

NC-AFM に組込んだチャージアンプの出力解析

Analysis of the output signal of a charge amplifier installed in NC-AFM

北陸先端大¹, 金沢大² ○野上 真¹, 新井 豊子², 笹原 亮¹, 富取 正彦¹

JAIST.¹, Kanazawa Univ.², ○Makoto Nogami¹, Toyoko Arai², Akira Sasahara¹, Masahiko Tomitori¹

E-mail: s1340011@jaist.ac.jp

【はじめに】近接する物体間の相互作用をナノスケールで解析し、理解することは、次世代の原子・分子レベルの電子デバイスを構築するために重要である。探針と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、ナノスケールで表面電子状態を解析できる強力な手法である^{1,2}。これらの顕微計測法を発展させるために、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試みを進めた。これまでに、CA 出力から Si(111)7×7 の原子分解像を得ている。前回、この原子像を理解するために、CA 出力波形を高速で記録し、探針 - 試料間の静電容量と接触電位差 (CPD) の関係を考察し、報告した³。今回、CA 出力の理解をさらに深めるために、探針 - 試料間印加電圧を変化させて CA 出力を計測・解析したので、報告する。

【実験】実験は、超高真空中 (UHV: 1×10^{-11} Torr) で稼働する自作 NC-AFM/STM を用いて室温環境で行った。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。装置構成は、NC-AFM/STM でトンネル電流検出に用いる電流アンプを CA と切換えて計測した。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。

【結果と考察】高さ一定モードで探針 - 試料間印加電圧

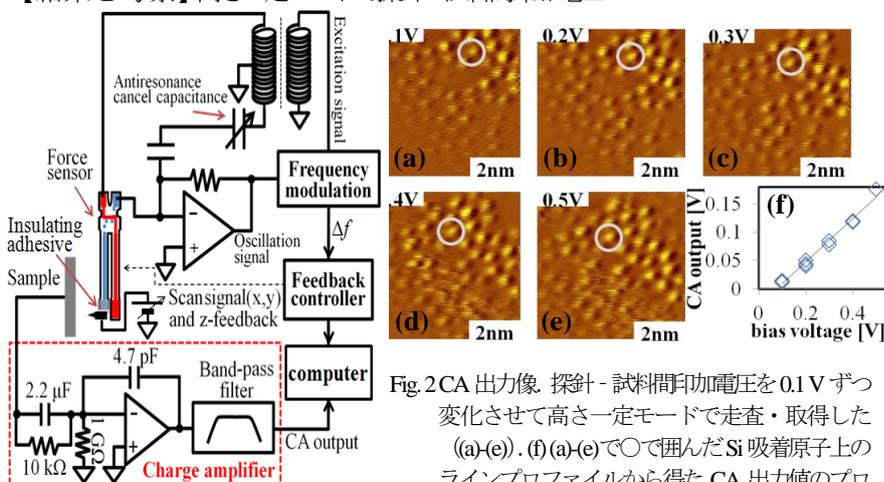


Fig. 1 チャージアンプ (CA) を組込んだ NC-AFM のブロックダイアグラム。

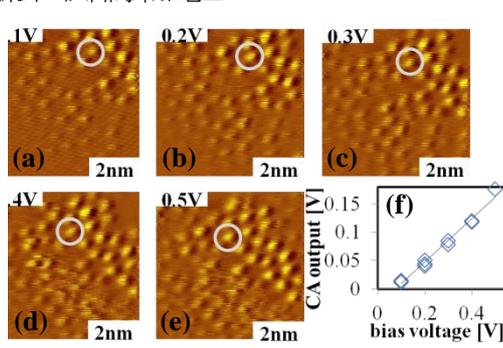


Fig. 2 CA 出力像。探針 - 試料間印加電圧を 0.1 V ずつ変化させて高さ一定モードで走査・取得した (a)-(e)。 (f) (a)-(e) で○で囲んだ Si 吸着原子上のラインプロファイルから得た CA 出力値のプロット。共振周波数: $f_c = 25.891$ kHz, 共振振幅: $A \sim 2.1$ nm, 走査速度: 99 nm/s, 共振周波数シフト: $\Delta f = -24.3$ Hz, 走査範囲: 6×6 nm²。

を変化させ、探針を走査して得た CA の出力像をそれぞれ Fig. 2 (a)~(e) に示す。一例として、○で囲んだ Si 吸着原子上でラインプロファイルを取り、CA 出力の値をプロットした (Fig. 2 (f))。前回の解析を基に、探針 - 試料間の接触電位差 (CPD) : V_{CPD} と静電容量 C_{TS} とし、探針 - 試料間の電荷量 $\Delta Q = C_{TS}(V_{CPD} - V)$ より、CA の帰還容量 C_f として、CA 出力 $V_{out} = -C_{TS}(V_{CPD} - V)/C_f$ を得る。そこで、探針 - 試料間電圧 V の変化に起因する V_{out} の電圧依存性を計測した (Fig. 2 (f))。Fig. 2 (f) から、探針試料間静電容量 $C_{TS} \sim 38$ fF、接触電位差 $V_{CPD} \sim 0.07$ V を得た。さらに、 V の極性を変えると CA 出力が反転することが確認できた (Fig. 3)。

【まとめ】CA 出力の電圧依存性を検証するために、CA を組み込んだ NC-AFM で得られた Si(111)-7×7 の原子像を考察した。探針 - 試料間の印加電圧を変化させて走査し、CA 出力の電圧依存性を示した。加えて、印加電圧の極性を反転させて、CA 出力が反転することを示した。古典的描画に基づき、本手法は探針 - 試料間の容量および接触電位差の計測法となり得ることを示した。

【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 61 回応用物理学会春季学術講演会 (2014) .
- [4] F. J. Giessibl: Appl. Phys. Lett., **76** (2000) 1470.

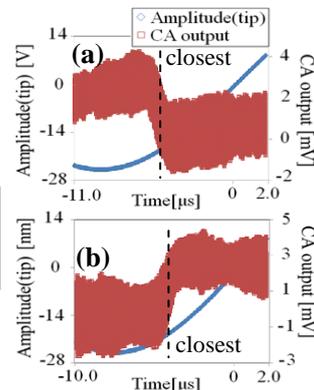


Fig. 3 試料電圧を (a) +0.3 V, および (b) -0.3 V 印加して取得した CA 出力 (赤のプロット)。青のプロットはセンサーの振動信号。破線は探針試料間の最近接位置での CA 出力の振舞い。