

イオン液体を用いた高性能有機電界効果トランジスタの開発

背景

将来の民生分野、ユビキタス社会に向け、低コスト、省エネが期待できる有機エレクトロニクスの研究は、現在盛んに行われている。有機材料を用いた電界効果トランジスタ（FET）は、最近の材料・技術の著しい進歩により、アモルファスシリコンの電子移動度（ $\sim 1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ）を凌駕する性能を示すデバイスも開発されてきた。しかし、これらの有機FETは高い電圧（20～100 V程度）を印加しなければ動作せず、デジタル回路のオン・オフを明瞭にするために必要な高電圧を印加すると、ゲート絶縁体の絶縁破壊が起きるなど問題を抱えている。

目的

リチウム二次電池の研究で注目されているイオン液体を、有機トランジスタへ適用する可能性を検討した。イオン液体は、陽イオン、陰イオンからなる有機液体であるが（図1）、イオン液体に電圧を加えるとイオンの移動が起これ、陽陰イオンが蓄積された両電荷層（電気二重層）ができる（図2）。厚さ1 nm程度のこの層に微弱の電圧を印加するだけで大きな電界の発生が期待できることから、従来の有機FETに比べて低電圧で駆動する有機FETを作製出来ると期待される。そこでイオン液体をゲート絶縁体として用いた有機単結晶電界効果トランジスタを作製し、その基本性能を評価する。

主な成果

- 1) 低電圧駆動 イオン液体を用いた有機FET（有機単結晶にrubrene）を作製したところ、非常に弱い電圧（約0.2 V）でトランジスタとして動作することが分かった（図3）。従来の有機FETに比べて100～500分の1程度の電圧で動作する。
- 2) 高い電荷移動度 電荷移動度を求めると、電気二重層を用いた有機FETの中で最大値（ $1.2 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ）を示すことが分かった。この値は、有機ELディスプレイなどで必要とされる電荷移動度（ $0.1 \sim 0.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度）を十分に満足する。
- 3) 高速スイッチング イオン液体の電解容量の周波数依存性を測定したとこと、0.1 Hzから1 MHzまで幅広い周波数について、高い電解容量（キャパシタンス）を持つことが明らかになった（図4）。このことは、イオン液体は高周波においても電気二重層を形成し、有機半導体に多くのキャリア注入（高容量化）が可能になることを示唆する。イオン液体を用いた有機FETは高速なスイッチング性能をも兼ね備えている。

今後の展開

この技術を用いることで、省エネルギーで動作する高性能有機トランジスタの技術開発への展開が可能である。より低電圧で駆動し、電荷移動度としては論理回路（ $\sim 100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ）程度まで高い性能をもつ有機トランジスタの開発を行う。

主担当者 材料科学研究所 先進機能材料領域 主任研究員 小野 新平

関連報告書 Shimpei Ono, Shiro Seki, R. Hirahara, Y. Tominari and J. Takeya 「High-mobility, low-power, and fast-switching organic field-effect transistors with ionic liquids」 Applied Physics Letter 92 (2008) 103313.

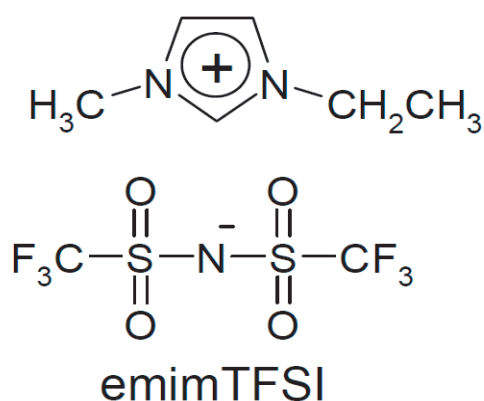


図1 イオン液体の化学式。

実験に用いたイオン液体は
1-ethyl-3methylimidazolium
bis (trifluoromethanesulfonyl) imide (emimTFSI)

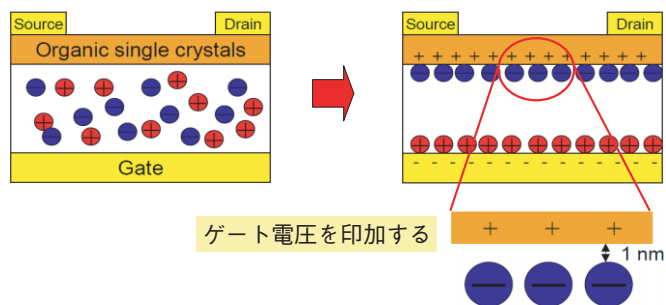


図2 電気二重層のイメージ図

(左) イオン液体に電圧を印加する前
(右) イオン液体に電圧を印加するとイオンの移動が起き、電気二重層が出来る。電気二重層に注目するとイオンは電極から約 1 nm の距離に集中するため、高電界印加が可能になる。

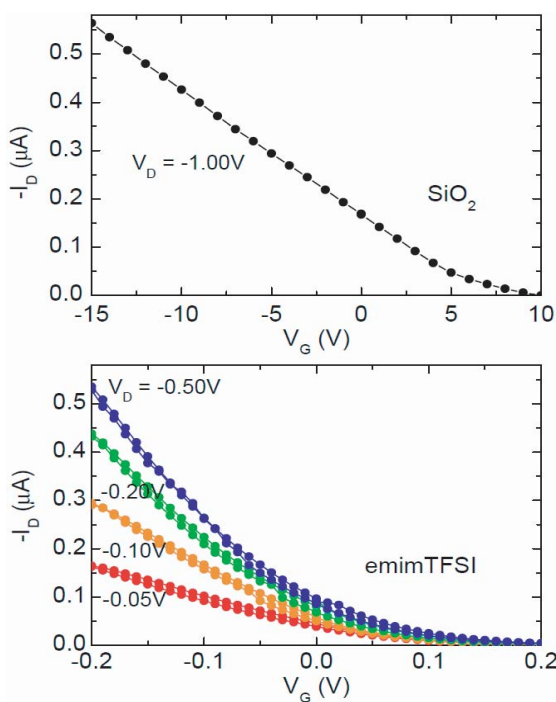


図3 イオン液体を用いた有機FETの伝達特性 (ゲート電圧 V_G を変化させた時のソースドレイン間の電流 I_D の変化。 V_D はソースドレイン間の電圧である。)

イオン液体を用いた有機FET (下段) は、ゲート絶縁体に既存の SiO_2 を使ったもの (上段) に比べて、同じ I_D を得るのに1/100のゲート電圧で十分である。

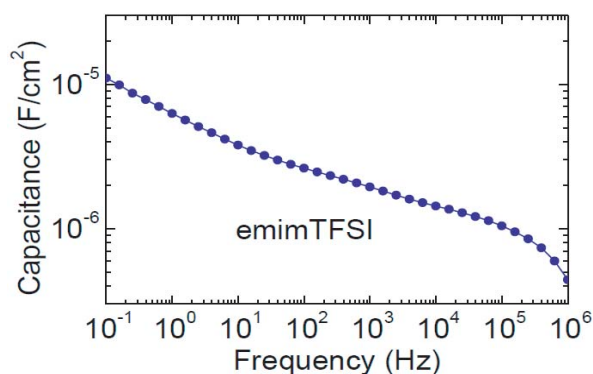


図4 イオン液体の電解容量の周波数依存性。高い周波数でも、高い電解容量を維持している。このことは高周波においても電気二重層の形成を意味する。