

STM における dI/dV 像の簡易モデルによる SN 比評価

Scanning tunneling spectroscopy evaluation by a simple model

北大理, °草薙 一輝, 岡崎 竜也, 朴 鎮佑, 佐藤 佑樹, 小川 義展, 松山 秀生

Hokkaido Univ., °Kazuki Kusanagi, Tatsuya Okazaki, Jinwoo Park, Yuki Sato, Yoshinobu Ogawa,

Hideo Matsuyama

E-mail: kusanagi@phys.sci.hokudai.ac.jp

走査トンネル顕微鏡 (STM) を使用し, 微分コンダクタンス (dI/dV , I : トンネル電流, V : バイアス電圧) を検出することで, 試料の局所状態密度 (LDOS) を評価することができる. LDOS の変化は微小なので, バイアス電圧に変調電圧を重畳し, ロックインの手法で計測することがよく行われる (バイアス変調法, Fig. 1 (a)参照). ただし, 探針-試料間に浮遊容量が必ず存在するので, ロックインアンプの出力にはこの影響が重畳される. 浮遊容量を通して流れる電束電流は検出信号と同じ周波数なので, ロックインの手法では深刻なノイズ源となる. 本研究では Fig. 1 (b)のように探針-試料を抵抗 R_s , 浮遊容量 C_s で置き換えた簡単なモデルとして扱い, 検出信号の SN 比を議論する. また浮遊容量 C_s を通して流れる電流をキャンセルする簡便な手法を提案する.

探針-試料間を Fig. 1(b)のように, また電流-電圧変換回路 (プリアンプ) を Fig. 1(a)のようにフィードバック抵抗 R_f , 容量 C_f のオペアンプ回路として解析する. ロックインアンプの出力電圧 V_o は重畳正弦波の振幅 V_i , 周波数 $\omega/2\pi$, R_f , C_f , および R_s , C_s に依存し,

$$V_o = -\frac{R_f}{R_s} \sqrt{\frac{1+\omega^2 C_s^2 R_s^2}{1+\omega^2 C_f^2 R_f^2}} V_i e^{i(\alpha\omega+\theta)}$$

となる[1]. ここで, $1/R_s$ はバイアス電圧 V_b での微分コンダクタンス dI/dV となる. この出力をロックインアンプで検出し, R_s を流れる電流 (トンネル電流) による出力が最大になるようにロックインの位相を合わせると, V_i で規格化した出力は,

$$\left| \frac{V_{Lockin}}{V_i} \right| \propto \frac{R_f}{R_s \sqrt{1+\omega^2 C_f^2 R_f^2}}$$

となる. 我々の極低温 STM では $C_f = 0.2$ pF であるので ($C_s = 0.65$ pF), $R_s = 10^8 \Omega$ として上記出力を Fig. 2(a)に示した. 帯域幅は $1/(2\pi C_f R_f)$ で決まることが分かる. 一方, ノイズはプリアンプの R_f でのジョンソンノイズとトンネル電流 (DC 成分) のショットノイズで評価でき, $\sqrt{R_f}$ に比例する. ここで LDOS 像 (dI/dV 像) を観察することを想定し, R_s 値が異なる 2 種類の領域が存在し, その差が ΔR_s として, SN 比を評価すると,

$$SN \propto \frac{\sqrt{R_f}}{R_s} \frac{1}{\sqrt{1+\omega^2 C_f^2 R_f^2}} \left(\frac{\Delta R_s}{R_s} \right)$$

となり, $(\Delta R_s/R_s)$ で規格化した SN 比の周波数依存性を Fig. 2(b)に示す. 約 3 kHz 以下では $R_f = 10^9$ (ゲイン 10^9), 3 ~ 30 kHz では 10^8 , 30 kHz 以上では 10^7 とすべきであることが分かる. ただし, 変調電圧はピエゾの z 方向のフィ

ードバックが追従できない周波数で使用する必要がある (例えば 1 kHz 以上). また Fig. 1(a)の点線内に示した回路を付加し, 変調電圧の位相を π 遅らせた電圧を入力することで浮遊容量 C_s を流れる電流をキャンセルすることが可能となる. 講演では上記の詳細および実際 STM で得られた dI/dV 像を示して議論する.

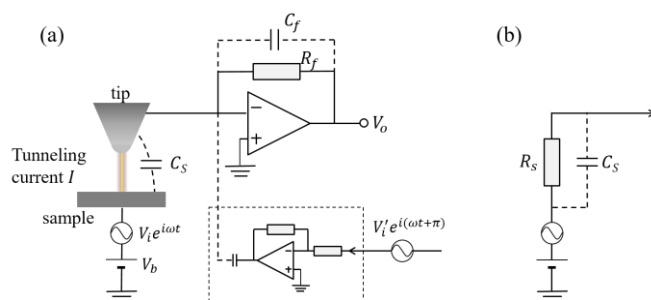


Figure 1 (a) STM circuit including a mechanism which cancels the current flowing through C_s (dotted area). (b) A simple model of the tip and sample.

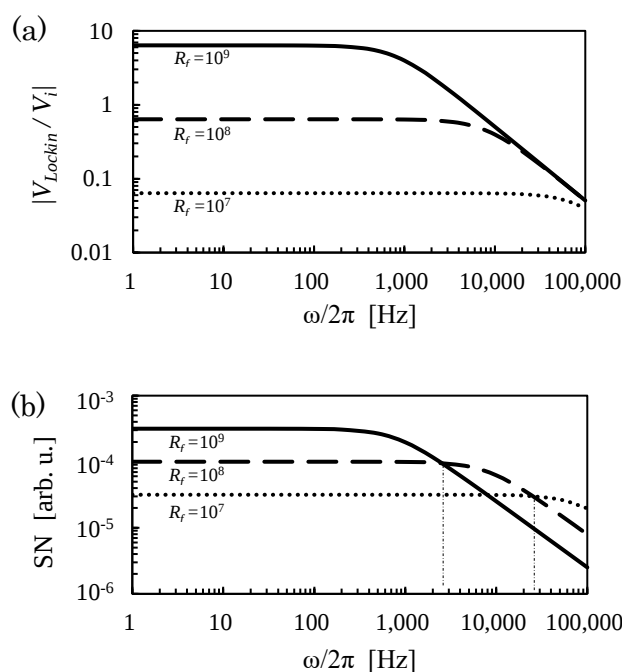


Figure 2 ω -dependence of $|V_{Lockin}/V_i|$ (a) and SN ratio (b) at $R_f = 10^9, 10^8, 10^7 \Omega$ ($C_f = 0.2$ pF, $R_s = 10^8 \Omega$)

Reference

[1] $\theta = \tan^{-1} \frac{\omega(C_s R_s - C_f R_f)}{1 + \omega^2 C_s C_f R_s R_f}$