

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]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。本年はより高密度のキャリア注入を実現するため、イオン液体を用いた電気化学的ドーピングを試みることにより、EDL (Electric Double Layer Transistor) としての両極性動作を確認することが出来た。
- 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、有機トランジスタにおける世界初の電界誘起超伝導を実現した。具体的には、基板としてひっぱり歪み効果の小さいNb-doped SrTiO₃を選択し、その表面にAl₂O₃をALD (Atomic Layer Deposition) 成長させることによってボトムゲート用の基板を作製した。この基板に κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]₂Brの薄膜単結晶を載せて低温まで温度を下げると、電子相がちょうど超伝導とモット絶縁体の境界付近に誘導され、非常に小さな摂動で超伝導転移を制御できる。実際このデバイスにほんの数ボルトのゲート電圧をかけると、絶縁体だったデバイス抵抗が超伝導状態に転移した。さらに、光によってダイポールのスイッチングが出来る単分子誘電膜を組み合わせると、紫外光と可視光で超伝導状態をON / OFFすることが可能となった。本年はこうした光制御型超伝導トランジスタの詳細な動作特性を検討した。
- 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

C. LEMOUCHI, H. M. YAMAMOTO, R. KATO, S. SIMONOV, L. ZORINA, A. RODRÍGUEZ-FORTEA, E. CANADELL, P. WZIEITEK, K. ILIOPOULOS, D. GINDRE, M. CHRYSOS and P. BATAIL, “Reversible Control of Crystalline Rotors by Squeezing Their Hydrogen Bond Cloud Across a Halogen Bond-Mediated Phase Transition,” *Crys. Growth Des.* **14**, 3375–3383 (2014).

H. M. YAMAMOTO, Y. KAWASUGI, H. CUI, M. NAKANO, Y. IWASA and R. KATO, “Asymmetric Phase Transitions Observed at the Interface of a Field-Effect Transistor Based on an Organic Mott Insulator,” *Eur. J. Inorg. Chem.* **2014**, 3841–3844 (2014).

M. SUDA, Y. KAWASUGI, T. MINARI, K. TSUKAGOSHI, R. KATO and H. M. YAMAMOTO, “Strain-Tunable Superconducting Field-Effect Transistor with an Organic Strongly-Correlated Electron System,” *Adv. Mater.* **26**, 3490–3495 (2014).

H. M. YAMAMOTO, “Sheathed Nanowires Aligned by Crystallographic Periodicity: A Possibility of Cross-Bar Wiring in Three-Dimensional Space,” *CrystEngComm* **16**, 2857–2868 (2014).

B-3) 総説, 著書

山本浩史, 「世界初の有機超伝導トランジスター」 *パリティ* **29**, 46–50 (2014).

山本浩史, 田嶋尚也, 「電気的手法による有機薄膜物性評価(ホール効果)」 *薄膜の評価技術ハンドブック, テクノシステム* (2013).

B-4) 招待講演

H. M. YAMAMOTO, “Sheathed Nanowires Aligned by Crystallographic Periodicity,” 3CG, Phuket (Thailand), November 2014.

H. M. YAMAMOTO, “Organic Field-Effect-Transistors with Light-Tunable Superconducting Channel,” Malaysian Chemical Congress, Kuala Lumpur (Malaysia), November 2014.

H. M. YAMAMOTO, “A Possibility of Cross-Bar Wiring in Three-Dimensional Crystallographic Space,” SSDM2014, Tsukuba (Japan), September 2014.

H. M. YAMAMOTO, “Organic Field-Effect-Transistors with Light-Tunable Superconducting Channel,” IMRC2014, Cancun (Mexico), August 2014.

H. M. YAMAMOTO, “Organic Field-Effect-Transistor with Flexible Superconducting Channel,” NIMS Conference, Tsukuba (Japan), July 2014.

H. M. YAMAMOTO, “Organic field-effect-transistor with light-tunable superconducting channel,” Nanyang Technological University, Singapore, July 2014.

H. M. YAMAMOTO, “Organic Electronics with ‘Nano’ Crystals,” Mahidol University, Bangkok (Thailand), July 2014.

H. M. YAMAMOTO, “Organic Electronics with ‘Nano’ Crystals,” Chulalongkorn University, Bangkok (Thailand), July 2014.

H. M. YAMAMOTO, “Organic Electronics with ‘Nano’ Crystals,” Kasesat University, Bangkok (Thailand), July 2014.

山本浩史, 「有機電荷移動錯体のデバイス化と相転移トランジスタ」 *理工談話会, 名城大, 名古屋*, 2014年12月.

山本浩史,「強相関バイ電子系を用いた有機転移トランジスタ」応用物理学会有機分子・バイオエレクトロニクス分科会講習会, 産業技術総合研究所, 東京, 2014年 11月.

山本浩史,「有機 Mott-FET における相転移現象」高分子学会有機エレクトロニクス研究会, 東京, 2014年 7月.

山本浩史,「有機モット FET における相転移挙動」金研研究会, 東北大学, 仙台, 2014年 7月.

山本浩史,「有機強相関トランジスタと電界誘起超伝導」応用物理学科談話会, 東京理科大学, 東京, 2014年 5月.

山本浩史,「有機強相関物質を用いたバイ電子エレクトロニクス」物性談話会, 名古屋大学, 名古屋, 2014年 5月.

B-6) 受賞, 表彰

山本浩史, 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).

須田理行, 分子科学討論会優秀講演賞 (2013).

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員等

分子科学会企画委員 (2012-).

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-).

学会の組織委員等

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-).

アジア科学セミナー組織委員 (2014-2015).

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総合理工学研究科,「半導体電子物性」2014年 11月-2015年 2月.

東京工業大学大学院総合理工学研究科, 連携教授, 2012年 6月-.

総合研究大学院大学物理科学研究科,「基礎物性科学」2014年 10月-11月.

B-10) 競争的資金

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).

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).

理研研究奨励ファンド「Crystal Engineering を用いた導電性ナノワイヤーの多芯化・直交化」山本浩史 (2003年–2004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・分子素子の作製と関連するサイエンスの創出を試みる。