

平成25年12月12日  
千葉大学 大学院融合科学研究科

有機分子と金属電極とを繋ぐ伸縮自在な『踏み台』の発見  
量子サイズ効果を活用したナノ有機エレクトロニクスへ向けた第一歩

千葉大学大学院融合科学研究科の中山泰生助教らと、台湾国立清華大学・台湾国立シンクロトロン光研究センターの唐述中准教授らとの国際共同研究グループは、金属電極の厚みを1ナノメートル程度まで薄くした時に起こる量子サイズ効果を利用することで、有機分子と電極との間で電子をやりとりする際の『踏み台』になる電子準位のエネルギーを上下させられることを発見した。この研究成果は、有機ELディスプレイなどの有機デバイスの高効率駆動のためにナノサイズ電極を活用できる可能性を示しているほか、軽くフレキシブルでなおかつナノスケールでの超高集積化を実現する次世代ユビキタス電子デバイスへ向けた第一歩となる。

有機ELを利用したフルカラーディスプレイが多くのスマートフォンに採用されるなど、有機エレクトロニクスは既に現代社会に深く浸透するにいたっている。一方で、軽さ・柔軟性を活かし、ウェアラブルな電子デバイスや生体親和性の高い医用・バイオセンサなど、我々の日常生活を一変させうる斬新なエレクトロニクス応用を目指した活発な先端研究が繰り返されている舞台でもある。これらの有機デバイスの消費電力や応答速度を改善するためには、金属などでできた電極から有機分子内部へと電子を送り込んだり、逆に引き抜いたりする際の効率をよくすることが重要である。言い換えれば、金属と有機分子との間をスムーズに電子が移動できるように、電子が移動する通道の段差をなるべく小さくすることは、新デバイス開発の鍵になる。

本研究のポイントは、通常金属電極の代わりに、1ナノメートル程度まで薄くした銀の「量子井戸」を利用することである。この銀電極の厚みを変化させることによって、金属と有機分子との相互作用によって発生する「ギャップ内準位」のエネルギーを調整することが出来ることを我々は発見した。こうした「ギャップ内準位」は、金属と分子との間にある段差を電子が乗り越えることを助ける『踏み台』としてはたらくことが知られている。今回の結果は、電極や有機分子の種類を変えなくても、単にナノメートルスケールの電極の厚みを伸縮させるだけでこの『踏み台』の高さを調節できることを意味しており、ナノテクノロジーを活用することで、省エネルギーで稀少資源を必要としない次世代ユビキタスデバイスを開発できる可能性を示すものである。

本研究成果は、英科学誌「Nature Communications」にて、平成25年12月11日(水)にオンライン掲載される。

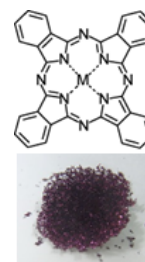
“Tuning gap states at organic-metal interface by quantum size effects”

Nature Communications, DOI: 10.1038/ncomms3925 (2013)

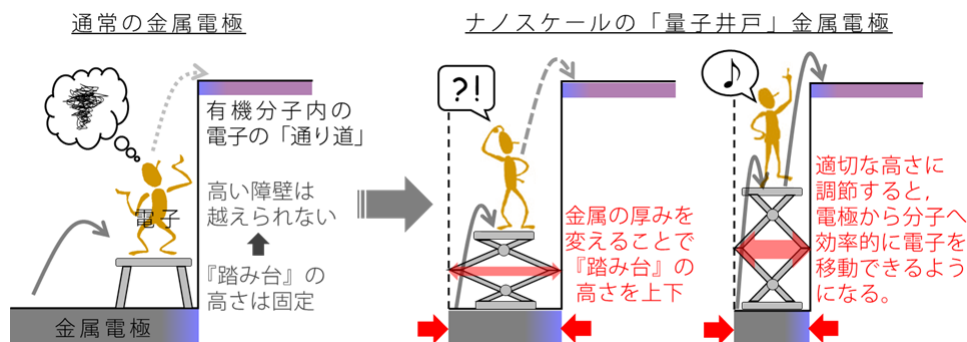
〔参考資料〕

1) 銀のような貴金属の内部では、通常、電子は上下左右前後どの方向へも自由に動き回ることができる。こうした自由電子的な状態は、エネルギーに対する電子の占有数の変動が少ない連続的な電子状態をとる。これに対し、厚みを1ナノメートル（数原子層）程度に縮めるなどして、ある方向に対してのみ電子の運動の自由度を制限すると、量子力学的な効果により、電子が取り得るエネルギー状態が不連続になる。このように、1方向にのみ電子が閉じ込められた結果発生する離散的な電子準位は、一般に「量子井戸状態」と呼ばれる。発生した量子井戸準位間のエネルギー間隔は、井戸の幅（つまり金属膜の厚み）が狭まるほど広がる。

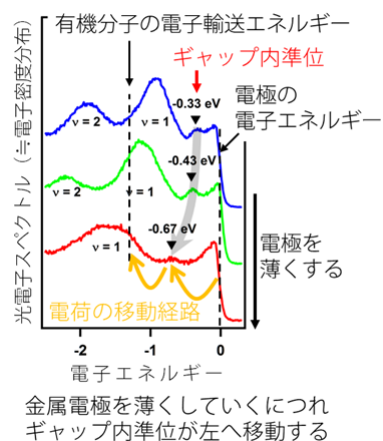
2) 本研究で用いた有機分子は、フタロシアニン（右図）と呼ばれる色素分子であり、有機太陽電池の材料としてよく用いられる。その他、我々に身近な用途としては、新幹線の青色に用いられたことでも知られている。



3) 電極金属と有機分子との接合部に生じる電子移動の『踏み台』（=ギャップ内準位）の役割と、量子サイズ効果によりこのエネルギーを調節する利点を表した模式図。



4) フタロシアニンのような分子は「有機半導体」に分類され、電子が詰まっている状態と空いている状態との間に、電子が存在できない「エネルギーギャップ」が存在する。金属と有機分子とが接触すると、両者の相互作用によってエネルギーギャップ内に新しい電子準位が生じることがあり、これが「ギャップ内準位」と呼ばれる。元々は電子が存在しないエネルギー領域に発生するこうした準位は、金属から分子へと電荷を移動する際の間接点になる場合があり、エネルギーの障壁を実質的に低減する効果がある。右の図は、本研究で得られた実験結果と、金属と分子との間での電子移動メカニズムを表した模式図。



本件に関するお問い合わせ先  
 千葉大学大学院融合科学研究科 助教 中山泰生  
 Tel: 043-207-3894 または 043-290-3004, FAX: 043-290-3004  
 e-mail: [nkym@restaff.chiba-u.jp](mailto:nkym@restaff.chiba-u.jp)