

## 点接触電流イメージング AFM による 二鎖型マクロサイクリックビス TTF ナノワイヤの電気伝導評価

(北大 電子研<sup>1</sup>、北大院 環境科学<sup>2</sup>、阪大 産研<sup>3</sup>)

○ 綱島 亮<sup>1</sup>、野田 祐樹<sup>2</sup>、帯刀 陽子<sup>1</sup>、野呂 真一郎<sup>1,2</sup>、芥川 智行<sup>1,2</sup>、中村 貴義<sup>1,2</sup>  
松本 卓也<sup>3</sup>、川合 知二<sup>3</sup>

分子性ナノ構造体は外力に対する耐久性が低く、従来の導電性 AFM などを用いたナノメートルスケールでの電気物性評価は困難であった。今回、点接触電流イメージング AFM (PCI-AFM)を用いて、我々がこれまでに報告してきた二鎖型マクロサイクリックビス TTF 電荷移動錯体からなるナノワイヤについてナノスケールでの電気物性評価を行ったので報告する。PCI-AFM は、タッピング法による表面構造の観察と、探針を止めて直接試料表面に接触させる事による電気伝導度測定を交互に行う測定手法であり、表面へのダメージを軽減しつつ、高さ像、電流像の同時測定が可能である<sup>1</sup>。

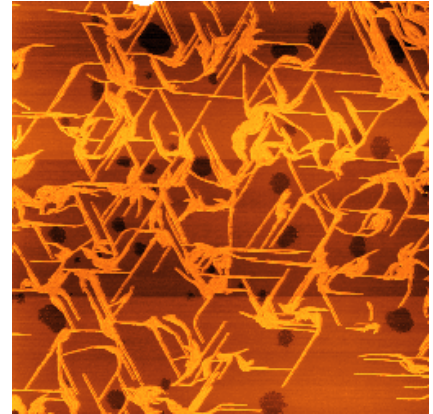
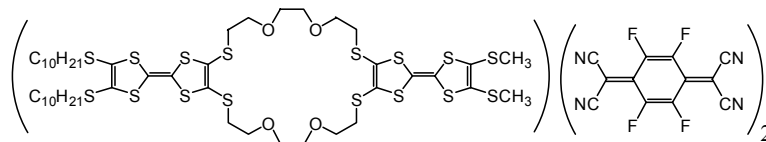


図1 1が形成するナノワイヤ構造<sup>2</sup>

ナノワイヤを既知の報告に従ってマイカ基板上に作製した後、抵抗加熱により金を 50 nm 蒸着し電極を作製した。ファンクションジェネレーターを接続した JSPM-5200 Environmental Scanning Microscope(日本電子)を用い、大気中の水分の影響を除去するために窒素雰囲気下で行った。



(二鎖型マクロサイクリックビス TTF) (F<sub>4</sub>-TCNQ)<sub>2</sub> (1)

二鎖型マクロサイクリックビス TTF は、電気伝導を担う TTF 部位、イオン及び分子認識能を持つクラウンエーテル、両親媒性を付与するためのアルキル鎖からなり、F<sub>4</sub>-TCNQ との電荷移動錯体に LB 法を適用することで、固体基板上にナノワイヤのネットワーク構造を形成する(図 1)<sup>2</sup>。バルクでの構造・電気物性評価から、LB 膜中で TTF ユニットおよび F<sub>4</sub>-TCNQ は完全電荷移動状態にあり、ナノワイヤ中で一次元的交互積層構造を形成していることが示唆されている。また、LB 膜は、室温抵抗率 2300 Ωcm と半導体的な温度依存性を示す。

図 2 に PCI-AFM で測定したナノワイヤ構造の高さ像、及び、+1 V における電流像を示した。高さ約 2 nm、幅約 40 nm のナノワイヤが観察され、ナノワイヤの表面構造と対応した電流像が得られたことから、表面構造を保持したまま、電気物性評価が行えることが判明した。これまでの研究から、ナノワイヤの周囲には、均質な二次元膜の存在が示唆されている。図 3a に均質な二次元膜上の点 A、B、及びナノワイヤ上の点 W における、I-V 特性を示した。いずれの場合でもオーミックな I-V 特性が得られ、ナノワイヤ上では二桁ほど高い電流値を示した。

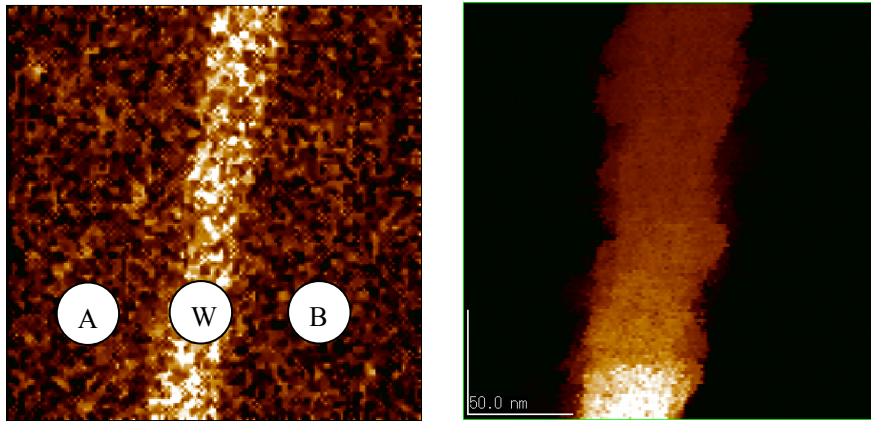


図2 PCI-AFMで測定した  
ナノワイヤの(左)高さ像、  
(右)+1 Vにおける電流像

図 3b に、ナノワイヤの断面方向への高さ及び電流プロファイルを示した。電流プロファイルでは、幅約 60 nm に渡って 0.3 nA の電流シグナルが検出され、高さプロファイルから求められるナノワイヤの幅よりも大きな値を示した。これは、ナノワイヤの周囲へのもれ電流や、探針のコンボリューション効果による影響と考えられる。図 3c にナノワイヤの長さ方向への電流値のプロファイルを示した。電極は、図 2 の下端から約 1  $\mu\text{m}$  に位置しており、図 3c の横軸は相対座標で示してある。電極からの距離と抵抗値の間に比例関係が成り立つと仮定して見積もった抵抗率は 750  $\Omega\text{cm}$  であり、多層膜によるバルクでの抵抗率(2300  $\Omega\text{cm}$ )よりも小さい値を示した。多層膜での測定と異なり、PCI-AFM を用いることにより、ナノワイヤ内部の電気伝導性をナノスケールで測定する事が出来た。

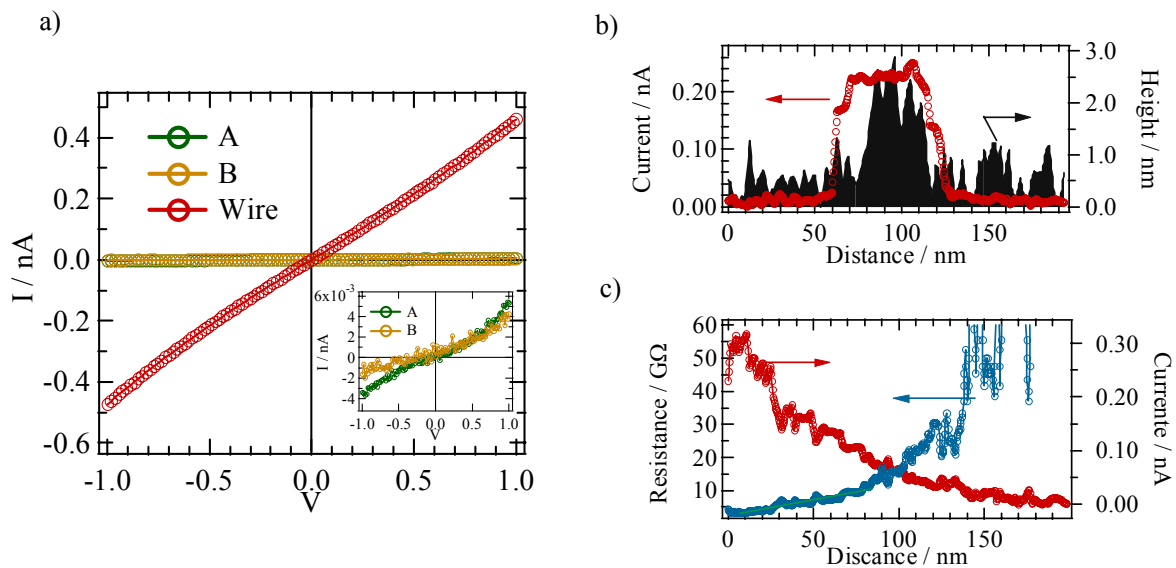


図3 (a)点 A、B、W における IV 特性、(b)ナノワイヤの断面方向への高さ、電流プロファイル、(c)ナノワイヤの長さ方向への電流、電気抵抗プロファイル

<sup>1</sup> Otsuka, Y.; Naitoh, Y.; Matsumoto T.; Kawai, T. *Appl. Phys. Lett.* **2003**, 82, 1944.

<sup>2</sup> Akutagawa, T.; Ohta, T.; Hasegawa, T.; Nakamura, T.; Christensen, C, A.; Becher, J. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **2002**, 99, 5028.