

M-19

静電気力顕微鏡における高電圧未知試料測定のためのセンサー接近法

A Sensor Adjacent Methodology for Measuring Unknown High Voltage with Electrostatic Force Microscope

齋藤智晴<sup>1</sup>, 上原利夫<sup>2</sup>, 東尾順平<sup>2</sup>, 芦澤好人<sup>3</sup>, 中川活二<sup>3</sup>, 伊藤彰義<sup>3</sup>

Tomoharu Saito<sup>1</sup>, Toshio Uehara<sup>2</sup>, Jumpei Higashio<sup>2</sup>, Yoshito Ashizawa<sup>3</sup>, Katsuji Nakagawa<sup>3</sup>, Akiyoshi Itoh<sup>3</sup>

We showed that the EFM with a new sensor approaching method for high spatial resolution and high voltage measurement can be approached the unknown voltage without causing any unexpected arcing. We introduced two new techniques, i.e. 1) keeping the detecting sensitivity  $G$  larger than  $0.1 \times 10^{-4}$  in order to work the feedback to the cantilever and the sensor without failure, 2) adjusting AC bias voltage to obtain constant  $G$  although the sensor is far apart from the surface under test. We were able to approach a 500 V of the surface under test without causing any arcing with keeping both DC and AC bias voltage feedback system from the distance of 1000  $\mu\text{m}$  to 5  $\mu\text{m}$  through adjusting AC bias voltage to the sensor from 200  $V_{\text{p-p}}$  to 12  $V_{\text{p-p}}$ .

1. はじめに

これまで我々は感光体表面の電位を測定するために 1) 10 $\mu\text{m}$ 程度の高分解能, 2) 数 $\text{mm}^2 \sim$  数 $\text{cm}^2$ 程度の広い範囲が測定可能, 3)  $\pm 1\text{kV}$ までの高電圧を測定可能, 4) 大気中で測定可能な静電気力顕微鏡 (Electrostatic Force Microscope: EFM) の製作を行ってきた<sup>1)</sup>. 本EFMを用いて大気中での感光体キャリア輸送層の表面電位の時間変化の観測に成功している<sup>2)</sup>.

本EFMは, センサー(探針)と測定試料間距離を5 $\mu\text{m}$ まで接近させた後に, 零位法を用いたフィードバックを適用し, センサーと測定試料を等電位にすることで測定を行っている. しかし感光体の表面電位は未知の高電圧であるため, 従来のフィードバックを行わずに接近させる方法では, 近接中に放電する問題があった.

そこで, 放電せず遠方からセンサーを接近する新しい方法を提案した. センサーにフィードバックを安定して行うことのできる最小の検出感度を決定し, さらに, センサーに印加する AC バイアス電圧を調整することにより, センサーが測定試料から遠い位置でもフィードバックが行えることを示した.

2. 静電気力顕微鏡の測定原理

静電気力顕微鏡の原理図を Fig. 1 に示す. カンチレバーに直流電圧 ( $V_{\text{DC}}$ ), 交流電圧 ( $V_{\text{AC}} \sin \omega t$ ) を印加し, 帯電した試料表面に接近させる. その際, 静電誘導によりカンチレバーと試料の間に静電力が発生することでカンチレバーがたわむ. このたわみ量を光でこ法で検出する.

静電気力顕微鏡で用いる零位法のための検出信号の振動周波数  $\omega$  成分  $V_{\omega}$  と印加電圧  $V_{\text{DC}\pm}$  との関係を図. 2

に示す. 2 種類の  $V_{\text{DC}+}$  と  $V_{\text{DC}-}$  をカンチレバーに印加して  $V_{\omega}$  を測定し,  $V_{\omega}$  がゼロとなる  $V_{\text{DC}}$  を求める. 得られた  $V_{\text{DC}}$  をカンチレバーにフィードバックすることによりカンチレバーと測定試料との間に電位差がなくなり, 放電を起こさずに測定が可能になる.

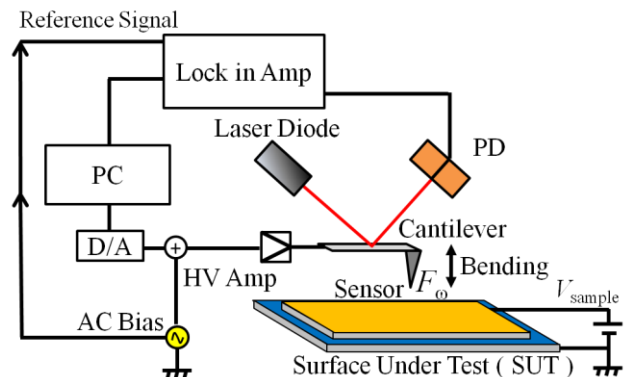


Fig. 1 The Block diagram of Electrostatic Force Microscope

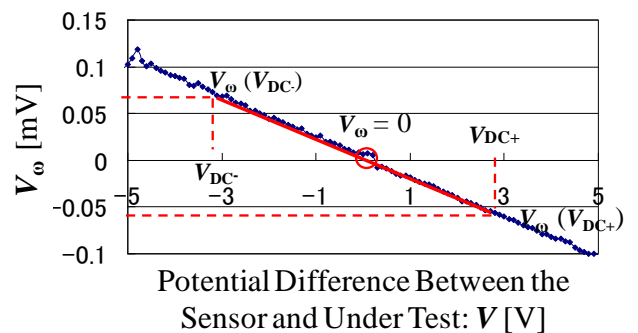


Fig. 2 The relationship between  $V_{\omega}$  and  $V_{\text{DC}\pm}$ ,  $V_{\text{DC}}$  for the null-method

1: 日大理工・院・電子 2: TREK JAPAN 3: 日大理工・教員・子情

### 3. 高電圧未知試料へのセンサー接近法

#### 1) 検出感度 $G$

従来の測定は、センサーと測定試料との距離  $D$  を  $5 \mu\text{m}$  まで接近した後に試料に直流電圧を印加することで十分な検出信号  $V_0$  を得て、フィードバックを行うことが可能であった。しかしすでに高電圧の印加された試料を測定する場合、探針を試料に接近させると放電を起こす可能性がある。放電を防止するためには、センサーと測定試料との距離が十分に離れた位置においてフィードバックを行う必要がある。そこで我々は検出信号  $V_0$  と距離  $D$  の関係を検出感度  $G$  として次式のように定義した。

$$G = \left| \frac{V_\omega(V_{DC+}) - V_\omega(V_{DC-})}{V_{DC+} - V_{DC-}} \right|$$

#### 2) 検出感度 $G$ の距離 $D$ に対する依存性

センサーと測定試料との距離  $D$  を  $1 \sim 30 \mu\text{m}$  まで変化した時の  $G$  と  $D$  の関係を Fig. 3 に示す。この測定はカンチレバーに交流電圧  $V_{AC}$  を  $12\text{V}$  印加して行った。 $G$  は  $D$  に対して反比例で変化することを確認した。また  $30 \mu\text{m}$  で  $G$  は  $0.1 \times 10^{-4}$  を示し、この値以上であればカンチレバーにフィードバックが行えることを確認した。 $G$  が  $0.1 \times 10^{-4}$  以下では安定にフィードバックを行えないため、最小の検出感度を  $G_{\min} = 0.1 \times 10^{-4}$  と決定した。従来の測定距離  $5 \mu\text{m}$  での  $G$  は  $0.24 \times 10^{-4}$  であった。

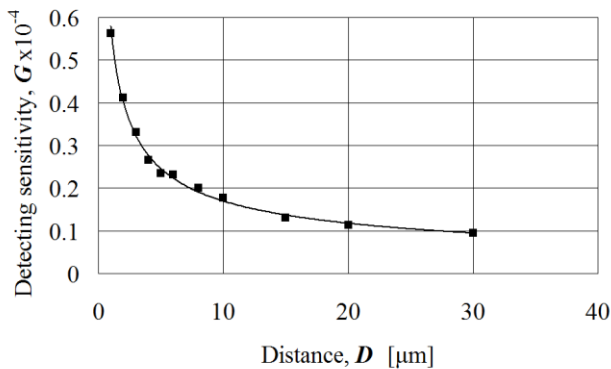


Fig.3 The dependence of the detecting sensitivity  $G$  on the distance  $D$

#### 3) 検出感度 $G$ の調整方法

フィードバックを行うためにはセンサーと測定試料との距離  $D$  が離れていても検出感度  $G$  が  $0.1 \times 10^{-4}$  以上に保たれていることが必要である。そこで距離  $D$  が離れても検出信号  $V_0$  を得るためにカンチレバーに印

加する交流電圧  $V_{AC}$  を増大した。その概念図を Fig. 4 に示す。交流電圧を増加することで  $G$  のグラフは遠距離側へ移動し、 $D = 1000 \mu\text{m}$  においても  $G_{\min}$  以上の値が得られることを確認した。また測定試料に直流電圧  $500 \text{V}$  を印加し 50 回測定した際の分散は  $0.2 \%$  以下であり、 $D = 1000 \mu\text{m}$  でも放電することなくフィードバックを行えることを確認した。

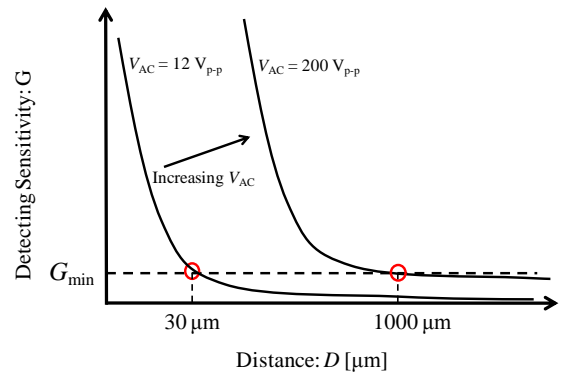


Fig.4 The dependence of the detecting sensitivity  $G$  on the distance  $D$  at  $V_{AC}$  of  $200 \text{V}_{p-p}$

#### 4. まとめ

静電気力顕微鏡の新たな機構として放電なしに電圧未知試料を測定するためのセンサー接近法を考案した。まず検出信号  $V_0$  と距離の関係を検出感度  $G$  として定義した。そして最小の  $G_{\min}$  の値を調べた。センサーと測定試料との距離  $D$  が  $1000 \mu\text{m}$  でも交流電圧を  $200 \text{V}$  にすることで  $G_{\min}$  を得ることができ、放電することなくフィードバックが行えることを確認した。

#### 4. 参考文献

- [1] T. Uehara, J. Higashio, Y. Ashizawa, K. Aizawa, K. Nakagawa, and A. Itoh, "Real time observation of surface potential distribution with an EFM on CTL", Proc. NIP25, pp. 212-215. (2009).
- [2] T. Uehara, T. Matsumaru, J. Higashio, K. Nakagawa, and A. Itoh, "A measurement of high surface voltage with an Electrostatic Force Microscope", Proc. ICJ Fall Meeting, pp. 41-44. (2004). [in Japanese].
- [3] H. Yokoyama, T. Inoue, and J. Itoh, "Nonresonant detection of electric force gradients by dynamic force microscopy," Appl. Phys. Lett., Vol. 65, pp. 3143-3145 (1994).