、連続した膜状のモルフォロジーが得られる条件設定を進めている。最終年度終了時に実際の素子形成に至らなかった点、非常に残念ではあるが、これらの改善を進め、スライドポート積層膜での EL 素子形成を今後も進める予定である。現在、真空蒸着膜で作製したダブルヘテロ EL 素子特性は図 6 の様に  $1\text{Acm}^{-2}$  を超える大きな電流密度を得ることもできる。発光効率はまだ正確な測定はできていないが、およそ 1% 程度の電力効率が得られていると思われる。スライドポート法により結晶性の良好なダブルヘテロ構造が実現できれば、これらの特性の大幅な向上も期待できる。

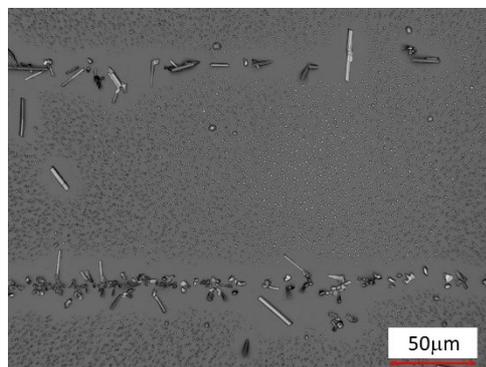


図 5 ブレード付きスライドポート法成膜した BP1T-CN 結晶の顕微鏡像

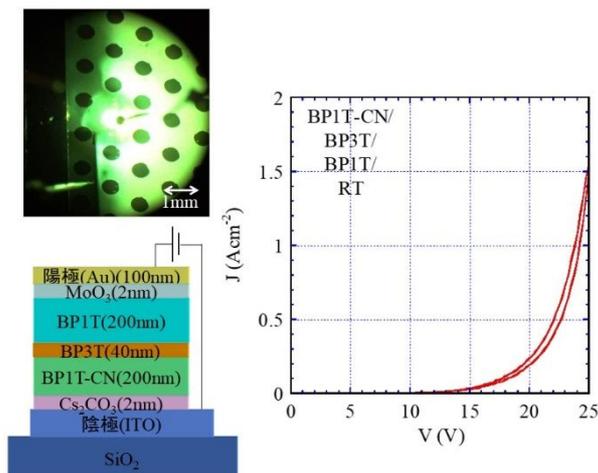


図 6 蒸着膜で作製した TPCO 系結晶薄膜のダブルヘテロ EL 素子構造と J-V 特性と顕微鏡像

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計30件（うち査読付論文 21件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hisao Yanagi, Fumio Sasaki, Kenichi Yamashita	4. 巻 7
2. 論文標題 Cooperative Behaviors in Amplified Emission from Single Microcrystals of Thiophene/Phenylene Co-Oligomers toward Organic Polariton Laser	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 1900136-1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.201900136	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 Shohei Dokiya, Hideyuki Mizuno, Hitoshi Mizuno, Hiroyuki Katsuki, Kenichi Yamashita, Fumio Sasaki, Hisao Yanagi	4. 巻 12
2. 論文標題 Strong exciton-photon coupling in organic microcavity electroluminescence devices with thiophene/phenylene co-oligomer derivatives	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 111002-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab47b9	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 Fumio Sasaki, Naho Kurahashi, Hisao Yanagi	4. 巻 59
2. 論文標題 Electroluminescence from double heterostructures of perovskite semiconductors and thiophene/phenylene co-oligomers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	6. 最初と最後の頁 SDDC01-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab54e5	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 Pananus Potisat, Shohei Dokiya, Hitoshi Mizuno, Fumio Sasaki, Hisao Yanagi	4. 巻 59
2. 論文標題 Fabrication by vaporized film deposition and in situ FET measurements of polycrystalline thiophene/phenylene co-oligomer films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	6. 最初と最後の頁 SDDA17-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab53c9	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 Tomoya Akazawa, Fumio Sasaki, Kazuki Bando, Hitoshi Mizuno, Hiroyuki Katsuki, Hisao Yanagi	4. 巻 59
2. 論文標題 Fabrication of low-dimensional microstructures with distyrylbenzene derivatives	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	6. 最初と最後の頁 SDDA07-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab4eca	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 Takumi Matsuo, Hitoshi Mizuno, Fumio Sasaki, Hisao Yanagi	4. 巻 59
2. 論文標題 Indication of cooperative light amplification in 5,5 -bis(4-biphenyl)-2,2 :5,2 -terthiophene single crystals at room temperature	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	6. 最初と最後の頁 SDDB02-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab54f2	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 Hitoshi Mizuno, Tomomi Jinjyo, Christian M. Laurio, Hiroyuki Katsuki, Ichiro Hiromitsu, Fumio Sasaki, Hisao Yanagi	4. 巻 59
2. 論文標題 Fabrication and characterization of vertical microcavities containing a submicron particle film of 5,5 -di(4-biphenyl)-2,2 -bithiophene	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	6. 最初と最後の頁 SDDA14-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab5c63	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 Naho Kurahashi, Hitoshi Mizuno, Fumio Sasaki, Hisao Yanagi	4. 巻 124
2. 論文標題 Whispering Gallery Mode Lasing from CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> PbBr <sub>3</sub> /PEO Composites Grown in a Microcapillary	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 3242 - 3249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b10272	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 Yuya Hara, Youtaro Higase, Marie Taguchi, Shun Takahashi, Fumio Sasaki, Kenichi Yamashita	4. 巻 116
2. 論文標題 A polymer film with ultra-broadband optical gain characteristics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 063301-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5129477	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 佐々木 史雄, 高田 徳幸, 土器屋 翔平, 水野 斎, 柳 久雄	4. 巻 RTM19
2. 論文標題 (チオフェン/フェニレン)コオリゴマーを用いたダブルヘテロ構造の作製とEL特性:パルス駆動特性とVCSEL型共振器形成に向けて	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 レーザー学会第540回研究会報告 「有機コヒーレントフォトニクス」	6. 最初と最後の頁 21-25
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 無
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 水野 斎, 吉田 航, 香月 浩之, 佐々木 史雄, 山下 兼一, 柳 久雄	4. 巻 RTM19
2. 論文標題 (チオフェン/フェニレン)コオリゴマー低次元単結晶及びマイクロキャビティの作製とそれらの光学特性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 レーザー学会第540回研究会報告 「有機コヒーレントフォトニクス」	6. 最初と最後の頁 11-15
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 無
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 松尾 匠, 水野 斎, 佐々木史雄, 柳久雄	4. 巻 RTM19
2. 論文標題 BP3T 単結晶における光励起レーザー発振および狭線化増幅特性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 レーザー学会第540回研究会報告 「有機コヒーレントフォトニクス」	6. 最初と最後の頁 1-4
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 無
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 Youtaro Higase, Shinya Morita, Toshiyuki Fujii, Shun Takahashi, Kenichi Yamashita, Fumio Sasaki	4. 巻 43
2. 論文標題 High-gain and wide-band optical amplifications induced by a coupled excited state of organic dye molecules co-doped in polymer waveguide	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 1714-1717
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.43.001714	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 Kazuki Bando, Honami Fujii, Kei Mizuno, Kaishi Narushima, Akihito Miyazaki, Fumio Sasaki, Shu Hotta, Hisao Yanagi	4. 巻 4
2. 論文標題 Self-Assembled Organic Crystalline Microring Cavities with High Q-Factors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ChemNanoMat	6. 最初と最後の頁 936-942
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cnma.201800135	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 Daichi Okada, Stefano Azzini, Hiroki Nishioka, Anna Ichimura, Hayato Tsuji, Eiichi Nakamura, Fumio Sasaki, Cyriaque Genet, Thomas W. Ebbesen, Yohei Yamamoto	4. 巻 18
2. 論文標題 Pi Electronic Co-crystal Microcavities with Selective Vibronic-Mode Light Amplification: Toward Forster Resonance Energy Transfer Lasing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 4396-4402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.8b01442	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 Naho Kurahashi, Van-Cao Nguyen, Fumio Sasaki, Hisao Yanagi	4. 巻 113
2. 論文標題 Whispering gallery mode lasing in lead halide perovskite crystals grown in microcapillary	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 011107-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5037243	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 Fumio Sasaki, Shohei Dokiya, Hisao Yanagi	4. 巻 58
2. 論文標題 Optically pumped lasing of cyano-substituted thiophene/phenylene co-oligomer microcrystals fabricated by the slide boat method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SBBG05-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/aaf878	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 東瀬 陽太郎, 田口 巴里絵, 森田真也, 藤井俊行, 山下 兼一, 佐々木 史雄	4. 巻 RTM18-61
2. 論文標題 有機色素共ドーブ薄膜の光増幅特性と波長可変レーザー発振特性	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 レーザー学会第528回研究会報告	6. 最初と最後の頁 7-11
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 無
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 佐々木 史雄, 土器屋翔平, 柳久雄	4. 巻 RTM18-64
2. 論文標題 CN系(チオフェン/フェニレン)コオリゴマーを用いたダブルヘテロ蒸着膜のEL特性とスライドポート成長結晶による光励起レーザー発振	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 レーザー学会第528回研究会報告	6. 最初と最後の頁 21-26
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 無
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 柳久雄, 香月浩之, 佐々木史雄, 山下兼一	4. 巻 RTM18-66
2. 論文標題 量子解放の分子機能から見たTPCO結晶の発光増幅現象	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 レーザー学会第528回研究会報告	6. 最初と最後の頁 33-36
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 無
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 Kushida Soh, Okada Daichi, Sasaki Fumio, Lin Zhan-Hong, Huang Jer-Shing, Yamamoto Yohei	4. 巻 5
2. 論文標題 Low-Threshold Whispering Gallery Mode Lasing from Self-Assembled Microspheres of Single-Sort Conjugated Polymers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 1700123 ~ 1700123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.201700123	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 Nguyen Van-Cao, Katsuki Hiroyuki, Sasaki Fumio, Yanagi Hisao	4. 巻 468
2. 論文標題 Single-crystal perovskites prepared by simple solution process: Cast-capping method	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Crystal Growth	6. 最初と最後の頁 796 ~ 799
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcrysgro.2016.11.034	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 Dokiya Shohei, Sasaki Fumio, Yanagi Hisao	4. 巻 468
2. 論文標題 Fabrication of polycrystalline films of cyano-substituted thiophene/phenylene co-oligomer by vaporized film deposition method	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Crystal Growth	6. 最初と最後の頁 792 ~ 795
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcrysgro.2016.11.032	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 Nguyen Van-Cao, Katsuki Hiroyuki, Sasaki Fumio, Yanagi Hisao	4. 巻 468
2. 論文標題 Single-crystal perovskites prepared by simple solution process: Cast-capping method	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Crystal Growth	6. 最初と最後の頁 796 ~ 799
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcrysgro.2016.11.034	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 Torii Kazuki, Higuchi Tetsuya, Mizuno Kei, Bando Kazuki, Yamashita Kenichi, Sasaki Fumio, Yanagi Hisao	4. 巻 3
2. 論文標題 Organic Nanowire Lasers with Epitaxially Grown Crystals of Semiconducting Oligomers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ChemNanoMat	6. 最初と最後の頁 625 ~ 631
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cnma.201700137	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 Sasaki Fumio, Nguyen Van-Cao, Yanagi Hisao	4. 巻 57
2. 論文標題 Optically pumped lasing and electroluminescence of formamidinium perovskite semiconductors prepared by the cast-capping method	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 03EH05 ~ 03EH05
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.03EH05	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 Nguyen Van-Cao, Katsuki Hiroyuki, Sasaki Fumio, Yanagi Hisao	4. 巻 57
2. 論文標題 Single-crystal perovskite CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> PbBr <sub>3</sub> prepared by cast capping method for light-emitting diodes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 04FL10 ~ 04FL10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.04FL10	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 佐々木 史雄、土器屋翔平、柳久雄	4. 巻 RTM17-56
2. 論文標題 スライドポート法による有機ダブルヘテロ構造作製：光励起増幅から電流励起増幅へ向けて	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 レーザー学会第514回研究会報告	6. 最初と最後の頁 1 ~ 6
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 無
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 鳥井一輝、樋口哲也、水野圭、阪東一毅、山下兼一、佐々木史雄、柳久雄	4. 巻 RTM17-57
2. 論文標題 TPCOナノワイヤ結晶の光励起レーザー発振	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 レーザー学会第514回研究会報告	6. 最初と最後の頁 7~11
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 無
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 東瀬陽太郎、藤井俊行、山下兼一、佐々木史雄	4. 巻 RTM17-61
2. 論文標題 有機色素共ドープ薄膜の発光特性	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 レーザー学会第514回研究会報告	6. 最初と最後の頁 29~33
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 無
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41件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Fumio Sasaki, Naho Kurahashi, Hisao Yanagi
2. 発表標題 Electroluminescence from Double Heterostructures of Perovskite Semiconductors and Thiophene/Phenylene Co-oligomers
3. 学会等名 10th International Conference on Molecular Electronics and BioElectronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takumi Matsuo, Hitoshi Mizuno, Fumio Sasaki, Hisao Yanagi
2. 発表標題 Amplified light emission based on cooperative process in single crystals of thiophene/phenylene co-oligomer
3. 学会等名 10th International Conference on Molecular Electronics and BioElectronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Pananus Potisat, Shohei Dokiya, Hitoshi Mizuno, Fumio Sasaki, Hisao Yanagi
2. 発表標題 Fabrication by Vaporized Film Deposition and In-situ FET Measurements of Polycrystalline Thiophene/Phenylene Co-Oligomer Films
3. 学会等名 10th International Conference on Molecular Electronics and BioElectronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村拓海, 水野斎, Van-Cao Nguyen, 稲田雄飛, 山雄健史, 佐々木史雄, 柳久雄
2. 発表標題 チャンネル導波路内に作製したペロブスカイト結晶からのレーザー発振
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 豊田健人, 松尾匠, 水野斎, 阪東一毅, 佐々木史雄, 柳久雄
2. 発表標題 BP3Tナノワイヤ結晶の作製と発光特性の評価
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原優也, 東瀬陽太郎, 田口巴里絵, 山下兼一, 佐々木史雄
2. 発表標題 有機色素共ドーブポリマー薄膜におけるエキサイプレックス発光の利得特性
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 椋橋 奈穂, 水野 斎, 佐々木 史雄, 柳 久雄
2. 発表標題 ペロブスカイト/PEO複合体を用いたマイクロリング構造の光励起レーザー特性
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松尾 匠, 水野 斎, 佐々木史雄, 柳 久雄
2. 発表標題 溶液成長法によって作製したBP3T単結晶からの光励起レーザー発振
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 目片 優也, 水野 斎, 佐々木 史雄, 柳 久雄
2. 発表標題 ヘキシル置換(チオフェン/フェニレン)コオリゴマーナノ粒子の光学特性
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 甚上 知美, 水野 斎, 廣光 一郎, 佐々木 史雄, 柳 久雄
2. 発表標題 BP2Tナノ粒子の作製とその光学特性
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩井 航平、山岸 洋、辻 勇人、アルブレヒト 建、佐々木 史雄、佐藤 寛泰、山本 洋平
2. 発表標題 光捕集 dendrimer の単結晶光共振器
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水野 斎、吉田 航、豊田 健人、香月 浩之、佐々木 史雄、山下 兼一、柳 久雄
2. 発表標題 (チオフェン/フェニレン) コオリゴマー薄膜を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 応用物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Pananus Potisat, Shohei Dokiya, Fumio Sasaki, Hisao Yanagi
2. 発表標題 Ambipolar field-effect transistor with polycrystalline BP3T film prepared by vapor film deposition method
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木 史雄、高田 徳幸、土器屋 翔平、水野 斎、柳 久雄
2. 発表標題 (チオフェン/フェニレン) コオリゴマーを用いた ダブルヘテロ構造の作製とEL特性
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 椋橋 奈穂, 水野 斎, 佐々木 史雄, 柳 久雄
2. 発表標題 電流励起型ペロブスカイトレーザーの実現に向けて
3. 学会等名 レーザー学会第540回研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 キラル 共役ポリマーからなる自己組織化マイクロ球体1粒子からの巨大円偏光発光
2. 発表標題 大木 理, Chidambar Kulkarni, Stefan C. J. Meskers, E. W. Meijer, 佐々木 史雄, Zhan-Hong Lin, Jer-Shing Huang, 山本 洋平
3. 学会等名 レーザー学会第540回研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩井 航平, 山岸 洋, 辻 勇人, アルプレヒト 建, 佐々木 史雄, 佐藤 寛泰, 山本 洋平
2. 発表標題 多世代蛍光性 dendrimer 単結晶光共振器からのレーザー発振
3. 学会等名 レーザー学会第540回研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松尾 匠, 水野斎, 佐々木史雄, 柳久雄
2. 発表標題 BP3T 単結晶における光励起レーザー発振および狭線化増幅特性
3. 学会等名 レーザー学会第540回研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水野 齋, 吉田 航, 香月 浩之, 佐々木 史雄, 山下 兼一, 柳 久雄
2. 発表標題 (チオフェン/フェニレン)コオリゴマー低次元単結晶及びマイクロキャピティの作製とそれらの光学特性
3. 学会等名 レーザー学会第540回研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木 史雄, 高田 徳幸, 土器屋 翔平, 水野 齋, 柳 久雄
2. 発表標題 (チオフェン/フェニレン)コオリゴマーを用いたダブルヘテロ構造の作製とEL特性:パルス駆動特性とVCSEL型共振器形成に向けて
3. 学会等名 レーザー学会第540回研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 棕橋奈穂、佐々木史雄、柳久雄
2. 発表標題 マイクロキャピラリ内に成長したペロブスカイト/PEO複合体の光励起レーザー特性
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 土器屋翔平、水野英之、香月浩之、山下兼一、佐々木史雄、柳久雄
2. 発表標題 有機微小共振器からの電流励起における励起子ポラリトンの生成
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木史雄、土器屋翔平、柳久雄
2. 発表標題 CN系(チオフェン/フェニレン)コオリゴマーを用いたダブルヘテロ構造のEL特性
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松尾匠、土器屋翔平、香月浩之、佐々木史雄、山下兼一、柳久雄
2. 発表標題 BP3T単結晶からの分子間協同現象に由来する発光増幅
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fumio Sasaki, Shohei Dokiya, Hisao Yanagi
2. 発表標題 Optically pumped lasing of cyano-substituted thiophene/phenylene co-oligomers microcrystals fabricated by the slide boat method
3. 学会等名 SSDM-2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fumio Sasaki
2. 発表標題 Developments of organic semiconductor microcavities: from wafer processes to solution processes
3. 学会等名 Tsukuba Global Science Week (TGSW) symposium, session "Ensemble of Light with Molecules, Materials, and Life for Sustainable Society" (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Pananus Potisat, Sohei Dokiya, Fumio Sasaki, Hisao Yanagi
2. 発表標題 Fabrication of crystalline films of 5,5"-bis(4-biphenyl)-2,2':5'2"-terthiophene by vaporized film deposition
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 溝口直弥, 阪東一毅, 佐々木史雄, 堀田収, 柳久雄
2. 発表標題 有機マイクロリング結晶の自己組織化成長における 基板の事前処理効果
3. 学会等名 物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阪東一毅, 藤井穂菜美, 水野圭, 成島魁至, 宮崎章仁, 佐々木史雄, 堀田収, 柳久雄
2. 発表標題 自己組織的に作製された有機結晶リング共振器
3. 学会等名 物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 棕橋奈穂, 佐々木史雄, 柳久雄
2. 発表標題 マイクロキャピラリ内に成長した有機金属ハライドペロブスカイト/PEO複合体における共振器量子電磁気学効果
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大木理、Kulkarni Chidambar、Meskers Stefan C. J、Meijer E. W、佐々木史雄、Lin Zhan-Hong、Huang Jer-Shing、山本洋平
2. 発表標題 キラル 共役ポリマーマイクロ球体共振器からの円偏光発光
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木史雄、棕橋奈穂、柳久雄
2. 発表標題 ペロブスカイト系半導体と(チオフェン/フェニレン)コオリゴマーとの ダブルヘテロ構造
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木 史雄、Van-Cao Nguyen、柳久雄
2. 発表標題 Optically pumped lasing and electroluminescence of formamidinium perovskite semiconductors prepared by the cast-capping method
3. 学会等名 MBE9 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡田大地、森本正和、佐々木史雄、Dao Duy Thang、石井智、長尾忠昭、入江正浩、山本洋平
2. 発表標題 蛍光性ジアリールエテン自己組織化マイクロ共振器とモード分裂
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡田大地、西岡拓紀、辻勇人、佐々木史雄、中村栄一、山本洋平
2. 発表標題 炭素架橋フェニレンピニレンマイクロ結晶からのレーザー発振と波長変調
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐々木史雄、土器屋翔平、柳久雄
2. 発表標題 光励起増幅する有機ダブルヘテロ構造作製：スライドポート法による開発
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 土器屋翔平、水野英之、香月浩之、山下兼一、佐々木史雄、柳久雄
2. 発表標題 共役系オリゴマーを用いたマイクロキャピティ構造をもつ有機 EL素子
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 赤澤友哉、佐々木史雄、柳久雄
2. 発表標題 ジスチリルベンゼン誘導体が自己組織化した低次元マイクロキャピティ構造
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 土器屋翔平、水野英之、香月浩之、山下兼一、佐々木史雄、柳久雄
2. 発表標題 有機マイクロキャピティEL素子における光子-励起子相互作用の評価
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木史雄、土器屋翔平、柳久雄
2. 発表標題 スライドポート法による有機半導体発光素子の開発:CN系(チオフェン/フェニレン)コオリゴマーでの成膜
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 棕橋奈穂、Van-Cao Nguyen、佐々木 史雄、柳久雄
2. 発表標題 マイクロキャピラリ内に成長したペロブスカイト結晶の光励起レーザー特性
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2018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	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)	

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