

静電気力顕微鏡における誘電体上でのセンサ先端-測定面距離制御の検討
 Examination of Automatic Distance Controlling System between Sensor Tip and Sample under Test
 on Dielectric Sample for Electrostatic Force Microscopy

○池内 凌¹, 芦澤 好人², 上原 利夫³, 中川 活二²

*Ryo Ikeuchi¹, Yoshito Ashizawa², Toshio Uehara³, Katsuji Nakagawa²

An electrostatic force microscope (EFM) is a device that can measure a surface potential distribution without contact. When a sensor tip (ST) scans over a sample under test (SUT), a crush trouble between the ST and the SUT was a serious issue to be solved. In previous studies, an automatic control method to keep the distance between the ST and the SUT has been proposed under an ideal condition, but it was not studied for a SUT with a dielectric layer. Now, we studied such a case with a dielectric layer for a SUT, and found that the effect by the dielectric layer to the distance control is almost negligible for a normal measurement condition.

1. はじめに

静電気力顕微鏡 (EFM) は表面電位分布を大気中にて高電圧の測定試料を非接触、高空間分解能で測定できる装置であり、その構成概念図を Fig. 1 に示す。センサ走査時に、近接したセンサ先端と試料の接触が問題となり、先行研究において金属試料測定時の EFM のセンサ先端-測定物表面間距離 d の自動制御が実現^[1]された。しかし誘電体薄膜のある試料に対しては解析されていなかった。そこで本研究では、測定対象の表面誘電体の誘電率の変化に関わらず d の自動制御を行うことを目標とし、距離制御用信号の誘電率依存性を計測シミュレーションにより明らかにした。

2. G の定義と理論的解析

EFM において、センサ-測定試料間の電位差と検出信号は比例の関係にあり、比例係数は G と定義されている^[2]。 G はセンサ先端-測定面距離に依存するため距離制御用の信号として用いられている。先行研究では、 G の d 依存性についての解析解を表現できるモデルとして大気中で Fig. 2 に示すモデルを検討し G の理論的解析が行われた^[1]。本モデルではセンサ先端を円板電極で近似し、試料に見立てた無限平板グラウンド上で距離 d に円板電極を置き、その電位差を V とした。映像円板電極を置くことにより、式(1)に示す G の d 依存性の理論式を求めた。

$$G = \frac{\partial F}{\partial V} = 8\pi\epsilon_0 R^2 V \left(1 - \frac{d}{\sqrt{4d^2 + R^2}}\right) \left(\frac{1}{2d + R - \sqrt{4d^2 + R^2}}\right)^2 \dots\dots\dots (1)$$

式(1)より、大気中での距離 d の情報を得ることができるが、大気を誘電体に置き換えると、 G は周りの誘電率増加に伴って増大する。そこで、グラウンド電位の金属上に誘電体膜があるときの検討を行った。

3. G の誘電率依存性

G の誘電率依存性を知るため、電極上に誘電体層が存在する試料について COMSOL[®]を用いて計測シミュレーションを行い、センサに働く静電気力 F とセンサ-試料間の電位差 V_{dir} から G を算出した。計算モデル中のセンサ形状は先端幅が $5 \mu\text{m}$ のものを使用した。また、試料は 1 V の電圧を印加した電極上に膜厚 t の誘電体膜を配置し、誘電体層の比誘電率 ϵ_r を変化して計測評価した。結果として $d = 5 \mu\text{m}$, $\epsilon_r = 20$, $t = 0.1 \mu\text{m}$ の G は $\epsilon_r = 1$ の場合より 2.8% 増大し、自動設定の d の誤差に換算すると $0.07 \mu\text{m}$ (1.4%) で小さい事が分かった。

参考文献

[1] T. Uehara *et al.*: "A New Sensor Adjacent Methodology for High Spatial Resolution and High Voltage Measurement", NIP 27 and Digital Fabrication 2011 Conference, pp. 564-567, October 5, 2011.
 [2] 西口義和 他:「静電気力顕微鏡のセンサにおける静電気力検出感度によるセンサ先端-測定面距離自動制御」, 電気学会論文誌 A, 141 巻, 6 号, pp.373-378, 2021.

1 : 日大理工・院(前)・電子 2 : 日大理工・教員・電子 3 : 日大理工・研究員

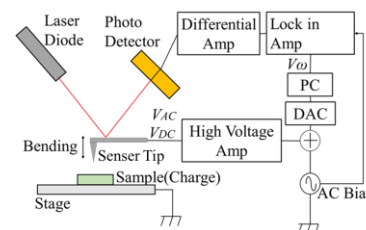


Fig.1 Diagram of EFM

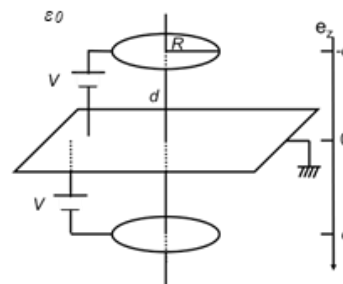


Fig.2 Theoretical analysis model of G