

自己組織化配線法を用いたナノ分子デバイス

(阪大産研¹、阪大工院²) ○谷口正輝¹・野島義弘¹・横田一道¹・寺尾潤²
佐藤公彦²・神戸宣明²・川合知二¹

【序】 ナノ分子エレクトロニクスへの期待が高まっているが、電極と分子の結合、および分子の構造を制御した状態で、分子をナノ電極間に配線することの困難さが、ナノ分子エレクトロニクスの発展の大きな障害になっている。我々は、電極と分子の結合、分子の構造、およびデバイス機能を制御することができる分子デバイスの配線法を開発した。我々の配線法は、異なる機能がプログラムされた3種類の分子を化学結合により電極間に逐次的につなげていく自己組織的な方法である。この配線法を用いて、伝導ワイヤと光スイッチングデバイスのデモンストレーションを行った。

【結果と考察】 開発した自己組織化配線法は、界面制御分子、構造制御分子、機能制御分子の3種類の分子と、3つのステップから構成されている(図1)。この配線法は、ナノスケールの電極間距離を持つナノ電極を、3種類の溶液に順次浸けていくだけの簡単な溶液プロセスだけから構成される。はじめのステップでは、電極と界面制御分子を結合する。界面制御分子は、電極と結合し、構造制御分子と結合する化学反応点を持つ π 電子系分子である。ステップ2では、化学反応により界面制御分子と構造制御分子を結合する。構造制御分子は、界面制御分子と機能制御分子との2つの化学反応点を分子の末端に持つ π 電子系分子である。さらに、分子の構造を直線に保ち、電極に対する分子の成長方向を制御するため α -CDで π 電子系が被覆されている。ステップ3では、機能制御分子と構造制御分子を化学反応により結合する。機能制御分子は、構造制御分子と結合する化学反応点を分子の両末端に持つ分子である。

ステップ1の後、電極表面をSTMで観察したところ、界面制御分子の自己組織化膜の形成が確認された。また、金基板上に界面制御分子の自己組織化膜を形成し、XPS測定を行ったところ、金-硫黄の結合に対応する結合エネルギー(161eV)が観測された。

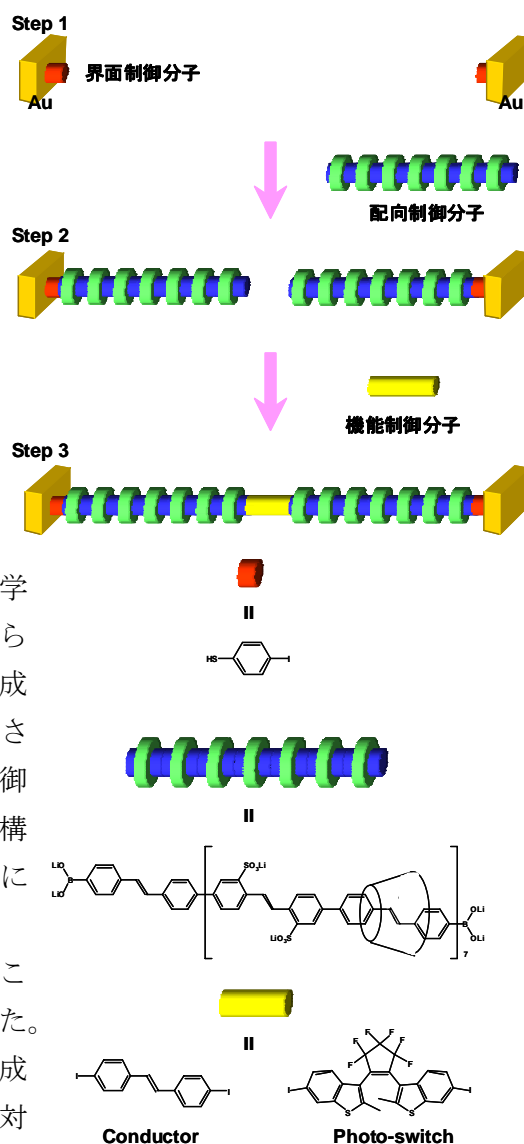


図1. 自己組織化配線法と各制御分子の分子構造

ステップ2の後、金電極上の反射UV-Vis測定を行ったところ、溶液中の構造制御分子の吸収極大(397nm)に対応する400nmに吸収極大が観測された。電極からの構造制御分子の成長方向を確認するため、電極上をAFMで観察した。結合した分子の電極からの高さは約13nmであり、電極面に対して立った方向に分子が成長していることが示唆された。

ステップ3の後、電流-電圧特性の測定を行った。ステップ1とステップ2の後に電流-電圧特性を測定したが、電流値は得られなかった。今回用いた電極の幅が約40nmであり、電極の高さが約20nmなので、2つの分子ワイヤを直径約1nm(α -CDの直径)の円柱と仮定すると、電極間には最大で1,000本の分子が存在すると見積もられる。

スチルベンは π 電子系分子であるため、分子ワイヤは導線として機能する。ジアリルエテンは、可視光照射時は開環状態であるが、UVを照射すると閉環状態になり、光により分子構造をスイッチする¹⁾。従って、ジアリルエテンが導入された分子ワイヤは、光スイッチングデバイスになる。電流-電圧特性を測定した結果、スチルベンを導入した分子ワイヤはオーミックな電流-電圧曲線を示し、ジアリルエテンを結合した分子ワイヤは光スイッチング機能を示した。(図2)光スイッチ分子ワイヤに紫外光を照射すると、電流値が20倍に増加し、可視光を照射すると、電流値は減少し、光に対して可逆的なスイッチング特性を示した。

スチルベンが導入された分子ワイヤの電気抵抗の温度依存性を測定したところ、温度が減少すると電気抵抗が増加する熱活性型であることが分かった。高温領域での活性化エネルギーは109meVであった。一方、ジアリルエテンが導入された分子ワイヤのON状態の温度特性を測定したところ、スチルベンが導入された分子ワイヤと同様に、伝導機構は熱活性型であり、高温領域における活性化エネルギーは117meVであった。配向制御分子の分子長が長いため、配向制御分子における伝導機構はホッピングと考えられ、分子ワイヤ全体の伝導機構は配向制御分子のホッピング伝導に支配される。その結果、スチルベンとジアリルエテンが導入された両分子ワイヤでホッピング機構が観測され、同程度の活性化エネルギーが得られたと考えられる。

【参考文献】

1) M. Irie, T. Fukaminato, T. Sasaki, N. Tamai, T. Kawai, *Nature* **420**, 759-760 (2002).

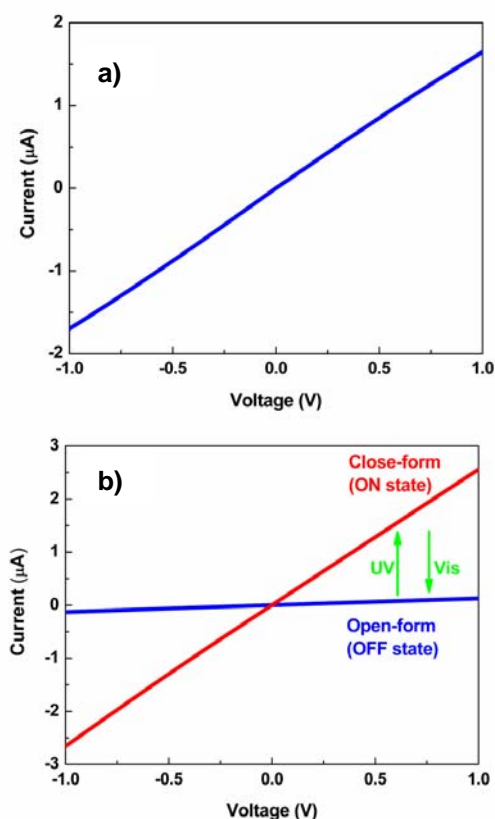


図2. a)スチルベンを機能制御分子に持つ分子ワイヤの電流-電圧特性。b)ジアリルエテンを機能制御分子に持つ分子ワイヤの電流-電圧特性と光スイッチング特性。電極間距離は約30nm。