金属探針を用いた非接触原子間力顕微鏡による試料表面抵抗測定

Measurement of sample surface resistance

by non-contact atomic force microscopy with metal tip

金沢大¹, 北陸先端大院² ⁰丸山 天悟¹, 笈田 浩平¹, 蔵 大輝¹, 富取 正彦^{2,} 新井 豊子¹

Kanazawa Univ.¹, JAIST² °T. Maruyama¹, K. Oida¹, D. Kura¹, M. Tomitori², T. Arai¹

E-mail: beziten@stu.kanazawa-u.ac.jp

電子デバイスの微細化・薄膜化により、バルクとは異なる表面の抵抗を測定する必要性が高まっ ている。我々は、超高真空非接触原子間力顕微鏡(nc-AFM)を用いて、ジュール発熱に由来するカ ンチレバーのエネルギー散逸量(D_J)と静電引力による共振周波数変化(Afele)の線形な関係性から、 探針と探針直下の試料との合成表面抵抗を算出できることを示した[1]。本手法では、表面抵抗を 非接触で且つ探針先端径程度の空間分解能で測定できる。参考文献1の研究では、Si 探針を用い たため、求めた抵抗値は、試料よりも探針の抵抗寄与が大きかった。そこで本研究では、nc-AFM に金属探針を用いることで探針側の抵抗寄与を小さくし、試料側の表面抵抗を測定する。力セン サーとして、高いQ値を実現できる共振再調整(Retuned tuning fork: RTF)カセンサー[2]を用いた(音 叉型水晶振動子の片側のプロングに探針を取り付け、その荷重分のプロングを削ることで2本の プロングの再調整を行う)。力センサーのQ値は、Δfの検出感度のみならずエネルギー散逸計測 にも影響する。Q値の高いRTFセンサーを用いることによって、抵抗検出感度の向上も期待でき る。探針作製法としては、酸化性炎の中でタングステン線を酸化・昇華することでタングステン 線を先鋭化させる炎エッチング用いた。探針先端半径に比べて探針と試料の距離が十分に近い、 しかしトンネル電流は流れない程度の距離(2 nm 程度)において、試料印加電圧を変化させながら エネルギー散逸量と共振周波数変化(4f)を同時取得した。この探針--試料間距離でのエネルギー散 逸の起源はジュール発熱のみである。図は、試料として Si(111)-7×7 再構成表面を使用し、取得 した Δf から Van der Waals 成分(Δfvdw)を引くことで Δfele を算出し、DJ を縦軸に、Δfele を横軸にプロ ットしたグラフである。両者は式 $D_J = -16 \pi^3 \epsilon r_{tip} R_J k A^2 \Delta f_{ele}$ (ϵ :真空誘電率、 r_{tip} : 探針先端半径、 k: ばね定数、A: 振幅、R: 表面抵抗)の線形な関係を持つ。プロット点を線形近似(図の赤線)する ことで傾きを求めた。表面抵抗 R_I以外は既知の値であるので、近似直線の傾きと比較することで 表面抵抗値を200 MΩと算出できた。

炎エッチングや清浄化処理の条件を検討し、探針側の抵抗寄与を可能な限り小さくした状態で測定した Si(111)-7×7 再構成表面の表面抵抗値は数 MΩ程度で あった。この値は、Si 探針を用いていた先行研究[1] よりも小さな値である。しかし、探針側の寄与を完全 に除去できているとは断定はできない。そこで、Si に 比べて抵抗の低い金属薄膜表面を持つ金マイカを試 料とすることで、探針側の表面抵抗値を算出する。こ の値から、Si 試料で測定した場合の探針と試料それぞ れの寄与を抽出できると考えている。詳細は当日議論 する。



Fig. 1 Plots of D_J - Δf_{ele} relationship, obtained at a tip-sample distance of 2 nm with respect to the sample bias voltage.

[1] T. Arai, D. Kura, R. Inamura, and M. Tomitori, Jpn. J. Appl. Phys. 57, 08NB04 (2018)

[2] H. Ooe, M. Fujii, M. Tomitori, and T. Arai, Rev. Sci. Instrum. 87, 023702 (2016)