

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。本年は動作温度の上昇を目指してモット絶縁層の単分子膜化を行い、実際に室温でのFET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。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することが出来るようになった。
- 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 and R. KATO, "Utilization of σ -Holes on Sulfur and Halogen Atoms for Supramolecular Cation...Anion Interactions in Bilayer Ni(dmit)₂ Anion Radical Salts," *Cryst. Growth Des.* **13**, 4533-4541 (2013).

H. M. YAMAMOTO, N. NAKANO, M. SUDA, Y. IWASA, M. KAWASUGI and R. KATO, “A Strained Organic Field-Effect Transistor with a Gate-Tunable Superconducting Channel,” *Nat. Commun.* **4**, 2379 (7 pages) (2013).

N. TAJIMA, T. YAMAUCHI, T. YAMAGUCHI, M. SUDA, Y. KAWASUGI, H. M. YAMAMOTO, R. KATO, Y. NISHINO and K. KAJITA, “Quantum Hall Effect in Multilayered Massless Dirac Fermion Systems with Tilted Cones,” *Phys. Rev. B* **88**, 075315 (6 pages) (2013).

H. M. YAMAMOTO, J. UENO and R. KATO, “Critical Behavior of a Filling-Controlled Mott-Transition Observed at an Organic Field-Effect-Transistor Interface,” *Eur. Phys. J. Special Topics* **222**, 1057–1063 (2013).

N. TAKUBO, N. TAJIMA, H. M. YAMAMOTO, H. CUI and R. KATO, “Lattice Distortion Stabilizes the Photoinduced Metallic Phase in the Charge-Ordered Organic Salts (BEDT-TTF)₃X₂ (X = ReO₄, ClO₄),” *Phys. Rev. Lett.* **110**, 227401 (5 pages) (2013).

T. KUSAMOTO, H. M. YAMAMOTO, N. TAJIMA, Y. OSHIMA, S. YAMASHITA and R. KATO, “Bilayer Mott System with Cation–Anion Supramolecular Interactions Based on a Nickel Dithiolene Anion Radical: Coexistence of Ferro- and Antiferromagnetic Anion Layers and Large Negative Magnetoresistance,” *Inorg. Chem.* **52**(9), 4759–4761 (2013).

Y. KOSAKA, H. M. YAMAMOTO, A. TAJIMA, A. NAKAO, H. CUI and R. KATO, “Supramolecular Ni(dmit)₂ Salts with Halopyridinium Cations—Development of Multifunctional Molecular Conductors with the Use of Competing Supramolecular Interactions,” *CrystEngComm* **15**(16), 3200–3211 (2013).

N. TAKUBO, N. TAJIMA, H. M. YAMAMOTO and R. KATO, “Observation of Photo-Induced Insulator-to-Metal Transition in Charge-Ordered α -(BEDT-TTF)₂I₃ Thin Crystal by Simultaneous Transport and Optical Measurement,” *J. Lumin.* **137**, 237–240 (2013).

B-4) 招待講演

H. M. YAMAMOTO, “Electric field induced superconductivity in strongly correlated organic materials,” ISCOM2013, Montreal (Canada), July 2013.

H. M. YAMAMOTO, “Organic Mott FET and field induced superconductivity,” ICTP LEMSUPER Conference, Trieste (Italy), September 2013.

H. M. YAMAMOTO, “Organic Mott-FET and Field-Induced Superconductivity,” 5th International Symposium on Emergence of Highly Elaborated π -Space and Its Function, Okazaki, October 2013.

H. M. YAMAMOTO, “A Strained Organic Field-Effect-Transistor with a Gate-Tunable Superconducting Channel,” ISSMM2013, Tokyo, November 2013.

H. M. YAMAMOTO, “Organic Mott-FET and its phase transitions,” International Workshop on Interface Science for Novel Physical Properties and Electronics, Okayama, December 2013.

山本浩史, 「有機モット転移トランジスタと電界誘起超伝導」物性研短期研究会, 物性研, 柏, 2013年11月.

山本浩史, 「光による界面分極変化と有機強相関トランジスタ」電子誘電体の新展開——光と分極がおりなす新物質相——研究会, 仙台, 2013年12月.

山本浩史, 「有機伝導体界面における電場誘起相転移現象」表面・界面スペクトロスコープ2013, 三島, 2013年12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-).

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).

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」2013年 11月-2014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-.

総研大アジア冬の学校, “Organic Field-Effect-Transistors: Its mechanism, application and recent advances,” 2013年 12月 10日-13日.

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

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。