

1%のドーパントが弾性分子結晶の光輸送機能を15倍以上に！

【概要説明】

小型で高効率な光通信システムを実現するために、物質の発光を利用した柔軟なアクティブ型光導波路（*1）の開発が重要です。しかし、発光が物質に閉じ込められ光輸送（導波）する際に、自己吸収（*2）が起こるため、その効率は決して高くありません。高知工科大学の林正太郎准教授、松尾匠助教、池田浩貴(大学院修士課程化学コース1年)は、発光性の弾性分子結晶（*3）に異なる発光性分子（アクセプター分子）を1%-5%の割合でドーピングすることで FRET（*4）というエネルギー移動を起こし、この結果として、導波光の自己吸収が大きく抑制され、従来の結晶と比べて15倍以上に光輸送機能が向上することを示しました。

この成果は、2023年6月23日、Aggregate 誌（Wiley-VCH）に掲載されました。

【用語解説】

*1) アクティブ型光導波路

光が物質の中を通る現象。アクティブ型では結晶を発光させ、その発光が物質の内部に閉じ込められて導波する。

*2) 自己吸収

物質の光吸収帯と発光帯が重なる際に、発光を自ら吸収してしまう現象。

*3) 弾性分子結晶

結晶は通常脆いが、弾力性や塑性を示すように開発された分子結晶。

*4) FRET

Förster Resonance Energy Transfer の略。励起したドナー分子からアクセプター分子への発光過程を介さないエネルギー移動を表す現象。

【研究の背景】

AI (Artificial Intelligence) や IoT (Internet of Things) に対して、情報通信モジュールの需要が一層高まったことにより、小型光通信モジュールの開発が一層求められています。通常的光導波路は、電源や光源からは切り離せないパッシブ型 (図 1 a) であることから、光源と光導波路が切り離せるアクティブ型 (図 1 b) の開発が求められています。なぜなら、このアクティブ型光導波路は、導波路自身の発光を利用することから、パッシブ型のように光源と光導波路の接触と角度調整が必要ないからです。

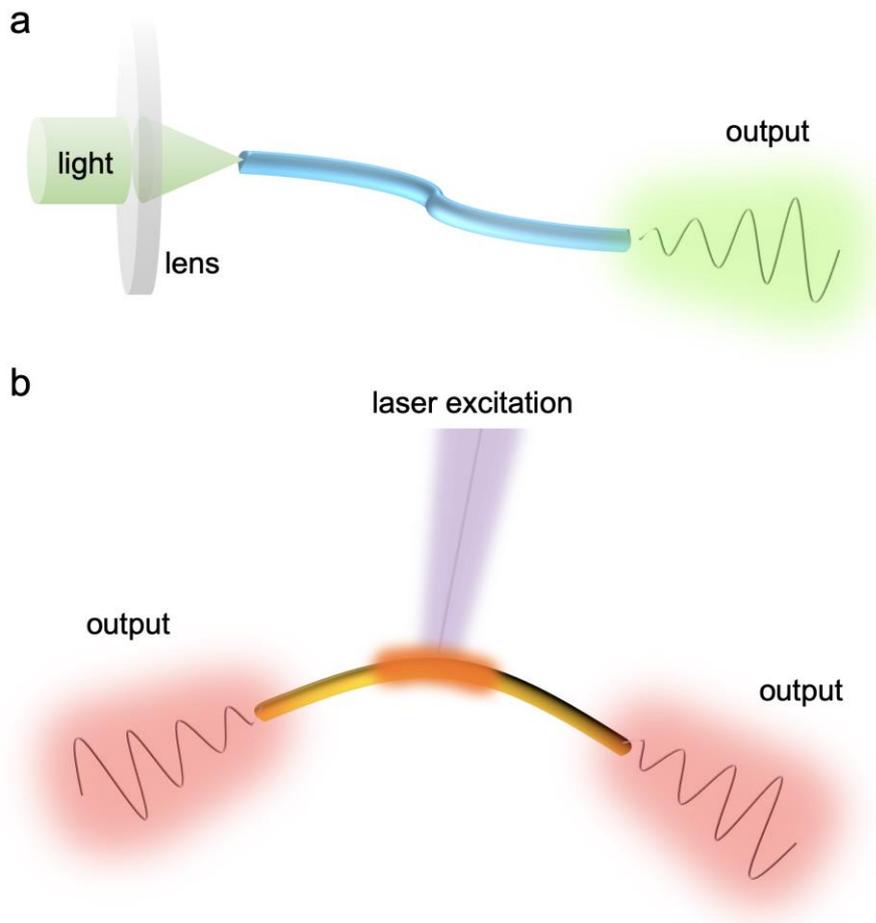


図 1 a : パッシブ型光導波路。物質に光を通す際に、光源を接近させ任意の角度で集光させる必要がある。 b : アクティブ型光導波路。物質から切り離された光源で発光させることで、発光が物質に閉じ込められて導波する。

しかし、従来のアクティブ型光導波路は柔軟性や強度に乏しいばかりか、発光の自己吸収によって光輸送効率が低い状況にあります。本研究に先立ち、本研究グループは、弾性分子結晶を利用したアクティブ型光導波路を開発することで、柔軟なアクティブ型光導波路

を目指してきました。結晶にレーザーを照射 (laser excitation) し、導波光(output)を検出することで、減衰係数 α (*5)を算出することができます。 α 値が低いほど導波効率・光輸送機能が高いと言えます。

【用語解説】

*5) α

導入 Input した光が出力 Output される際の減衰割合であり、光導波路の効率を評価するための指標。Input と Output の蛍光強度から算出でき、値が小さいほど導波光の減衰が小さく、効率の良い光輸送。

【研究内容と成果】

本研究に先立ち、9,10-ジブromoアントラセン結晶の弾性変形機能、発光機能に加え、減衰係数 α を算出しました。この結果、結晶は、緑色発光性の弾性分子結晶 (EMC) であり、 $\alpha = 0.1258 / \mu\text{m}$ でした (図 2 a)。分子結晶におけるドーピングは容易でなく、適切なアクセプター分子を選択する必要があります。我々は位置異性体を踏まえたスクリーニングを行った結果、アントラセンの 9,10 位に置換基を持つ化合物のみが結晶化過程において 9,10-ジブromoアントラセン結晶に取り込まれることを特定することに成功しました。そこでアクセプター性分子として 9,10-diformylanthracene を選定し、1%-5%の割合でドーピングすることができました。発光特性は 1%以上のドーピング率で橙色発光の弾性分子混晶 (EMMC) でした。この色変化は、FRET に由来しています。ドーピング率が低いほど光輸送機能は高く、1%ドーピングの EMMC で $\alpha = 0.0077 / \mu\text{m}$ でした (図 2 b)。FRET によって自己吸収を大きく抑制することで、従来の結晶と比べ 15 倍以上に光輸送機能が向上することを示しました。

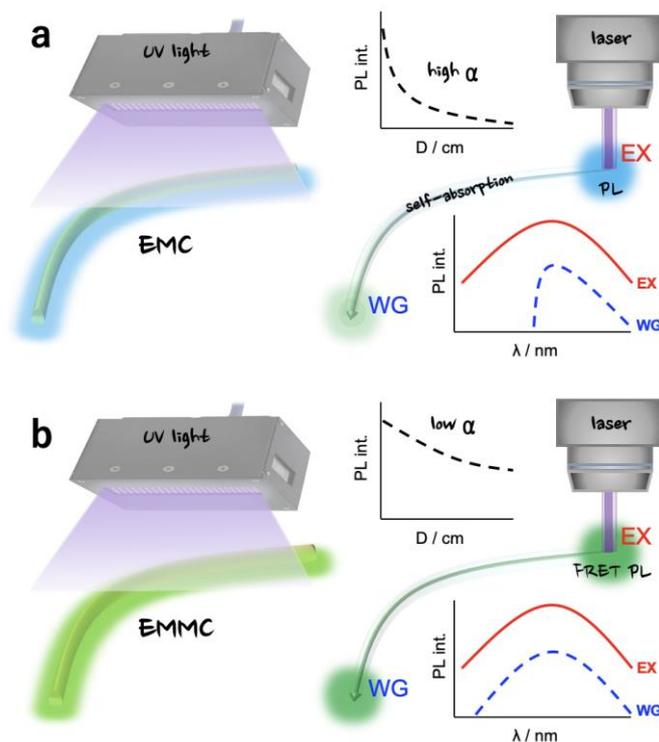


図2 本研究成果コンセプトのイメージ図。a 左: UV 照射によって緑色に発光する弾性分子結晶 EMC。a 右: レーザー照射 (EX) によって導波する EMC。光輸送中に自己吸収が起こり、EX 時 (入口) と WG 時 (出口) のスペクトルが大きく変化し、減衰係数が高くなる。b 左: UV 照射によって橙色に発光する弾性分子液晶 EMMC。b 右: レーザー照射 (EX) によって導波する弾性分子液晶 EMMC。光輸送前後の EX と WG のスペクトルがほとんど変化せず、減衰係数が低くなる。

【今後の展開】

小型で柔軟な光導波路の実現は、情報通信モジュールの次世代化において重要な研究展開です。しかし、そのための柔軟性物質や実装可能なアクティブ型光導波システムの両立は困難でした。本コンセプトに基づき、より効率的な光通信モジュールの実現に向けた具体的な開発が進むことが期待されます。

【研究資金】

本研究は、JST 創発的研究支援事業 JPMJFR211W、日本学術振興会科学研究費補助金 (17H05171、18H02052、22K14671) および加藤科学振興会研究補助金 KJ-3035 の支援を受けて行われました。

【論文情報】

タイトル : Flexible Förster Resonance Energy Transfer-assisted Optical Waveguide based on Elastic Mixed Molecular Crystals (弾性分子混晶による柔軟な FRET 型光導波路)

著者 : Takumi Matsuo, Koki Ikeda, Shotaro Hayashi

掲載誌 : Aggregate

公開日 : 2023 年 6 月 23 日

DOI: <https://doi.org/10.1002/agt2.378>

【研究に関するお問い合わせ先】

高知工科大学 理工学群 准教授 林 正太郎

TEL. 0887-57-2516

E-mail : hayashi.shotaro@kochi-tech.ac.jp

【広報に関するお問い合わせ先】

高知工科大学 広報課

TEL.0887-53-1080

E-mail : kouhou@ml.kochi-tech.ac.jp