

静電気力顕微鏡用高空間分解能センサの強度改善

Improvement strength of sensor with high spatial resolution for electrostatic force microscopy

○伊藤弘朗¹, 鈴木学¹, 芦澤好人², 東尾順平³, 上原利夫³, 塚本新², 中川活二²
Hiroaki Ito¹, Manabu Suzuki¹, Yoshito Ashizawa², Jumpei Higashio³,
Toshio Uehara³, Arata Tsukamoto², Katsuji Nakagawa²

To improve spatial resolution of an electrostatic force microscopy (EFM), its sensor tip was sharpened to evaluate charge distribution of small electret electrodes. A focused ion beam was used for microfabrication of a sensor tip of the EFM. However, due to decrease in sensor strength, it became to be easy to break. Therefore, to improve the strength of the sensor tip we coated the sensor with ultraviolet curable resin. The coated resin thickness was about 0.2 μm around the sensor.

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用いて発電を行う環境振動発電が注目されている。環境振動発電では、電極を数 Hz～数百 Hz の低周波数で振動することにより、微小な電氣的エネルギーを取り出すことが可能であり、小体積において発電性能が優れている。特に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]。

エレクトレットとは半永久的に電荷を保持する誘電体であり、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。エレクトレット発電では、まずエレクトレットで形成された電場により、対向電極側に電荷が誘起される。この時対向電極が振動すると、対向電極直下のエレクトレットによって受ける力が少なくなり、隆起された電荷を保持できなくなる。この一連の電荷の動きによって微小電流が発生し発電を行う(Figure 1)。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分布している必要がある。エレクトレットでは数十 μm 程度ごとに帯電していると考えられており、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が、その分感度が低下するため試料間距離を縮める必要がある。接触のリスクが高くなりセンサの強度が低下しているため破損する事例が多くみられることが問題であった。そこで、高空間分解能センサチップの強度改善として紫外線硬化樹脂による被覆構造を検討した。

2. 空間分解能向上の為のセンサ先端部の先鋭化について

EFMはカンチレバーに直流電圧 V_{dc} 、交流電圧 V_{ac} を印加し、カンチレバーのディテクターを試料に近づけ静電気力によるカンチレバーのたわみ量を光てこ法にて検出し、測定試料の表面電位を測定する。EFMの空間分解能はセンサ先端形状に強く依存する^[3]。

Figure 2に実際のEFMのセンサ形状を示す。センサは底辺150 μm 、高さ450 μm 、厚さ5 μm の二等辺三角形形状をしている。このセンサ先

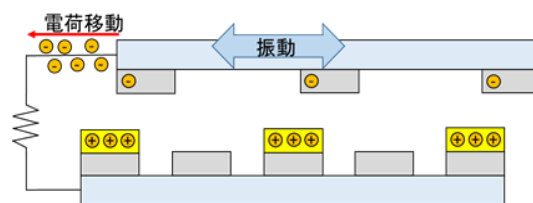


Figure 1. Schematic view of vibration generator using

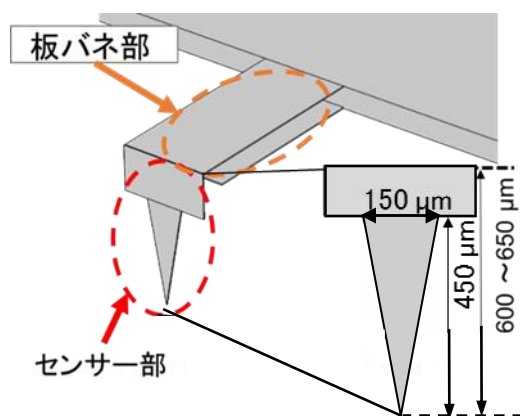


Figure 2. Schematic view of a sensor for electrostatic

端部に静電気力を受け表面電位の測定を行う。このとき、センサ先端のみ静電気力を受ける状態が理想的な状態であるが、先端以外にも静電気力を受けてしまうため、センサの空間分解能が悪くなる。そこで収束イオンビーム (FIB: Focused Ion Beam)を用いて、先端部の先鋭化を行った。Figure 3 にセンサ先端加工設定のモデル図と加工後の SEM 画像を示す。設計値通りに削れていることを確認した。

3. センサの強度改善

センサを細くしたことによりセンサが折れやすく測定が困難になったためセンサの強度確保が急務となった。センサが折れないよう強度改善に関して、紫外線硬化樹脂によるセンサのコーティングを行った。中心に直径 100 μm の穴の空いた円形シールドの穴の部分に一度センサを通し位置合わせを行う。その後、硬化樹脂を垂らして液だまりを作り、穴にセンサを通し先端に紫外線硬化樹脂を付着させ、LED ライトを用いて紫外線硬化樹脂を固めた(Figure 4)。コーティングに使用した紫外線硬化樹脂には粘度 2500 mPa, 収縮率 4.5 %, 硬化条件 300 mJ/cm^2 のものを使用した。

Figure 3 のセンサをコーティングし、走査型電子顕微鏡(Scanning Electron Microscopy: SEM)を用いて観察したものを Figure 5, 6 に示す。Figure 5 はセンサの先鋭加工した部分の全体像を示し、Figure 6 は Figure 5 の先端部を拡大したものである。Figure 6 より紫外線硬化樹脂が 0.2 μm 程度の厚さでコーティング出来ているのが分かる。

4. 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。しかし先鋭化の影響によりセンサの強度の低下が問題となった。センサ強度改善のため紫外線硬化樹脂を用いてのセンサのコーティングを行った。FIB を用いてセンサの先鋭化加工を行ったものに 0.2 μm 程度の厚さでコーティング出来ていることが確認できた。

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。探針の強度の増強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] 上原利夫, 松丸剛士, 東尾順平, 大垣内一雄, 中川活二, 伊藤彰義:「静電気力顕微鏡における表面電位法」. 静電気学会春季講演会, 2p-4, 2003.
- [4] 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

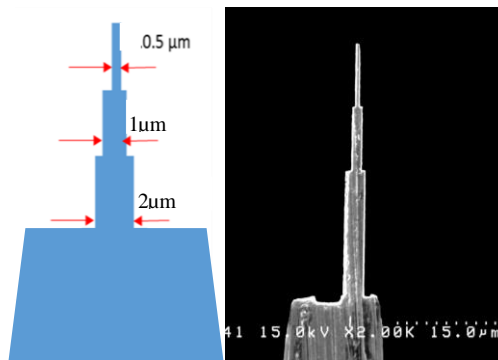


Figure 3. SEM image of a sharpened sensor tip

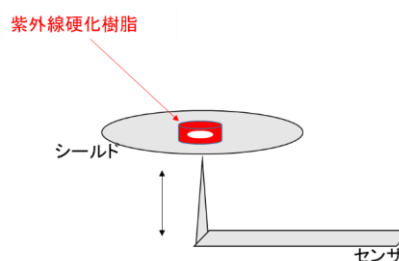


Figure 4. Image of the coating process



Figure 5. Overall view of sensor tip

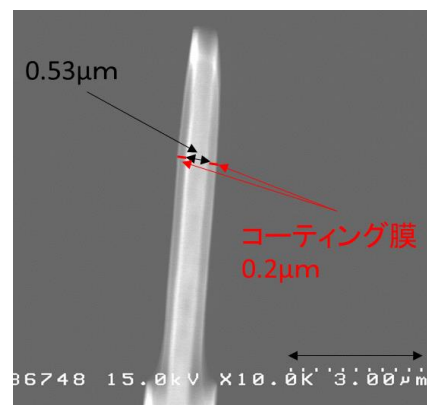


Figure 6. Enlarged view of sensor tip