

シールドを微細加工した静電気力顕微鏡用センサの作製方法の検討

Study on fabrication method of sensor for electrostatic force microscopy using microfabricated electric shield.

○倉金夏己¹, 伊藤弘朗¹, 政秀彰², 芦澤好人³, 東尾順平⁴, 上原利夫⁴, 中川活二³
 Natsuki Kuragane¹, Hiroaki Ito¹, Hideaki Tsukasa¹, Yoshito Ashizawa²,
 Jumpei Higashio³, Toshio Uehara³, Katsuji Nakagawa²

The electrical shield of the sensor tip for an Electrostatic Force Microscopy (EFM) is very important for achieving higher spatial resolution as well as for avoiding error. We used to place a shield metal with a hole to the tip, but it was difficult to adjust the hole to the tip. Besides, we also need to use a smaller hole for the shield. We tried new methods to prepare the shield that the Focused Ion Beam (FIB) was used for microfabrication both of a sensor tip and shield of the EFM. In this study, PtPd was sputtered onto the ultraviolet curing resin to fabricated shield. As a result, a small gap between the probe and the shield was succeeded.

1. 研究背景

近年, IoT (Internet of Things : IoT) が注目を集めている。IoT とは, あらゆるものがインターネットを介し通信を行うことで離れた場所からでも情報のやりとりを行えるようになるものである。IoT の適用先は, 人間の生活に密着したものが多く, また, IoT の特性上, 電源の確保が重要視されている。そして, IoT のデバイスの電源として注目されているのが環境発電である^[1]。その中でも我々が注目しているのは, エレクトレットを利用した環境振動発電である。

エレクトレットを利用した環境振動発電の発電効率向上のためにエレクトレット電極上の電位を計測する手法が求められている。エレクトレット上の電荷は, 数百 V の電圧で数十 μm 程度の距離ごとに帯電するよう設計されており, そのエレクトレットの電位分布を観察するためには, 高電位を数 μm 程度の空間分解能で測定しなければならない。その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, 既存の EFM の空間分解能は, 5 μm 程度であるためエレクトレット電極を計測するための分解能には達しておらず更なる空間分解能の向上が求められている。我々の先行研究では, センサ先端部の先鋭化により空間分解能の向上が期待されている。また, 探針とシールドの空隙を小さくすることで探針に受ける電界の非対称性を無視することができ誤差率が下がることも報告されている^[2]。本研究では, センサとシールドの空隙を狭くすることで EFM の空間分解能の更なる向上とセンサの作製方法の検討を行った。

2. 実験方法及び結果

2.1. 板バネシールド型カンチレバーの作製方法

2.1.1. 従来作製方法

探針を専用の治具を使用し折り曲げた後, ホルダーに取り付けた。その後, 光学顕微鏡とピンセットを用いて板バネシールドを取り付けた (Figure 1)。この時シールドと探針の距離は, 約数百 μm 程度である。

2.1.2. 新規作製方法

従来の作製方法のように探針を取り付け, 板バネシールドは探針先端に接触させるように取り付けた (Figure 2 a)。その後, FIB によってシールドを削り探針との間に 1 μm 程度の空隙を作製した (Figure 2 b)。作製した板バネシールド型カンチレバーを使用し測定を行ったところ光軸が歪んだため測定が行えなかった。光軸が歪んだ原因は, 板バネシールドを探針に接触させながら取り付けるため, 探針に負荷がかかりレーザーの反射位置がずれたためだと考えている。

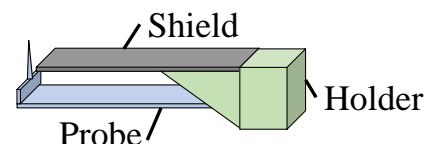


Figure 1. Conventional leaf spring shield type cantilever : A leaf spring shield and probe were attached using an optical microscope and tweezers.

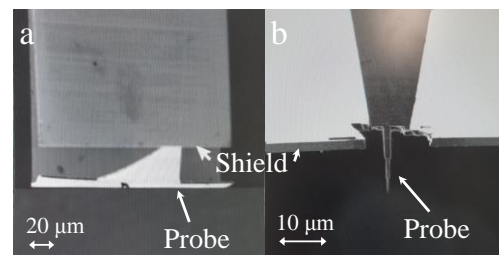


Figure 2. New leaf spring shield type cantilever : (a) It was installed with the shield and probe in contact. (b) A gap was created between the shield and the probe by FIB.

2.2. ピンホールシールド型カンチレバーの作製

静電気力顕微鏡においてセンサ部であるカンチレバーの形状とシールドは、空間分解能および検出感度に密接に関わってくるパラメータである。我々の先行研究よりシールドとカンチレバーの距離が小さく、探針長さが長くカンチレバーの先鋭化先端部だけがシールドから出ているのが理想的であると考えている。そこでシールドを探針と接触した状態で作製し、その後 FIB によってシールドと探針の空隙を作り出す方法を考えた。

2.2.1. 従来作製方法

板バネシールド型と同じように探針を取り付けた。その後、光学顕微鏡と専用の器具を使用し、ピンホールシールドの直径 $100\ \mu\text{m}$ のホールに探針を通しシールドを取り付けた。

2.2.2. 新規作製方法

新規板バネシールド型カンチレバーでは、探針に負荷がかかって光軸がずれたため、探針に負荷のかからない作製方法を考えた。従来の作製方法で探針をシールドに通した (Figure 3 a)。集束イオンビーム (Force Ion Beam : FIB) によって探針先端を先鋭化した。このとき、シールドから先鋭化部分だけを露出させた (Figure 3 b)。シールドと探針の空隙がなくなるように UV 硬化樹脂を滴下し、その後 UV 光を照射し硬化した (Figure 4 a)。FIB によってカンチレバー根本側から覗くように UV 硬化樹脂を削り探針を切り離れた (Figure 4 b)。シールドを UV 硬化樹脂上に作製するために PtPd を先端側からスパッタを行った。FIB によって探針周囲の UV 硬化樹脂にある PtPd を削った (Figure 5)。この作製方法によって探針先端とシールドの空隙を $50\ \mu\text{m}$ 程度から数 μm に縮小した。

3. まとめ

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) における空間分解能の向上を目的として、探針先端の先鋭化とシールドの空隙を狭くするための作製方法の検討を行った。その結果、接触している探針とシールドとの間に FIB を用いて空隙を設ける作製手法により、従来よりも空隙幅を減少した。

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] Toshio UEHARA, Hiroaki TAKATSU, Tomoya SUZUKI, Jumpei HIGASHIO, Yoshito ASHIZAWA, and Katsuji NAKAGAWA, "Sensor Structure Improvements of Electrostatic Force Microscopy for Accurate Voltage Measurement on Photosensitive Materials", 第 40 回静電気学会全国大会, 30pA-11, 2016 年 9 月 30 日, 群馬大学桐生キャンパス.

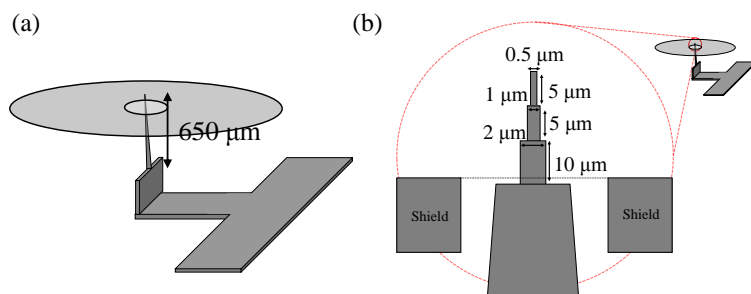


Figure 3. Method for fabricating cantilever tip part : (a) Pass the probe tip through the shield. (b) Microfabricating probe tip with FIB.

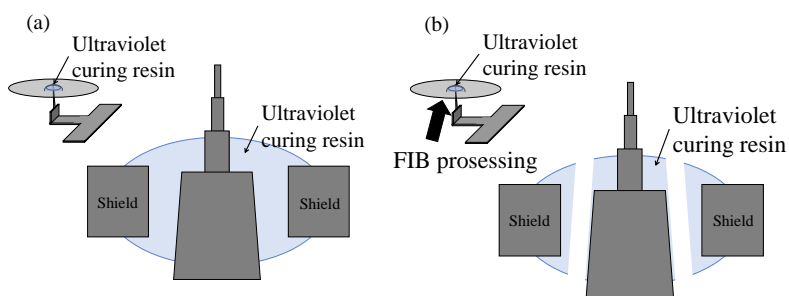


Figure 4. Detach of probe part: (a) UV curable resin is dropped and then irradiated with UV light to cure. (b) Detach the probe part by FIB.

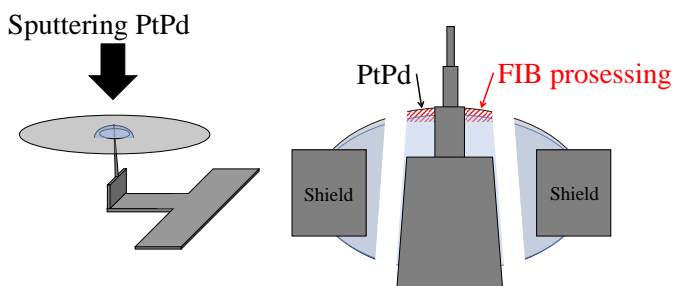


Figure 5. Shield part fabrication method: After PtPd is sputtered, PtPd on ultraviolet curing resin around the probe is shaved off by FIB.