

2024 年度年次報告書

未踏探索空間における革新的物質の開発

2021 年度採択研究代表者

竹谷 純一

東京大学 大学院新領域創成科学研究科
教授

電子閉じ込め分子の二次元結晶と汎用量子デバイスの開発

主たる共同研究者:

岡本 敏宏 (東京科学大学 物質理工学院 教授)

小林 伸彦 (筑波大学 数理物質系 教授)

山下 侑 (物質・材料研究機構 ナノアーキテクトニクス材料研究センター 主任研究員)

研究成果の概要

有機二次元キャリア閉じ込め系に形成した 2 次元正孔ガスにおいて、電子相関がキャリアドーピングとともに発展し、分子あたり 1/4 の高密度キャリアを導入した際に、電荷密度波の不安定性による強い電子相関が現れることを実験と理論により明らかにした(Nature Commun. 2025)¹。さらに、わずか 3%の歪を加えることによって、強い電子相関の効果が大きく弱められて、伝導度が1桁程度変化する「巨大歪効果」を見出した。

一方、有機二次元キャリア閉じ込め系表面の酸化電位が極めて安定かつ一意性を有することから、新たな参照電極として利用できることを明らかにし、イオンセンサーなどの電気化学デバイスのフィルム化に道を拓いた(Proc. Nat. Accad. Sci. 2024)²。また、計算科学と新物質合成化学の連携により、未知化合物の予測構造データを機械学習する未踏の物質開拓空間構築を推進するとともに、得られたアルゴリズムにより、合成候補物質の予測構造をベースとした有望分子を合成した。

昨年度プロトン共役電子移動を用いた化学ドーピング手法を発表したところ(Nature 622, 285-291 (2023))、安定な有機半導体ドーピング手法として、代表者のスタートアップ企業で実用化されている高感度有機歪センサーの次世代版技術に採用することとした^{3,4}。また、歪センサーを含めて、2022 年度に代表者が設立したスマートフィルムデバイス協会の取り組みを医療分野などにも拡充し、本 CREST 研究の成果を含め、様々な有機エレクトロニクスデバイスの製品開発や社会実装を進めた。

【代表的な原著論文情報】

1. N. Kasuya, T. Furukawa, H. Ishii, N. Kobayashi, K. Hirose, H. Takayanagi, T. Okamoto, S. Watanabe, and J. Takeya, “Evolution of electronic correlation in highly doped organic two-dimensional hole gas”, **Nature Commun.** 16, 3214 (2025).
2. Y. Yamashita, H. Hayakawa, P. Wang, T. Makita, S. Kumagai, S. Watanabe, and J. Takeya, “Ion sensors based on organic semiconductors acting as quasi-reference electrodes”, **Proc. Nat. Acad. Sci.** 121, e2405933121 (2024).
3. Y. Yamashita, S. Kohno, E. Longhi, S. Jhulki, S. Kumagai, S. Barlow, S. R. Marder, J. Takeya, and S. Watanabe, “N-type molecular doping of a semicrystalline conjugated polymer through cation exchange”, **Commun. Mater.** 5, 79 (2024).
4. Y. Usami, Y. Yamashita, T. Murata, T. Matsumoto, M. Ito, S. Watanabe, and J. Takeya, “Scalable fabrication of precise flexible strain sensors using organic semiconductor single crystals”, **Sci. Tech. Adv. Mater.** 26, 1(2025).