

STM と AFM の融合による規定された条件下でのトンネル電流の計測

岡林則夫^A, Angelo Peronio^B, Alexander Gustafsson^C,
Magnus Paulsson^C, 新井豊子^A, Franz J. Giessibl^B

金沢大理工^A, レーゲンスブルグ大^B, リンナエウス大^C

原子間力顕微鏡と走査型トンネル顕微鏡を組みわせると、探針先端の構造や探針試料間に働く力を把握した状態での、トンネル電流の計測が可能になる。例えば、図 1(a)(c)に示したように探針先端の構造が異なる二つの金属探針を用意し、Cu(111)表面上の CO 分子の直上付近で、高さ一定で探針を走査すると、どちらの探針の場合も、トンネル電流像では CO 分子の位置で 1 個のディップが観測される。一方で、図 1(b)(d)に示したようにカセンサーの周波数シフト像では、片方の探針では 1 個のディップが、他方の探針では 4 個のディップが観測される。このような周波数シフト像におけるディップの数は、探針先端の原子数に対応することが最近の研究で分かっている[1]。つまり、一方の探針の最先端は 1 個の原子から構成され(1 原子探針とよぶ)、他方の探針の最先端は 4 個の原子から構成されている(4 原子探針と呼ぶ)ことになる。

このような探針先端の構造は、トンネル過程についても影響を与える。例えば、図 1(a)(c)で観測されるディップの深さは、1 原子探針の場合の方が 4 原子探針の場合よりも深い。これは、1 原子探針の場合には分子を通過するトンネル成分が大きく、4 原子探針の場合には分子を通過せず探針と基板の間を直接トンネルする成分が大きいためである。このような探針先端の構造によるトンネル電流の流れ方の違いは、非弾性電子トンネル分光 (IETS) の強度にも影響を与える。図 1(e)に示したように、分子を通過するトンネル成分が大きい 1 原子探針のときは、IETS の強度が大きく、分子を通過するトンネル成分が小さい 4 原子探針の時は IETS の強度が小さい[2]。

AFM を用いると、このような探針先端の構造だけでなく、探針と分子との間に形成される力場の測定も可能になる[3]。この手法を IETS と組み合わせることで、力場の影響を考慮にいたした分子の精密振動分光が可能になる。このような、よく規定された条件下での非弾性トンネル過程を含めたトンネル電流の精密測定は、理論を改善する際の標準データとしても有用である[4]。

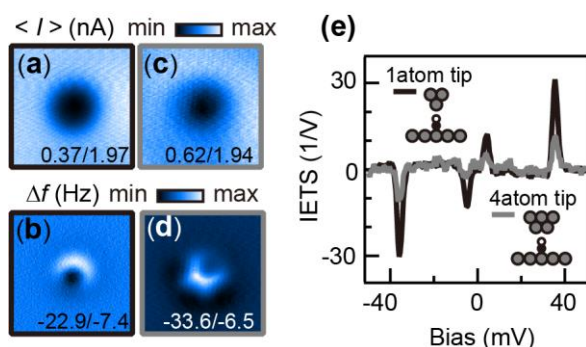


図 1 (a-d)探針先端の原子数が 1[4]個の時の、Cu(111)上の CO 分子に対する高さ一定(a)[(c)]電流像と(b)[(d)]周波数シフト像。(e)探針先端の原子数が 1 個および 4 個の時の Cu(111)上の CO に対する IETS。

[1] M. Emmrich and F. J. Giessibl et al., Science 348, 308 (2015).
[2] N. Okabayashi, A. Gustafsson, A. Peronio, M. Paulsson, T. Arai, and F. J. Giessibl, Phys. Rev. B 93, 165415 (2016).
[3] M. Ternes, F. J. Giessibl, and A. J. Heinrich et al, Science 319, 1066 (2008).
[4] A. Gustafsson and M. Paulsson, Phys. Rev. B 93, 115434 (2016).