有機半導体単結晶における 2 次元ホールガス形成とキャリア輸送特性

Two-dimensional hole gas in organic single-crystal semiconductors and its transport properties

東大院新領域 [1], 物材機構 [2], JST さきがけ [3]
○(D) 糟谷 直孝 [1], 鶴見 淳人 [2], 岡本 敏宏 [1,3], 渡邊峻一郎 [1], 竹谷純一 [1,2]
Univ. of Tokyo [1], OPERAND-OIL [2], NIMS[3], JST PRESTO[4]
°Naotaka Kasuya[1], Junto Tsurumi[2,3], Toshihiro Okamoto[1,2,4], Shun Watanabe[1,2], Jun Takeya[1,2,3]
E-mail: 2673180304@edu.k.u-tokyo.ac.jp

固体材料における電子相転移である金属絶縁体転移は，理論及び実験の両面から精力的に研究が行われてきた。パイ共役系分子で構成される有機半導体においても過去 20 年に渡り金属状態の実現に向けて研究が進められてきたものの，実証はされていなかった。これは，欠陥が極めて少ない高純度な有機半導体単結晶の作製技術や高密度キャリアドーピング手法が限定的であったことが原因である。近年，有機半導体の単結晶作製技術は大きな進歩を見せており，従って有機半導体の電子相転移に関する基礎研究の重要性は高まっている[1]。

本研究では，有機半導体 C8-DNBDT（図 1(a)）の単結晶を伝導チャネルとする電気二重層トランジスタ（EDLT, 図 1(b)）を作製し，C8-DNBDT へ静電的な高密度キャリア誘起を試みた[2]。C8-DNBDT 分子はパイ共役系骨格の両端に絶縁性の直鎖オクチル基を有しており，単結晶では量子井戸構造となる。従って，誘電体（本研究ではイオン液体）からのポテンシャル乱れの効果を抑制でき，高移動度と高キャリア密度の両立が可能になると予想される。

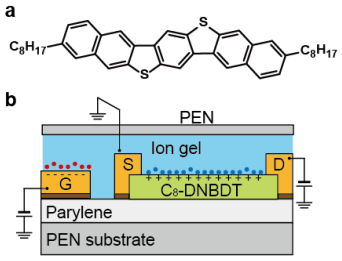

Figure 1. (a) The chemical structure of C8-DNBDT. (b) The schematic image of electric double-lwyer transistor using bi-layer C8-DNBDT single crystal.

実際に，本研究では最大 1×10^{14} cm^{-2} 程度（0.25 電荷/1 分子）のキャリア密度の誘起に成功した（図 2）。EDLT によりキャリア密度を変調しシート抵抗 R_{sheet} の温度変化を評価したところ，4×10^{13} cm^{-2}（0.1 電荷/1 分子）程度のキャリア密度を境として温度依存性が絶縁体から金属へと変化した（図 2）。この変化が $R_{sheet}\sim h/e^2$ (h：プランク定数，e：電気素量)を境に生じていることから，C8-DNBDT の単結晶において 2 次元金属絶縁体転移が生じていることが明らかとなった。

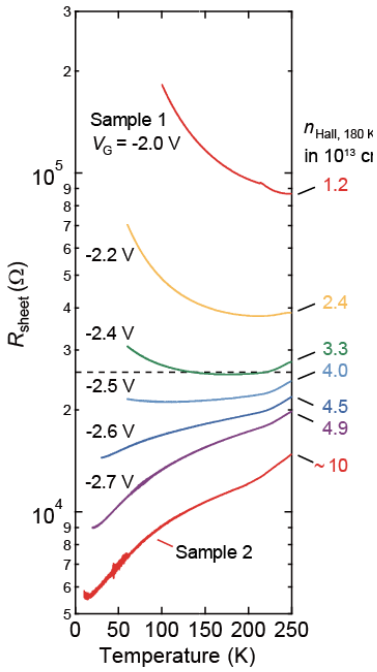

Figure 2. The temeprature dependence of sheet resistance R_{sheet} at various gate bias V_G. The dashed line represents resistance quantum h/e^2.

本講演では，キャリア密度を変化させた際の磁気輸送特性の温度依存性も交えて，C8-DNBDT の単結晶薄膜に形成された 2 次元正孔ガスの特徴を議論していく予定である。なお本成果は論文[2]において発表している。

References:

[1] S. Fratini, M. Nikolka, A. Salleo, G. Schweicher and H. Sirringhaus *Nature Materials* **19**, 491-502(2020).

[2] N. Kasuya, J. Tsurumi, T. Okamoto, S. Watanabe, J. Takeya, *Nature Materials* **20** 1401 (2021).