

5 電極 AFM による電気二重層 FET 動作下の直接チャネル観察

大阪大学 大学院基礎工学研究科

横田 泰之

要旨

イオン液体を用いた電気二重層ゲート型有機 FET は、動作電圧の大幅な低下やキャリア密度の増加等で注目を集めているが、系が複雑なため界面構造に関する情報がほとんどない。本研究では、電気二重層 FET 動作下における有機半導体チャネル領域の直接観察と微細加工に挑戦するための 5 電極 AFM の開発を行った。これにより微視的視点に基づく新しいデバイス開発の可能性を見出した。

1. 研究目的と成果

近年、動作電圧の大幅な低下やキャリア密度の増加が容易に実現できることから、固体-液体界面を利用した電気二重層 FET が注目を集めている (図 1)。中でも、ルブレ単結晶とイオン液体 (IL) の界面を利用した電気二重層 FET では移動度が $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ に迫る値が報告されている [1]。IL は電位窓が広いといったユニークな特徴を有しているため近年急速に電気化学デバイスへの応用が展開されている。我々は、電気二重層 FET では有機半導体チャネル領域の直接観察が可能であることに注目し (図 1)、主に電気化学 AFM を用いてルブレ単結晶/IL 界面の研究を行ってきた [2]。しかしながら、通常の電気化学 AFM では FET 特性を計測できないため (ソースとドレインを単一の電極で置き換えて測定しているため)、実際のデバイス特性と得られた AFM 像の関係が不明であった。そこで本研究では、図 2 に示す試料系を AFM 観察用に作製し、電気二重層 FET 動作下で測定可能な 5 電極 AFM 測定に着手した。

図 2 の模式図に示したデバイスを多数作製したところ、歩留まりが悪く、多くの場合数 μA 程度のリーク電流が観測された。そこで当初の予定を変更して、レーザーエッチング法を用いた電極加工によって同様のデバイスを作製することにした。図 3 にレーザーエッチング法 (Nd:YAG 第四高調波レーザー) で作製した

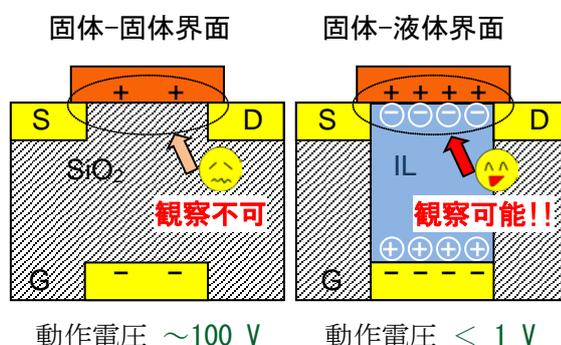


図 1. 従来の有機 FET (左) と電気二重層トランジスタ (右) の模式図。S、D、G はソース、ドレイン、ゲート電極、IL はイオン液体、点線はそれぞれのチャネル領域を表す。固体-液体界面ではチャネルの AFM 観察が可能。

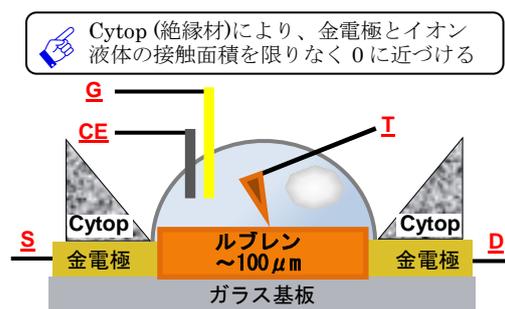


図 2. 5 電極 AFM 測定の模式図。電気二重層 FET 動作下のチャネルの直接観察・直接加工が可能となる。CE、T は補助電極、探針電極を表す。

デバイスの写真を示す。ルブレン単結晶と電極上にイオン液体を滴下することで図2と同様のデバイス特性評価が可能となる。図4にこのデバイスを用いて測定した伝達特性を示した。リーク電流値(点線)はゲート電圧によらず10 nA以下となっており、レーザーエッチング法を用いることで大幅な改善が見られた。その結果、ドレイン電流(実線)が明瞭に観測され、閾値電圧(図の場合-120 mV)を正確に評価可能となった。これにより、5電極AFM測定時にホール注入量を制御することに成功した。

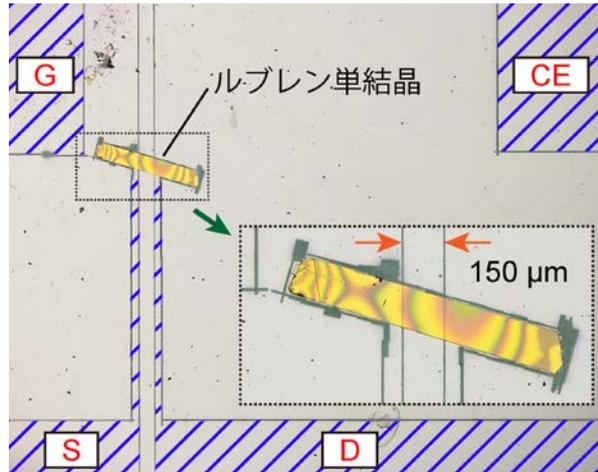


図3. 5電極AFM測定のためのデバイスの写真。

2. まとめと今後の課題

本研究で行った一連の研究により、ルブレン表面上のステップサイトがキャリアトラップとして働くこと、またそのトラップ能がステップ方向に大きく依存するという興味深い結果が得られた。今後は、本研究で開発した5電極AFMを用いることで、デバイス動作の微視的理解を深める研究を展開していく。

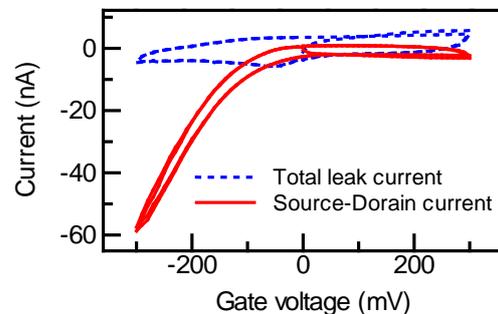


図4. AFM測定用のデバイスで測定した電気二重層FET伝達特性。

参考文献

- [1] S. Ono, K. Miwa, S. Seki, J. Takeya, *Appl. Phys. Lett.*, **94**, 063301 (2009).
- [2] Y. Yokota et al., *Chem. Commun.*, **49**, 10596 (2013).
- [3] Y. Yokota et al., *Appl. Phys. Lett.*, **104**, 263102 (2014).

成果発表

<原著論文>

1. Y. Yokota, H. Hara, Y. Morino, K. Bando, A. Imanishi, T. Uemura, J. Takeya, K. Fukui
“Clean Surface Processing of Rubrene Single Crystal Immersed in Ionic Liquid by Using Frequency Modulation Atomic Force Microscopy”, *Appl. Phys. Lett.*, **104** (26), 263102 (2014).

他 投稿準備中 2 報

<学会発表>

1. Y. Yokota et al., 17th International Conference on Non-Contact Atomic Force Microscopy (NC-AFM 2014), Tsukuba, Japan, August 2014.
2. Y. Yokota et al., International Symposium on Surface Science (ISSS-7), Matsue, Japan, November 2014 (予定).
3. Y. Yokota et al., The 1st International Symposium on Interactive Materials Science Cadet Program (iSIMSC), Osaka, Japan, November 2014 (予定). 他 国際会議 4 件、国内会議 6 件