

機能分子システム創成研究部門

山 本 浩 史（教授）（2012 年 4 月 1 日着任）

A-1) 専門領域：分子物性科学

A-2) 研究課題：

- a) 有機モットFET（FET＝電界効果トランジスタ）
- b) 有機超伝導FET
- c) カイラル伝導体によるスピン偏極デバイス

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 有機モット絶縁体 κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]₂X (X = Cl, Br) の薄膜単結晶を用いたFETを作製し、その電気的特性を測定した。モット絶縁体中では電子間に働くクーロン反発と格子整合のために本来金属的であるべきキャリアの伝導性が極端に低い状態が実現しているが、トランジスタのゲート電界により静電キャリアドーピングが行われると実効的なクーロン反発が遮蔽されて金属的な伝導性が復活する。こうした原理による伝導性スイッチングはこれまでの半導体デバイスではほとんど使われてこなかったが、我々のグループが世界に先駆けて原理検証したものである。本年はモットFETの室温動作を目的として液晶性ドナー分子による単分子膜デバイスを作製し、さらに光反応による単分子膜の熱安定性向上を検討した。
- b) 上記モット絶縁体のモットハバードギャップを歪みや静電キャリアドーピングで小さくしていくと、低温において超伝導状態が実現することがこれまでの研究で明らかとなっている。基板からの歪みや冷却速度を制御することによって電荷ギャップを小さくしたFETあるいは電気二重層トランジスタを作製し、これにゲート電圧を印加することによって、電界誘起超伝導相とその周辺相に関する計測を行った。その結果、バンド幅とバンドフィリングをパラメーターとした時の基底状態相図において、バンドフィリングがちょうど 0.5 の時だけに現れる超伝導相など、これまで予想されていたものとは異なる点が多数見出された。また超伝導相近傍の異常金属相についても様々な知見を得ることができた。
- c) 有機モット絶縁体の中には、分子構造あるいは結晶構造に起因するカイラルな伝導体が存在する。また分子モーターは芳香族系の伝導性分子であるが、モーターの回転に伴って分子のカイラリティが交互に反転することが知られている。これらの伝導性とカイラリティが共存する系においては、伝導電子の運動方向に依存したスピン選択性（Chirality-Induced Spin Selectivity）が表れることが期待されるため、磁性電極を用いたスピン流検出に取り組んだ。その結果、いくつかの系で分子や結晶構造のカイラリティに由来すると思われる磁気抵抗効果を見出した。

B-1) 学術論文

M. SUDA, Y. THATHONG, V. PROMARAK, H. KOJIMA, M. NAKAMURA, T. SHIRAOGAWA, M. EHARA and H. M. YAMAMOTO, “Light-Driven Molecular Switch for Reconfigurable Spin Filters,” *Nat. Commun.* **10**, 2455 (7 pages) (2019).

G. KAWAGUCHI, A. A. BARDIN, M. SUDA, M. URUICHI and H. M. YAMAMOTO, “An Ambipolar Superconducting Field-Effect Transistor Operating above Liquid Helium Temperature,” *Adv. Mater.* **31**, 1805715 (6 pages) (2019).

H. ITO, Y. EDAGAWA, J. PU, H. AKUTSU, M. SUDA, H. M. YAMAMOTO, Y. KAWASUGI, R. HARUKI, R. KUMAI and T. TAKENOBU, “Electrolyte-Gating-Induced Metal-Like Conduction in Nonstoichiometric Organic Crystalline Semiconductors under Simultaneous Bandwidth Control,” *Phys. Status Solidi PRL* **13**, 1900162 (6 pages) (2019).

T. CHOOPPAWA, M. SUDA, M. URUICHI, M. KUNASETH, S. NAMUANGRUK, P. RASHATASAKHON and H. M. YAMAMOTO, “Development of Highly Soluble Perylenetetracarboxylic Diimide Derivative for n-Type Monolayer Field-Effect-Transistor,” *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **669**, 94–105 (2019).

Y. KAWASUGI, K. SEKI, S. TAJIMA, J. PU, T. TAKENOBU, S. YUNOKI, H. M. YAMAMOTO and R. KATO, “Two-Dimensional Ground-State Mapping of a Mott-Hubbard System in a Flexible Field-Effect Device,” *Sci. Adv.* **5**, eaav7282 (9 pages) (2019).

D. HIROBE, M. SATO, M. HAGIHARA, Y. SHIOMI, T. MASUDA and E. SAITOH, “Magnon Pairs and Spin Nematic Correlation in the Spin Seebeck Effect,” *Phys. Rev. Lett.* **123**, 117202 (7 pages) (2019).

B-4) 招待講演

H. M. YAMAMOTO, “Light-driven Molecular Switch for Reconfigurable Spin Filters,” Chirality @ The Nanoscale, Ascona (Switzerland), October 2019.

H. M. YAMAMOTO, “Spin Filter Driven by Molecular Motor,” 5th Japan-Thai workshop on TCC2019, Yokohama, October 2019.

H. M. YAMAMOTO, “Band-filling and Band-width control for κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]X embedded in field effect devices,” ISCOM2019, Tomar (Portugal), September 2019.

H. M. YAMAMOTO, “Light-driven molecular switch for reconfigurable spin filters,” 17th Japan-Korea Symposium on Molecular Science, Nagoya, July 2019.

H. M. YAMAMOTO, “Light-driven molecular switch for reconfigurable spin filters,” ANSCSE2019, Chiang Mai (Thailand), June 2019.

須田理行, 「機能性有機単分子膜を利用した固体物性の外場制御」, 第10回分子アーキテクトニクス研究会, 福岡(日本), 2019年11月.

M. SUDA, “Photo-control of Solid-state Electronic Properties by Interface Molecular Engineering,” Colloquium on Advanced Molecular Materials, Wako (Japan), July 2019.

M. SUDA and H. M. YAMAMOTO, “Light-driven Molecular Switch for Reconfigurable Spin Filters,” The 80th Okazaki Conference “Chirality-induced spin selectivity and its related phenomena,” Okazaki (Japan), May 2019.

須田理行, 「分子キラリティ制御に基づくスピン偏極電流の生成と外場制御」, 早稲田大学高等研究所「Top Runner's Lecture Collection of Science—物質の構造と対称性がもたらす電磁交差応答の最前線: マルチフェロイクスとスピントロニクス—」, 早稲田大学, 東京(日本), 2019年4月.

須田理行, 「界面光異性化分子を用いた電子物性の光制御」, 日本物理学会第74回年次大会シンポジウム「有機分子と表面の出会いがもたらす多体相関物性」, 福岡(日本), 2019年3月.

D. HIROBE, “Spin Seebeck Effects in One-dimensional Spin Liquids,” Spintronics Meets Topology in Quantum Materials, Santa Barbara (U.S.A.), November 2019.

B-5) 特許出願

特願 2019-092958,「キラリティ検出装置, キラリティ検出方法, 分離装置及び分離方法」, 戸川欣彦, 宍戸寛明, 山本浩史(大阪府立大学, 自然科学研究機構), 2019年.

特願 2019-092959,「キラリ物質装置」, 戸川欣彦, 宍戸寛明, 山本浩史(大阪府立大学, 自然科学研究機構), 2019年.

B-6) 受賞, 表彰

H. M. YAMAMOTO, CrystEngComm Prize (2009).

山本浩史, 分子科学会奨励賞 (2009).

山本浩史, 理研研究奨励賞 (2010).

山本浩史, 科学研究費審査委員表彰 (2016).

山本浩史, 日本化学会学術賞 (2019).

須田理行, 分子科学討論会優秀講演賞 (2013).

須田理行, PCCP Prize (2016).

須田理行, 分子科学会奨励賞 (2016).

須田理行, 名古屋大学石田賞 (2016).

須田理行, 日本化学会進歩賞 (2017).

須田理行, 自然科学研究機構若手研究者賞 (2017).

須田理行, 分子科学研究奨励森野基金 (2017).

須田理行, 凝縮系科学賞 (2017).

須田理行, 文部科学大臣表彰 若手科学者賞 (2018).

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員等

物理学会領域7副代表 (2018).

物理学会領域7代表 (2019-).

日本化学会東海支部常任幹事 (2015-2016).

日本化学会プログラム編集委員幹事 (2013).

日本化学会物理化学ディビジョン幹事 (2014-2017).

分子科学会企画委員 (2012-2016), 運営委員 (2018-).

学会の組織委員等

The 80th Okazaki conference 議長 (2019).

The 12th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets (ISCOM2017) 事務局長 (2017).

アジア科学セミナー組織委員 (2014-2015).

第13回分子科学討論会組織委員(渉外) (2018-).

MRM2019組織委員 (2018-).

文部科学省, 学術振興会, 大学共同利用機関等の委員等

日本学術振興会情報科学用有機材料第 142 委員会運営委員 (2007–).

日本学術振興会情報科学用有機材料第 142 委員会 B 部会主査 (2014–2017).

学会誌編集委員

Molecular Science 編集委員 (2010–2011).

その他

総合研究大学院大学物理科学研究科構造分子科学専攻副専攻長 (2017).

理化学研究所研究員会議代表幹事 (2009–2010).

B-8) 大学での講義, 客員

東東北大学大学院理学系研究科, 「強相関電子物理学特論」, 2019 年 12 月.

東北大学大学院理学系研究科, 委嘱教授, 2015 年 4 月–.

B-10) 競争的資金

科研費基盤研究 (A), 「有機強相関電子デバイスによる伝導性と磁性の制御」, 山本浩史 (2019 年–2022 年).

科学技術振興機構さきがけ研究「電子やイオンの能動的制御と反応」, 「スピン角運動量の能動的制御による革新的電気化学反応の創出」, 須田理行 (2019 年–2022 年).

科研費基盤研究 (B), 「有機結晶表面への光キャリア注入と光誘起二次元超伝導の創出」, 須田理行 (2019 年–2021 年).

大幸財団自然科学系学術研究助成, 「キラル分子モーター修飾ナノ粒子を利用した高スピン偏極電流の生成と外場制御」, 須田理行 (2019 年–2020 年).

科研費挑戦的研究 (萌芽), 「表面修飾ダイヤモンドにおける電界誘起超伝導の実現」, 須田理行 (2019 年–2020 年).

科研費新学術領域研究 (研究領域提案型) (公募研究), 「キラル配位子修飾金属ナノ粒子ネットワークに基づく新奇スピントロニクス素子の創出」, 須田理行 (2019 年–2020 年).

徳山科学技術振興財団研究助成, 「ポテンシャル乱れを排除した表面修飾ダイヤモンドにおける電界誘起高温超伝導の実現」, 須田理行 (2019 年).

野口遵研究助成金, 「キラル分子の利用による“磁性体と磁場を必要としない”新奇スピントロニクス素子の開発」, 須田理行 (2018 年–2019 年).

科研費新学術領域研究 (研究領域提案型) (公募研究), 「 π 電子系単分子膜 FET における歪み誘起相転移現象の探索」, 須田理行 (2017 年–2018 年).

科研費研究活動スタート支援, 「カイラル化合物による電流–スピン流相互変換」, 廣部大地 (2018 年–2020 年).

科研費基盤研究 (B), 「溶液プロセスによる二次元単分子層接合デバイスの創成」, 山本浩史 (2016 年–2018 年).

科研費若手研究 (A), 「光誘起電気二重層を利用した新奇超伝導トランジスタの開発」, 須田理行 (2016 年–2018 年).

科研費新学術領域研究 (公募研究), 「 π 電子系強相関物質を用いた歪み制御型相転移デバイスの開発」, 須田理行 (2015 年–2017 年).

科研費若手研究 (B), 「有機単分子膜モット FET の開発」, 須田理行 (2013 年–2015 年).

科学技術振興機構さきがけ研究, 「電子相関を利用した新原理有機デバイスの開発」, 山本浩史 (2009 年–2013 年).

科研費若手研究 (A), 「超分子ナノワイヤーの冗長性拡張による金属化」, 山本浩史 (2008 年–2011 年).

科研費特定領域研究(公募研究),「電極との直接反応によるDCNQIナノ単結晶作成とその機能探索」, 山本浩史 (2006年-2008年).

C) 研究活動の課題と展望

カイラリティによるスピン流生成は, 近年益々注目されるようになっている。どちらかと言うと化学分野で注目されているCISSのみならず, 物性物理分野でも同じような対称性に基づく議論が盛んになされており, 両者の共通点と相違点を検討しながら実験を進めていく必要があると考えられる。CISSはこれまで薄膜トンネルデバイスでしか観測されていない現象であるため, これがバルクになった場合にも観測可能な現象なのかどうかといった点や, 線形応答領域での計測を検証する必要がある。同時に, なぜ軽元素のみの化合物で巨大なスピン軌道相互作用が生じるのか, その詳細なメカニズムの解明にも, 理論・計算化学との共同研究によって取り組みたい。