

自己組織化を用いたナノスケール分子デバイスの創製

(大阪大学産業科学研究所、JST-さががけ) 谷口正輝

[はじめに]ナノスケール分子デバイスは、次世代エレクトロニクスデバイスの候補の1つになっている。この新デバイスを実現するためには、デバイス機能を持つ分子を開発するとともに、デバイスを作る新プロセスの開発とデバイスを構成する単一分子のデバイス特性を明らかにしていかなければならない。一方、ナノスケールでは、電極-分子界面制御がデバイス機能制御のキーになる。我々は、デバイス作製プロセスの開発、単一分子の電気伝導測定、および電極-分子界面制御を行っており、本講演では、最近の我々の研究成果を報告する[1-4]。

[自己組織化配線法]ナノスケールデバイスで最も困難であり解決すべき課題は、1つのナノ構造(1つの分子や1つのナノ粒子など)の電極への配列・位置制御である。適切な配線技術がないことが、ナノスケール分子デバイスが実現されていない大きな原因である。従来の配線法は、分子を合成してから Au-S 結合で電極に接合させる方法であったが、この方法には配列・位置制御性は望めない。そこで、我々は、ナノ電極を基点とする自己組織化により、分子を配線する方法を開発してきた[1]。この方法は、図1のように、3つの分子(界面制御分子、配向制御分子、機能制御分子)と3つのプロセスで構成されている。第1ステップでは、電極上に界面制御分子の単分子膜を形成させる。次に、化学反応の援用により、界面制御分子と配向制御分子を結合し、最後に機能制御分子を結合させる。この配線法では、分子の成長方向をある程度制御するため、シクロデキストリンで被覆して直線状の分子構造を保持させることが、重要な分子設計になっている。この自己組織化配線法により、30 nmの長さを持つ伝導ワイヤーと光スイッチデバイスを作製した。伝導ワイヤーでは、オーミックな伝導特性が得られ、光スイッチデバイスでは、光により電流のオン・オフ(On/Off > 20)が観測されている。

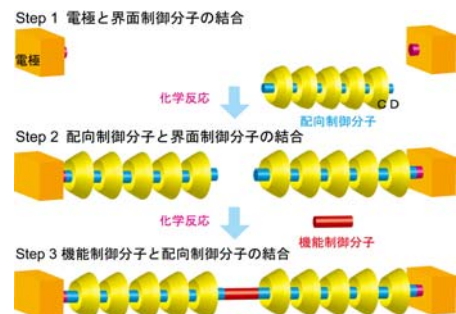


図1. 自己組織化配線法.

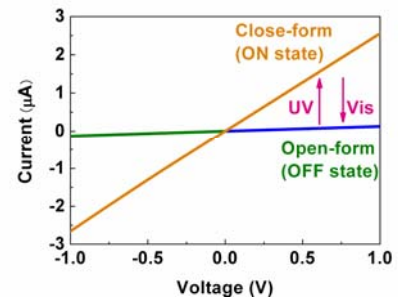


図2. 自己組織化配線法により作製したナノ光スイッチデバイスのスイッチング特性.

[単一分子の電気伝導]これまでの少数分子の電気伝導測定では、コンダクタンスから電極に接続されている分子の数を知ることが出来たが、測定している分子の種類に関する直接的な情報を得ることが出来なかった。我々は、電極-分子-電極接合を安定に保持できるナノ機械的破断接合(ナノ MCBJ)[2]を用いて、コンダクタンスと非弾性トンネル分光(IETS)測定を同時に行う計測技術を開発した。IETSは、電子と相互作用する分子振動のエネルギーを電気計

測から測定できる単一分子分光法である。Au-ベンゼンジチオレート-Au(Au-BDT-Au)接合を測定したところ、コンダクタンスヒストグラム (図 3a) には、量子化された(単一分子コンダクタンスの整数倍)コンダクタンスが観測され、Au-BDT-Au 接合における単一分子コンダクタンスは $0.01G_0$ (G_0 :量子化コンダクタンス)であった。この接合の IET スペクトルには、図 3b のように明瞭なピークが観察され、分子振動計算とバルク分子のラマン分光測定の結果から、ピークを与える電圧が BDT の分子振動エネルギーに対応することが明らかとなった。このように、電極に接続されている分子の数と種類をコンダクタンスと IETS からそれぞれ識別するのに成功した。コンダクタンスと IETS の同時計測は、単一分子の物性・デバイス特性を調べる強力なテストツールとなるとともに、電極間に接合された単一分子を同定するナノスケール分析化学の新手法になると期待される。

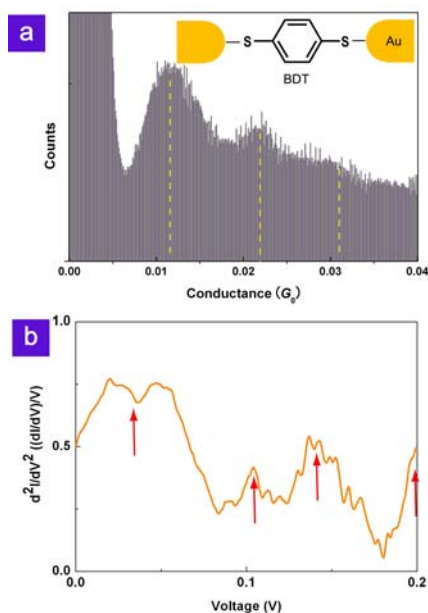


図 3. Au-BDT-Au 接合の(a)コンダクタンスヒストグラムと(b)非弾性トンネル(IET)スペクトル。

[電極—分子界面制御] 自己組織化膜の発見以来、Au-S 結合は、金属と分子をつなぐ重要な電極—分子界面であり、多くのナノスケール分子デバイスの界面にも用いられている。ナノスケール分子デバイスの電気特性は電極—分子界面に大きく依存するため、電気特性を制御するためには界面制御を行う必要があるが、Au-S 結合が電気伝導性において最適な界面であるかは不明であった。そこで、ベンゼンチオール(BT)、ベンゼンセレンオール(BS)、ジフェニルジテルリド(BT)を用いて、Au-S、Au-Se、Au-Te 結合の結合状態と電子状態を調べた[3,4]。分光測定の結果、Au-S 結合と Au-Se 結合は形成されるが、Au-Te 結合は酸化されやすいことが分かった。また、Au-BT 界面では、状態密度が金のフェルミ準位から 1.2eV 付近から増加するのに対して、Au-BS 界面では、状態密度が 0.9eV 付近から増加し、Au-BS 界面の方が低バイアスで高電流値を得やすい界面であることが分かった。

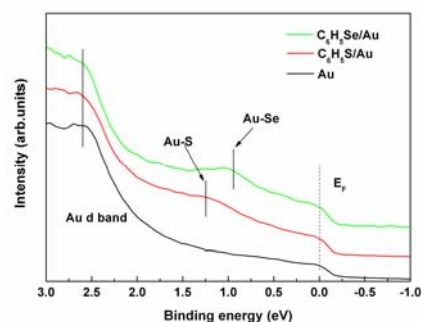


図 4. Au-ベンゼンチオールと Au-ベンゼンセレンオールの UPS スペクトル。

[文献]

1. M. Taniguchi, et al., *J. Am. Chem. Soc.* 128 (2006) 15062 (Commun.).
2. M. Tsutsui, K. Shoji, M. Taniguchi, and T. Kawai, *Nano Lett.* 8 (2008) 345-349.
3. K. Yokota, M. Taniguchi, T. Kawai, *J. Am. Chem. Soc.* 129 (2007) 5818 (Commun.).
4. K. Yokota, M. Taniguchi, H. Tanaka, and T. Kawai, *Phys. Rev. B* 77 (2008) 165416-165420.