

**電流励起型有機半導体レーザーダイオードの実現！！**  
～(株)KOALA Techによる実用化を展開～

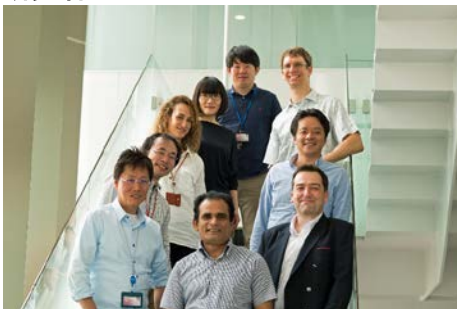
九州大学最先端有機光エレクトロニクス研究センターの A. S. D. Sandanayaka (サンダナヤカ) 特任教授、安達千波矢センター長らの研究グループは、世界で初めて有機材料を用いた半導体レーザーダイオード (OSLD : Organic Semiconductor Laser Diode) (※1) の電流励起発振に成功しました。また、2019年3月22日(金)に設立した九大発ベンチャー(株)KOALA Techによって実用化を展開していきます。

本研究のポイント：

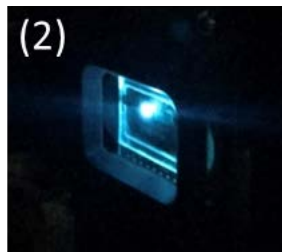
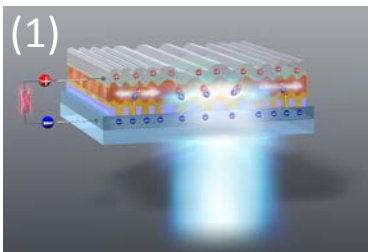
- 有機発光素子である OLED 素子を基本構造に、光閉じ込め効果を示す DFB (※2) 型光共振器 (※3) 構造を埋め込むことで、レーザー発振 (※4) が可能であることを初めて実証しました。
- 本研究での実証によって、無機半導体レーザーでは困難であった任意の発振波長 (可視域から赤外域まで)、比較的安価で容易な製造プロセス、フレキシブル基板や透明素子等の有機材料の特徴を活かしたレーザー光源を利用したデバイス応用展開が期待されます。

本研究成果は科学技術振興機構 (JST) ERATO「安達分子エキシトン工学プロジェクト」の研究活動の一環で得られました。本研究成果は、2019年5月31日(金)14時(日本時間)に、日本発の国際科学雑誌である『Applied Physics Express』誌のオンライン速報版で公開されました。

研究者からひとこと：



1989年の有機半導体レーザーの着想以来、約30年の月日を経て電流励起の端緒を遂につかむことができました。先端材料化学、デバイス物性、微細加工プロセスの各要素と専門家が融合することで技術のブレイクスルーが達成されました。今後、有機半導体レーザーの学理の解明を進めることで、より一層の低閾値化を進め、デバイスの安定化を図ります。同時に、新しい有機半導体レーザーの産業化を念頭に置いた実用化開発を(株)KOALA Techで進めていきます。(最前列中央：Sandanayaka 特任教授、最前列左：安達センター長)



(参考図) (1) 有機半導体レーザーダイオード (OSLD) の動作イメージ。陽極と陰極の間に SiO<sub>2</sub> で形成された光共振器構造 (DFB 構造) を有する。有機材料からの発光に対して、光共振器によって誘導放出を増強することでレーザー発振を実現した。(2) 有機レーザー分子として BSBCz を用いた青色 OSLD の発振の様子。



(参考) 株式会社 KOALA Tech のメンバー (CEO : リベール ジーンチャールズ、左から2番目)

【お問い合わせ】 九州大学 最先端有機光エレクトロニクス研究センター  
センター長 安達千波矢 (アダチチハヤ)  
Tel:092-802-6920 Fax:092-802-6921  
E-mail: adachi@cstf.kyushu-u.ac.jp

## ■ 概要

本研究は、世界初の電流励起による有機半導体レーザーダイオード (OSLD) のレーザー発振に成功しました。本デバイスは、低閾値でレーザー発振が可能な先端レーザー分子の設計、電流励起レーザー発振に適した積層構造の最適化、および光損失を抑制し、デバイス内における光結合を増強するための適切な光共振器の導入によって達成しました。本デバイスは、比較的簡便な作製プロセス、可視域から赤外域にわたる任意の発振波長の実現、OLED との融合性など実装自由度の拡大、フレキシブルデバイスや透過型デバイスへの適用性など、有機材料の特徴を活かした新たな応用展開が期待されます。

## ■ 背景

現代の情報化社会において光、特にレーザー光は、様々な産業用途への展開が期待されることから、大きな注目を集めています。レーザー技術の中でも電流注入によって直接レーザー光を生み出す半導体レーザーは、光通信をはじめとする情報処理分野、医療分野、さらには産業分野においてその市場を拡大し続けています。より身近となったレーザー技術は多くのアプリケーションを生み出し、小型レーザー光源を用いた生体認証やヘッドマウントディスプレイ、さらには生体センサーなど、ウェアラブルかつ生体親和性を重視した製品が市場へ投入されつつあります。

レーザー光源としてこれまで用いられてきたのは無機材料で構成された半導体レーザーですが、無機材料の種類によって決まるレーザー発振波長は限定的であり、任意の発振波長を得ることは困難でした。また、レーザー媒質として用いられる無機材料は結晶形態であり、その作製プロセスの煩雑さや曲面や伸縮性基板への実装が難しいといった問題がありました。しかしながら、近赤外発光素子を用いた生体認証やアイトラッキング、ヘッドマウントディスプレイを用いた仮想現実 (VR) や拡張現実 (AR) 技術、可視光レーザーを用いた生体機能モニタリング技術など、より生体を意識した応用展開の潮流は、より多様なレーザー素子の形態の出現を必要としています。有機材料を用いたレーザー光源が実現すれば、有機分子の設計自由度の高さによって実現できる任意の発振波長、機械的柔軟性や生体親和性に基づく実装自由度の拡大、透明材料を選択することで実現される透過型デバイスへの適用が期待でき、さらに、OLED との融合により、多彩なデバイス展開が期待されます。

## ■ 内容・効果

本研究は、これまで困難であった「電流励起型有機半導体レーザーダイオードの実現」を目的としました。OSLD の実現を阻んでいた主要因は、高電流密度に耐えうる有機材料及び素子構造の開発及び高電流密度下で生じる三重項励起子 (※5) やポーラロン吸収 (※6) による損失でした。本研究では、有機レーザー材料として低閾値レーザー発振材料である BSBCz、積層構造には図 1 で示す逆積層型 OLED 構造を、また光共振器には 1 次 2 次の混合型 DFB 構造を利用することで OS LD の開発に成功しました。その結果、約  $650 \text{ A cm}^{-2}$  以上の高電流密度下において  $480.3 \text{ nm}$  に発振ピークを有する強いスペクトルの狭帯化が生じることが分かりました。また、発振特性が明確な閾値挙動を持つこと、発振スペクトルの半値幅が  $0.2 \text{ nm}$  以下と狭いこと、偏光特性やコヒーレンス特性を有することから、レーザー発振であることを確認しました。

## ■ 株式会社 KOALA Tech の創設

当該研究グループでは、本新技術を実用化する目的で、(株) KOALA Tech Inc. (Kyushu Organic Laser Technology) を 2019 年 3 月 22 日に設立しました。創業メンバーとして、安達千波矢教授、Jean-Charles Ribierre (ジーンチャールズ リビエル) 博士、Fatima Bencheikh (ファティマ ベンシェイク) 博士、藤原隆博士がいます。今後、有機半導体レーザーダイオードの特性を改善し、その性能を実用レベルへ引き上げ、実用化のための研究開発活動を展開していきます。

## ■ 今後の展開

現時点では、青色 OS LD によるレーザー発振が得られていますが、今後、分子設計およびデバイス設計を進めることで、可視域から近赤外域にわたるレーザー発振波長を有するデバイスへ展開し、デバイスの安定化技術の開発を進めていきます。本技術の実用化を目指す、(株) KOALA Tech と協働することで、情報セキュリティ、ディスプレイ、バイオセンシング、ヘルスケア、光通信など新しい応用展開を開拓できると期待されます。

論文名: Indication of current-injection lasing from an organic semiconductor

雑誌名: Appl. Phys. Express DOI: <https://doi.org/10.7567/1882-0786/ab1b90>

著者 : Atula S. D. Sandanayaka, Toshinori Matsushima, Fatima Bencheikh, Shinobu Terakawa, William J. Potscavage, Jr., Chuanjiang Qin, Takashi Fujihara, Kenichi Goushi, Jean-Charles Ribierre, and Chihaya Adachi

## ■ 用語解説

### (1) 電流励起型有機半導体レーザー (OSLD)

有機分子をレーザー発振させるためには、外部から有機分子にエネルギーを供給し、高密度の励起状態の有機分子を形成させる必要がある。外部エネルギーとして紫外線などの光を用いて励起状態を形成させる手法を光励起と呼び(例えば今回実現した光励起型有機薄膜レーザー)、外部エネルギーとして電流を用いて励起状態を形成させる手法を電流励起と呼ぶ。

### (2)DFB 構造

Distributed feedback 構造の略。レーザー素子で用いる光共振器の1つ。本研究では光学特性が異なる二酸化ケイ素( $\text{SiO}_2$ )と有機レーザー分子を周期的に配置した回折格子構造を採用した。効率良くレーザー発振を生じさせるために、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)光共振器

DFB 構造で構成された光共振器中で有機レーザー分子が発光した光がレーザー活性層の中へ反射される。その反射された光が励起されている有機レーザー分子と相互作用することで増幅される。

### (4)レーザー発振

レーザー(Laser)は、Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation(誘導放出による光増幅)の略語である。レーザー光は、太陽光や蛍光灯の光のような自然光と異なり、直進性や集光性に優れている。このレーザー光が放出される様子をレーザー発振という。

### (5)三重項励起子による損失

三重項励起子とは有機レーザー分子を光や電流で励起することにより形成される励起子の1つ。レーザー発振が始まった時には三重項励起子は少ないが、寿命が長い時間とともに蓄積する。三重項励起子はレーザー光を吸収してしまうので、レーザー発振が停止してしまう場合が多い。本研究で用いた有機レーザー分子は三重項励起子によるレーザー発振の吸収が非常に弱いので、三重項励起励起子がレーザー発振を阻害することはない。

### (6)ポーラロンによる損失

ポーラロンとは有機レーザー素子への電圧をかけた際に注入される電荷キャリアのことである。三重項励起子による損失と同様に、生じた正のポーラロンであるラジカルカチオン、負のポーラロンであるラジカルアニオンがレーザー光を吸収してしまうので、レーザー発振が停止してしまう場合が多い。本研究で用いた有機レーザーデバイスではポーラロンによるレーザー発振の吸収が非常に弱いので、ポーラロンがレーザー発振を阻害することはない。

<お問い合わせ先>

<研究に関すること>

安達 千波矢(アダチ チハヤ)

九州大学 最先端有機光エレクトロニクス研究センター

〒819-0395 福岡市西区元岡744

Tel:092-802-6920 FAX:092-802-6921

E-mail: adachi@cstf.kyushu-u.ac.jp

<JSTの事業に関すること>

古川 雅士(フルカワ マサシ)

科学技術振興機構 研究プロジェクト推進部

〒102-0076 東京都千代田区五番町7 K's五番町

Tel:03-3512-3528 Fax:03-3222-2068

E-mail: eratowww@jst.go.jp

<報道担当>

九州大学広報室

〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744

Tel:092-802-2130 Fax:092-802-2139

E-mail:koho@jimu.kyushu-u.ac.jp

科学技術振興機構 広報課

〒102-8666 東京都千代田区四番町5番地3

Tel:03-5214-8404 Fax:03-5214-8432

E-mail:jstkoho@jst.go.jp

九州先端科学技術研究所 事業支援部

〒814-0001 福岡市早良区百道浜二丁目1番22号

Tel:092-852-3460 Fax:092-852-3455

E-mail:isit-shien@isit.or.jp

株式会社 KOALA Tech 広報担当

〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744

九州大学イースト1号館 E-C-207

Tel:092-807-6036

E-mail:koho@koalatech.co.jp