

# 高電位静電気力顕微鏡を用いた表面電位計測における 静電シールドの外乱電界抑制効果

有泉 龍馬\*, 中川 活二\*\*, 上原 利夫\*\*, 岸本 幸樹\*\*\*,  
塙田 裕基\*\*\*, 武藤 浩隆\*\*\*, 芦澤 好人\*\*\*,<sup>1</sup>

(2025年9月11日受付; 2025年11月19日受理)

## Effectiveness of Electrostatic Shield in Reducing External Field Interference During Surface Potential Measurements Using High Voltage Electrostatic Force Microscopy

Ryuma ARIIZUMI\*, Katsuji NAKAGAWA\*\*, Toshio UEHARA\*\*, Koki KISHIMOTO\*\*\*,  
Hiroki SHIOTA\*\*\*, Hirotaka MUTO\*\*\* and Yoshito ASHIZAWA\*\*\*,<sup>1</sup>

(Received September 11, 2025; Accepted November 19, 2025)

A cantilever holder incorporating an additional electrostatic shield was developed to mitigate external electrostatic interference acting on the cantilever from surrounding electric fields, which can significantly affect the accuracy of surface potential measurements in high voltage electrostatic force microscopy. By positioning the electrostatic shield at the front end of the holder, measurement errors caused by unwanted electric fields were reduced by 98.1% compared with those obtained using a conventional holder. Finite element method analysis demonstrated that the electric field on the upper surface of the cantilever decreased by 94.4%, while the torque ratio, corresponding to the signal-to-noise ratio, was suppressed by 98.2%. These analytical results are in strong agreement with the experimental findings, confirming the effectiveness of the electrostatic shielding approach.

### 1. はじめに

近年、電子写真の感光体や半導体デバイス、振動発電に用いられるエレクトレットなど、数百V以上の高表面電位をmmオーダー以下の空間分解能で計測する重要性が高まっている。我々は、非接触で±2kVまでの高表面電位を測定可能であり、10μmの空間分解能を有する高電位静電気力顕微鏡（High Voltage Electrostatic Force Microscopy: HV-EFM）の研究開発を独自に行ってきました<sup>1-6)</sup>。

HV-EFMでは、走査型プローブ顕微鏡の一つで接触電位

**キーワード**：高電位静電気力顕微鏡、表面電位計測、静電シールド、静電界解析、有限要素法

\* 日本大学大学院理工学研究科

(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

Graduate School of Science and Technology, Nihon University,  
7-24-1, Narashinodai, Funabashi, Chiba 274-8501, Japan

\*\* 日本大学理工学部

(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

College of Science and Technology, Nihon University, 7-24-1,  
Narashinodai, Funabashi, Chiba 274-8501, Japan

\*\*\* 三菱電機株式会社

(〒661-8661 兵庫県尼崎市塚口本町8-1-1)

Mitsubishi Electric Corporation1, 8-1-1, Tsukaguchi-honmachi,  
Amagasaki, Hyogo 661-8661, Japan

<sup>1</sup> ashizawa.yoshito@nihon-u.ac.jp

DOI : <https://doi.org/10.34342/iesj.2026.50.1.8>

差を計測する一般的なケルビンプローブフォース顕微鏡 (Kelvin Probe Force Microscopy: KPFM)<sup>7)</sup>と同様に、カンチレバーとその自由端に取り付けられた探針に直流電圧  $V_{dc}$  及び角周波数  $\omega$  の交流電圧  $V_{ac}$  を印加し、光てこ法により、共振したカンチレバーの  $\omega$  成分を  $V_{\omega}$  として取得する。 $V_{\omega}$  が0となるような  $V_{dc}$  を求めるフィードバック制御を行うことにより試料の表面電位  $V_s$  を計測している。ここで、 $V_{dc}$  決定の際に、 $V_{dc}$  に推定値  $V_s' \pm 3$  V の2点を印加したときのそれぞれの  $V_{\omega}$  を用いて  $V_{\omega}=0$  となる  $V_s$  を決めている。なお、高表面電位計測において特に優れている HV-EFM に対して、KPFM の通常の高電圧化検討のこれまでの報告では高々100V程度<sup>8)</sup>の電位計測である。

HV-EFMでは探針先端で受ける静電気力によるカンチレバーの変位から電位を計測する。カンチレバーの試料側の面(下面)に働く不要な静電気力を、図1のようにカンチレバーの試料側 100 μm 離れた位置に、カンチレバーと同電位の下部シールドを取り付けて抑制している<sup>1-3, 5, 6, 9, 10)</sup>。しかし、探針直下の測定領域の表面電位と異なる電位が試料上に広く存在する場合に、カンチレバーの試料と反対側の面(上面)に働く静電気力を無視できない場合があることが問題となった。

カンチレバー上面に影響する不要な電界を遮蔽するにあたり、測定の際にカンチレバーの上面にレーザを照射するため、下部シールドと同様な構造で上面を直接遮蔽するこ

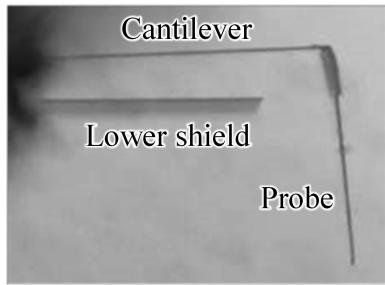


図1 カンチレバー、探針及び下部シールドの写真  
Fig.1 Photograph of a cantilever, a probe, and a lower shield.

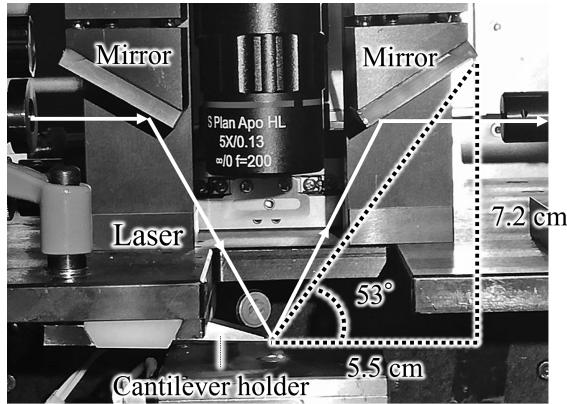


図2 前方シールドの傾斜角度の概算  
Fig.2 Estimation of inclination angle of the forward shield.

とができない。そこで、光路を遮蔽しない構造として、カンチレバーの長手前方に傾斜角度45°のシールド部を有するカンチレバーホルダ（前方シールドホルダ）を検討した<sup>10)</sup>。なお、傾斜角度は、図2に示す実際のHV-EFMにおける光てこ法の反射光の光路とカンチレバーとのなす最小角度53°程度に収まるように設計している。有限要素法による2次元モデルの静電界シミュレーションを用いて、一様な電位の平板試料において前方シールドホルダの評価を行った結果、長手前方からカンチレバー上面に働く電界を、従来よりも90%以上抑制できることを示している<sup>10)</sup>。

しかし、実際に問題となった探針直下の測定領域の表面電位と異なる電位が試料上にある場合の外乱電界の影響は、十分に明らかになっていない。そこで、前方シールドホルダを用いた実測及び有限要素法の計算により、長手前方からの外乱電界による影響及びその抑制による測定誤差低減を定量的に評価することを目的とする。

## 2. 前方シールドホルダを用いた計測誤差低減の評価

### 2.1 実験方法

測定誤差低減の実証実験を行うために、前方シールドホルダを製作した。従来ホルダ及び設計を元に作製した前方シールドホルダの写真を図3(a), (b)にそれぞれ示す。先行研究の計算モデル<sup>10)</sup>と同様に、前方シールドの長手前

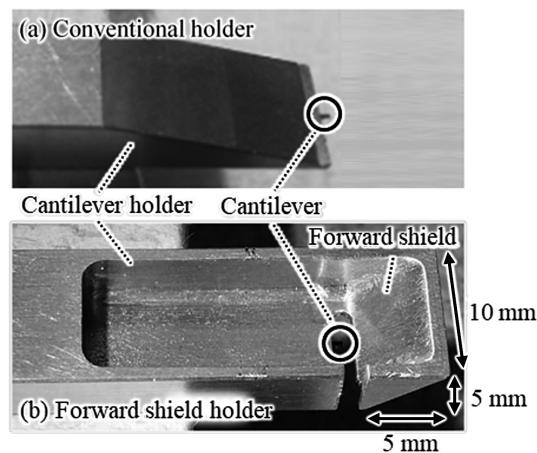


図3 カンチレバーホルダの写真. (a) 従来のカンチレバーホルダ及び(b) 前方シールドホルダ

Fig.3 Photographs of cantilever holders, (a) conventional holder and (b) forward shield holder.

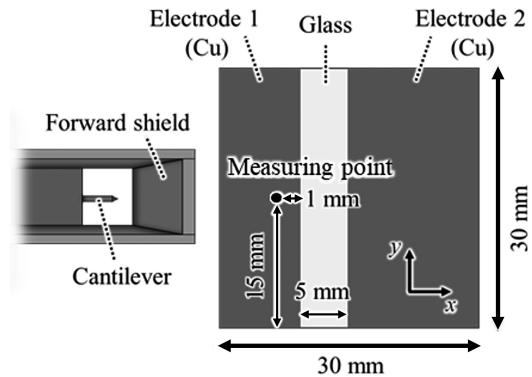


図4 測定方向と測定試料

Fig.4 Measurement direction and measurement sample.

方の傾斜角度を45°とし、寸法を長手方向長さ5 mm × 高さ5 mm × 幅10 mmとした。長手前方以外からの電界の影響を少しでも抑制するため、側面はカンチレバーの周囲を囲むように鉛直のシールド構造とした。なお、測定時にカメラを用いて横から探針を観察するため、前方シールドの片側には1.5 mmの間隙を設けている。

長手前方からの外乱電界の影響を評価するための測定試料として、図4に示す30 mm角のガラス基板上に成膜した厚さ300 nmの2つの銅板電極を用いた。電極間の距離は、前方シールドの外側から回り込む電界を評価すること及び実験を行う上で大きな電位差でも電極間で放電しないことを考慮して、長手前方の前方シールドの長さと同じ5 mmとした。測定用電極（電極1）は  $V_1 = 0$  Vに固定し、外因用電極（電極2）に  $V_2 = -100 \sim 100$  Vまで20 Vずつ変化して電圧を印加した。

計測位置を電極1の右端から $-x$ 方向へ1 mm,  $y$ 方向下端から15 mmとした。前方シールドホルダ及び従来ホルダとともに、図4に示したように、長手前方が電極2の方向を向くよ

うに配置することで、模擬的に2次元モデルと同様の状況での測定を行った。また、測定時の探針-試料間距離は20  $\mu\text{m}$  とし、定点測定100回の平均値を測定電位  $V_s$  とした。

## 2.2 実験結果

従来ホルダ及び前方シールドホルダを用いて測定した、 $V_2$ に対する電極1の  $V_s$ を図5に示す。電極1への印加電圧  $V_1 = 0\text{ V}$  であるため、 $V_s$ がそのまま測定誤差を意味している。従来ホルダでは、 $V_s$ は  $V_2$ に対して傾きが負の線形的な変化を示した。この  $V_2$ に対して逆極性の誤差が発生している原因是、信号源である探針先端に影響する電界と逆方向の電界がカンチレバー上面に影響しているためと考えられる。 $V_s$ の変化率は  $-7.73 \times 10^{-3}$  であった。また、 $V_2 = 100\text{ V}$  の場合に  $V_s = -0.8\text{ V}$  程度であり、従来ホルダを用いた計測では、1%未満の誤差があることがわかる。一方、前方シールドホルダの場合では、 $V_s$ の変化率は大幅に低減し、 $-1.51 \times 10^{-4}$  であった。また、 $V_2 = 100\text{ V}$  の場合に  $V_s = -0.02\text{ V}$  程度で0.1%未満の誤差となり、従来ホルダの場合と比べて98.1%低減している。この結果より、前方シールドホルダにより、長手前方の電位分布による測定誤差を抑制可能であり、より多様な電位分布を持つ試料の測定の信頼度が向上したことが実験的に示された。

## 3. 有限要素法による解析

### 3.1 解析方法

長手前方からの外乱電界の影響の定量的な評価のために、シミュレーションソフト COMSOL<sup>®</sup>を使用して有限要素法による静電界解析を行った。前方シールドホルダ及び従来ホルダの2種類において、図6に示す2次元モデルを用いて探針先端及びカンチレバー上下面の電界の影響を解析した。

実測と同様の状況で測定領域外からの電界の影響を解析するため、GNDステージに置いたガラス基板上に、測定用電極（電極1）と外因用電極（電極2）を5 mmの間隔をあけて同一面内に設置した。空間は空気とし、実際の構造にあわせてホルダの先端部に長さ1 mmのカンチレバー、カンチレバーの自由端に長さ450  $\mu\text{m}$  の探針、カンチレバーの下部100  $\mu\text{m}$ の位置に長さ800  $\mu\text{m}$ の下部シールドを設置した。探針は、探針-試料間距離を20  $\mu\text{m}$ として、電極1の右端から-x方向へ1 mmの位置に設置した。カンチレバー、探針、下部シールドの厚さは5  $\mu\text{m}$ とした。前方シールドは、カンチレバーの自由端からx軸方向へ500  $\mu\text{m}$ の位置にx、z軸方向それぞれに5 mm、傾斜角度45°として設置した。

電極1には  $V_1 = 0\text{ V}$ 、電極2には  $V_2 = -100\text{ V}$ ～ $100\text{ V}$ の電圧を印加した。探針、カンチレバー、カンチレバーホルダ、下部シールド、前方シールドは常に同電位とし、 $\pm 3\text{ V}$ の電圧  $V_{\text{DC}}$ を印加した。これは、測定時に  $V_{\text{DC}}$ に  $V_s \pm 3\text{ V}$ の

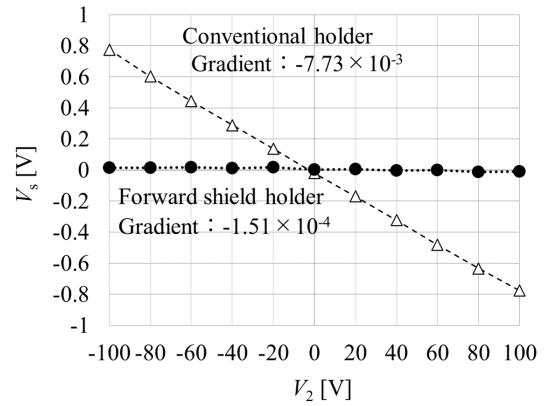


図5 前方シールドホルダ及び従来ホルダを用いて測定した表面電位  $V_s$ の電極2への印加電圧  $V_2$ 依存性

Fig.5 Measured surface potential  $V_s$  as a function of applied voltage to electrode 2,  $V_2$ .

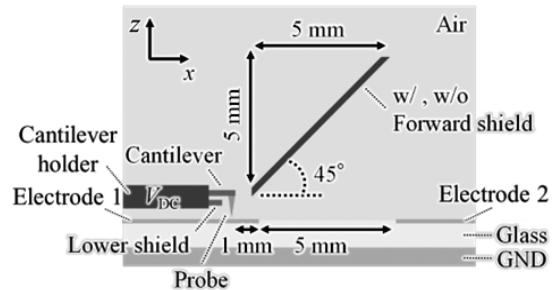


図6 有限要素法を用いた解析モデルの概略図

Fig.6 Schematic diagram of analytical model using finite element method.

電圧を印加することに対応している。

静電界解析により、全空間の電位と電界、探針先端及び、カンチレバー上下面の電界のz方向成分  $E_z$ を取得した。 $E_z$ とその位置のx座標を用いて探針先端及び、カンチレバー上下面に働くトルク  $T$ を算出し、探針先端のトルクで規格化したカンチレバー上面のトルクを算出することで、外乱電界の影響の評価を行った。

### 3.2 電位分布及び電界分布解析

前方シールドホルダ及び従来ホルダにおいて  $V_{\text{DC}} = +3\text{ V}$  の場合の電位分布を図7に示す。図7(a)及び(b)に示す  $V_2 = 0\text{ V}$  の場合の電位分布では、前方シールドホルダ及び従来ホルダの電位の変化はほぼない。一方、 $V_2 = 100\text{ V}$  の場合の電位分布では、図7(c)に示す従来ホルダにおいて、電極2からカンチレバー上部の前方にかけて連続的に電位が変化している。また、図7(d)に示す前方シールドホルダにおいて、電極2から前方シールドまでの間において変化し、前方シールドからカンチレバー上部までの変化は小さい。このことは、従来ホルダと比較して、前方シールドホルダの場合には、カンチレバー付近の電界が弱いことを示唆している。

続いて、前方シールドホルダ及び従来ホルダにおいて

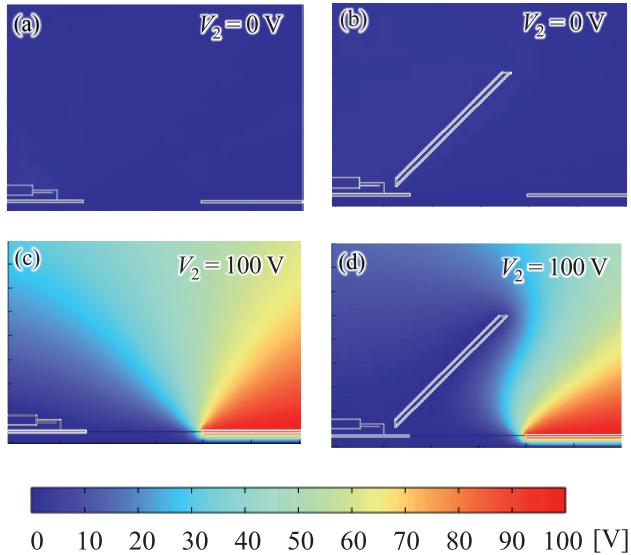


図7 電位分布の計算結果 (a) 従来ホルダ, 電極2への印加電圧  $V_2 = 0$  V, (b) 前方シールドホルダ,  $V_2 = 0$  V, (c) 従来ホルダ,  $V_2 = 100$  V, (d) 前方シールドホルダ,  $V_2 = 100$  V

Fig.7 Calculation results of electric potential distribution, (a) conventional holder, electrode 2 voltage  $V_2 = 0$  V, (b) forward shield holder,  $V_2 = 0$  V, (c) conventional holder,  $V_2 = 100$  V, (d) forward shield holder,  $V_2 = 100$  V.

$V_{DC} = +3$  Vの場合の電界分布を図8に示す。図8 (a) 及び (b) に示す  $V_2 = 0$  Vの場合の電界は、前方シールドホルダ及び従来ホルダそれぞれにおいて、いずれも周囲より電位の高いカンチレバーや前方シールドから GND の電極2等に向かって分布している。一方、 $V_2 = 100$  Vの場合の電界は、図8 (c) に示す従来ホルダにおいて、電極2の表面から円弧を描くようにカンチレバー上面に向かって分布し、下部シールドや従来ホルダから試料に向かって分布しているが、その大きさは微弱である。一方、図8 (d) に示す前方シールドホルダを用いた場合の電界は、いずれも強度が高く、電極2から前方シールドの表面及び裏面まで分布し、下部シールドやホルダからは従来ホルダと同様に試料に向かって分布している。さらに、カンチレバー付近の拡大図8 (e) 及び (f) を比較すると、前方シールドホルダのカンチレバー上面に影響を及ぼしている電界は、カンチレバーと前方シールドとの 500  $\mu$ m の隙間、及び、前方シールドの外側から回り込む微弱な電界のみとなっており、カンチレバー上側での電界強度は、前方シールドホルダの方が 1桁程度小さくなっている。このことから、前方シールドがカンチレバー上面に及ぼす電極2から発生する外乱電界の影響を抑制していることがわかる。

測定誤差の原因となる外乱電界の影響を定量的に議論するため、 $V_{DC} = +3$  V,  $V_2 = 100$  Vの場合の探針先端の  $E_z$  及びカンチレバー上下面の  $E_z$  をカンチレバーの固定端からの距離  $x$  に対して図9に示す。まず、探針先端及びカン

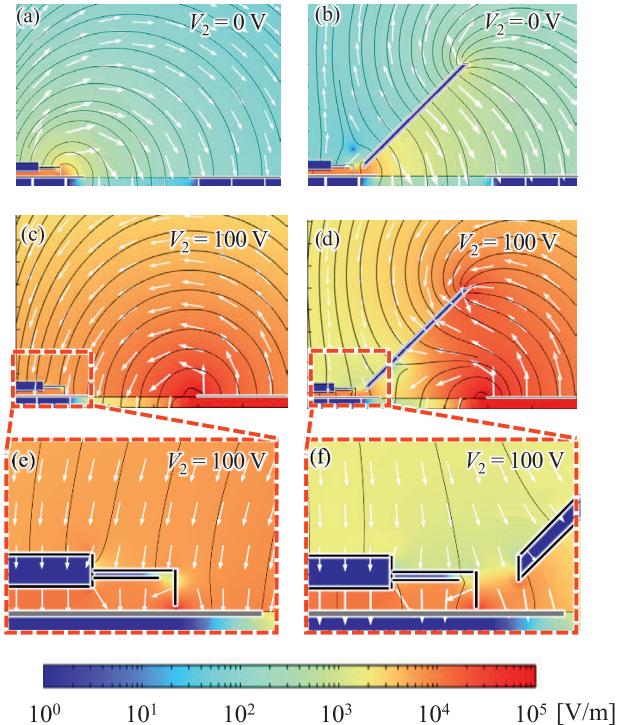


図8 電界分布の計算結果 (a) 従来ホルダ, 電極2への印加電圧  $V_2 = 0$  V, (b) 前方シールドホルダ,  $V_2 = 0$  V, (c) 従来ホルダ,  $V_2 = 100$  V, (d) 前方シールドホルダ,  $V_2 = 100$  V, (e) (c) の拡大図, (f) (d) の拡大図

Fig.8 Calculation results of electric field distribution, (a) conventional holder, electrode 2 voltage  $V_2 = 0$  V, (b) forward shield holder,  $V_2 = 0$  V, (c) conventional holder,  $V_2 = 100$  V, (d) forward shield holder,  $V_2 = 100$  V, (e) enlargement view of (c), (f) enlargement view of (d).

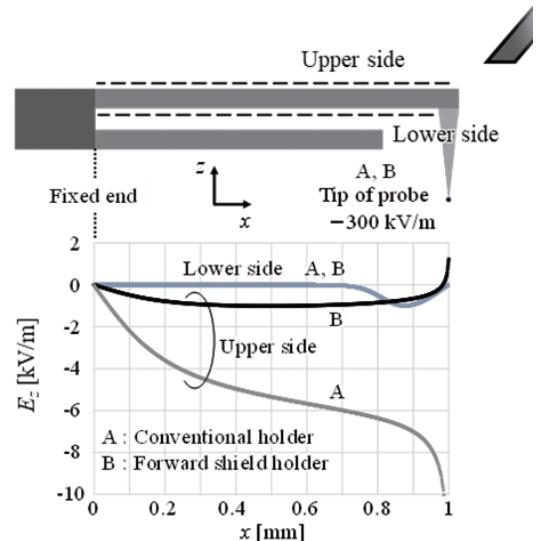


図9 カンチレバー上面及び下面における電界の  $z$  方向成分の分布

Fig.9 Distribution of  $z$ -component of electric fields at upper and lower sides of the cantilever.

チレバー下面では、両ホルダで電界分布に差異はほぼない。探針先端ではいずれも  $-300$  kV/m 程度を示した。カンチレバー上面では従来ホルダにおいて、 $E_z$  は負の値を示し、

$x$  が大きくなるにつれて単調に減少し、自由端である  $x = 1$  mm では最小値  $-18$  kV/m 程度を示した。一方、前方シールドホルダでは、 $E_z$  は最大値でも  $\pm 1$  kV/m ほどを示しており、 $V_2$  の影響が大幅に抑制されており、最大 94.4% の電界が低減された。

### 3.3 静電気力により生じるトルク解析

カンチレバー上面の電界が測定値に及ぼす影響を定量的に考えるために、カンチレバー固定端を支点とし、 $E_z$  により発生する探針先端のトルクの大きさ  $T_p$ 、及び、同様にカンチレバー上下面全体に働くトルクの大きさ  $T_u$ 、及び  $T_i$  を算出して比較検討を行う。

図 10 にカンチレバー上面の  $i$  番目のセルに働くトルクの概念図を示す。取得した  $E_z$  と  $x$  座標からカンチレバー全体に働くトルク  $\mathbf{T}$  を式(1)により算出した。

$$\mathbf{T} = \sum_{i=1}^n \mathbf{t}_i = \sum_{i=1}^n (\mathbf{r}_i \times \mathbf{F}_i) \quad [\text{Nm}] \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{t}_i$  は  $i$  番目のセルに働くトルク、 $\mathbf{r}_i$  は支点である  $x = 0$  から作用点である  $x_i + x_{i-1}$  の中点  $x = (x_i + x_{i-1})/2$  に向かうベクトル、 $\mathbf{F}_i$  は  $i$  番目のセルに働くクーロン力の  $z$  方向ベクトルをそれぞれ表す。 $\mathbf{r}_i$  と  $\mathbf{F}_i$  が直交しているとして、トルクの大きさ  $t_i$  を、次式(2)より算出した。

$$t_i = \left( \frac{x_i + x_{i-1}}{2} - x_0 \right) F_i \quad [\text{Nm}] \quad (2)$$

ここで、カンチレバーに働く力の大きさ  $F_i$  は、 $x$  方向の単位長さ当たりに働く力の大きさ  $f_i$  を用い、実際の探針先端及びカンチレバーの幅  $w$  [m] を考慮して、次式(3)により算出した。

$$F_i = f_i (x_i - x_{i-1}) w \quad (3)$$

$$= \frac{1}{2} \epsilon_0 \left( \frac{E_{i-1} + E_i}{2} \right)^2 (x_i - x_{i-1}) w \quad [\text{N}]$$

ここで、 $\epsilon_0$  [F/m] は真空の誘電率、 $E_i$  [V/m] は  $i$  番目のセルの電界の  $z$  方向成分  $E_z$  である。なお、探針先端及びカンチレバーの幅  $w$  は、それぞれ実際の寸法の  $5 \times 10^{-6}$  及び  $350 \times 10^{-6}$  m とした。

探針位置から離れた  $V_2$  による測定値への影響を評価するために、 $V_2 = -100 \sim 100$  V まで変化した。 $V_{DC} = +3$  V の場合の探針先端及びカンチレバー上下面に働くトルクの大きさ  $T_p$ 、 $T_u$  及び  $T_i$  を、 $V_2$  に対して図 11 (a)、(b) に示す。 $T_p$  は、前方シールドホルダと従来ホルダのいずれも  $10^{-14}$  Nm 程度で一定であり、 $V_2$  による影響はなく両ホルダでの差異もほほない。また  $T_i$  もいずれも  $10^{-16}$  Nm 程度で一定であり、 $T_p$  と同様に  $V_2$  による影響はなく、両ホルダでの差異はない。これに対し、従来ホルダの場合の  $T_u$  は、 $10^{-15} \sim 10^{-13}$  Nm を示し、 $V_2 \leq -20$  V 及び  $V_2 \geq 80$  V では、 $T_p$  よりも大きな値を示した。一方、前方シールドホルダの場合の  $T_u$  は、 $10^{-16} \sim 10^{-15}$  Nm 程度で常に  $T_p$  よりも低く、従来ホルダに比

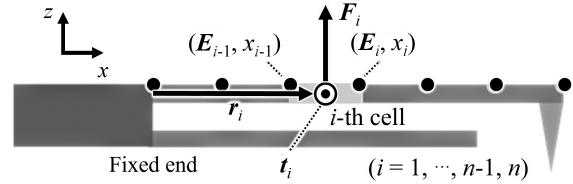


図 10  $i$  番目のセルに働くトルク  
Fig.10 Torque on the  $i$ -th cell.

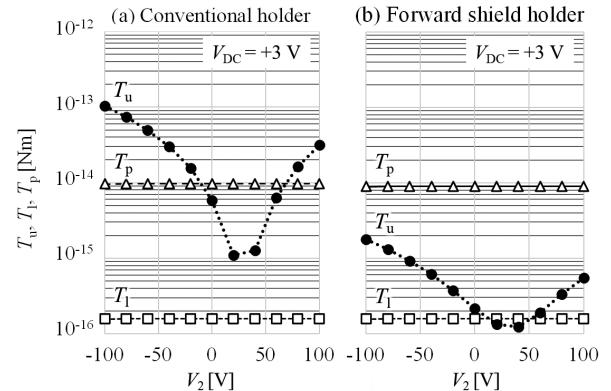


図 11  $V_2$  に対するトルク  $T_p$ 、 $T_u$ 、 $T_i$  の変化 (a) 従来ホルダ、(b) 前方シールドホルダ  
Fig.11 Change in torques  $T_p$ ,  $T_u$ , and  $T_i$  as a function of  $V_2$ , (a) conventional holder, (b) forward shield holder.

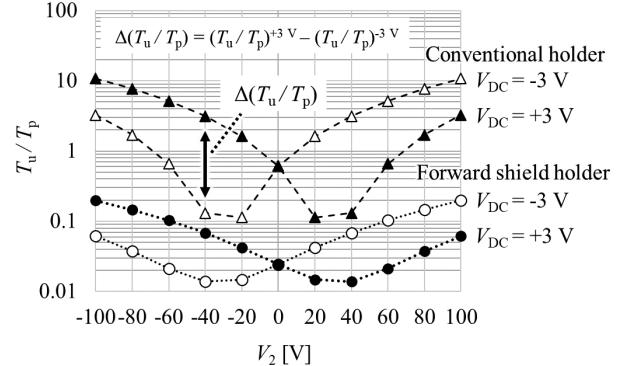


図 12  $V_2$  に対するトルク比  $T_u/T_p$  の変化  
Fig.12 Change in torque ratio  $T_u/T_p$  with change in  $V_2$ .

較し 1~2 桁ほど低い値を示した。なお、 $V_{DC} = -3$  V の場合には、探針と試料との電位の符号が反転するので、 $V_{DC} = +3$  V の結果を  $V_2 = 0$  V に対して反転させた結果となった。

この図 11 の結果を用いて、 $V_{DC} = \pm 3$  V のそれぞれについて、信号源である探針先端のトルク  $T_p$  に対する雑音源であるカンチレバー上面のトルク  $T_u$  の比  $T_u/T_p$  を、 $V_2$  に対して図 12 に示す。ここで、 $T_i$  の影響は  $T_p$  に対して十分小さいとして無視した。従来ホルダでは、 $T_u/T_p$  は 0.1~10 程度を示した。特に、 $V_{DC} = +3$  V の場合には  $V_2 \leq -20$  V、 $V_2 \geq 20$  V において、 $T_u/T_p$  が 1 よりも大きいことから、信号源となる  $T_p$  よりも、雑音源となる  $T_u$  の方が大きくなっている。

一方、前方シールドホルダでは、 $V_{DC} = \pm 3$  V のいずれにおいても  $T_u/T_p$  は常に 1 よりも小さく、0.01~0.2程度を示した。このことは、前方シールドホルダが外乱電界の影響を大幅に抑制していることを示している。

### 3.4 トルク比の測定値への影響

トルク比  $T_u/T_p$  が HV-EFM の測定結果に及ぼす影響を考える。HV-EFM の表面電位の測定では、探針及びカンチレバーに  $V_s' \pm 3$  V の  $V_{DC}$  を印加した場合のそれぞれの  $V_o$  を取得し、その 2 点を用いて  $V_o = 0$  となる  $V_{DC}$  を算出することにより  $V_s$  を求めている。つまり、探針及びカンチレバーに  $\pm 3$  V の  $V_{DC}$  を印加した場合のカンチレバー上面に働くトルクの差が 0 であれば、影響をキャンセルするため測定誤差は発生しない。よって、測定誤差低減の評価を行うためには、探針及びカンチレバーに印加する  $V_{DC} = \pm 3$  V それぞれで発生するトルク比の差  $\Delta(T_u/T_p)$  を考える必要がある。

図 12 に示す  $V_{DC} = \pm 3$  V におけるトルク比  $T_u/T_p$  の差  $\Delta(T_u/T_p) = (T_u/T_p)^{+3V} - (T_u/T_p)^{-3V}$  を  $V_2$  に対して図 13 に示す。前方シールドホルダ、従来ホルダとともに  $V_2$  に対して、 $\Delta(T_u/T_p)$  が負の線形的な変化をしている。この傾向は、図 5 に示した実測結果と類似しており、カンチレバー上面に働くトルクが測定誤差に影響していることを顕著に表している。このとき、従来ホルダでの  $\Delta(T_u/T_p)$  の変化率は  $-7.54 \times 10^{-2} \text{ V}^{-1}$  を示した。一方、前方シールドホルダでは  $\Delta(T_u/T_p)$  の変化率は  $-1.36 \times 10^{-3} \text{ V}^{-1}$  を示し、従来ホルダの場合と比べて、98.2% 低減した。以上のことから、前方シールドホルダによる大幅な測定誤差低減の効果があることが有限要素法を用いた解析においても示された。

## 4. 結論

高電位静電気力顕微鏡における測定領域と異なる電位が試料上に存在する場合の長手前方からの外乱電界の影響と前方シールドホルダによる測定誤差の低減の定量的な評価

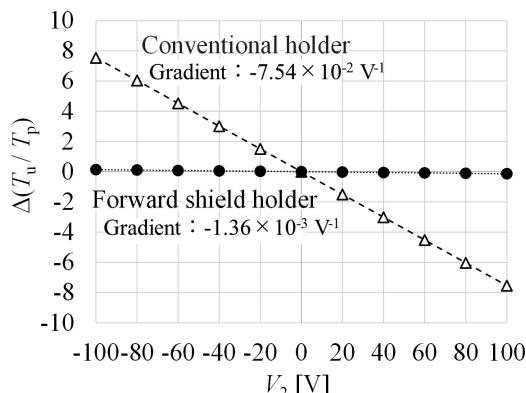


図 13 トルク比の差  $\Delta(T_u/T_p)$  の外因電極電位  $V_2$  依存性  
Fig.13 Difference in torque ratio due to change in applied voltage to electrode 2,  $V_2$ .

を実測及び有限要素法により検討した。前方シールドホルダを用いた実験によって、従来ホルダと比べて測定誤差が 98.1% 低減することを示した。また、静電界解析により、前方シールドホルダが雑音源となるカンチレバー上面の電界を最大 94.4% 抑制することを示し、測定誤差となる上面に働くトルクが 98.2% 低減することを明らかにした。

## 参考文献

- 1) F. Inoue, A. Itoh and T. Uehara: A Study to Visualize Charge Distribution with Electrostatic Force. Proc. IS&T Int'l Cong. on Adv. in Non-Impact Printing Technologies (NIP10), p. 291, Soc. for Imaging Sci. and Tech., New Orleans (1994)
- 2) M. Tani, T. Uehara, K. Nakagawa and A. Itoh: An Analysis of Electrostatic Force and Designing/Manufacturing of a Detector with Cantilever for Electrostatic Force Microscope. Proc. IS&T Int'l Conf. on Digital Printing Technologies (NIP13), p. 284, Soc. for Imaging Sci. and Tech., Seattle (1997)
- 3) T. Uehara, Y. Kogiso, J. Higashio, Y. Ashizawa, K. Aizawa, K. Nakagawa and A. Itoh: Real Time Observation of Surface Potential Distribution with an on CTL. Proc. IS&T Int'l Conf. on Digital Printing Technologies and Digital Fabrication (NIP25), p. 212, Soc. for Imaging Sci. and Tech., Louisville (2009)
- 4) T. Uehara, T. Saito, J. Higashio, Y. Ashizawa, K. Nakagawa and A. Itoh: A New Sensor Adjacent Methodology for High Spatial Resolution and High Voltage Measurement. Proc. IS&T Int'l Conf. on Digital Printing Technologies and Digital Fabrication (NIP27), p. 564, Soc. for Imaging Sci. and Tech., Minneapolis (2011)
- 5) T. Uehara, H. Takatsu, T. Suzuki, J. Higashio, Y. Ashizawa and K. Nakagawa: Sensor Structure Improvements of Electrostatic Force Microscopy for Accurate Voltage Measurement on Photosensitive Materials. 静電気学会講演論文集 '16, 30pA-11, 静電気学会 (2016)
- 6) 岸本幸樹, 塩田裕基, 武藤浩隆, 有泉龍馬, 中川活二, 上原利夫, 芦澤好人: 静電気力顕微鏡を用いたパワー半導体チップ終端部の表面電位計測, 第 56 回電気電子絶縁材料システムシンポジウム論文集, p. 120, 電気学会 (2025)
- 7) M. Nonnenmacher, M. P. O'Boyle and H. K. Wickramasinghe: Kelvin probe force microscopy. Appl. Phys. Lett., **58** (1991) 2921
- 8) C. J. McCluskey, N. Sharma, J. R. Maguire, S. Pauly, A. Rogers, T. Lindsay, K. M. Holsgrove, B. J. Rodriguez, N. Soin, J. M. Gregg, R. G. P. McQuaid and A. Kumar: Spatially Resolved High Voltage Kelvin Probe Force Microscopy: A Novel Avenue for Examining Electrical Phenomena at Nanoscale. Adv. Physics Res., **3** (2024) 2400011
- 9) 中川活二, 上原利夫: 表面電位画像化による半導体不純物分布評価および高空間分解能化. 日本画像学会誌, **56** (2017) 92
- 10) 有泉龍馬, 中川活二, 上原利夫, 岸本幸樹, 塩田裕基, 武藤浩隆, 芦澤好人: 静電気力顕微鏡用カンチレバーホルダにおけるシールド機能の検討, 静電気学会春期講演会論文集, p. 9, 静電気学会 (2025)