

種々の電極材料を用いた有機n型トランジスタの特性と性能

(北大院・総化) ○伊藤 和輝, 高橋 幸裕, 原田 潤, 稲辺 保

The property and performance of the organic n-type FET
with several electrodes

(Hokkaido University · Graduate School of Chemical Sciences and Engineering)

○Kazuki Ito, Yukihiro Takahashi, Jun Harada, Tamotsu Inabe

【緒言】

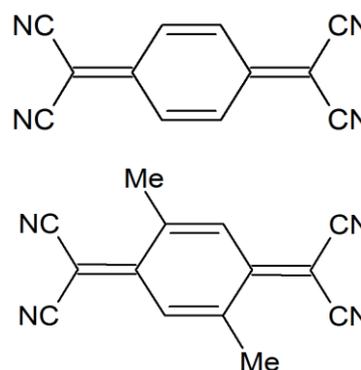
電界効果型トランジスタ (FET) は電子回路における信号を制御し発振、増幅、スイッチングなどを行う電気素子として広く利用されている。有機物を用いた電界効果型トランジスタ (OFET) は、従来の無機物を用いた半導体素子に対して有機物特有の低コスト、軽量、フレキシブルといった優位性を持つことから現在世界中で精力的にその研究が行われている。一般的に FET を用いてインバータ等の論理的回路を構築する際には、p 型ならびに n 型の FET を相補的に組み合わせることが必要となるが、现阶段で、p 型の FET に比べ n 型の FET の開発は著しく遅れている。これまでに有機 FET を高性能化のための戦略としては、高移動度材料の開発が主に行われているが、最近、有機半導体層と電極界面の接触抵抗が FET の性能に大きく関与することを示唆する実験結果が報告されている [1]。そこで本研究では、n 型有機 FET の高性能化を目指し、半導体結晶のバンド構造と電極に用いる金属のフェルミ準位とのギャップと移動度の相関を明らかにすることを目的とし研究を行った。

【実験】

半導体材料には、n 型有機半導体として著名であるが、その FET 動作の報告が少ない TCNQ 誘導体 (図 1) を用いた。また電極材料としては、表 1 に示すように、仕事関数の異なる典型的な金属である Au, Ag, Al を用いて素子作製を行った。半導体層は、良質な有機半導体層の作製が可能な溶液塗布法である DPC 法 (Droplet pinned crystallization method) [2] により、SiO₂ の 300nm 絶縁層を持つ n-dope 型 Si 基板上に成膜した。その結果、SiO₂ 基板上に長さ数百 μm 程度の TCNQ 誘導体単結晶の成長が確認された。この有機薄膜結晶上に Au, Ag および Al を蒸着し電極を作製した。

表1 電極材料の仕事関数

電極の種類	仕事関数(eV)
Au	4.69
Ag	4.20
Al	3.20

図1 TCNQ(上)、Me₂TCNQ(下)

【結果と考察】

図 2 に Ag をソース・ドレイン電極とし TCNQ を半導体結晶とした FET の伝達特性および出力特性を示した。伝達特性から、この素子はゲート電圧が正のときに電流値が大きく増加する n 型 FET として機能していることが明らかとなった。また、本素子の移動度は、 $1.7 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{V s}$ と見積もられた。Au 及び Al を電極として用いた素子では、その移動度は、 4.2 、 $5.0 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{V s}$ であり、Ag を電極として用いた素子において最も高い移動度が得られた。これは、Ag のフェルミ準位が他の 2 つよりも TCNQ の LUMO バンドに近いためであると考えている。従って n 型 FET の性能は、半導体として用いた有機物のバンド構造と、電極に用いた金属の仕事関数に相関があることが示唆される。

次に、TCNQ よりも LUMO 準位が高い Me_2TCNQ を半導体層とし同様の測定を行った。図 3 に Au および Ag を用いて作製した FET の伝達特性を示した。どちらの素子も n 型の特性が得られたが、Au を電極とした素子には、p 型の特性も確認された。更に、これらの素子の移動度は Au で $1.2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{V s}$ 、Ag を用いて作製した FET の移動度は $2.0 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{V s}$ と低い値が得られた。以上のような挙動及び移動度が得られた理由も、電極の仕事関数と半導体のバンド構造によって説明できるものであり、講演においてデバイスの作製法の詳細と共に移動度と電極材料の相関について詳しく議論する。

[1] Y. Takahashi, et al., Appl. Phys. Lett. 2006, 88, 73504.

[2] H. Y. Li, et al., J. Am. Chem. Soc. 2012, 134, 2760.

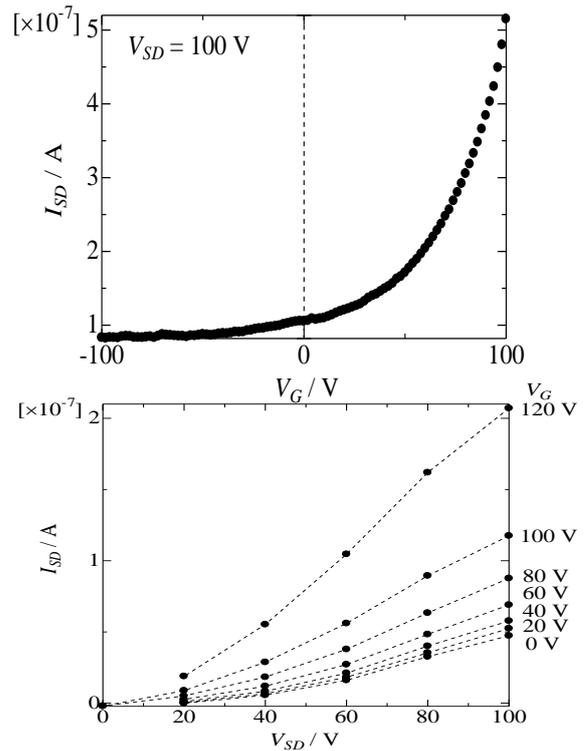


図 2 TCNQ を半導体層とし、電極に Ag を用いた伝達特性(上)、および出力特性(下)

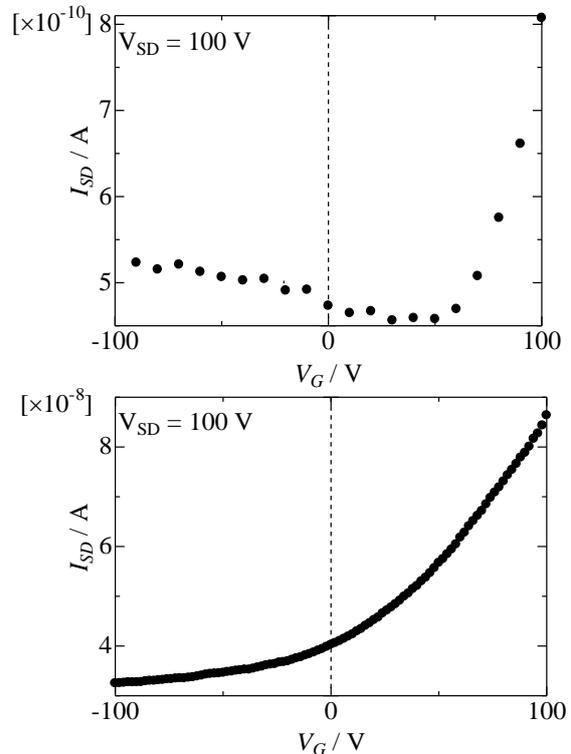


図 3 Me_2TCNQ を半導体層とし、電極に Au(上)および Ag(下)を用いた FET の伝達特性