

スタンプの幾何学的形状がトランスファプリントに及ぼす影響

首都大学東京 ○川畑敦士, ◎金子新

トランスファプリント (TP) において, スタンプ凸部の側壁角度が Au 薄膜の転写率に及ぼす影響を調査した. スタンプに Au 薄膜を真空蒸着すると, 側壁角度 90° では上端から $6\mu\text{m}$ 程度まで成膜されるが, 側壁角度 75° では上端から $3\mu\text{m}$ 以下となる. このため, 同一条件で Au 薄膜を TP すると, 側壁角度 90° のスタンプでは転写率が 7% だが, 側壁角度 75° のスタンプでは転写率が 78% となった.

1. 緒言

微小電気機械素子 (MEMS) は幅広い分野に応用されている. 従来は半導体プロセスを用いて作製されてきたが, 精密なパターンニングが可能一方, 煩雑なプロセスで, 基板材料の選択性が低いという課題がある. 一方, トランスファプリント (TP) は主に 2 次元パターンニングに用いられている技術だが, 図 1 に示すように加工基板へ適用することで 3 次元構造を作製でき, MEMS 作製への応用が期待されている.²⁾

しかし, TP ではスタンプと薄膜間の離型性が十分でない, 薄膜の破断が生じる²⁾. これまで, 表面改質による離型性改善も試みられてきたが, 薄膜の膜質を低下させてしまうという課題があった. 本研究ではスタンプの凸部側壁の薄膜のつき回りが離型性に関わっていると考え, その凸部側壁の角度と TP の転写率の関係を実験的に明らかになることを目的とした.

2. 側壁角度の異なるスタンプの作製

側壁角度 θ のスタンプに成膜すると, 側壁に付着する原子が減少し, 側壁の成膜量が減少することが見込まれ, 側壁の薄膜が少ない状態で転写することで離型性が向上すると考える. そこで, 以下のように側壁角度が異なるスタンプの作製を行った. スタンプ作製手順を図 2 に示す. PDMS でスタンプを作製する際のモールドとして, SU-8 (micro chem, SU-8 50) と TLOR (東京応化工業, TLOR-N001 PM) という 2 種類のフォトリソを準備した. 前者はリソグラフィ後にほぼ垂直壁をもつ構造となるが, 後者はオーバーハングした構造となる. したがって両者を使用すると側壁の傾斜角 θ の異なるスタンプが形成できる.

図 3 に作製したスタンプの断面 SEM 像を示す. SU-8 から作製したスタンプでは側壁の傾斜角が 90° となり, TLOR では 75° となった. したがって, モールドとなるフォトリソを変えることで, 側壁の傾斜角の異なるスタンプを作製できた. これらのスタンプを以降では 90° スタンプと 75° スタンプと称す.

3. 2 次元平面へのトランスファプリント

3.1 実験方法

前述の 2 種類のスタンプを用いたトランスファプリントにおける離型性を評価するため, 以下のような実験を行った. 高分子基板への TP の場合, 薄膜と基板との接着力 (表面力) は基板温度に依存し, 低温であるほどスタンプと薄膜の離型性が重要である.

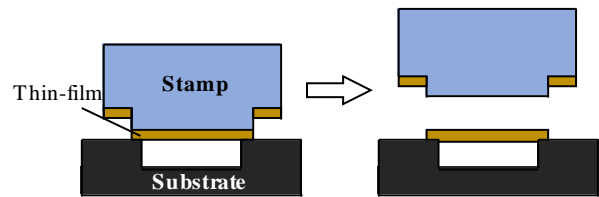


Fig. 1 Process of micro beam fabrication by transfer-print.

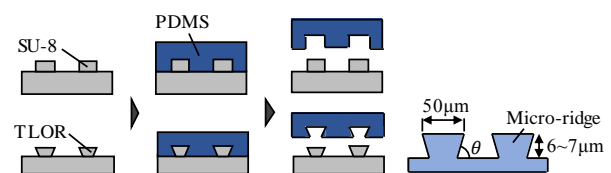
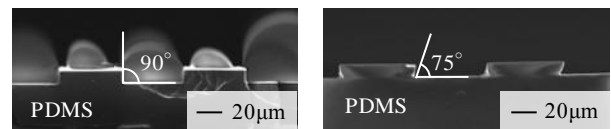


Fig. 2 Process of stamp fabrication.



(a) 90° stamp (Mold : SU-8) (b) 75° stamp (Mold : TLOR)

Fig. 3 SEM image of stamps.

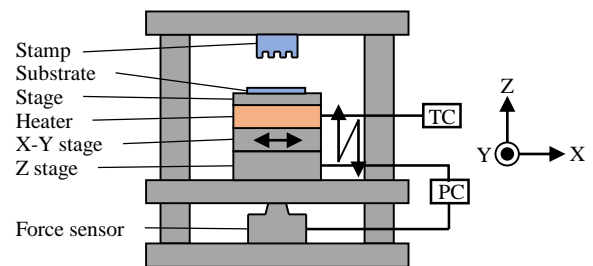
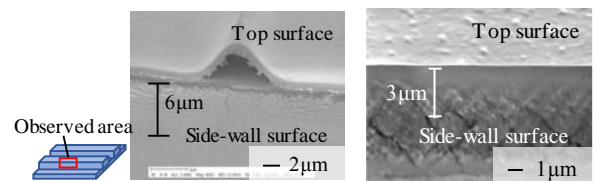


Fig. 4 Transfer-print set-up.



(a) 90° stamp (b) 75° stamp

Fig. 5 SEM images of micro-ridge of stamp.

そこで基板温度を変えて TP し、その離型性すなわち薄膜の転写性を調査した。基板には PET フィルム (帝人デュボンフィルム) を使用し、TP 時の基板温度は 300K (室温) から 423K まで変化した。本研究で使用したトランスファプリント装置の概略図を図 4 に示す。ステージの下部にセラミックヒーターを取り付けており、加熱しながらステージを Z 軸方向に動かし、ステージ上部に取り付けたスタンプと基板を接触させることが可能である。

なお、転写性の評価として次の式 (1) で定義する転写率を使用している³⁾。

$$\text{Rate of transfer} = \frac{\text{Area of Au}}{\text{Contact area of stamp}} \times 100[\%] \quad (1)$$

3.2 実験結果と考察

はじめに、Au 薄膜の凸部へのつき回り性を確認するため、その側壁を SEM (ELIONIX, ERA-600FE) で観察した。その結果を図 5 に示す。90° スタンプでは上端から 6 μm 程度まで成膜され、75° スタンプでは 3 μm 程度まで成膜されていることが確認できた。したがって、スタンプ凸部の側壁角度によって薄膜のつきまわり性 (成膜量) が変わっている。

図 6 に基板温度を変化させて TP した後の PET フィルム表面を SEM で観察した結果を示し、図 7 に転写温度と転写率の関係を示したグラフを示す。373K 以上の基板温度では 90° スタンプと 75° スタンプの転写率はほぼ 100% となり大きな差は見られなかった。基板温度が小さくなるにつれて両スタンプで転写率が低下するが、90° スタンプに比べ、75° スタンプでは転写率が緩やかに低下することがわかった。したがって、75° スタンプの方が薄膜とスタンプの離型性が向上していると考えられる。

さらに、転写率が 100% であっても、転写結果すなわち形状に違いはあった。図 7 に基板温度が 423K で転写圧力が 100kPa で転写した薄膜の端面の SEM 像を示す。端面の形状は 75° スタンプで転写すると直線上であったが、90° スタンプで転写すると破断して荒れていることが確認できる。この結果は 75° スタンプの離型性の良さを示すものである。

ここで図 9 に示すように、90° スタンプと θ スタンプの応力集中部近傍に発生する最大応力を σ_{90} 、 σ_{θ} とすると 90° > θ より式 (2) が成立する。

$$\sigma_{\theta} > \sigma_{90} \quad (2)$$

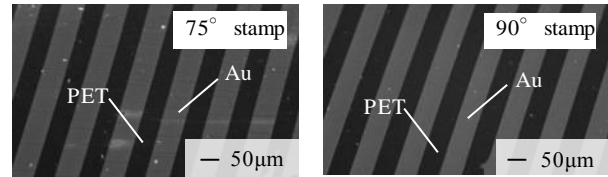
したがってクラック発生確率が θ スタンプの方が高くなり、側壁に成膜された薄膜が破断しやすく、離型性が向上したと考えられる。

4. 結言

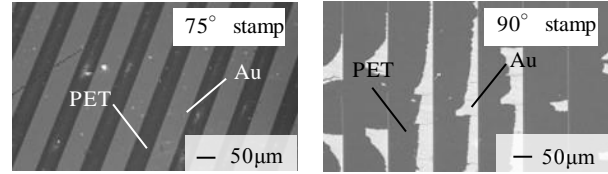
側壁の傾斜角が異なるスタンプに成膜すると、側壁の傾斜角が小さいスタンプの側壁の薄膜の成膜量が抑制されることを示した。また、同スタンプを使用して TP すると、側壁角度が小さいスタンプでは、トランスファプリントの転写性が良いことが明らかとなった。

謝辞

実験にご協力いただいた株式会社エリオニックスの小俣氏と雨宮氏に深く感謝します。



(a) Substrate temp = 423 K



(b) Substrate temp = 333 K

Fig. 6 SEM image of transferred Au film.

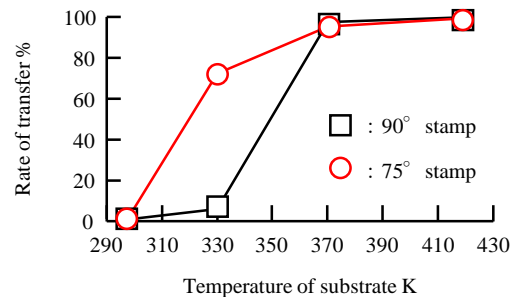


Fig. 7 Rate of transfer

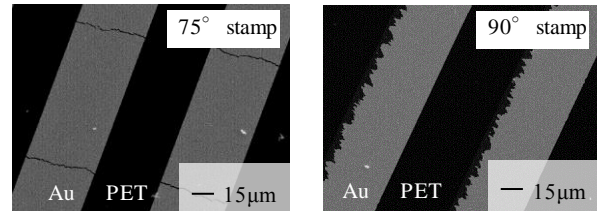
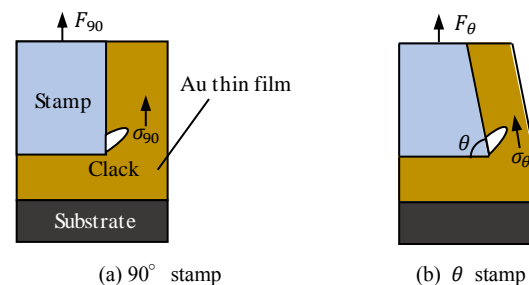


Fig. 8 SEM image of transferred Au film in 100 kPa.



(a) 90° stamp

(b) θ stamp

Fig. 9 Model of transfer-print.

参考文献

- (1) L. Ge et al., Microelectronic Engineering, **97**, (2012), 289.
- (2) 村上ほか, 精密工学会誌, **81**, 4, (2015), 344-348
- (3) 角場ほか, “トランスファプリントにおけるスタンプの表面粗さの影響”, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (2016) 259-260