NC-AFM に組み込んだチャージアンプと電流アンプ出力の同時計測

Simultaneous measurements of the charge and current amplifier outputs in NC-AFM

○野上　真 [1]、新井　豊子 [2] 、笹原　亮 [1]、富取　正彦 [1]（[1] 北陸先端大、[2] 金沢大）

○Makoto Nogami[1], Toyoko Arai[2] , Akira Sasahara[1] , Masahiko Tomitori[1] ([1]JAIST , [2]Kanazawa Univ.)

E-mail: s1340011@jaist.ac.jp

次世代の原子・分子レベルの電子デバイスを構築するには、近接する物体間の相互作用を理解する必要がある。探針－試料間に働く微弱な力を計測する非接触原子間力顕微鏡（NC-AFM）、トンネル電流を計測する走査型トンネル顕微鏡（STM）は、ナノスケールで物質の表面電子状態を解析できる強力な手法である [1,2]。相互作用の解析のために、NC-AFM と STM の複合計測や、ケルビン法を利用した接触電位差の計測などが行われている。我々は NC-AFM/STM にチャージアンプ（CA）を組み込み、探針を試料に近接させたときの電荷分布変化を捉えるための計測を実施してきた。これまでに、CA 出力から Si(111)7×7 の原子分解能像を得た。前回、探針－試料間の接触電位差（CPD）と静電容量を用いて CA 出力を考察し、報告した [3]。今回、低バイアス電圧印加下での CA 出力とトンネル電流を同時に計測し、新たな知見を得たので報告する。

実験は、超高真空中（UHV: 1×10^{-11} Torr）で稼働する自作 NC-AFM/STM を用いて室温で行った。試料は、UHV 中で清浄化した Si(111)7×7 表面、力センサーは水晶振動子に電解研磨 W 線を取り付けた qPlus センサー [4] を用いた。装置構成を Fig. 1 に示す。NC-AFM/STM を土台に、トンネル電流検出に用いる電流アンプと CA をそれぞれ探針側と試料側に取り付けて計測した。計測モードは、探針の垂直位置を試料表面の凹凸に関わらず一定に保つ「高さ一定モード」を用いた。

前回の解析で示したように、探針試料間の接触電位差 V_{CPD}、静電容量 C_{TS}、流れるトンネル電流 i_t として、探針－試料間の電荷量を計算し、CA の帰還容量 C_f とすれば、CA 出力を表す以下の式が得られる。

$$V_{out} = -(V_{CPD} - V)\cdot\Delta C_{TS}/C_f - \Delta(V_{CPD} - V)\cdot C_{TS}/C_f + \Delta t\cdot i_t/C_f$$

この式を基に、探針試料間電圧 V を変化させて、CA 出力像のコントラストが消失する印加電圧 V = -10.4 mV を実験により求めた（Fig. 3 (b)）。また同時に、V を増減すると CA 出力が反転することを確認した。さらに、同時計測されたトンネル電流像は原子コントラストを示した。これは、CA 出力がトンネル電流とは異なる機構で変化することを示唆する。詳細を報告する。

【参考文献】
[1] T. Arai and M. Tomitori: Phys. Rev. B, **73** (2006) 073307.
[2] D. Sawada, *et al*.: Appl. Phys. Lett., **94** (2009) 173117.
[3] 野上ら：第 75 回応用物理学会秋季学術講演会 (2014).
[4] F. J. Giessibl: Appl. Phys. Lett., **76** (2000) 1470.

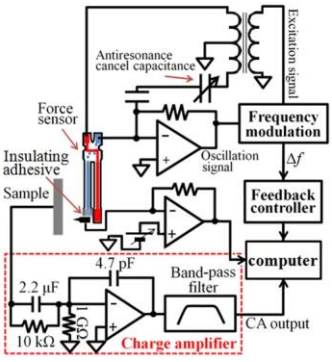

Fig. 1 チャージアンプを組み込んだ NC-AFM/STM の概略図.

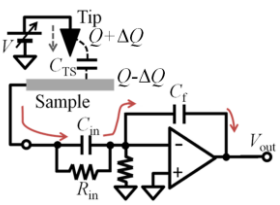

Fig. 2 探針試料間の電荷分布変化を基にしたチャージアンプ出力の検討.

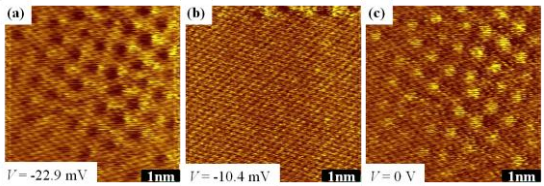

Fig. 3 ．探針試料間印加電圧を変化させて取得した CA 出力像．印加電圧を (a) V = -22.9 mV, (b) -10.4 mV, (c) 0 V．共振周波数 f_c = 29.894 kHz，振動振幅 A = 2.1 nm，共振周波数シフト Δf = -5.2 Hz，走査範囲 5×5 nm^2.

© 2015年 応用物理学会