

2024 年度年次報告書

ナノ物質を用いた半導体デバイス構造の活用基盤技術

2023 年度採択研究代表者

石井 あゆみ

早稲田大学 理工学術院

准教授

一次元有機無機ハイブリッドラセンナノ物質による近未来光デバイス技術の創出

主たる共同研究者:

伊藤 哲明 (東京理科大学 先進工学部 教授)

田中 慎二 (産業技術総合研究所 触媒化学融合研究センター 主任研究員)

田原 樹 (情報通信研究機構 電磁波研究所 主任研究員)

研究成果の概要

本研究では、既存の半導体における光デバイス機能の限界突破を目指し、一次元らせんナノ物質の特異的な電子・スピン状態を有機無機ハイブリッド構造により制御した新しい光半導体デバイスの構築を進めている。

2024年度は、一次元らせんナノ物質およびそれを用いたデバイスの構造制御・物性評価に関する基盤技術の確立を進めるとともに、単一素子を用いた動作原理の検証(円偏光検出、バルク光起電力効果)を実施した。①ナノ物質創製では、新規に合成・設計した8種のナフチルエチルアミン誘導体を用いて一次元らせん構造の有機無機ハイブリッド結晶および薄膜を作製し、分子構造と電子状態が円偏光吸収特性に与える影響を明らかにした。さらに、有機キラル分子の構造制御により、一次元らせん結晶において極性を有する配列が得られることを見出した。温度勾配法により極性構造の一次元らせん結晶を作製し、10Vを超えるバルク光起電力の発現に成功した。②デバイス創製では、素子構造の最適化により、光増幅率500%以上の円偏光検出を実現した。また、キラルかつ極性構造の一次元らせん薄膜を用いた素子を作製し、円偏光検出と光起電力の両特性の観測に成功した。可視光領域での円偏光検出については、ビスマスを用いた素子により実証した。③物性開拓では、新規物質群に対し第一原理バンド計算を網羅的に実施し、特異電磁応答をもたらすスピン分裂の度合いを評価した。さらに、ボルツマン輸送理論により電流誘起磁化の大きさを見積もることにも成功した。新規に合成された一次元らせん磁性体について単結晶NMR測定を行い、その磁気構造が交替磁性Type-IIに属することを明らかにした。④計測評価では、円偏光検出素子の性能評価を目的とし、単一画素偏光イメージングシステムを構築した。さらに、開発予定の円偏光検出イメージセンサに対応した自然光多次元光イメージングシステムの試作を行った。

【代表的な原著論文情報】

- 1) A. Ishii*, R. Sone, T. Yamada, M. Noto, H. Suzuki, D. Nakamura, K. Murata, T. Shiga, K. Ishii, M. Nihei, “Giant Bulk Photovoltaic Effect in a Chiral Polar Crystal based on Helical One-dimensional Lead Halide Perovskites”, *Angew. Chem. Int. Ed.* 64, e202424391 (2025). Selected to Outside Back Cover (プレスリリース: <https://www.waseda.jp/inst/research/news/79861>)
- 2) T. Tahara, T. Shimobaba, Y. Kozawa, M. A. A. Aljazaerly, and T. Nakamura, “Natural-light full-color motion-picture holography,” *Advanced Photonics Nexus* 4, 036006 (2025).
- 3) (**Invited paper**) T. Tahara and T. Shimobaba, “Palm-sized single-shot full-color incoherent digital holographic camera system with white light,” *Advanced Devices & Instrumentation* 6, 0076-1-11 (2025). (論文誌よりプレスリリース: <https://phys.org/news/2025-02-palm-sized-shot-full-incoherent.html>)
- 4) T. Tahara, “Self-reference digital holography unit adaptable to optical microscope with light emitting diode,” *Optics Express* 32, 46090-46102 (2024).
- 5) T. Tahara, “Filter-free lens-free polarimetric incoherent digital holography,” *Journal of Optics (IOP Publishing)* 26, 075707-1-9 (2024).