

# トランスファプリントした薄膜の特性評価と触覚センサへの応用

首都大学東京 ○片山泰良, 案納響平, ◎金子 新

トランスファプリント (TP) した Au 薄膜の表面性状および電気的特性評価を行うとともに, 3次元構造への TP により触覚センサの試作を試みている. プラズマ処理で濡れ性を向上させた PDMS スタンプでは, TP した薄膜への亀裂により電気抵抗が高くなってしまふ. 一方で, 濡れ性の悪いスタンプでは, Au 薄膜の表面粗さは大きいが生抵抗が  $5 \Omega/\square$  以下となった. 微細穴に対して Au 薄膜を TP し, 静電容量型の触覚センサを作製した. 所定の圧力に対して静電容量は  $6.9 \sim 7.3 \text{pF}$  の範囲で線形的に増加し, 触覚センサとしての基本動作が確認できた.

## 1. 緒言

微小電子機械素子 (MEMS) では, 両持ち梁などの微小機械要素を加速度センサ等に应用している. 同構造は一般に半導体プロセスで作製されるが, 高精細な構造創成が可能である一方で, プロセスの煩雑さや基板の選択性の低さが課題である. 主に 2次元電子素子作製に用いられるトランスファプリント (TP) を, 図 1 に示すように加工基板に適用すると, 3次元の立体構造を作製でき, MEMS への応用が期待できる. しかし, このような TP では薄膜の離型性のために PDMS が用いられるが, そのような濡れの悪い材料上での薄膜の特性評価は不十分である. また, TP で作製した 3次元構造を MEMS に应用した例はない. そこで本研究では, TP した薄膜の特性評価 (表面性状, 電気抵抗) を行うとともに, 図 2 に示す静電容量型触覚センサの試作を目的としている.

## 2. TP した薄膜の特性評価

### 2.1 実験方法

PDMS (Dow-corning, Sylgard184) を用いて  $10\text{mm} \times 10\text{mm}$  のスタンプを複数作製し, スタンプの一部はプラズマ処理 (5min) により濡れ性を向上させた. 薄膜の離型性を高めるため, 2段階の成膜工程で行う<sup>2)</sup>. はじめに成膜速度  $1.2 \text{\AA}/\text{s}$  で Au (50nm) を真空蒸着し, その後に Au (300nm) をスパッタ成膜する. 後者の成膜工程では, 成膜速度による影響を調べるため,  $0.4 \text{\AA}/\text{s}$  と  $1.3 \text{\AA}/\text{s}$  の 2種類の条件を用いた. 図 3 に示す装置に上記スタンプをセットし, PET フィルム (帝人デュポンフィルム, KEL86W) に TP を行う. なお, TP 条件は温度  $150^\circ\text{C}$ , 圧力  $100\text{kPa}$ , 押し付け時間  $10\text{min}$ , としている. スタンプと成膜条件は図 3 右の表に示すとおりであり, C がプラズマ処理したスタンプである.

### 2.2 結果と考察

図 4 に示すように, デジタルマルチメータに接続した 4 探針測定プローブにより, TP 前後における Au 薄膜のシート抵抗  $R_s$  を測定した. 測定結果を図 5 に示す. TP 前すなわちスタンプ上の Au 薄膜は, プラズマ処理および成膜条件の違いに拘わらず, いずれも  $1 \Omega$  以下となっていた. 一方で, TP 後すなわち PET フィルム上に転写された Au 薄膜は, A と B については抵抗変化がほとんど無かったが, プラズマ処理を

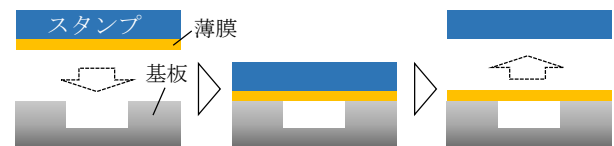


図1 トランスファプリント

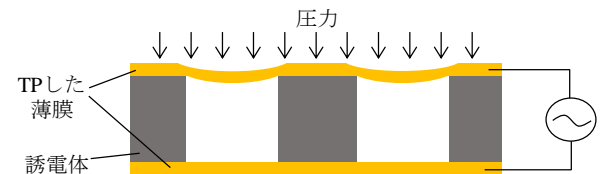


図2 静電容量型触覚センサ

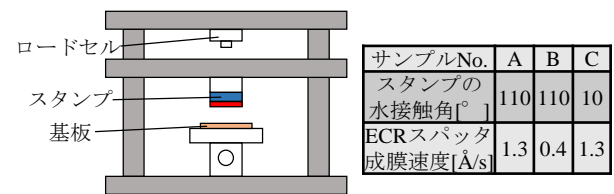


図3 トランスファプリント装置および条件

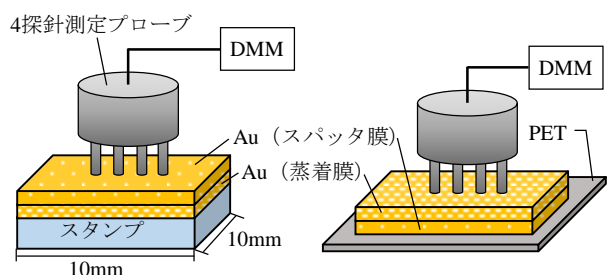


図4 Au薄膜のシート抵抗測定

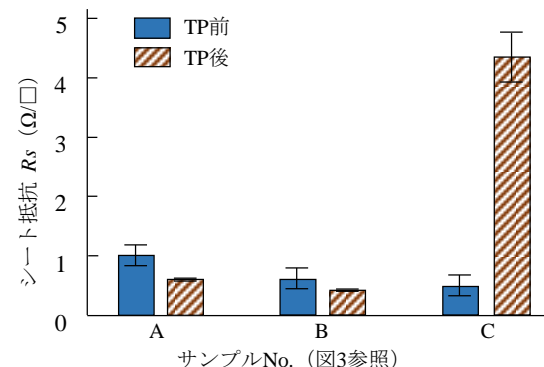


図5 TP前後のAu薄膜のシート抵抗  $R_s$

行ってスタンプの濡れ性を向上させた C は TP 前の約 10 倍の  $4\Omega$  以上の高い抵抗となった。

上記の原因を調査するため、TP 後の Au 薄膜表面を非接触式白色干渉測定装置 (Taylor-Hobson, タリサーフ CCI) で観察した。その結果を図 6 に示す。A には高さ  $2\mu\text{m}$  程度の不規則な凹凸が表面を覆っており、図には示していないが B も同様の形状であった。一方 C では、A に比べると表面の凹凸は低い、膜厚程度の深さの亀裂が約  $50\mu\text{m}$  間隔で形成されていた。すなわち条件 A および B の Au 薄膜は、表面の凹凸はあるが、低いシート抵抗となるような構造的連続性は保たれていたと考えられる。一方で、条件 C の Au 薄膜は亀裂によってシート抵抗が高くなったと考えられる。そのような亀裂生成は残留応力の緩和によるものと考えられる。薄膜の表面粗さは成膜条件等により改善可能と考えられるが、図 5 に示したシート抵抗は電極材料と許容範囲であったため、以降の実験では条件 B を用いた。

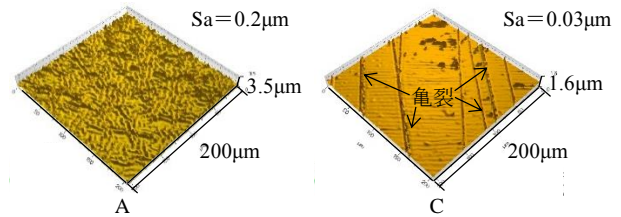


図6 TPしたAu薄膜表面

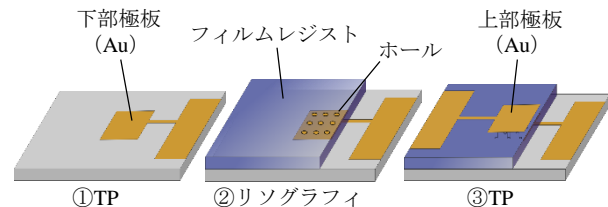


図7 TPを応用した触覚センサの作製工程

### 3. 触覚センサの試作

図 7 に示す工程で、TP を応用して触覚センサを試作した。①PET フィルムに下部極板となる Au 薄膜 ( $350\text{nm}$ ) を TP により作製し、②構造層として厚さ  $56\mu\text{m}$  のフィルムレジストを接着させる。レーザーリソグラフィで同レジストに直径  $100\mu\text{m}$ 、ピッチ  $500\mu\text{m}$  の微細穴を作製する。③微細穴を封止するように Au 薄膜を TP して上部極板を作製する。触覚センサの全体構造を図 8 に示す。

作製したセンサの外観を図 9 に示す。形状精度はやや低いものの、ほぼ目標となる構造が得られた。上下極板間の静電容量の初期値は  $6.8\text{pF}$  となり、TP で作製した構造がキャパシタとして機能することが確認できた。次に、図 8 に示した方法により、所定の負荷 (静荷重) を上部極板に作用させ、同圧力による静電容量の変化を測定した。その結果を図 10 に示す。圧力変化にともなって静電容量は線形的な増加傾向を示している。したがって、TP を応用して作製した 3 次元構造が、触覚センサの基本機能を有していることが確認できた。

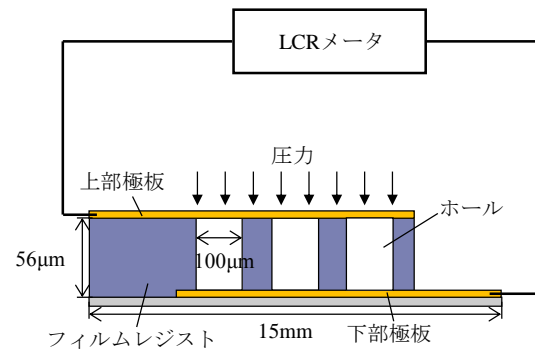


図8 触覚センサ全体構造および測定方法

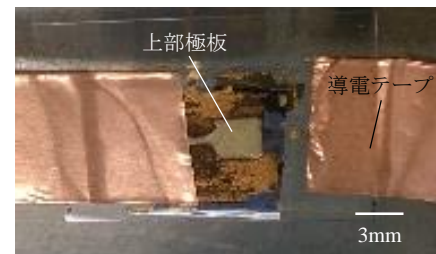


図9 触覚センサ外観

### 4. 結言

PDMS で作製したスタンプは、未処理のままの方が亀裂を発生せずに Au 薄膜を転写できることがわかった。その薄膜のシート抵抗は  $5\Omega/\square$  以下と十分低くなる。レジストで作製した微細穴を封止するように Au 薄膜を TP することで、 $0\sim 20\text{kPa}$  の範囲で圧力ともなう静電容量変化が確認でき、TP による触覚センサ作製の可能性を示せた。

#### 参考文献

- 1) T. Yamashita, et al., International Journal of Precision engineering and manufacturing, **15** (2014) 2581-2587.
- 2) 村上ほか, 精密工学会誌, **81**, 4 (2015) 344-348.

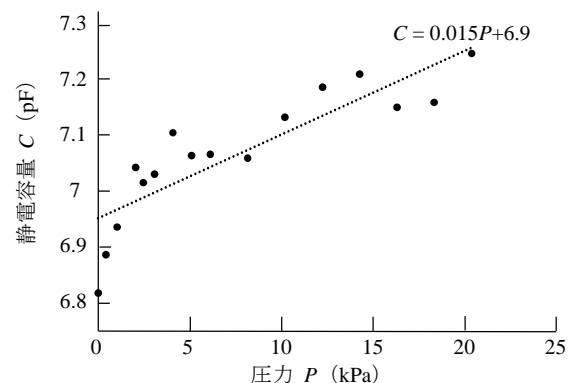


図10 圧力と静電容量の関係