

令和 5 年 5 月 15 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K21227

研究課題名（和文）有機半導体レーザーの実用化に向けたレーザー色素の分子設計指針の確立

研究課題名（英文）Understanding of molecular design of laser dyes for the applications of organic semiconductor lasers

研究代表者

儘田 正史（Mamada, Masashi）

九州大学・工学研究院・助教

研究者番号：60625854

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、有機半導体レーザーを有機エレクトロニクスの新たな柱とすべく、新規レーザー材料創出や有機光化学の学理の探究およびデバイス開発を進めた。その結果、これまでよりも優れた発光特性および発振しきい値を示す材料の創出およびレーザーデバイスの開発に成功した。常温りん光からのレーザー発振については未だ不明な点も多いが、発光特性を向上させるための基礎的な知見を得ることができた。このように、将来の実用化を目指す上で重要となる有機レーザー技術に関する多くの進展が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の対象は有機レーザー色素の開発であるが、その中には様々な基礎科学に関する要素技術があり、それらについて様々な進展を得ることができた。例えば近赤外発光や常温りん光では非放射失活やスピン反転などの制御が重要であり、レーザー特性の向上のためには放射失活を最大化する必要があるなど、励起子過程に関する様々な課題に対して成果が得られた。さらに、デバイス化することで有機光化学に関するより詳しい知見を得るなど、基礎学理の深化に貢献する結果を導出できた。本研究で得られた知見が有機光電子デバイスの研究における技術革新につながる数々のシードとなり、未来社会に貢献すると期待される。

研究成果の概要（英文）：Organic semiconductor laser diodes (OSLDs), which are a class of electrically pumped organic lasers, are promising for a wide range of applications as a successor to organic light-emitting diodes (OLEDs). Since the first OSLED has just achieved very recently, semiconducting laser materials still have various challenges and room for improvement. The low threshold light amplification is a key parameter for the laser devices. We demonstrated one of the best performances with the various molecular designs as well as the different types of the devices. In addition, we also achieved progresses in fundamental aspects of photochemistry, such as realizing high efficiency for room temperature phosphorescence and suppression of non-radiative decay. These results will contribute to future developments of organic lasers.

研究分野：有機半導体デバイス

キーワード：有機半導体レーザー レーザー色素

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

有機エレクトロニクスデバイス分野における大きな挑戦であった有機半導体レーザーが 2019 年に実現された。これは有機発光ダイオード(有機 EL)と同様のデバイス構造から、電流励起によってレーザー発振させるものであり、エレクトロニクスデバイスの新たな用途を開拓できると期待される。有機物からの光励起でのレーザー発振は古くから知られていたが、電流励起で実現できていなかった原因は、現実的な電流密度で駆動させるために非常に低しきい値で発振するレーザー材料が必要、三重項励起子による悪影響が顕著、高品質の光共振器を有機 EL の構造に組み込む必要、などの課題に対する困難さであった。また、発振に成功した現在でも根本的に上記の問題は残っており、特に高い励起子密度などに起因した低いデバイスの安定性が実用化の障壁となっている。有機レーザーの主役は、レーザー発振する有機色素であり、これが性能に直結する。一方で、レーザー材料の開発の余地が大きく残っていたことから、革新材料創出を通して産業化への貢献を目指すと同時に有機レーザー色素の学理の探究を進めた。

しきい値の低減は安定性向上にもつながる重要課題である。優れた有機レーザー色素は放射速度定数( $k_r$ )が大きく、 $k_r$  を限界まで向上させることでデバイスの性能を格段に向上させることができると期待される。しかし、そのための分子設計の幅が狭い問題もあり、希土類材料のように  $k_r$  が小さい一方で反転分布密度が大きいことで利得を大きくする設計を有機色素にも適用できる可能性を検討する必要がある。さらに、本来はレーザー発振には長波長化が有効であると考えられるが、有機材料では黄色以上で優れた性能の材料が全くなく、非放射失活の理解と抑制も重要な課題である。このような状況において、多様な構造からなる材料を体系的に検討し、分子設計についての原理検証を進める必要があった。また、電流励起で多く生成する三重項励起子の問題として、消光剤による除去だけでなく、これを活用する方法として熱活性化遅延蛍光(TADF)材料の利用も考えられる。しかし、これまでに報告されている TADF 材料のレーザー発振しきい値は蛍光材料よりも 1 桁以上大きいなど、その将来性は未知であった。

さらに、デバイス化の観点では、有機 EL のような縦型構造だけでなくトランジスタ構造を用いることも可能であるが、適した分子構造は異なり、そのような材料開発も求められる。また、フォトンレーザーだけでなく、ポラリトンレーザーといった新しい原理によるデバイスも注目されており、有機材料を用いた可能性についても検証する必要があった。

### 2. 研究の目的

有機半導体レーザーの実用化という長期目標のために、世界最高レベルを大きく更新する有機レーザー色素を創出するとともに、有機レーザー色素の分子設計指針に大きな影響を与える有機光化学の様々な要素技術を導出することを目指した。

具体的には、限界まで  $k_r$  を向上させることや非放射失活を抑制することで低しきい値を実現し、分子設計についての知見を得る。また、レーザー材料としての応用に向けた常温りん光材料を開発し、新たな分子設計の展開を模索する。さらに、材料のポテンシャルを明らかにすると同時にデバイス上での課題も明らかにするために、既存材料を活用したデバイス化も行う。

### 3. 研究の方法

3-1. 高速  $k_r$  材料の開発：究極の  $k_r$  を実現するためには高エネルギー励起状態の方が好ましいことから、青色レーザー材料の基本骨格を拡張した材料開発を進めた。新規化合物を設計・合成し、光学特性を評価した。薄膜を作製し、光増幅特性について明らかにした。

3-2. 低エネルギーレーザー色素の開発：非放射失活の抑制とレーザー特性に関する知見を得るため、近赤外レーザー発光を示す新たな骨格を探索するとともに、さらなる長波長化および低しきい値の設計指針を導出するための解析を行った。新規材料を設計・合成し、レーザー特性について評価した。また、励起状態吸収の測定によって、励起子過程について詳細な検討を行った。

3-3. 常温りん光材料開発：レーザー応用に向け、三重項励起状態吸収がりん光と重ならない常温りん光材料の開発を進めた。外部重原子効果を活用した共結晶を作製し、高い発光量子収率が得られる系を探索した。また、非放射失活に対する詳細な検討として、発光の温度依存性や重水素化なども行った。

3-4. トランジスタ構造に適したレーザー色素の開発：結晶状態で高い  $k_r$  を示す材料として、フェニレンビレン誘導体を開発した。一連の誘導体について物性を解析することで、分子構造と結晶構造と発光特性の相関について明らかにした。また、トランジスタデバイスを作製し、半導体特性についても明らかにした。

3-5. TADF 材料を用いたレーザーデバイス開発：TADF 材料の中でもレーザー材料として有望な多重共鳴効果(MRE)の DABNA を用いて、薄膜条件やデバイス構造を最適化した。光共振器には周期が異なる 1 次と 2 次の回折格子構造を組み合わせた。

3-6. ポラリトンレーザーデバイス開発：DBR 構造の作製時における有機材料へのスパッタダメージをなくすため、これまでに開発した可溶性レーザー材料を用いてあらかじめ作製した DBR 共振器へ溶融プロセスで導入した。作製したデバイスのポラリトンレーザー特性を評価した。

## 4. 研究成果

### 4-1. 高速 $k_r$ 材料の開発

電流励起でのレーザー発振に成功した材料は、スチルベン誘導体の BSBCz である(図 1, *Appl. Phys. Exp.* **2019**, 12, 6)。BSBCz を可溶化した材料 BSBCz-EH は、92% の高い量子収率と 0.7 ns の短い発光寿命( $k_r = 1.3 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$ )を示す。共役系の拡張により  $k_r$  の向上が望めるが、ポリマー材料では期待されるほど大きな  $k_r$  が得られていない。例えば、BBEHP-PPV は 85% の量子収率と 0.7 ns の蛍光寿命を示す( $k_r = 1.2 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$ )。主鎖の拡張とともに配座の乱れが増加し、共役系が分子長ほど伸びていない可能性があり、共役の拡張とともにどこまで物性を向上できるかは、今後のレーザー材料開発の指針を得るためにも重要である。そこで、BSBCz 誘導体である QSBCz を設計し、可溶化基を導入した QSBCz-HD を合成した。溶液中 QSBCz-HD は BSBCz-EH からわずかに 10 nm 長波長シフトした発光を示した。その量子収率は BSBCz-EH と同等の 92% の高い値を示したが、発光寿命は 0.48 ns と短くなり、 $k_r$  を 1.5 倍向上することに成功した。ニート薄膜においても同様に 1.7 倍向上した。このような結果から、オリゴマー構造を用いることで極めて速い発光寿命を実現することが可能と考えられる。QSBCz-HD の溶解性は良好であったが、溶液中においても容易に凝集が生じることも明らかとなった。このことから、さらなる共役延長には、適切に分子間相互作用を阻害する必要もある。また、興味深いことに QSBCz-HD はニート薄膜ではレーザー特性を示す一方、BSBCz などでも広く用いられる CBP をホスト材料として用いたドープ膜においては発振が見られなかった。CBP ドープ膜では、発光スペクトルの解析から相分離が生じ、CBP の結晶化が促進されていることが示唆された。このような影響がレーザー特性を大きく阻害しているとするれば、これまでの BSBCz などにおいても同様の効果が全くないとは言えず、周辺材料によってもさらなる特性向上につなげることができる可能性が示唆された。

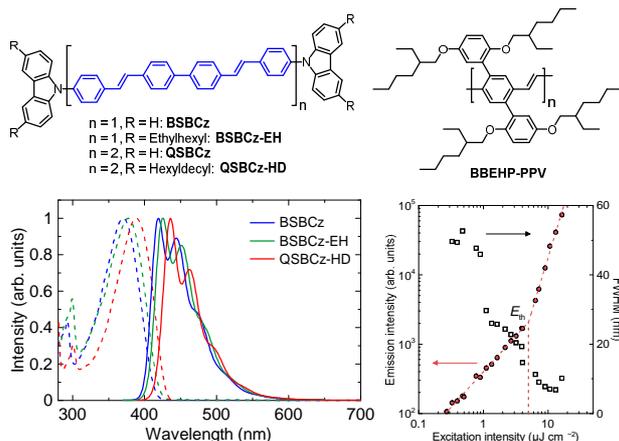


図 1. BSBCz 誘導体とフェニレンピレンポリマーの分子構造、および新規材料の発光スペクトルと ASE 発振特性

### 4-2. 低エネルギーレーザー色素の開発

振動子強度や  $k_r$  は、発光の波数の二乗にも依存しており、長波長領域では大きな  $k_r$  を得ることが原理的に難しい。一方で、レーザーの利得は長波長ほど有利なはずである。赤色領域で比較的大きな  $k_r$  と優れた発振しきい値を示す TPABC からさらなる長波長化を狙った材料である TPATBC を合成した(図 2)。発光スペクトルでは、40 nm 長波長シフトしたが、同等の  $k_r$  を維持することができた。一方で、非放射失活が増加し、量子収率も 50% 程度まで低下した。これは、チオフェン環によって電荷移動型の性質が強まったため、励起状態での構造緩和やフランクコンドン因子が増大したためと考えられる。結果として、レーザー発振のしきい値もわずかに増加したが、特筆すべきことに TPATBC の発振波長はさらに大きく長波長シフトしていた。この原因を解明するために、過渡吸収測定を行ったところ、一重項励起状態の吸収が 700–750 nm 付近に存在することが分かり、このような競合過程によって長波長化が可能であることが分かった。一般的に、700 nm 以上では非放射失活が極めて顕著になるため、優れた発光特性を維持することが難しくなる。その結果、長波長化とともにレーザーしきい値も高くなるが、本研究では 800 nm を超える波長で世界最高レベルの  $6.2 \mu\text{J cm}^{-2}$  の低しきい値でのレーザー発振を実現した(研究成果論文: *Adv. Opt. Mater.* **2021**, 9, 2001947)。近赤外光源は、センサなど様々な魅力的な応用があり、有機レーザーの展開を広げる成果を得た。

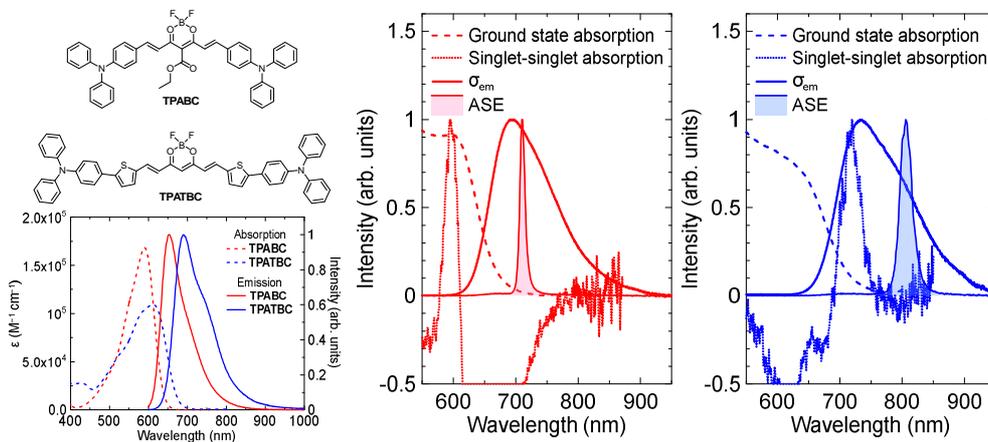


図 2. 低エネルギーレーザー色素の分子構造と吸収・発光スペクトル

#### 4-3. 常温りん光材料開発

りん光のレーザー発振は、分子設計の幅を広げるため重要な検討課題である。発光寿命の長いりん光は、 $k_r$ が蛍光材料よりも数桁小さいが、希土類レーザー同様大きな反転分布密度によって利得を大きくできると期待される。しかし、りん光からのレーザー発振はこれまでにほとんど報告されておらず、分子設計についても理解が得られていない。有機ELなどでよく用いられる常温りん光材料であるイリジウム錯体などはこれまでにレーザー発振が観測できていない。これは、三重項励起状態の吸収が発光波長領域に大きく重なっていることが原因と考えている。そのため、三重項励起状態吸収とりん光発光が重ならない材料としてピレンに着目した。しかしながら、重原子を含まないピレンは常温では固体マトリックス中でもほとんどのりん光が観測できない。そこで外部重原子効果を利用するためジヨードテトラフルオロベンゼン(DITFB)との共結晶を作製した。DITFBと多環芳香族炭化水素の共結晶は比較的強い常温りん光を示すことが知られている。例えば、フェナントレンとの共結晶では、6%の発光量子収率を示した。一方、ピレンとの共結晶では1%以下とほとんど発光しなかった。これは、DITFBの $\pi$ -ホールとピレンがスタックした構造を取ることで原因である。

そこで、ディスオーダーによってピレンが挿入可能なサイズを結晶中に有するフェナントレンの共結晶にピレンをドープした三元共結晶を作製した(図3)。その結果、フェナントレン共結晶と同様の結晶構造を示し、また、単純な芳香族化合物としては極めて高い20%を超える常温りん光量子収率を得ることに成功した。さらに重水素置換ピレンを用いることで、低温状態に匹敵する27%の量子収率まで向上させることができた(研究成果論文: *Adv. Mater.* 2023, 2211160)。基底状態の吸収および励起状態吸収が重ならず、レーザー発振に向けて理想的な材料を構築できたと考えられる。レーザー発振のためには共振器構造の導入が必要であり、高いQ値を実現できる共振器の設計を今後進める。

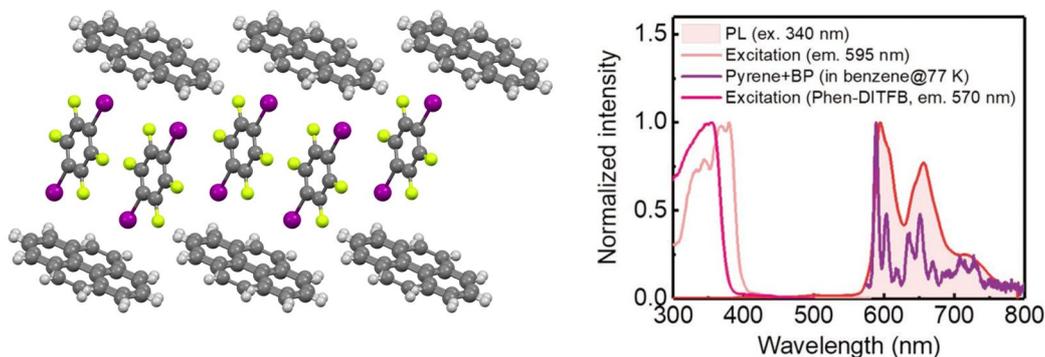


図3. ピレン-フェナントレン-DITFBの三元共結晶構造とピレンからの常温りん光

#### 4-4. トランジスタ構造に適したレーザー色素の開発

有機EL構造では均一な薄膜を形成するためにアモルファス材料が用いられるのに対し、発光トランジスタでは単結晶を活性層に用いることができる。一般的に単結晶はアモルファス膜に比べ高移動を示し、トランジスタ構造によるEL発光は電子的・光学的な自由度が高いなど、レーザーデバイスに向けた利点がある。そこで、良質な結晶が得られるフェニレンビニレンの誘導体を合成し、そのレーザー特性と結晶構造の相関について明らかにした(図4)。

これまでに1,4-ジスチリルベンゼン(P3V2)およびそのビニル基上にシアノ基を有する誘導体については多くの報告がある。両側にフェニル基を拡張した分子(P5V2)およびスチリル基を拡張した分子(P4V3)を新たに合成し、振動子強度の増大によるレーザー特性の向上を図った。これらの誘導体は、シアノ基の位置によりヘリングボーンパッキングおよびスタックを有する結晶が得られたが、いずれもスタックの結晶は発振が見られなかった。ヘリングボーン型の結晶では発振が見られ、そのしきい値は拡張によって低下し、またシアノ基の導入によってもさらなる性能向上が達成された。さらに、これらを用いたトランジスタでは、移動度  $0.1 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  程度のバランスした両極性輸送を観測した(研究成果論文: *Mater. Adv.* 2021, 2, 3906)。

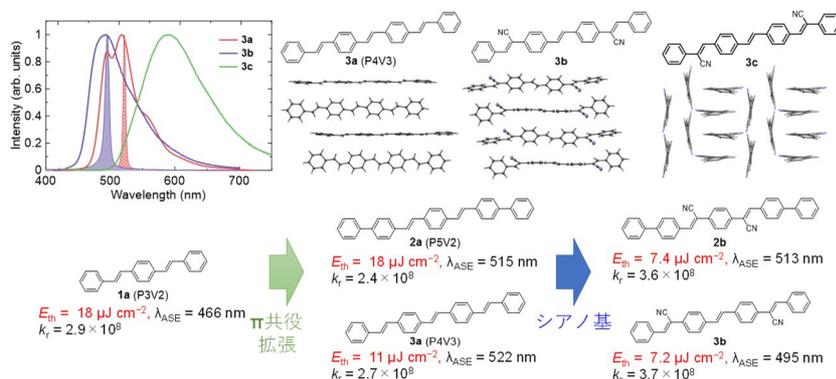


図4. 結晶材料の分子構造と結晶構造としきい値

#### 4-5. TADF 材料を用いたレーザーデバイス開発

電流励起においては、三重項励起子が 75% 生成するため、TADF を用いることで特性を向上できる可能性がある。TADF の時間スケールはレーザー発振よりも遅いが、比較的長いパルス駆動や連続発振(CW)においては、一部の励起子を活用できると考えられる。しかしながら、一般的に電荷移動型の励起状態を持つ TADF 材料は、小さな遷移双極子モーメントのために利得係数が小さく、レーザー発振を観測できないことがほとんどである。一方で、多重共鳴効果を用いた DABNA は、大きな振動子強度や狭い半値幅の発光を示すためレーザー材料としても有望であり、TADF 材料の中で最も低い発振しきい値が報告されている。しかし、そのしきい値は有機半導体レーザーに用いられた蛍光材料である BSBCz よりも 1 桁以上大きかった。

そこで、いくつかの DABNA 誘導体を用いて、ホスト材料やドーパ濃度を最適化し、DFB 共振器を用いたレーザーデバイスを作製した(図 5)。DFB は水平方向のフィードバックを与える 1 次と基板垂直方向にレーザー光を取り出せる 2 次を組み合わせた構造とし、回折格子周期についても膜厚とともに最適化を行った。その結果、レーザー発振しきい値は  $0.27 \mu\text{J cm}^{-2}$  まで低減することに成功した(研究成果論文: *Mater. Chem. Front.* **2023**, 7, 259)。これは、有機半導体レーザーの発振に成功した BSBCz と同等レベルであり、TADF 材料がレーザー応用にも大きな可能性を有することを実証した。

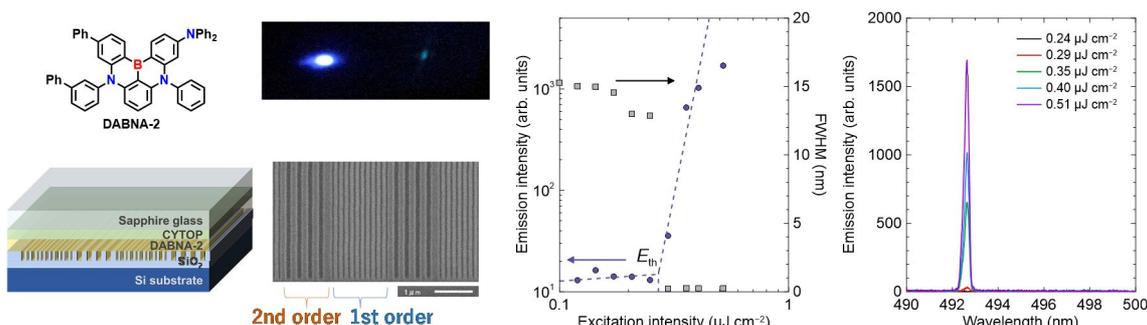


図 5. TADF 材料を用いたレーザーデバイスの構造とレーザー特性

#### 4-6. ポラリトンレーザーデバイス開発

光共振器中の共振モードと励起状態が強結合した励起子ポラリトンを用いるポラリトンレーザーは、従来のフォトンレーザーよりも超低消費電力な光源となりうるとして近年注目されている。無機材料では、ポラリトンの速い緩和速度によって、低いしきい値 ( $P_{th} = 0.1-1 \mu\text{J cm}^{-2}$ ) の Bose-Einstein condensate (BEC) 転移が報告されている。一方、有機材料ではポラリトンの緩和速度が遅く、比較的最近の報告でも  $11-500 \mu\text{J cm}^{-2}$  以上と各段に高く、実用化にはさらなる低しきい値化が課題とされている。そこで、これまで開発した高効率有機発光材料のライブラリを活用し、励起子ポラリトンへの応用を検討した。

誘電体多層膜ミラー(DBR)で可溶性の BSBCz 誘導体である BSBCz-EH を挟んだ共振器を作製し、角度分解フォトルミネッセンスを測定することで、励起子ポラリトン状態を実証した(図 6)。また、その緩和速度はこれまでの有機材料で報告されているものよりも高速であった。その結果、これまでの報告よりも低いしきい値 ( $P_{th} = 9.7 \mu\text{J cm}^{-2}$ ) で、BEC 状態への転移に特有な挙動を観測した。このことから、優れたフォトンレーザー材料がポラリトンレーザーに向けても有望であることが示唆された(研究成果論文: *Adv. Opt. Mater.* **2022**, 10, 2102034)。さらに、その他の BSBCz 誘導体も比較することでポラリトンの緩和速度と分子構造の相関などについても明らかにし、今後更なる低しきい値化に向けた設計指針を得ることに成功した。

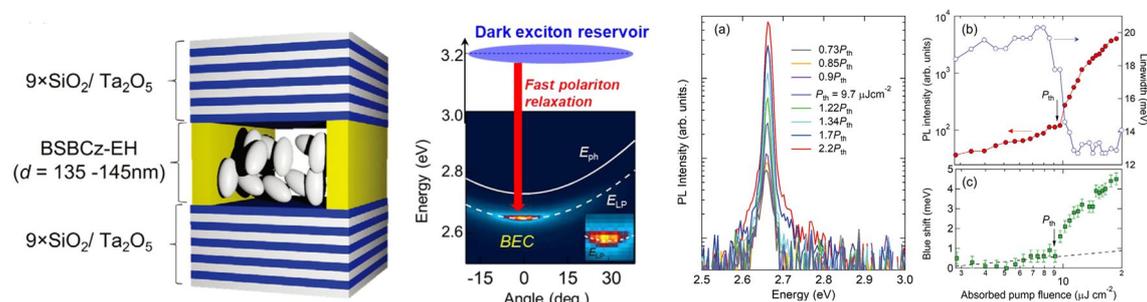


図 6. ポラリトンレーザーデバイス構造とレーザー特性

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 8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 Mamada Masashi, Nakanotani Hajime, Adachi Chihaya	4. 巻 2
2. 論文標題 Amplified spontaneous emission from oligo(p-phenylenevinylene) derivatives	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Advances	6. 最初と最後の頁 3906 ~ 3914
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0MA00756K	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 Ishii Tomohiro, Miyata Kiyoshi, Mamada Masashi, Bencheikh Fatima, Mathevet Fabrice, Onda Ken, Kena Cohen Stephane, Adachi Chihaya	4. 巻 10
2. 論文標題 Low Threshold Exciton Polariton Condensation via Fast Polariton Relaxation in Organic Microcavities	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 2102034 ~ 2102034
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.202102034	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 Wallwork Nicholle R., Mamada Masashi, Shukla Atul, McGregor Sarah K. M., Adachi Chihaya, Namdas Ebinazar B., Lo Shih-Chun	4. 巻 10
2. 論文標題 High-performance solution-processed red hyperfluorescent OLEDs based on cibalackrot	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 4767 ~ 4774
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1TC04937B	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 Wallwork Nicholle R., Mamada Masashi, Keto Angus B., McGregor Sarah K. M., Shukla Atul, Adachi Chihaya, Krenske Elizabeth, Namdas Ebinazar B., Lo Shih Chun	4. 巻 -
2. 論文標題 Cibalackrot Dendrimers for Hyperfluorescent Organic Light Emitting Diodes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Macromolecular Rapid Communications	6. 最初と最後の頁 2200118 ~ 2200118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/marc.202200118	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 Oyama Yuya, Mamada Masashi, Kondo Akihiro, Adachi Chihaya	4. 巻 9
2. 論文標題 Advantages of naphthalene as a building block for organic solid state laser dyes: smaller energy gaps and enhanced stability	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 4112 ~ 4118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0TC05387B	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 Kage Yuto, Kang Seongsoo, Mori Shigeki, Mamada Masashi, Adachi Chihaya, Kim Dongho, Furuta Hiroyuki, Shimizu Soji	4. 巻 27
2. 論文標題 An Electron Accepting aza BODIPY Based Donor-Acceptor-Donor Architecture for Bright NIR Emission	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 5259 ~ 5267
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202005360	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 Mamada Masashi, Goushi Kenichi, Nakamura Ryota, Kaji Hironori, Adachi Chihaya	4. 巻 50
2. 論文標題 Synthesis and Characterization of 5,5 -Bitetracene	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 800 ~ 803
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200909	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 Aoki Reiko, Komatsu Ryutarō, Goushi Kenichi, Mamada Masashi, Ko Soo Young, Wu Jeong Weon, Placide Virginie, D'Aleo Anthony, Adachi Chihaya	4. 巻 9
2. 論文標題 Realizing Near Infrared Laser Dyes through a Shift in Excited State Absorption	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 2001947 ~ 2001947
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.202001947	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 Mamada Masashi, Katagiri Hiroshi, Chan Chin Yiu, Lee Yi Ting, Goushi Kenichi, Nakanotani Hajime, Hatakeyama Takuji, Adachi Chihaya	4. 巻 32
2. 論文標題 Highly Efficient Deep Blue Organic Light Emitting Diodes Based on Rational Molecular Design and Device Engineering	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 2204352 ~ 2204352
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.202204352	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 Mamada Masashi, Adachi Chihaya	4. 巻 121
2. 論文標題 Unexpected role of hole and electron blocking interlayers controlling charge carrier injection and transport in TADF based blue organic light-emitting diodes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 131103 ~ 131103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0100373	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 Mamada Masashi, Maedera Satoshi, Oda Susumu, Nguyen Thanh Ba, Nakanotani Hajime, Hatakeyama Takuji, Adachi Chihaya	4. 巻 7
2. 論文標題 A very low lasing threshold of DABNA derivatives with DFB structures	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Materials Chemistry Frontiers	6. 最初と最後の頁 259 ~ 266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2QM01040B	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 Abe Ayano, Goushi Kenichi, Mamada Masashi, Adachi Chihaya	4. 巻 -
2. 論文標題 Organic Binary and Ternary Cocrystal Engineering Based on Halogen Bonding Aimed at Room Temperature Phosphorescence	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 2211160 ~ 2211160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.202211160	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11件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Masashi Mamada, Chihaya Adachi
2. 発表標題 Development of Highly Emissive Laser Dyes for Organic Semiconductor Laser Diodes
3. 学会等名 The 13th Asian Conference on Organic Electronics 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ayano Abe, Kenichi Goushia,, Ryutaro Komatsu, Takashi Fujihara, Masashi Mamada,, and Chihaya Adachi
2. 発表標題 A Laser Model Involving the Effect of TADF Upconversion
3. 学会等名 The 13th Asian Conference on Organic Electronics 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井智大、宮田潔志、儘田正史、Bencheikh Fatima、F. Mathevet、恩田健、S. Kena Cohen、安達千波矢
2. 発表標題 BSB-Cz誘導体を含んだ光共振器中におけるポラリトンBose-Einstein凝縮状態の観測
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 2021年

1. 発表者名 石井智大、宮田潔志、儘田正史、Bencheikh Fatima、F. Mathevet、恩田健、S. Kena Cohen、安達千波矢
2. 発表標題 BSB-Cz誘導体を含んだ光共振器中におけるポラリトンBose-Einstein凝縮転移のダイナミクスの解明
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 2021年

1. 発表者名 安部彩乃、合志憲一、小松龍太郎、藤原隆、儘田正史、安達千波矢
2. 発表標題 三重項励起子の蓄積とTADF過程が連続レーザー発振特性に与える影響についての理論検討
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 2021年

1. 発表者名 儘田 正史、中野谷 一、安達 千波矢
2. 発表標題 オリゴパラフェニレンピニレン誘導体のレーザー特性
3. 学会等名 第29回有機結晶シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuya Oyamaa, Masashi Mamadaa, and Chihaya Adachi
2. 発表標題 Design and synthesis of robust organic laser materials toward organic laser devices
3. 学会等名 The 12th Asian Conference on Organic Electronics 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大山裕也・儘田正史・近藤晃弘・安達千波矢
2. 発表標題 有機レーザー色素の長波長化と耐久性向上を可能とする分子構造の探索
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 青木怜子・小松龍太郎・Anthony D'Aleo・儘田正史・安達千波矢
2. 発表標題 低レーザー閾値を有する近赤外有機レーザー材料の開発
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 石井智大・儘田正史・Bencheikh Fatima・宮田潔志・恩田健・安達千波矢
2. 発表標題 分子内電荷移動(CT)性の変化によるポラリトン緩和ダイナミクスの制御
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 儘田正史
2. 発表標題 有機半導体レーザーの基礎と材料・デバイス設計
3. 学会等名 高分子学会有機エレクトロニクス研究会（招待講演）
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
---------	---------