

M-2

静電気力顕微鏡用微細加工センサを用いた空間分解能向上の検討

Improvement of spatial resolution of micro-fabricated sensor for electrostatic force microscopy

○伊藤弘朗¹, 倉金夏己¹, 田中郁也², 政秀彰², 西口義和², 芦澤好人³, 東尾順平⁴, 上原利夫⁴, 中川活二³Hiroaki Ito¹, Natsuki Kuragane¹, Fumiya Tanaka², Hideaki Tsukasa², Yoshikazu Nishiguchi²,Yoshito Ashizawa³, Jumpei Higashio⁴, Toshio Uehara⁴, Katsuji Nakagawa³

The sensor tip of the developed electrostatic force microscopy (EFM) was sharpened by a focused ion beam (FIB) system to improve the spatial resolution of charge distribution. Even if we apply a fine sensor tip, it is very important to close the gap between the sensor tip and the surface under test. We prepared the 0.5 μm tip, and closed the gap around 1 μm . We also coated the sensor with ultraviolet curable resin to improve the strength of the tip. It is confirmed that the finer sensor tip leads to the higher spatial resolution than that measured by a conventional sensor tip.

1. 研究背景

近年、低消費電力デバイスのための電源として、微小な振動エネルギーを利用して発電を行う環境振動発電が注目されており、その中でもエレクトレットを用いた静電誘導型の環境振動発電が注目されている^[1]。エレクトレットは半永久的に電荷を保持する誘電体で、高い表面電位（数千 V）を保持可能である。エレクトレット発電はエレクトレットから形成された電場により、静電誘導を用いて微小電力を得る方法である。発電効率の向上のためにはエレクトレット電極上の電位が均一になっている必要がある。エレクトレットは数十 μm 程度ごとに帯電するように設計されており、その実験的検証のためには高電位を高空間分解能で測定しなければならない。そのような測定機がないため、我々が開発してきた高電位に帯電した試料の表面電位を非接触で測定可能な静電気力顕微鏡(Electrostatic Force Microscopy :EFM)を用いてエレクトレットの表面電位測定の検討を行っている。しかし、EFMの空間分解能は上記のエレクトレット電極の計測には足りておらず更なる向上が求められている。

EFMの空間分解能の向上に際し、センサ部の先鋭化を行うことで空間分解能の向上を図った。しかし、センサが受ける静電気力が低下するため、センサ-試料間距離を縮める必要がある。そのため、接触のリスクが高まり、センサが破損する事例が多くみられた^[2]。そこで、微細加工センサに紫外線硬化樹脂を被覆することにより、強度改善をはかった。そのセンサを用いて空間分解能向上の検討を行った。

2. センサ形状

EFMの空間分解能はセンサ先端形状に強く依存する。そのため、従来の $5\ \mu\text{m} \times 5\ \mu\text{m}$ のセンサ先端を空間分解能向上の為、収束イオンビーム (Focused Ion Beam :FIB)により、 $0.5\ \mu\text{m} \times 5\ \mu\text{m}$ に先端部の先鋭化を行った。その加工前と加工後のセンサを走査型電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscopy: SEM)で観察した像を **Figure 1** に示す。

高分解能用センサの強度向上の観点から、センサに紫外線硬化樹脂を付着し、硬化した。そのセンサのSEM像を **Figure 2** に示す。紫外線硬化樹脂が $0.2\ \mu\text{m}$ 程度の厚さで被覆出来ている。

3. 楕形電極の測定

上記センサの空間分解能の評価のため、楕形電極の測定を行った。

Figure 3 に楕形電極のモデル図を示す。楕形電極とは微小くし形の電極を2つ対向させたものである。測定条件は、通常センサと微細加工センサを用いて、電極に+1 V と-1 V を印加し、楕幅 $W[\mu\text{m}]$ をそれぞれ

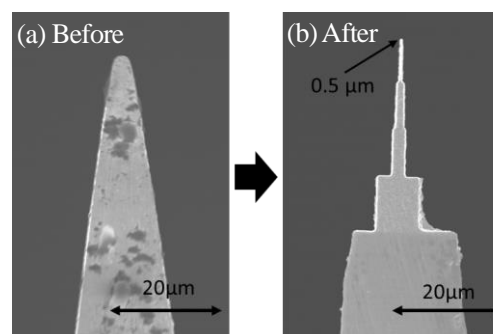


Figure 1. SEM images of sensor tip before and after micro-fabrication

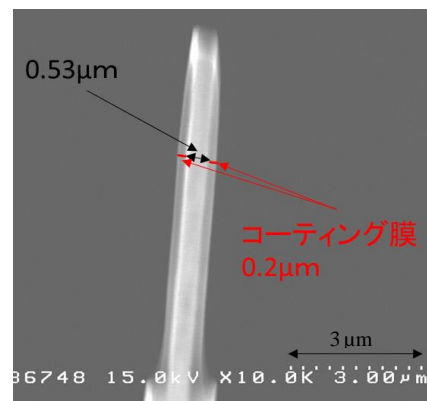


Figure 2. SEM image of sensor tip covered with UV curable resin.

1 : 日大理工・院 (前)・電子 2 : 日大理工・学部・電子 3 : 日大理工・教員・電子 4 : トレックジャパン株式会社

れ 10, 5, 2.5, 1 μm と変化して測定を行った。またセンサ-試料間距離 H の把握のためにカメラを取り付け、 $H=0.5 \mu\text{m}$ で測定を行った。

4. 二種類のセンサの測定結果の比較

Figure 4 に二種類のセンサで幅 5 μm を測定した結果を示す。縦軸が測定電圧、横軸が測定位置で、○が加工センサ、×が通常センサである。加工センサの方が印加電圧に対して測定電圧が大きく出ており、空間分解能は向上したと考えられる。

W に対する検出電位割合を **Figure 5** に示す。縦軸が検出電位割合、横軸が幅であり、○が加工センサで、×が通常センサである。通常センサでは、 $W=2.5 \mu\text{m}$ において、検出電位はノイズレベル以下であるのに対し、加工センサでは、 $W=1.0 \mu\text{m}$ においても 0.3 程度の信号を検出できることが確認された。

5. シミュレーションとの比較

W が小さくなると検出電位が低下することに対して考察するために、センサ-試料間距離 H に対する検出電位のシミュレーションを行った。そのモデル図と条件を **Figure 6** に示す。

シミュレーション結果は **Figure 5** の実験結果に併せて点線で示している。同条件の $H=0.5 \mu\text{m}$ のシミュレーション結果と比較して、実測結果はすべて低い値となった。原因としては、センサが交流信号により微小に振動しているため、 $H=1.0 \sim 1.5 \mu\text{m}$ 程度で測定してしまっているためだと考えられる。

6. まとめ

EFM を用いてエレクトレットの電荷分布の評価を行うため、EFM のセンサ先鋭化加工を行い、空間分解能向上を行った。センサ強度改善のため紫外線硬化樹脂を付着させ硬化した。そのセンサの空間分解能向上の検討の為、楯形電極の測定を行った。結果は、通常のセンサに比べ約 2 倍の電圧が検出でき、空間分解能は向上したと考える。また、 H に対する検出電位のシミュレーションを行い、実測結果と比較した。結果は全ての実測値においてシミュレーションより低い値となった。原因としては、センサが交流信号により微小に振動しているため、 $H=1.0 \sim 1.5 \mu\text{m}$ 程度で測定してしまっているためだと考えられる。

謝辞 本研究は、JST CREST JPMJCR15Q3 「高出力環境発電のための革新的エレクトレット材料の創成」の支援を受けた。探針の強度に関して議論いただきました東京大学の鈴木雄二教授に感謝します。

参考文献

- [1] 鈴木雄二:「環境振動発電技術の原理と将来展望」, 日本エネルギー学会 93(3), 2014-03-20.
- [2] 鈴木雄二:「エレクトレットを用いた静電誘導型 MEMS 発電器」, 日本 AEM 学会誌, 22 巻, pp. 361-367, 2014.
- [3] 鈴木学, 芦澤好人, 東尾順平, 上原利夫, 塚本新, 中川活二:「静電気力顕微鏡における空間分解能向上の為のセンサ先端部の先鋭化」, 平成 28 年度日本大学理工学部学術講演会予稿集, pp.1044, 2016

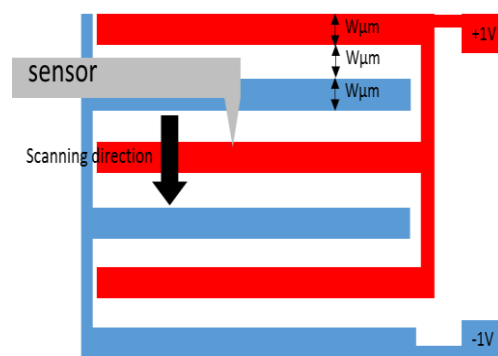


Figure 3. Geometry of measurement of comb electrode

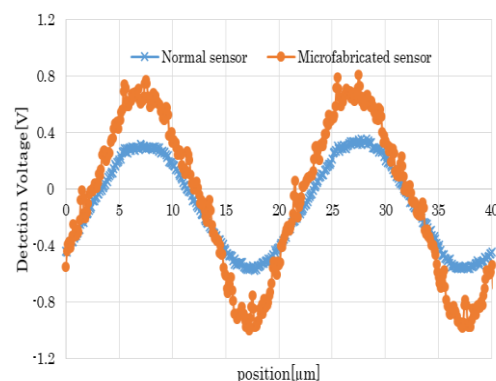


Figure 4. Comb width 5 μm Measurement result

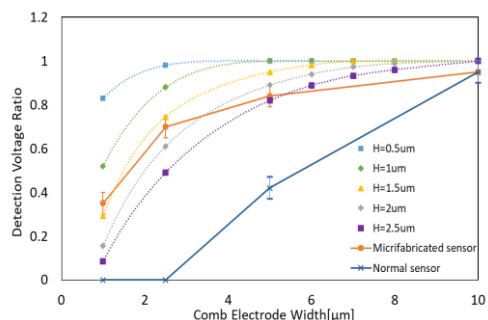


Figure 5. Detection voltage ratio per comb width

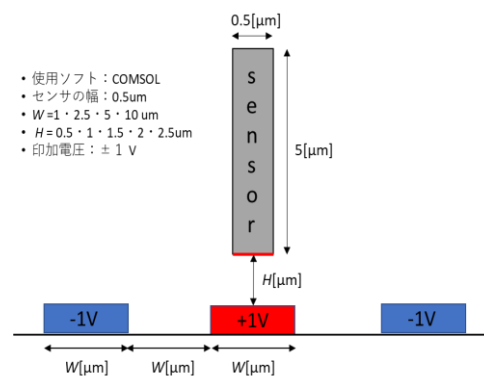


Figure 6. Model diagram of simulation