

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、さらにそのドーピング条件探索を行った。その結果、膜質の改良や安定化を実現し、今後の性能向上に向けた知見を得た。
- 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、分子モーターにおいてヘリシティが M から P に反転すると、流れる電流のスピン偏極が反転することが明らかとなった。この分子モーターは光照射によって駆動されているため、この成果は光によるスピン偏極の反転に成功したことを意味している。

B-1) 学術論文

H. OIKE, M. SUDA, M. KAMITANI, A. UEDA, H. MORI, Y. TOKURA, H. M. YAMAMOTO and F. KAGAWA,
“Size Effects on Supercooling Phenomena in Strongly Correlated Electron Systems: IrTe₂ and θ -(BEDT-TTF)₂RbZn(SCN)₄,”
Phys. Rev. B **97**, 085102 (7 pages) (2018).

Y. KAWAKAMI, T. AMANO, Y. YONEYAMA, Y. AKAMINE, H. ITOH, G. KAWAGUCHI, H. M. YAMAMOTO, H. KISHIDA, K. ITOH, T. SASAKI, S. ISHIHARA, Y. TANAKA, K. YONEMITSU and S. IWAI, “Non-Linear Charge Oscillation Driven by Single-Cycle Light-Field in an Organic Superconductor,” *Nat. Photonics* **12**, 474–478 (2018).

B-3) 総説, 著書

H. M. YAMAMOTO, M. SUDA and Y. KAWASUGI, “Organic Phase-Transition Transistor with Strongly Correlated Electrons,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **57**, 03EA02 (7 pages) (2018).

M. SUDA and H. M. YAMAMOTO, “Field-, Strain- and Light-Induced Superconductivity in Organic Strongly Correlated Electron Systems,” *Phys. Chem. Chem. Phys.* **20**, 1321–1331 (2018).

M. SUDA, “A New Photo-Control Method for Organic–Inorganic Interface Dipoles and Its Application to Photo-Controllable Molecular Devices,” *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **91**, 19–28 (2018). (Award Accounts)

M. SUDA, “Development of Novel Phase Transition Devices Utilizing Strongly Correlated Molecular Conductors,” *Molecular Science*, **11**(1), A0092 (8 pages) (2017). (Award Accounts)

山本浩史, 須田理行, 「光で制御する超伝導～光応答性電気二重層トランジスタ～」, *物理学会誌* **73**(3), 143–147 (2018).

B-4) 招待講演 (* 基調講演)

H. M. YAMAMOTO, “Organic Field-Effect-Transistor with Strongly Correlated Electrons,” NanoThailand2018, Bangkok (Thailand), December 2018.

H. M. YAMAMOTO, “Organic Field-Effect-Transistors based on Charge-Transfer Salts,” Organic Semiconductors, Conductors, and Electronics, Nagakute, Aichi (Japan), October 2018.

H. M. YAMAMOTO, “Electronic Phase Transition at an Organic Field-Effect-Transistor Interface,” 2018 Int’l Roundtable of NanoScience and NanoTechnology Symposium, Shanghai (China), September 2018.*

H. M. YAMAMOTO, “Molecular conductors for electronics,” ICC2018, Sendai (Japan), August 2018.

H. M. YAMAMOTO, “Field-effect-transistors with phase-transitions,” PACCON2018, Hat Yai (Thailand), February 2018.

M. SUDA, “Field-, strain- and light-induced superconductivity in quasi-two-dimensional molecular conductors,” Keio International Symposium on 2D Materials 2018, Yokohama (Japan), February 2018.

M. SUDA, “Superconducting FETs based on organic strongly correlated materials,” Gordon Research Conference—Conductivity and Magnetism in Molecular Materials—, Smithfield, RI (U.S.A.), August 2018.

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).

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

日本物理学会領域7副代表 (2018-).
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 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

東京工業大学大学院物質理工学院, 特任教授, 2016年4月- .
東北大学大学院理学系研究科, 「強相関電子物理学特論」, 2018年7月.
東北大学大学院理学系研究科, 委嘱教授, 2015年4月- .

B-9) 学位授与

Tianchai Choopawa, 「Development of n-type organic semiconductors toward Mott-type Field-effect-transistor investigation」, 2018年9月, 博士(理学).

B-10) 競争的資金

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

有機モットFETの室温における動作効率を向上させるためには、構造が規則的かつ安定な単分子膜を作製し、これにドーピングを行う必要がある。これまでの検討で用いている液晶性分子は、高温でのアニーリングに対して不安定であるため、共有結合などを用いて膜構造を固定していく必要があると考えられる。そのため単分子膜の分子配列を周期的に保ったまま固定する手法について、現在検討中である。一方、基底状態の相図に関する研究では、超伝導相に近づくほどバルク伝導と界面伝導の切り分けが困難になってくることが課題となっている。バルク結晶が超伝導相に入らないよう、バルク部分のフィリング制御をすることも含めた系の設計をすることによって、今後はさらに詳細な基底状態相図が得られると考えられる。またカイラリティによるスピン流生成は、これまで薄膜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。