

M-1

静電気力顕微鏡における探針・試料間距離制御方法の一検討

A Study on Distance Control Method between sensor and Sample in Electrostatic Force Microscope

○西口 義和¹, 芦澤 好人², 東尾 順平³, 上原 利夫³, 中川 活二²Yoshikazu Nishiguchi¹, Yoshito Ashizawa², Jumpei Higashio³, Toshio Uehara³, Katsuji Nakagawa²

It is important to detect the distance between a sensor tip and a sample under test for the Electrostatic Force Microscopy. We focused on the phenomenon that the detecting signal which was caused by the voltage difference between the sensor and the sample linearly changed depending on the voltage difference, and that the changing ratio G depended on the distance. We evaluated G by changing the distance between the sensor and the sample over the biased copper plate. It was revealed that we was able to use G as a signal to detect the distance, but it sensitively depended on the sensor setting.

1. 研究背景

昨今、低消費電力デバイス用の電源として、微小な振動エネルギーを用いて発電を行う環境振動発電が期待されている^[1]。中でも半永久的に電荷を保持するエレクトレットを用いた振動発電が注目されている。エレクトレットを用いる発電方法としては Figure 1 のように、数 mm ~ 数十 μm 程度の幅のエレクトレットと電極とを対向して配置し、振動により電極の位置をずらすことで対向電極上の誘導電荷量を変化して、交流電流を発生することで、電気的エネルギーをとりだす方法が研究されている^[2]。

この振動発電の高出力化にはエレクトレット電極内の表面電荷密度増加と電荷密度の均一性が必要不可欠である。その定量的な評価方法として電荷分布の評価を非接触で μm オーダーかつ数百 V 以上の高電圧測定をする必要がある。そこで我々は静電気力顕微鏡 (Electrostatic Force Microscopy : EFM) を用いてエレクトレット電極の電位評価を進めている。EFM は大気中において試料を非接触にて $\pm 1 \text{ kV}$ の高電圧かつ空間分解能 $5 \mu\text{m}$ 程度の表面電位計測を行うことができる。その構成図を Figure 2 に示す。

しかし我々の使用している EFM では、現状探針・試料間距離をモニターできず距離制御ができない。そのため、高空間分解能計測のために探針・試料間距離を $0.5 \mu\text{m}$ まで接近して測定を行う場合には、測定中に試料が探針に接触してしまうことが予想される。この問題を解決するために、探針と試料の電圧差に起因する検出信号が、直線的に変化し、その直線の傾き (以下 G と定義する) が距離に依存する現象に着目した^[3]。本報告では G を探針・試料間距離の制御信号として用いる場合に重要である再現性について測定した結果を報告する。

2. G の定義

G についての概念図を Figure 3 に示す。横軸は探針に印加された電圧と試料の表面電位との差 V_{dif} 、縦軸はカンチレバーの振動振幅の検出シグナル V_{ω} を表している。 V_{ω} は Figure 3 に示すように V_{dif} に比例して変化する。この時の V_{dif} に対する V_{ω} の傾きを G とした。この G は探針・試料間距離が短くなれば短くなるほど同じ電位差でも探針にかかる静電気力が大きくなるため傾きが急峻になり、 G が増大する^[3]。そのため探針・試料間距離のモニターに利用できると考えた。

装置で G を取得する際は、カンチレバーに $V_{\text{DC}-}$ 及び $V_{\text{DC}+}$ をそれぞれ印加して $V_{\omega-}$ と $V_{\omega+}$ を直線補間することにより求める。以下に G の式を示す。

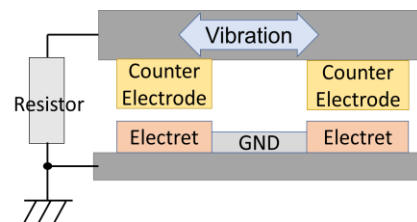


Figure 1. Schematic diagram of vibration- powered generator using

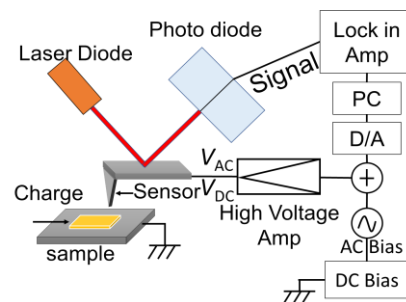


Figure 2. Principle of EFM.

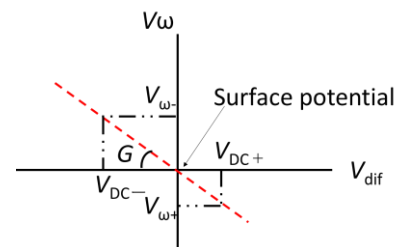


Figure 3. Definition of G . V is The potential difference from the surface potential of the voltage applied to the sensor . V_{ω} is Signal strength of photodiode.

$$G = \frac{V_{\omega-} - V_{\omega+}}{V_{DC-} - V_{DC+}} \quad (1)$$

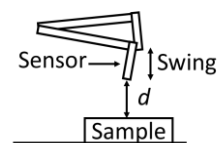


Figure 4. Definition of G

3. 探針・試料間距離の定義

本報告で用いる探針・試料間距離を以下 d と定義する。 d は Figure 4 のように共振をさせた振動する探針の先端から試料への距離とした。また、探針を試料に近づけると試料の振幅が増大し、探針が試料に接触すると振幅が小さくなることから、 $d=0 \mu\text{m}$ の地点は接触する直前となるように、カンチレバーを試料に近づけていき共振している際の出力信号の振幅が最大になる点とした。探針・試料間の接近ステップは $0.01 \mu\text{m}$ とした。

4. G と d の再現性の結果

まず、カンチレバーを EFM 本体から取り外さない場合の再現性について検討を行った。1V を印加した銅板を試料としたときの G の d 依存性を Figure 5 に示す。横軸は d 、縦軸は G を示している。 G については、各 d における 30 回の定点測定 of G の平均値とした。また、カンチレバーを EFM 本体から取り外さずに d を $0 \mu\text{m}$ から $12 \mu\text{m}$ 付近まで変化して G を計測することを 3 回繰り返した。Figure 5 より G の d に対する再現性についてはカンチレバーを取り外さない場合、比較的良好な値になることが確認できた。

続いて、カンチレバーを EFM 本体から外した場合の再現性を検討した。同様に 1V を印加した銅板を試料とし d を変化させ、 G を測定した結果を Figure 6 に示す。横軸は d 、縦軸は G を示している。 G は同様に 30 回の定点測定 of G の平均値とした。カンチレバーを EFM 本体に取り付けなおして光軸調整を行った後、 d を $0 \mu\text{m}$ から $12 \mu\text{m}$ 付近まで変化して G の測定を行った。これを 3 回繰り返した。この結果より、カンチレバーを EFM 本体から取り外し再度光軸調整を行った場合には、 G の再現性が取れないということが確認できた。原因としては光てこ法により測定しているために、カンチレバーの光の照射位置によって G が大きく左右されるためと考えている。

5. まとめ

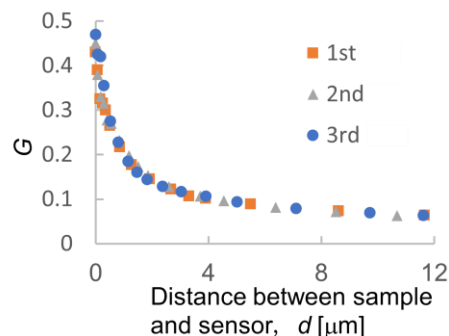
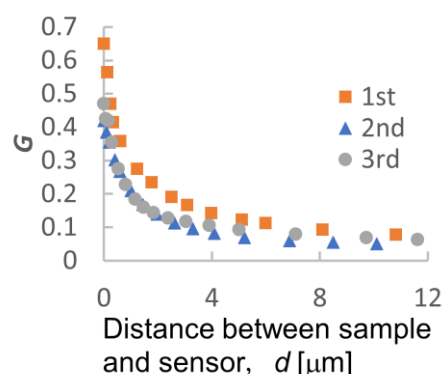
均一に電圧を印加した銅板上において、 G が探針・試料間距離の制御信号として利用可能であるか検討を行った。カンチレバーを EFM 本体から取り外さなければ、再現性があることが確認された。一方、カンチレバーを取り外してしまうと、再現性が取れないことも確認された。

謝辞

本研究は、JST CREST JPMJCR15Q3 「高出力環境発電のための革新的なエレクトレット材料の創成」の支援を受けた。

6. 参考文献

- [1] 鈴木雄二 藤田考之 他：「環境発電ハンドブック」，2012 年，pp. 4-11，株式会社 NTS.
- [2] 鈴木雄二 藤田考之 他：「環境発電ハンドブック」，2012 年，pp. 210-215，株式会社 NTS.
- [3] Uehara Toshio, Saito Tomoharu, Higashio Jumpei, Ashizawa Yoshito, Nakagawa Katsuji, Itoh Akiyoshi : "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, Minneapolis, USA.
- [4] 松丸剛士, " 静電気力顕微鏡を用いた高電圧電位分布測定", 平成 16 年度修士論文, 日本大学大学院理工学研究科電子工学専攻.

Figure 5. Reproducibility of G without removing of cantilever from EFM as a function of d .Figure 6. Reproducibility of G with removing of cantilever from EFM as a function of d .