

電子物性研究部門

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。本年は動作温度の上昇と、デバイス特性を支配する「モット転移の臨界指数」の検証とを目的として様々な測定を行った。その結果、より大きなモットハバードギャップを有する物質系を用いることにより、動作温度の向上が見込めることが明らかとなった。
- b) 上記モット絶縁体のモットハバードギャップを低温において小さくしていくと、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、これに対してゲート電圧をかけることによって電界誘起超伝導の可能性を検討した。具体的には、基板としてひっぱり歪み効果の小さいSrTiO₃を選択し、この基板にNbをドーブして伝導性を持たせることによりゲート電極としての役割も果たせるようにした後、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、ちょうど電子相が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状態を実現することに成功した。この状態でゲート電圧をかけると、絶縁体だったデバイス抵抗がほんの数ボルトの電圧で超伝導状態に転移し、有機物として世界で初めての超伝導FETが実現出来たことが明らかとなった。このデバイス中では相分離によってジョセフソン接合が出来ており、3端子ジョセフソンデバイスのゲート電界における制御が出来たことも分かっている。またいくつかのサンプルを測定することにより、バンド幅とバンドフィリングとをパラメーターとしたモット絶縁体の基底状態における相図を描くことが出来るようになり、強相関電子系の持っている基本的な性質を調べるためのツールとして、今回のデバイスが利用できることも明らかとなった。
- 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

T. KUSAMOTO, H. M. YAMAMOTO, N. TAJIMA, Y. OSHIMA, S. YAMASHITA and R. KATO, “Bilayer Mott System Based on Ni(dmit)₂ (dmit = 1,3-dithiole-2-thione-4,5-dithiolate) Anion Radicals: Two Isostructural Salts Exhibit Contrasting Magnetic Behavior,” *Inorg. Chem.* **51**, 11645–11654 (2012).

D. WATANABE, M. YAMASHITA, S. TONEGAWA, Y. OSHIMA, H. M. YAMAMOTO, R. KATO, I. SHEIKIN, K. BEHNIA, T. TERASHIMA, S. UJI, T. SHIBAUCHI and Y. MATSUDA, “Novel Pauli-Paramagnetic Quantum Phase in a Mott Insulator,” *Nat. Commun.* **3**, 1090 (2012).

T. KISS, A. CHAINANI, H. M. YAMAMOTO, T. MIYAZAKI, T. AKIMOTO, T. SHIMOJIMA, K. ISHIZAKA, S. WATANABE, C.-T. CHEN, A. FUKAYA, R. KATO and S. SHIN, “Quasiparticles and Fermi Liquid Behaviour in an Organic Metal,” *Nat. Commun.* **3**, 1089 (2012).

B-3) 総説, 著書

川相義高, 山本浩史, 「有機モットランジスタの物理と可能性」, *応用物理* **81**, 1034–1037 (2012).

B-4) 招待講演

山本浩史, 「分子系 電子における電場誘起超伝導」, 物理学会, 神奈川, 2012年9月.

H. M. YAMAMOTO, “Crystal Engineering of Molecular Conductors by Halogen-Bonded Network,” Gordon Conference, New Hampshire (U.S.A.), June 2012.

H. M. YAMAMOTO, “Electrostatic doping into an organic Mott-insulator,” M2S, Washington D.C. (U.S.A.), August 2012.

H. M. YAMAMOTO, “Monocrystalline Supramolecular Nanowires,” 17MCC, Kuala Lumpur (Malaysia), October 2012.

H. M. YAMAMOTO, “Field-induced superconductivity at an organic transistor interface,” IWAMSN2012, Ha Long (Vietnam), November 2012.

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).

B-7) 学会および社会的活動

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–).

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」2012年11月-2013年2月.

総合研究大学院大学物理科学研究科，「物性化学」2012年後期.

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-.

B-10) 競争的資金

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

これまでの研究によって，分子性導体の単結晶デバイス作製技術が確立してきた。今後はこの技術をどのように応用し，適用範囲を広げていくかということが研究を進めていく上での鍵となる。分子系では格子の柔らかさと電子間の相互作用が同居しており，ひとつにはこの性質をうまく生かして低温物性を展開する方向性が考えられる。その方向としては，低温での超伝導転移やモット転移を用いた様々な実験を続けていくことが重要である。一方でこうした分子間相互作用をうまく設計すれば，室温付近での物性発現も十分可能性があり，物質系やデバイス構造の工夫により新しい方向性での研究を模索したいとも考えている。