

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) 超分子ナノワイヤー

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]X (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。本年は単分子膜への化学ドーピングによって単分子膜モットFETの作製に成功し、両極性動作や電界効果ドーピングによるバンドギャップの異常を見いだした。また、 κ -(BEDT-TTF)₂Cu(NCS)₂などの類縁物質についてもFET作製を行い、その動作を計測した。
- 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予想されている。そこで基板からの歪みを制御することによって極限まで電荷ギャップを小さくしたFETを作製し、これにゲート電圧を印加することによって、電界誘起超伝導を実現した。これまで開発してきたプラスチック基板の曲げによるバンド幅制御と、イオン液体ゲートトランジスタによるフィリング制御とを組み合わせることによって、モット絶縁体近傍の超伝導相がどのように分布しているかを検証した。その結果、pドープ領域とnドープ領域で、大きな非対称性が確認された。これは以前、Al₂O₃/SrTiO₃基板を用いた際に見られた非対称性と基本的に合致しているだけでなく、これをさらにバンド幅制御して三次元相図の完成に近づけるものである。
- c) 我々は以前の研究において、分子性導体の結晶中にハロゲン結合を利用した超分子ネットワーク構造を構築し、絶縁性の被覆構造とその中を貫通する伝導性ナノワイヤーとからなる複合構造を形成した。こうしたナノワイヤーは結晶構造の中で三次元的に周期配列しているため、結晶の並進対称性を使った配線材料として利用できる可能性がある。そのため、現在このようなナノワイヤーの物性評価と配列様式を改良するための研究を行っている。

B-1) 学術論文

E. TISSEROND, J. N. FUCHS, M. O. GOERBIG, P. AUBAN-SENZIER, C. MEZIERE, P. BATAIL, Y. KAWASUGI, M. SUDA, H. M. YAMAMOTO, R. KATO, N. TAJIMA and M. MONTEVERDE, “Aperiodic Quantum Oscillations of Particle-Hole Asymmetric Dirac Cones,” *Europhys. Lett.* **119**, 67001 (2017).

F. YANG, M. SUDA and H. M. YAMAMOTO, “Fabrication and Operation of Monolayer Mott FET at Room Temperature,” *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **90**, 1259–1266 (2017). (Selected for BCSJ Award Article)

H. YAMAKAWA, T. MIYAMOTO, T. MORIMOTO, T. TERASHIGE, H. YADA, N. KIDA, M. SUDA, H. M. YAMAMOTO, R. KATO, K. MIYAGAWA, K. KANODA and H. OKAMOTO, “Mott Transition by an Impulsive Dielectric Breakdown,” *Nat. Mater.* **16**, 1100–1105 (2017).

M. SUDA, N. TAKASHINA, S. NAMUANGRUK, N. KUNGWAN, H. SAKURAI and H. M. YAMAMOTO, “N-Type Superconductivity in an Organic Mott Insulator Induced by Light-Driven Electron-Doping,” *Adv. Mater.* **29**, 1606833 (5 pages) (2017).

Y. SATO, Y. KAWASUGI, M. SUDA, H. M. YAMAMOTO and R. KATO, “Critical Behavior in Doping-Driven Metal–Insulator Transition on Single-Crystalline Organic Mott-FET,” *Nano Lett.* **17**, 708–714 (2017).

B-4) 招待講演

H. M. YAMAMOTO, “Strongly Correlated Electrons in Organic Field-Effect- Transistors,” IGER symposium, Nagoya (Japan), December 2017.

H. M. YAMAMOTO, “Organic superconducting FET as an ideal transistor,” RIES-Hokudai symposium, Sapporo (Japan), November 2017.

H. M. YAMAMOTO, “Organic Field-Effect-Transistor with Electric-Field-Induced Phase Transitions,” RSC Materials Horizons Symposium, Kyoto (Japan), November 2017.

H. M. YAMAMOTO, “Organic Field-Effect-Transistor Driven by Electronic Phase Transition,” NIP-RIKEN Joint Workshop, Manila (Philippine), November 2017.

H. M. YAMAMOTO, “Phase Transitions at an Organic Field-Effect-Transistor Interface,” MRS-Thailand, Chiang Mai (Thailand), November 2017.

H. M. YAMAMOTO, “Phase Transitions at an Organic Field-Effect-Transistor Interface,” NANOTEC-IMS Joint Workshop, Bangkok (Thailand), October 2017.

H. M. YAMAMOTO, “Strongly-correlated electrons in 2D molecular interface,” CEMS Topical Meeting, Wako (Japan), July 2017.

H. M. YAMAMOTO, “Novel organic field-effect-transistor with superconducting channel,” 2017 Korea-Japan Molecular Science Symposium, Busan (Korea), July 2017.

H. M. YAMAMOTO, “Organic Field-Effect-Transistor Driven by Electronic Phase Transition,” M&BE9, Kanazawa (Japan), June 2017.

H. M. YAMAMOTO, “Organic Field-Effect-Transistor with Superconducting Channel,” Okazaki-Strasbourg Symposium, Strasbourg (France), May 2017.

H. M. YAMAMOTO, “Superconducting transition at an organic field-effect-transistor interface,” WCSM-2017, Bangkok (Thailand), March 2017.

山本浩史, 「分子性固体中の強相関電子を用いた電界効果トランジスタ」, 分子アーキテクニクス研究会, 松山, December 2017.

山本浩史,「電界誘起超伝導－絶縁体転移現象と理想FET」, 電子情報通信学会(チュートリアルセッション), 名古屋, March 2017.

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).

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 (2017-).

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-).

分子科学会企画委員 (2012-).

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).

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

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,「半導体電子物性」, 2017年 12月.

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」, 2017年 8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(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かけ研究,「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).

理研理事長ファンド戦略型,「シリコン基板上での分子性導体ナノ結晶作成とその物性測定」, 山本浩史 (2005年-2007年).

B-11) 産学連携

サンテック(株),「レーザー加工装置の開発」, 山本浩史 (2017年).

C) 研究活動の課題と展望

分子系ならではの格子の柔らかさと電子間の相互作用をうまく生かして創発的物性探索を展開する。具体的には、これまで開発してきた低温での超伝導転移や室温付近でのモット転移を用いたデバイスに対して、単分子薄膜技術や光応答性双極子を組み合わせることによって、新しい電子素子・分子素子の開発と、関連する学術の創出を行っていく。さらに今後は分子を用いたスピントロニクスデバイスについても開発を進める。