

## 光応答性有機メモリデバイスの新規構築手法の開発に成功

～ON/OFFの高速切り替えや省エネルギーを実現～

### ポイント

- ・ ロッドコイル型有機半導体分子をキー材料とすることで光応答性有機メモリデバイスを作成。
- ・ 光信号による高速なスイッチングや省エネルギーなメモリ駆動を実現。
- ・ 光応答性有機電子デバイス開発の加速に期待。

### 概要

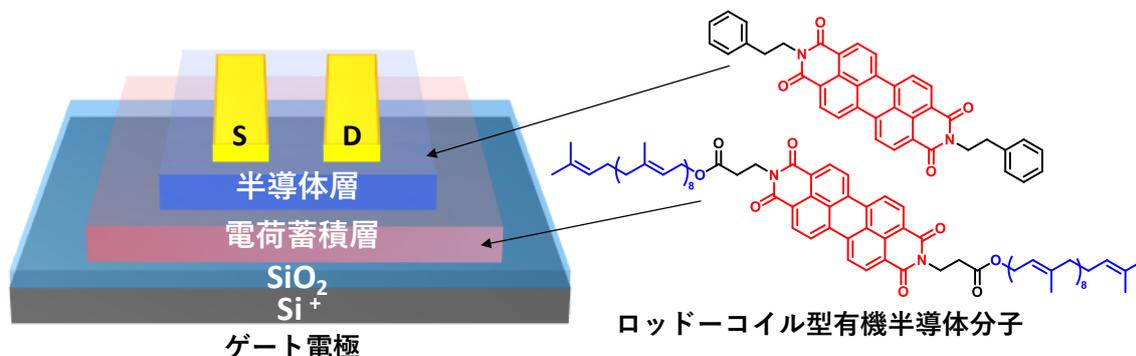
北海道大学大学院工学研究院の佐藤敏文教授と磯野拓也助教の研究グループは、国立台湾大学のWen-Chang Chen教授らの研究グループと共同で、ロッドコイル型有機半導体分子を利用した高性能な光応答性有機メモリデバイスの開発に成功しました。

有機半導体から構成されるメモリデバイスは、シリコン系半導体デバイスと比較して、軽量かつ柔軟な性質を兼ね備えており、その実用化が期待されています。しかし、実用化や応用範囲の拡大に向けて様々な課題が残されています。一方、最近では光信号によるメモリデバイス制御が注目を集めており、光応答性メモリデバイスの普遍的な構築手法の確立が求められています。

研究グループは、自己組織化するように設計したロッドコイル型有機半導体分子を浮遊ゲート（フローティングゲート）\*1として用いることで、光応答性有機メモリデバイス製造プロセスの簡略化に成功し、デバイスの再現性や信頼性を向上させる糸口を見出しました。また、有機半導体層と浮遊ゲート層の両方の材料に同等の共役分子構造を取り入れたことで、高速なスイッチングの実現とともに、デバイス駆動に必要なエネルギーを削減できることを見出しました。さらに、このメモリデバイスは光信号を用いたスイッチング動作が可能であり、本デバイス構築手法は、将来的に様々な有機系光・電子デバイスの開発に貢献するものと期待されます。

なお、本研究成果は、2020年9月10日（木）公開の *Advanced Materials* 誌に掲載されました。

また、本研究は文部科学省科学研究費補助金「基盤研究B」（19H02769, 20H02792）、北海道大学フォトエキサイトクス研究拠点、同フロンティア化学教育研究センター、同大学院総合化学院国際連携総合化学プログラム、同外国人招へい教員制度の支援のもとで行われました。



新しく開発した光応答性有機メモリデバイスの概略図

## 【背景】

最近のIoTやクラウドストレージなどの情報技術の急速な発展に伴って、高密度に情報を保存できる不揮発性メモリデバイスの開発が喫緊の課題となっています。メモリデバイスはシリコンを中心とした無機系半導体で構成されるものが主流ですが、有機半導体から構成される有機メモリデバイスは無機系半導体デバイスと比較して、安価で軽量かつ柔軟な性質を兼ね備えているため、柔軟で伸縮性のある電子デバイスの開発にも有望視されています。

しかし、有機メモリデバイスの実用化や応用範囲の拡大に向けて様々な課題が残されています。例えば、既存の有機半導体ベースのトランジスタメモリデバイスは多くの場合、ON/OFFをスイッチするために比較的大きな駆動電圧を必要としていました。また、こうしたデバイスのメモリ性能は、電荷トラップ材料の種類やその電荷蓄積層内部での分布と形態に大きく左右されるため、高性能なメモリデバイスを開発するにはこれらの各種パラメータを試行錯誤しながら最適化していく必要があります。さらに、様々なパラメータがデバイス特性に影響を与えるため、作製したデバイスのバッチ間での再現性にも課題がありました。

最近では、光信号に応答するメモリデバイスが注目を集めており、こうしたデバイスは光情報の記録や画像認識、シナプスデバイスなどへの応用が期待されています。しかし、有機半導体をベースとした光応答性メモリデバイスを実現した報告例は非常に限られており、普遍的なデバイス構築手法の開発が求められています。

## 【研究手法】

研究グループは、有機半導体としての性質を示す共役構造（ロッド）と絶縁体としての性質を示す植物由来脂肪族炭化水素（コイル）から構成されるロッド-コイル型有機半導体分子を浮遊ゲートとして用いることで、光応答性有機メモリデバイスの構築に成功しました。本デバイスは、トップコンタクト-ボトムゲート構造を有しており、シリコン基板上（ゲート電極）にロッド-コイル型有機半導体分子（電荷蓄積層）→有機半導体（半導体層）→電極（ソース電極・ドレイン電極）という順で各材料を積み上げて作成しています（図 1a）。論文の筆頭著者である Yun-Chi Chiang 氏（国立台湾大学博士課程学生）は北海道大学大学院総合化学院国際連携総合化学プログラムを利用して、佐藤教授研究室にて実験を行い、本デバイス作成のキー材料となるロッド-コイル型有機半導体分子（Sol-PDI, 図 1b）を開発しました。

## 【研究成果】

通常、浮遊ゲートは電荷トラップ材料を絶縁層で挟み込むことで構築されますが、今回提案したデバイスでは半導体層との間を仕切る絶縁層（トンネル絶縁膜）が不要であることがわかりました。X線や顕微鏡による観察実験を行ったところ、自己組織化によりロッド-コイル型有機半導体分子のロッドとコイル部位がそれぞれで寄り集まったナノサイズの層を形成することを見出しました。このコイル層が絶縁体として作用したことで、浮遊ゲート構築の際にトンネル絶縁膜を導入する必要がなくなったと考えられます。このような製造プロセスの簡略化は、デバイスの信頼性向上などにおいて重要な意味を持ちます。

作成した光応答性有機メモリデバイスの特性を調べた結果、広い範囲の波長の光に応答してメモリの状態をプログラミングできることがわかりました。また、ON/OFF状態でのメモリ電流比 ( $10^5$ )、応答速度、メモリ保持時間などの観点からも非常に優れたメモリデバイス特性を持つことが明らかとなりました。電荷蓄積層と半導体層の材料に共通してペリレンジイミドをいう共役構造を取り入れた

ことも本デバイスの重要な特徴となっており、これにより高速なスイッチングが実現されるとともに、デバイス駆動に必要なエネルギーを 0.1 V にまで削減できることを見出しました。また、本研究で確立したデバイス製造手法はペリレンジイミドをベースとした n 型半導体メモリだけでなく、ロッド-コイル型分子の共役構造をチエノアセンとすることで p 型半導体メモリにも適用可能であることが確認されました。

### 【今後への期待】

以上のように、ロッド-コイル型有機半導体分子をキー材料とすることで、高性能な光応答性有機メモリデバイスを構築することに成功しました。光刺激による有機電子デバイス操作は将来的に網膜のような機能を持ったデバイスの開発などに活かされると考えられ、今回提案したデバイス構築手法が本研究分野の活性化につながるものと期待されます。

### 論文情報

論文名	High - Performance Nonvolatile Organic Photonic Transistor Memory Devices using Conjugated Rod-Coil Materials as a Floating Gate (共役ロッド-コイル材料を浮遊ゲートに用いた高性能不揮発性光応答メモリデバイス)
著者名	Yun-Chi Chiang <sup>1</sup> , Chih-Chien Hung <sup>2</sup> , Yan-Cheng Lin <sup>1</sup> , Yu-Cheng Chiu <sup>3</sup> , Takuya Isono <sup>4</sup> , Toshifumi Satoh <sup>4</sup> , Wen-Chang Chen <sup>1,2</sup> ( <sup>1</sup> Department of Chemical Engineering, National Taiwan University, <sup>2</sup> Advanced Research Center for Green Material Science and Technology, National Taiwan University, <sup>3</sup> Department of Chemical Engineering, National Taiwan University of Science and Technology, <sup>4</sup> Faculty of Engineering, Hokkaido University)
雑誌名	Advanced Materials (材料科学の専門誌)
DOI	10.1002/adma.202002638
公表日	2020年9月10日(木)

### お問い合わせ先

北海道大学大学院工学研究院 教授 佐藤敏文 (さとうとしふみ)

T E L 011-706-6602 F A X 011-706-6602 メール satoh@eng.hokudai.ac.jp

U R L <http://poly-ac.eng.hokudai.ac.jp/>

### 配信元

北海道大学総務企画部広報課 (〒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 kouhou@jimu.hokudai.ac.jp

### 【用語解説】

\*1 浮遊ゲート (フローティングゲート) … メモリデバイスの一部であり、電荷 (電子またはホール) を貯蔵・放出することでデータの記憶・消去を行う。

【参考図】

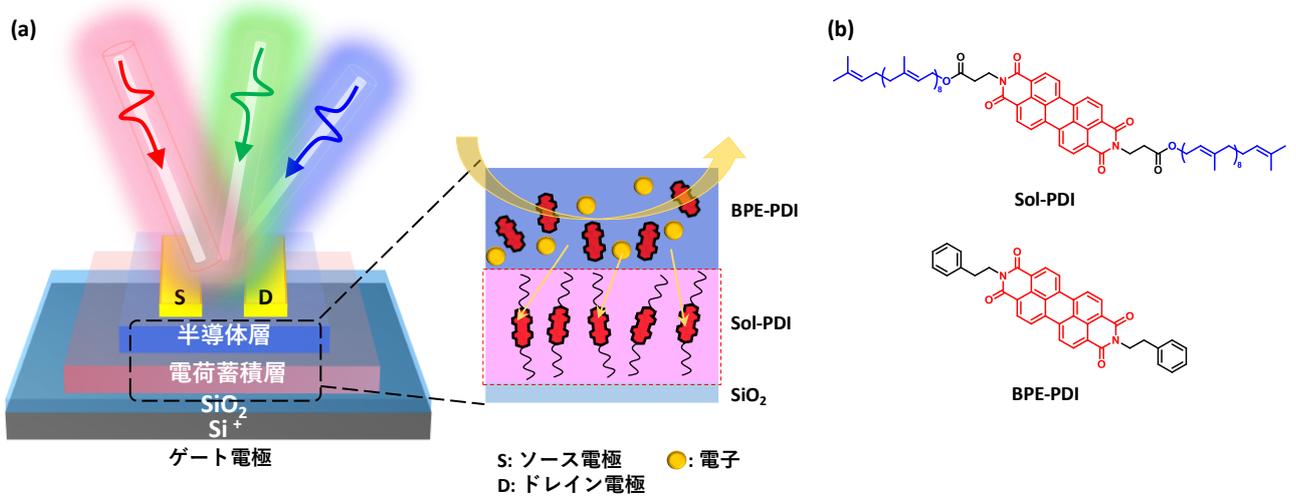


図 1. (a) 作成した光応答性有機メモリデバイスの模式図。

(b) デバイスの電荷蓄積層に用いたロッドコイル型有機半導体分子 (Sol-PDI) と半導体層に用いた有機半導体 (BPE-PDI) の化学構造。赤で示した部分がペリレンジイミドと呼ばれる共役構造に相当する。