

## 【助成 38 -17】

### 走査型プローブ顕微鏡による MEMS の機械電気特性評価

研究者 静岡大学工学部 助教 中澤 謙太

#### 〔研究の概要〕

本研究では、走査型プローブ顕微鏡によって MEMS の機械電気特性を評価することを示すことを目標とし、ひずみ印加機構を搭載した原子間力顕微鏡とケルビンプローブフォース顕微鏡による動作中のピエゾ抵抗センサの変位分布、電位分布の計測を行った。開発したひずみ印加機構によって MEMS センサ内のダイヤフラムを変形させ、ピエゾ抵抗センサに印加するひずみを調整した。圧縮ひずみを印加させるに従い、ピエゾ抵抗素子の抵抗値が変化することを計測することができた。

#### 〔研究経過および成果〕

Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)は、輸送機器や携帯機器で数多く使用されている。MEMS は機械的に変形などの動作を利用していることが特徴である。変形や振動といった機械的動作を検出するためにピエゾ抵抗効果がしばしば利用されている。例えば、ダイヤフラム型の圧力センサや慣性センサなどに用いられている。ピエゾ抵抗効果は、素子に印加されたひずみに比例して抵抗値が変化するというものである。不純物拡散によって製作することができるため、MEMS 製作プロセスとの親和性が高い。ピエゾ抵抗効果を用いた MEMS センサの感度は、ピエゾ抵抗センサの配置、形状が強く影響する。ピエゾ抵抗効果を用いたセンサは一般的に、変形させた際に抵抗値の変化を計測するといった評価が行われている。

微細なデバイスを微視的に観察・評価する手法として、走査型プローブ顕微鏡 (Scanning Probe Microscope: SPM)がある。SPM では先鋭化された探針で測定試料を走査することで表面形状や物性の微視的な顕微計測が可能である。SPM として表面形

状が可能な原子間力顕微鏡 (Atomic Force Microscope: AFM)と表面電位分布が計測可能なケルビンプローブフォース顕微鏡 (Kelvin-probe Force Microscope: KFM)がある。これまでに、SPM を用いてトランジスタやダイオードなどの電子デバイスを動作環境下で計測する手法が提案されている。同様に SPMを用いることでピエゾ抵抗センサの形状と電位の変化から、センサの機械的挙動と電氣的挙動の計測することができる。

本研究では、走査型プローブ顕微鏡によって MEMS の機械電気特性を評価することを示すことを目標とし、ひずみ印加機構を搭載した SPM による動作中のピエゾ抵抗センサの変位分布、電位分布の計測を行った。

本研究でのピエゾ抵抗センサの変位分布と電位分布の計測手法を図 1 に示す。本研究では、差圧センサに集積されたピエゾ抵抗センサを試料として使用した。AFM は探針試料間に作用する相互作用力を検出し、表面形状を取得する。KFM は静電気力の計測を基にして試料の表面の電位分布を取得する。ひずみを印加する前後で AFM, KFMによって試料表面を

走査し、表面形状と表面電位の変化から、ピエゾ抵抗センサの変位と抵抗値の変化を評価した。

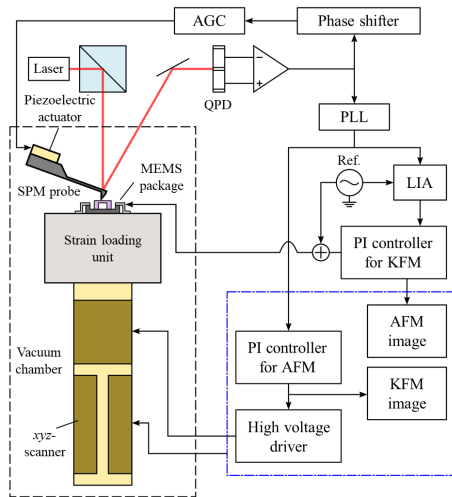


図 1 計測装置概要

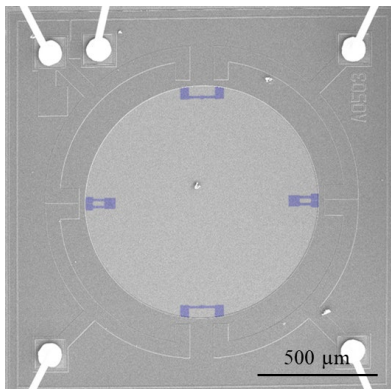


図 2 EBIC 画像を重畳した SEM 画像

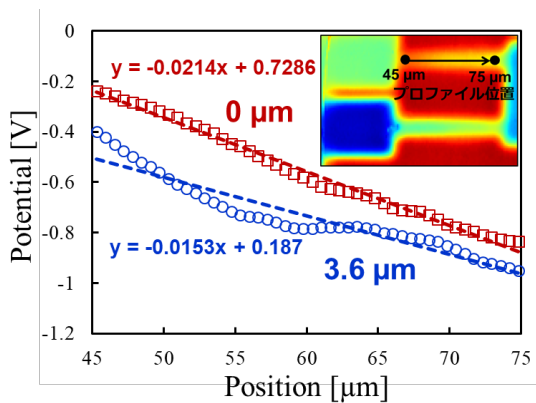


図 3 表面電位計測

本研究では、ピエゾ抵抗センサが集積された市販の差圧センサ(2SMPP-03, OMRON)を計測した。ピエゾ抵抗センサはダイヤフラム上に4個製作されており、ブリッジ回路を形成している。ピエゾ抵抗センサはひずみの変化量を大きくするためにダイヤフラムの周辺部に製作されている。

まず、Electron Beam Induced Current (EBIC) によるピエゾ抵抗素子の形状と位置を同定した。図 2 には SEM と EBIC 像を重ね合わせたものを示す。EBIC では pn 接合部に電子が入射することで電流が発生する。今回の素子ではピエゾ抵抗素子の直下で接合があるために、ピエゾ抵抗素子の形状と位置がわかる。4 個のピエゾ抵抗素子があることがわかる。ピエゾ抵抗素子の細くなっている部分が主にひずみによる抵抗値が変化する部分となる。

アクチュエータで変位させることで、上に凸方向に変形している。よって、意図した圧縮ひずみを印加できており、変位が大きくなると圧縮ひずみも増加していると考えられる。電位プロファイルには最小二乗近似直線を示している(図 3)。最小二乗近似直線の傾きが素子全体としての抵抗率と考えることができ、印加された圧縮ひずみが大きくなると抵抗率が小さくなるのがわかり、これは原理と傾向が一致する。また、最小二乗近似直線から大きく外れている個所もあり、マイクロにみると抵抗率分布が存在することを計測することができる。

[発表論文]

1. K. Nakazawa, T. Tanaka, T. Uruma, and F. Iwata, "Evaluation of displacement and surface potential of a micro-piezoresistor by a Kelvin probe force microscope," *ICSPM28*, S5-36 (2020)