

世界初！効果的に光情報を伝達する連結した列車型分子「フォトニック分子列車」を開発

～高速光コンピューターの回路設計への応用展開に期待～

ポイント

- ・ 効果的に光情報を伝達する、連結した列車型分子、「フォトニック分子列車」を開発。
- ・ 世界で初めて分子結晶が強い化学結合を介して連結合体が可能な分子結晶の形成に成功。
- ・ 列車型分子結晶の組み合わせにより高速光デバイス回路の設計へ期待。

概要

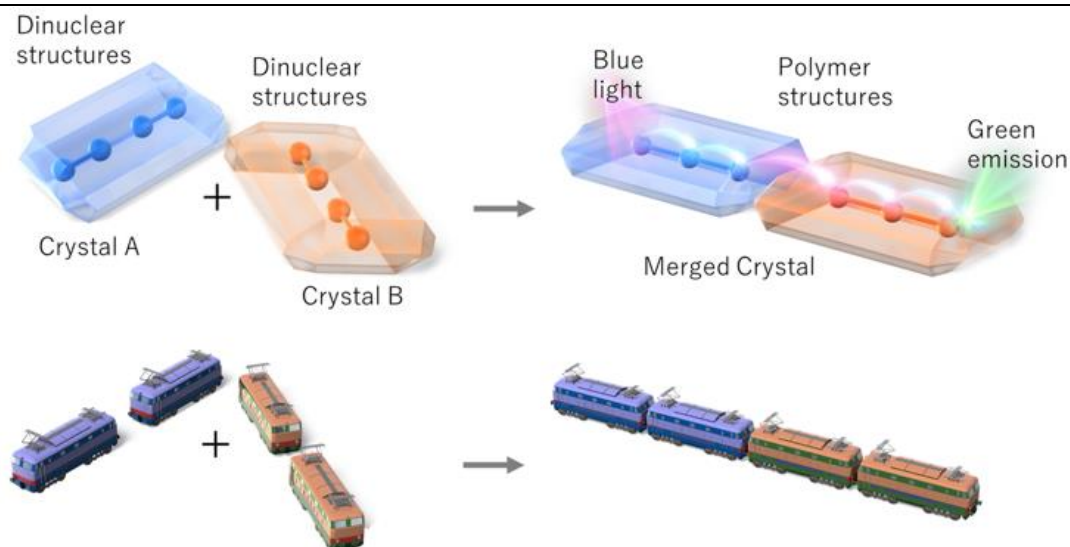
北海道大学大学院工学研究院の長谷川靖哉教授らの研究グループは、結晶の中の分子が変形して、結晶同士が自由に連結・合体できる新しい「フォトニック分子列車」の開発に世界で初めて成功しました。

非常に弱い相互作用の分子間力で作られる「分子結晶」は光電機能に優れた物質が多く、その特性は分子の構造や配列によって自在に変化させることができます。このため、分子結晶は従来の半導体結晶とは異なる新しい電子デバイス材料として現在注目されています。

今回開発したフォトニック分子列車は、強い化学結合で繋がれた結晶界面を形成するため、その中を光情報が高効率、かつ、分子のエネルギー準位に応じて方向性をもって伝達します。また、分子構造を自在に設計することにより、光波長（光の色）も自由に変えることができます。

この技術は、分子レベルで光伝達を方向制御できることから、最新型の高速度光コンピューターの回路設計への応用展開が期待されます。

なお、本研究成果は、2022年7月5日（火）公開の Nature Communications 誌に掲載されました。



結晶間で光を伝達する分子列車のイメージ

【背景】

結晶は水晶などのように一般に硬いイメージがあります。近年、分子で構成される結晶が圧力や蒸気などの外部刺激によって構造変形する「ソフトクリスタル」の研究が盛んに行われています。このソフトクリスタルは外部刺激によって結晶中の分子の並び方が変わる物質であり、圧力センサーや蒸気検知センサーなどへの応用が期待されています。

一方、非常に弱い相互作用の分子間力で作られる「分子結晶」は光電機能に優れた物質が多く、その特性は分子の構造や配列によって自在に変化させることができます。このため、分子結晶は従来の半導体結晶とは異なる新しい電子デバイス材料として現在注目されています（有機トランジスタなど）。

そこで、研究グループは、本来は非常に弱い相互作用の分子結晶中で、分子が変形して強い化学結合を介して連結合体し、光情報を伝達できる新しいソフトクリスタル分子結晶「フォトニック分子列車（Photonic molecular trains）」を開発しました（図1）。

【研究成果】

本研究成果の変形・合体する列車型分子は発光性の希土類錯体によって達成されました（図2）。この分子は発光性の希土類イオンを2つ含み、ピリジン分子（py）添加により分子構造が変形して連結可能状態となります（図2-II）。この後にピリジン分子を取り除くことで、結晶中で隣の分子と非常に強い配位結合でつながり連結合体します（図2-III）。

本研究のポイントは次の3点です：①希土類錯体の分子結晶中での三段変形により、列車分子が強い配位結合で連結して強発光すること ②2つの希土類イオンの一方をテルビウム（Tb）にすると緑色、ジスプロシウム（Dy）にすると黄色に発光すること（光波長の変換が自由に設計可能） ③2種類以上の分子結晶も連結が可能。結晶の中で分子が連結し、光情報を一方向に伝達すること（図3） なお、③については連結を解除することもできます。つまり、可逆的にトランスフォームが可能です。

分子外部刺激でトランスフォームする分子（フォトクロ分子など）はこれまでも報告されていましたが、分子結晶が強い化学結合を介して連結合体するものは本研究成果が世界で初めてです。

【今後への期待】

分子レベルで化学結合を介した結晶の連結合体に成功し、分子の中を光情報が一方向に伝播可能なシステムを達成しました。異なる結晶を連結する異種界面接合技術は、最新型の有機トランジスタや有機EL開発において極めて重要です（図4）。

今回の研究成果により、従来の光ファイバーでは困難な分子レベルの極小光導波回路の設計（高性能フォトニック結晶）、分子結晶を組み合わせ接合した発光素子や太陽電池材料、高度な光情報（偏光）を伝達できる分子結晶デバイスの構築の展開を可能とします。

本研究成果による分子結晶の接合技術は、最先端の高速光コンピューター回路の実用化の可能性を大きく切り開きます。

なお、本研究成果は、北海道大学より特許出願されています。

【知的財産権】

発明の名称：結晶接合体及びその製造方法

出願番号：特願 2022-007199

出願日：2022年1月20日

出願人 : 国立大学法人北海道大学

発明者 : 長谷川靖哉、フェレイラ ダ ローサ ペドロ パウロ、北川裕一、庄司 淳、伏見公志

【謝辞】

本研究は、日本学術振興会（JP18H04504、JP20H04661、JP18H02041、20H04653、20H05197、20K21201、19H04556、20H02748、17H06373、21K05105）及び北海道大学創成研究機構化学反応創成研究拠点（ICReDD）の支援を受けて実施されました。単結晶 X 線回折については、北海道大学の伊藤 肇教授、J. Mingoo 博士、静岡大学の関 朋宏博士に、動画制作については、北海道大学の中井拓真氏にご協力いただきましたことに感謝します。

論文情報

論文名 Photonic molecular trains (フォトニック分子列車)

著者名 フェレイラ ダ ローサ ペドロ パウロ¹、北川裕一^{2,4}、庄司 淳^{2,4}、大山滉永⁵、今枝佳祐³、中山尚史⁶、伏見公志²、植草秀裕⁵、上野貢生³、後藤仁志⁷、長谷川靖哉^{2,4} (1北海道大学大学院総合化学院、2北海道大学大学院工学研究院、3北海道大学大学院理学研究院、4北海道大学創成研究機構化学反応創成研究拠点 (WPI-ICReDD)、5東京工業大学理学院、6コンフレックス株式会社、7豊橋技術科学大学情報メディア基盤センター)

雑誌名 Nature Communications

公表日 2022年7月5日(火)(オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院工学研究院 教授 長谷川靖哉 (はせがわやすちか)

T E L 011-706-7114 F A X 011-706-7114 メール hasegaway@eng.hokudai.ac.jp

配信元

北海道大学社会共創部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

【参考図】

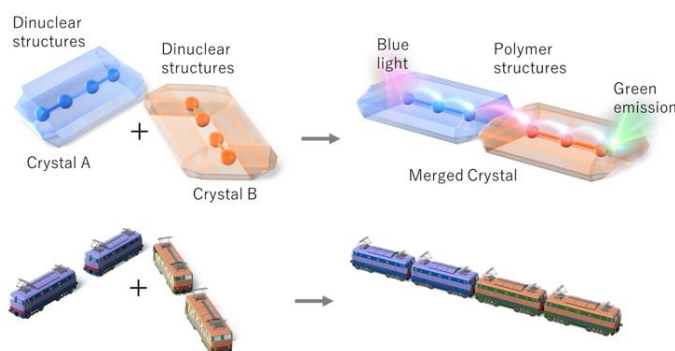


図 1. 列車型分子の連結合体イメージ

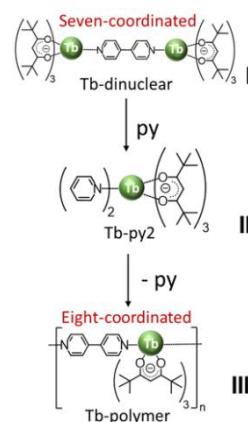


図 2. 三段変形による電車分子の連結

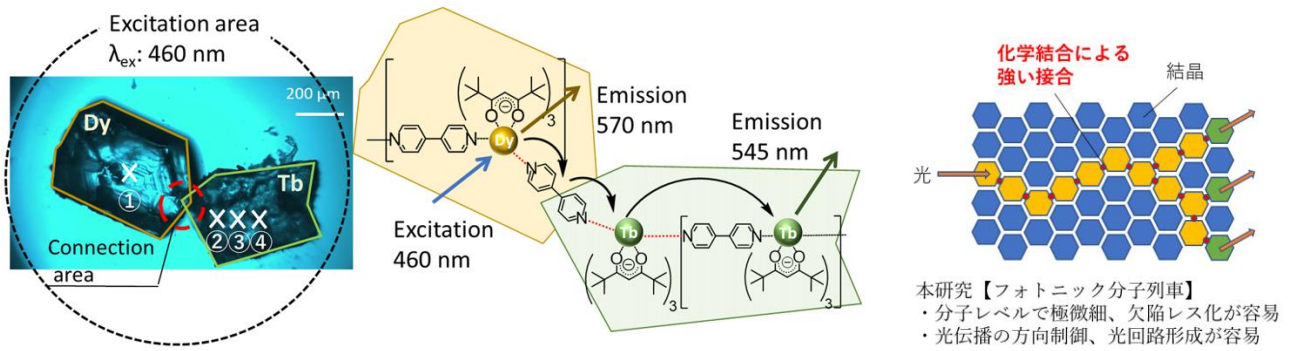


図3. 結晶の接合と列車分子内の光情報伝達

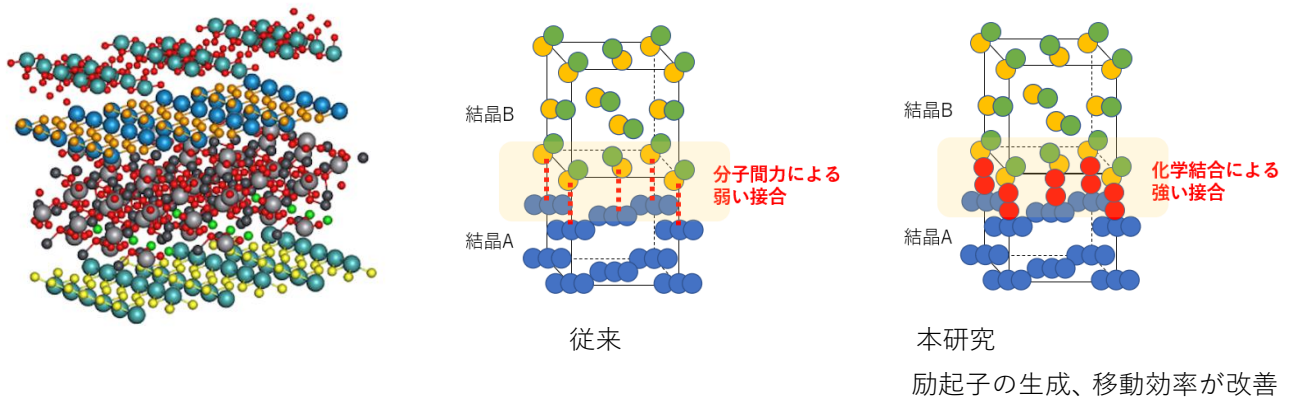


図4. 異なる結晶連結と列車連結のイメージ

【WPI-ICReDD について】

ICReDD (Institute for Chemical Reaction Design and Discovery、アイクレッド)は、文部科学省国際研究拠点形成促進事業費補助金「世界トップレベル研究拠点プログラム(WPI)」に採択され、2018年10月に本学に設置されました。WPIの目的は、高度に国際化された研究環境と世界トップレベルの研究水準の研究を行う「目に見える研究拠点」の形成であり、ICReDDは国内にある14の研究拠点の一つです。

ICReDDでは、拠点長の下、計算科学、情報科学、実験科学の三つの学問分野を融合させることにより、人類が未来を生き抜く上で必要不可欠な「化学反応」を合理的に設計し制御を行います。さらに化学反応の合理的かつ効率的な開発を可能とする学問、「化学反応創成学」という新たな学問分野を確立し、新しい化学反応や材料の創出を目指しています。

