

擬二次元ペロブスカイト薄膜からの室温連続レーザー発振 ～新しいレーザー光源の可能性～

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安達千波矢センター長、九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所の松島敏則准教授、Changchun Institute of Applied Chemistry (中国)のQin Chuanjiang (シン センコウ) 教授は、有機・無機ハイブリッドペロブスカイト^{*1}レーザーにおけるレーザー作用の抑制因子を解明することで、室温・空気中において安定した連続波レーザー (CW) の発振^{*2}に成功しました。レーザー光は、LED とは異なり、コヒーレント光源であり、科学研究、通信、製造、エンターテインメントなど、現代社会における私たちの生活の様々な用途に利用されています。レーザーは、利得媒体^{*3}、励起光源、光共振器から構成されており、特に利得媒体は誘導放出によって光を増幅するための鍵となる材料です。なかでも、有機・無機ハイブリッドペロブスカイト材料は、波長選択性、優れた安定性、溶液塗布法による低コスト化など、次世代のレーザー利得媒体として有望視されています。今回の光励起による室温・空気中の CW 発振は各種計測用光源など実用的なアプリケーション開発への道を切り拓くと共に、次世代フォトニクスデバイス光源として期待される電流励起レーザーへの重要なステップとなります。

本研究では、擬二次元ペロブスカイト構造において、低い三重項エネルギー状態を有する有機配位子を構造内に組み込み、長寿命の三重項励起状態をハロゲン化鉛の無機層から有機層へエネルギー移動させることで、パルスおよび CW 光励起レーザー発振に成功しました。図 1 には、配位子として PEA^{*3} および NMA^{*3} を含有するペロブスカイトの構造 (P2F8、N2F8) と三重項エネルギー移動の様子を示しています。P2F8 では PEA の三重項エネルギーが高いために、無機層から PEA へのエネルギー移動は困難ですが、N2F8 では容易に三重項エネルギーが NMA に移動し、三重項励起子を効果的に無機層から除去することが可能となりました。これらのエネルギー散逸過程のメカニズム解明に基づき、レーザーに必要な DFB 構造^{*4}を適用することで、CW 励起下において安定した緑色の擬二次元ペロブスカイトレーザーの開発に成功しました。CW レーザーの発振強度は、相対湿度 55%の空気中において、1 時間後でも顕著な発振特性の劣化は観測されず、高い安定性が明らかになりました。本研究は、近い将来、電氣的励起によるペロブスカイトレーザーへの展開を進めていきます。

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」(JPMJER1305) 及び CREST (JPMJCR16N3)、の一環で得られ、また、日本学術振興会科学研究費、キヤノン財団、韓国の Pohang Accelerator Laboratory の支援を受けました。本研究の詳細については、Nature 誌記載の「Stable room temperature continuous-wave lasing in quasi-2D perovskite films (擬二次元ペロブスカイト薄膜における安定した室温連続レーザー発振)」を参照してください。

<https://doi.org/10.1038/s41586-020-2621-1>:令和 2 年 9 月 3 日 (木) 午前 0 時 (日本時間) 掲載

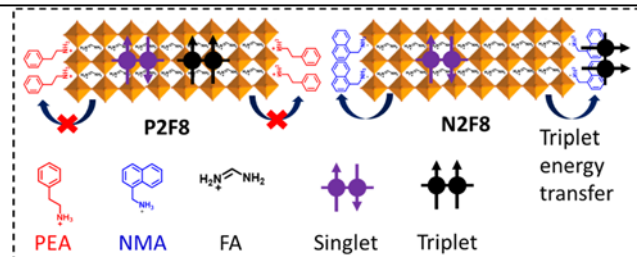


図 1 (左): 擬二次元ペロブスカイト構造の概念図と三重項エネルギー移動の様子。N2F8 では、ナフタレンを含有する配位子を用いることで、効果的に三重項励起状態を除去可能となり、CW 発振が可能となった。図 2 (右): レーザー発振時のレーザービームの様子 (左) と FFP (Far Field Pattern) 放射パターン^{*5} (右)。



【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
TEL : 092-802-6920 FAX : 092-802-6921 Mail : adachi@opera.kyushu-u.ac.jp
中国科学院・長春応用化学研究所 (CIAC-CAS) 教授 Qin Chuanjiang (シン センコウ)
TEL : +86-431-85262451 Mail : cjqin@ciac.ac.cn

【用語解説】

※1 有機・無機ハイブリッドペロブスカイト構造

本構造は有機分子と無機分子の優れた機能を融合させることができ、光電変換や発光機能などの光エレクトロニクス素子として、従来にはない高機能性デバイスが期待できる。

※2 CW レーザー発振

通常、レーザーは ns 以下のパルス発振が基本であるが、レーザー発振が時間と共に連続的に継続する現象である。連続発振が可能なことは、発振を妨げる励起状態の蓄積や光劣化、熱劣化が抑制されていることを示している。

※3 利得媒体

励起状態の数が基底状態の数を上回る反転分布を形成した状態において、入射光の強度を位相の揃った形で光増幅する機能を有する媒体。

※4 PEA、NMA、FA

それぞれ有機配位子の構造を示し、PEA（フェニルエチルアンモニウム）、NMA（ナフチルメチルアンモニウム）、FA（ホルムアミジニウム）に対応する。

※5 DFB 構造

レーザー活性層の上部もしくは下部に光の波長とピッチを合わせた微細構造（グレーティング）を形成し、そのピッチに合致した単一の波長のみを増幅し、単一モード発振を可能とするレーザー構造。

※6 FFP 放射パターン

レーザービームの形状は、素子の出力端近傍と出力端から数 cm 離れた場所で異なる。出力端近傍のビームの形状を NFP（Near Field Pattern）と呼び、離れた場所のビーム形状を FFP（Far Field Pattern）と呼ぶ。

【お問い合わせ先】

<研究に関すること>

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

電話：092-802-6920 FAX：092-802-6921

Mail：adachi@opera.kyushu-u.ac.jp

中国科学院・長春応用化学研究所（CIAC-CAS）教授 Qin Chuanjiang（シン センコウ）

TEL：+86-431-85262451 Mail：cjqin@ciac.ac.cn

<JST の事業に関すること>

科学技術振興機構 研究プロジェクト推進部

電話：03-3512-3528 FAX：03-3222-2068

Mail：eratowww@jst.go.jp

<報道に関すること>

九州大学 広報室

Mail：koho@jimu.kyushu-u.ac.jp

科学技術振興機構 広報課

電話：03-5214-8404 FAX：03-5214-8432

Mail：jstkoho@jst.go.jp

一般財団法人キヤノン財団 総務部

電話：03-3757-6465

Mail：morioka.hiromi@mail.canon