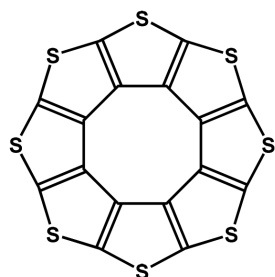


強構造薄膜を用いた電気二重層トランジスタ

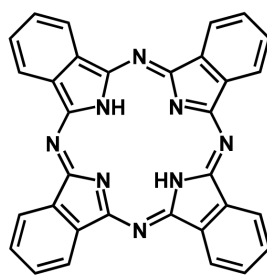
(名大院理*, 名大物質国際研**) ○藤本卓也*, 三吉康仁*, 松下未知雄*, 阿波賀邦夫**

【序】近年の有機エレクトロニクスのは発展は著しく、無機デバイスの性能を凌駕するような報告も多数なされている。有機トランジスタにおいては、従来の電界効果トランジスタと同様の構成素子で動作するため無機物と簡単に置き換えることが可能であるが、その動作原理は未解明な部分が多く、基礎的な動作機構の解明が必要である。

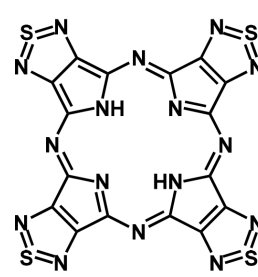
本研究では、イオン液体を絶縁体に用いた電気二重層トランジスタを作製し、その特性を評価した。電気二重層は、電圧印加によってイオン液体の構成イオンが移動することで半導体/絶縁体界面に作られる。電気二重層の厚みは数ナノであるため、その静電容量は固体の絶縁体に比べて大きく、高濃度のキャリア注入が可能となる。従来の有機物はイオン液体に可溶であるが、【研究 1】S…S 分子間接触を有する octathio[8]circulene[1–3]や、【研究 2】ポルフィラジン類縁体である metal-free phthalocyanine (H_2Pc) 及び tetrakis(thiadiazole)porphyrazine (H_2TTDPz) を半導体に用いたところ、イオン液体中で安定に低電圧駆動のトランジスタとして動作することが分かった。また、 H_2Pc と H_2TTDPz を組み合わせて相補型インバータを作製した。



Octathio[8]circulene



H_2Pc



H_2TTDPz

【研究 1】octathio[8]circulene

既報の方法により、octathio[8]circulene を合成した。薄膜は、石英基板上に白金で楕形の SD 電極を形成した後、octathio[8]circulene を真空蒸着して作製した。薄膜の電気伝導度は、CV によって電気化学的に酸化還元しながら、交流電圧を SD 間に印加して測定した[4]。

図 1 に octathio[8]circulene 薄膜の電気二重層トランジスタの伝導度の立ち上がりから求めた閾値電圧 (V_T) と CV の酸化ピークから求めた酸化電圧 (V_{OX}) のイオン液体依存性を示す。酸化電圧より小さな電圧で伝導度の上昇が見られ、トランジスタの動作領域では薄膜の大部分

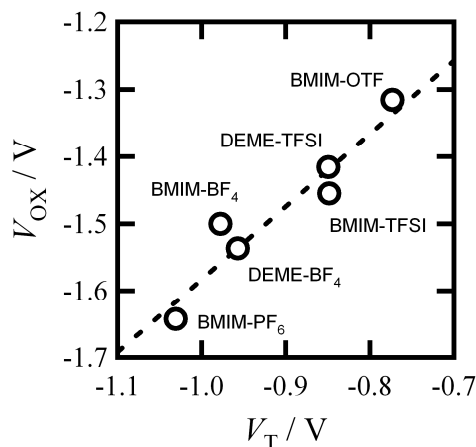


図 1. octathio[8]circulene 薄膜の閾値電圧 (V_T) と酸化電位 (V_{OX}) のイオン液体依存性

が酸化されていないことが確かめられた。 V_T 及び V_{OX} はカウンターアニオンに対して極性及びサイズ依存性を示し、薄膜との間に相互作用があることを示唆している。 V_T と V_{OX} の差 ($V_T - V_{OX}$) にはイオン液体依存性は見られず、全てのイオン液体で 0.5 V 程度であった。また、移動度とイオン液体の静電容量の間にも相関が確かめられたが、このときカウンターアニオン依存性は見られなかった。

【研究 2】ポルフィラジン類縁体

既報の方法により、 H_2Pc 及び H_2TTDPz を合成し、薄膜は octathio[8]circulene と同様の方法によって作製した。それぞれのトランジスタ特性を直流電源で評価した後、これらを組み合わせて相補型インバータを作製した。

H_2Pc 及び H_2TTDPz のトランジスタは、それぞれ p -及び n -型として駆動することが分かった。移動度は、 H_2Pc が $0.004 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 、 H_2TTDPz が $0.001 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ とそれぞれあまり大きくなかったが、閾値電圧がそれぞれ -0.2 、 -0.1 V となり、低電圧駆動トランジスタとして魅力的であることが分かった。図 2 (a) に相補型インバータの伝達特性の結果を示す。 V_{IN} に対して反転動作しており、1 V 以下で駆動することが確かめられた。このとき構成素子に見られるヒステリシスを示した。図 2 (b) にインバータの性能の指標であるゲインを示す。ゲインは最大で 3 と比較的大きな値を示した。また、周波数依存性を調べたところ、20 Hz 以下で有効に反転動作することが分かった。イオン液体の静電容量の周波数依存の測定から、100 Hz 以下で十分な電気二重層が作られることが示唆されており、この結果とよく一致している[5]。

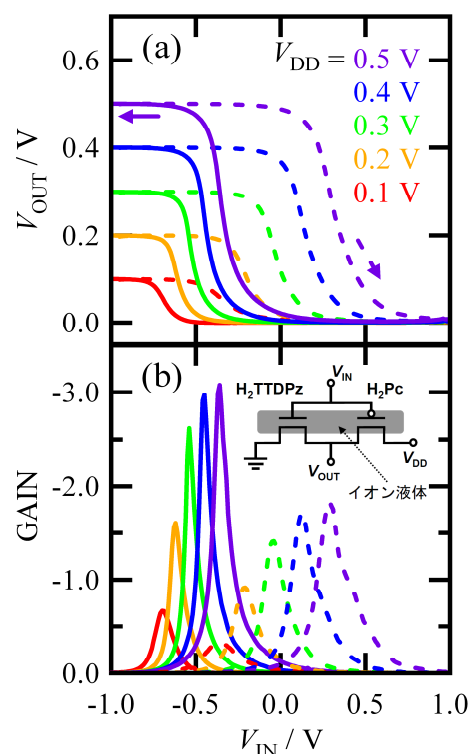


図 2. 相補型インバータの(a)伝達特性および(b)ゲイン

【結論】 以上より、本研究では強構造薄膜を半導体層に用いた電気二重層トランジスタを作製し、低電圧駆動を達成するとともに、詳細なイオン液体依存性や相補型インバータ特性を評価することに成功した。当日は、電気二重層の形成と電気化学ドーピングとの関係や、octathio[8]circulene 薄膜の Dual-gate トランジスタ[6]についても詳細に議論する。

- [1] K. Y. Chernichenko, V. V. Sumerin, R. V. Shpanchenko, E. S. Balenkova, V. G. Nenajdenko, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2006**, *45*, 7367.
 [2] T. Fujimoto, R. Suizu, H. Yoshikawa, K. Awaga, *Chem. –Eur. J.* **2008**, *14*, 6053.
 [3] T. Fujimoto, M. M. Matsushita, H. Yoshikawa, K. Awaga, *J. Am. Chem. Soc.* **2008**, *130*, 15790.
 [4] T. Fujimoto, M. M. Matsushita, K. Awaga, *Chem. Phys. Lett.* **2009**, *483*, 81.
 [5] T. Fujimoto, Y. Miyoshi, M. M. Matsushita, K. Awaga, *Chem. Commun.* **2011**, 5837.
 [6] T. Fujimoto, M. M. Matsushita, K. Awaga, *Appl. Phys. Lett.* **2010**, *97*, 123303.