

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。EDLTを用いると、これまで困難であったp型領域でのホール効果測定が可能となり、その結果有機モット絶縁体において初めてフェルミアーク由来と思われる輸送現象を観測することに成功した。
- 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、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]Br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。このような超伝導トランジスタに、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n型領域への拡張を行った。
- 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

Z. QIU, M. URUICHI, D. HOU, K. UCHIDA, H. M. YAMAMOTO and E. SAITOH, “Spin-Current Injection and Detection in κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Br,” *AIP Adv.* **5**, 057167 (7 pages) (2015).

M. SUDA, R. KATO and H. M. YAMAMOTO, “Light-Induced Superconductivity Using a Photo-Active Electric Double Layer,” *Science* **347**, 743–746 (2015).

B-3) 総説, 著書

山本浩史, 須田理行, 「光でオン・オフ可能な超伝導スイッチの開発」*自動車技術* **69(9)**, 114–115 (2015).

山本浩史, 「電界誘起相転移」*分子性物質の物理*, 朝倉書店, 第5章, 103–125 ページ (2015).

山本浩史, 須田理行, 「物理科学, この1年: 世界初の有機超伝導トランジスター」*パリティ* **30**, 23–25 (2015).

J. MANNHART, H. HILGENKAMP and H. M. YAMAMOTO, “Thee-Terminal Device,” in *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, Saleem Hashmi, Ed. (2015).

B-4) 招待講演

H. M. YAMAMOTO, “Switching of organic superconductivity by electric-field, strain, and light,” Pacificchem2015, Honolulu (U.S.A.), December 2015.

H. M. YAMAMOTO, “Sheathed Nanowires Aligned by Crystallographic Periodicity,” 3CG, Hong Kong (China), December 2015.

H. M. YAMAMOTO, “Field-/Light-induced Phase Transitions in organic FET interfaces,” WPOO3-2015, Okazaki (Japan), December 2015.

H. M. YAMAMOTO, “Phase-transition Transistors Based on Organic Materials,” Molecular Designs for Advanced Materials: Workshop and Conference, Chiang Mai (Thailand), November 2015.

H. M. YAMAMOTO, “Photo-Induced Superconductivity Observed at Organic Field-Effect-Transistor Interface,” ISS2015, Tokyo (Japan), November 2015.

H. M. YAMAMOTO, “Organic Phase-Transition Transistors with Strongly-Correlated Electrons,” ISCOM2015, Munich (Germany), September 2015.

H. M. YAMAMOTO, “Thin-Film Single Crystals for Organic Superconducting Transistor,” ICCOSS2015, Niigata (Japan), June 2015.

H. M. YAMAMOTO, “Field-induced superconductivity in an organic FET,” EM-NANO2015, Niigata (Japan), June 2015.

H. M. YAMAMOTO, “Light-induced superconductivity using photo-active electric double layer,” Asian Academic Seminar 2015, Kolkata (India), March 2015.

H. M. YAMAMOTO, “Organic Field-Effect-Transistors with Light-Tunable Superconducting Channel,” PACCON2015, Bangkok (Thailand), January 2015.

H. M. YAMAMOTO, “Switching of organic superconductivity by electric-field, strain, and light,” AIMR seminar, Sendai (Japan), November 2015.

山本浩史, 「強相関有機デバイスを用いた物性物理とエレクトロニクス」*応物教室談話会*, 名古屋大学, 名古屋, 2015年10月.

H. M. YAMAMOTO, "Field-, Strain-, and Light-induced Superconductivity in Organic FETs," Seminar in Max Plank Institute Stuttgart, Stuttgart (Germany), September 2015.

山本浩史,「有機相転移トランジスタと強相関物性物理」物性夏の学校, 岐阜, 2015年7月.

山本浩史,「光で超伝導を操る分子システムの開発」分子システム研究会, 2015年5月.

山本浩史,「有機 Mott 絶縁体の FET 構造による電子相制御」物理学会, 早稲田大学, 東京, 2015年3月.

山本浩史,「強相関電子材料を用いた有機エレクトロニクス」九大 OPERA セミナー, 福岡, 2015年2月.

山本浩史,「有機強相関トランジスタによる物性科学」東北大学理学部物理学科コロキウム, 仙台, 2015年1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

日本化学会東海支部常任幹事 (2015-).

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-).

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

アジア科学セミナー組織委員 (2014-2015).

総研大アジア冬の学校実行委員 (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

名古屋大学大学院工学研究科,「応用物理量子物性」2015年10月.

東京工業大学大学院総合理工学研究科,「半導体電子物性」2015年10月-2016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-.

東北大学大学院理学系研究科,「強相関電子物理学特論」2015年11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

科研費新学術領域研究(公募研究)「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).

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。