

## 表面力によるトランスファプリントの転写性の検討

首都大学東京 ○三宮 龍, 森 章洋, ◎金子 新

表面力を用いてトランスファプリント (TP) における転写率について調査している. 直径 1mm の球状プローブを用いて表面力を測定した. PET と SU-8 は同程度の濡れ性 (水接触角  $60\sim 70^\circ$ ) であるが, これらを基板とした Au 薄膜のトランスファプリントでは転写率には違いがある. PDMS で被膜したプローブで測定された PET と SU-8 の表面力は  $600\mu\text{N}$  と  $500\mu\text{N}$  程度となった. Au 薄膜の TP における転写率は, PET で 100%, SU-8 で 50% となり, 前述の表面力と相関が確認できた.

### 1. 緒言

近年, 半導体プロセスに替わる IC 作製技術としてトランスファプリント (TP) が注目されている. TP は, 図1に示すように, スタンプ上の薄膜を基板へと転写する技術である. 従来は平坦なフィルムや基板を対象とした 2 次元パターン作製に用いられてきたが, 村上らは TP を加工基板 (凹凸構造) へ応用し, 図2のような両もち梁等の 3 次元構造の作製を行った<sup>1)</sup>. しかし, 薄膜の離型性が十分ではない場合には, 薄膜の破断や低い転写率となっていることが課題である<sup>1)</sup>. 適切な表面性状を明らかにするため, 濡れ性や表面粗さ等の影響を調査しているが, それらの表面性状と TP の結果が必ずしも整合していない.

本研究では, 固体表面間に作用する物理的な引力 (または斥力) である表面力に着目し, その大小と TP の転写性との関係について検討を行っている. 一般に大気環境下の表面力は吸着水に起因したメニスカスが支配的だが,  $100^\circ\text{C}$  以上の TP プロセスでは van-der-Waals の影響が大きいと考えられる. 表面力は AFM プローブを利用した測定法が提案されているが, 測定領域が小さいことなどから, TP の機構解明には適していない. 一方, エリオニクス社の表面力測定装置 (ESF-5000) は, mm スケールの広領域が測定可能であり, 一定の測定環境を保持できる. 以上から本研究では, 濡れ性の異なる表面に対する表面力を測定するとともに, Au 薄膜の TP を対象としてのスタンプ, 薄膜, 基板における表面力と転写率の関係について調査することを目的とする.

### 2. 濡れ性と表面力の関係

#### 2.1 表面力測定装置の概要

表面力測定装置 (ESF-5000, エリオニクス) の基本構成と工程を図3に示す<sup>2)</sup>. 同装置では, 高精度なばねを取り付けたプローブを用いて, プローブと試料間の表面力を測定する. すなわち, (a) プローブを試料に接触させ, (b) バネの他端を上昇させ, (c) プローブが試料表面から離れるまでの変位すなわちバネの伸び  $\Delta x$  を測定する. この  $\Delta x$  より表面力  $F$  を測定する.

#### 2.2 試料およびプローブの準備

本実験で使用するプローブと試料, およびそれらの濡れ性 (水接触角) を表1に示す. 本研究では, トランスファプリントのスタンプ材料である PDMS (Dow-coming), そして先行研究の代表的基板材料である PET (KEL-86W, 帝人), 厚膜レジスト SU-8 (Micro Chem.), ガラス, および OTS 成膜した

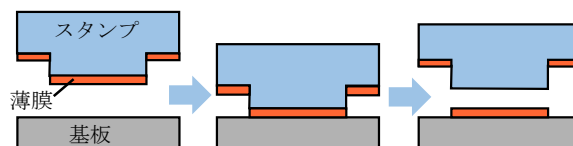


図1 TPの原理

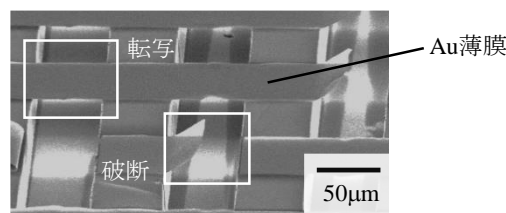


図2 加工基板への TP で作製した構造<sup>1)</sup>

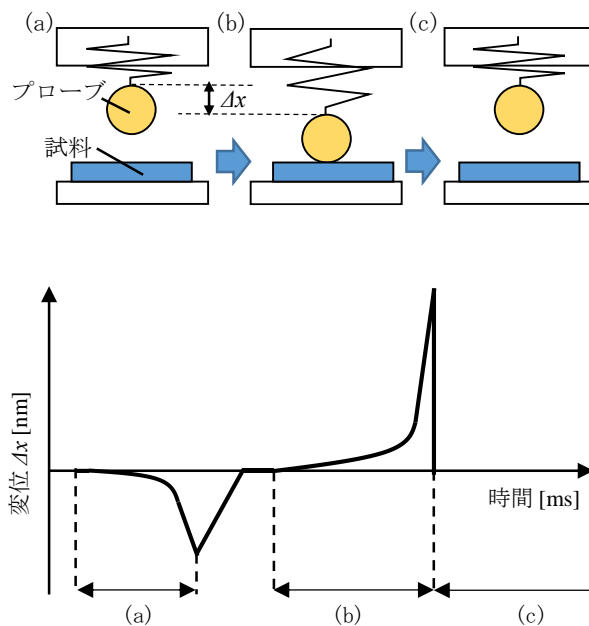


図3 表面の測定工程

表1 材料の表面力の測定条件

試料No.	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
プローブ	ガラス					PDMS	
試料	PET	SU-8	ガラス	OTS被膜 ガラス	PDMS	PET	SU-8
接触角	$58^\circ$	$60^\circ$	$60^\circ$	$106^\circ$	$108^\circ$	$58^\circ$	$60^\circ$

ガラスを試料として準備した。なお、ガラスへの OTS 成膜工程は以下のとおり。ピラニア処理 (2h) の後に、0.6wt% の OTS-シクロヘキサン溶液に 7min 浸漬させ、その後シクロヘキサンでリンスを行う。これにより接触角は 106°程度となる。また、測定用のプローブは標準のガラス (BK7) に加えて、撥水性を示す PDMS を被膜したプローブも用意した。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 表面力の測定結果

表面力の測定結果を図 4 に示す。同図では各試料の濡れ性 (水接触角) で整理するとともに、ガラスプローブと PDMS 被膜プローブの測定結果を併記している。ガラスプローブでの測定結果によれば、試料表面の濡れ性と表面力の相関は認められず、特に PDMS において極めて高い表面力が検出されている。このことから、測定された表面力はメニスカス力ではなく、van-der-Waals 力などが支配因子であると推測できる。また、PDMS プローブでの測定によれば、PET および SU-8 表面ともに、表面力はガラスプローブの場合よりも高い数値を示している。これらの結果から同装置で測定された表面力が、トランスファプリントとの転写性と同様に、接触する表面の材料と組み合わせに依存していると考えられる。

#### 3.2 表面力と TP の転写率の関係

PET への Au 薄膜のトランスファプリントを対象として、その転写性と前述の表面力との関係を以下のように調査した。凸部幅 50 $\mu$ m の PDMS スタンプを準備し、同スタンプに Au 薄膜を 50nm 成膜した。図 5 に示す装置を用いて、圧力 500 kPa、温度 150 $^{\circ}$ C、押し付け時間 10 分の条件下で、PET フィルムと SU-8 に対して TP を行った。薄膜の転写性は転写率 (= 転写された Au 薄膜の面積 / スタンプ凸部の面積) で評価した。

TP 後の PET と SU-8 を SEM で観察した結果を図 6 に示す。PET の場合には Au 薄膜がほぼスタンプ形状どおりに転写されているが、SU-8 表面では Au 薄膜に欠陥 (破断や欠落) が多数確認された。その転写率はそれぞれ 100% と 56% となった。この転写率と前述の表面力の測定結果をまとめたものを図 7 に示す。表面力が大きいほど、薄膜が基板側に転写されやすいと予測できる。ガラスプローブでは基板の表面力と転写率の結果が整合しないが、PDMS プローブでは基板の表面力と転写率の大小関係が一致する。現段階では、実験試料が少ないため確定的なことは言えないが、プローブ材料を適切にすることで表面力による TP の転写性の評価に利用できると考えられる。

### 4. 結言

本研究では、OTS を被膜させた試料を測定し、疎水化させることにより表面力が低下するが、同じ濡れ性でも素材によって表面力は変化することを確認することができた。また、プローブを PDMS に変更し、TP に用いられる材料の表面力を測定することで、表面力と転写率の相関を確認することができた。

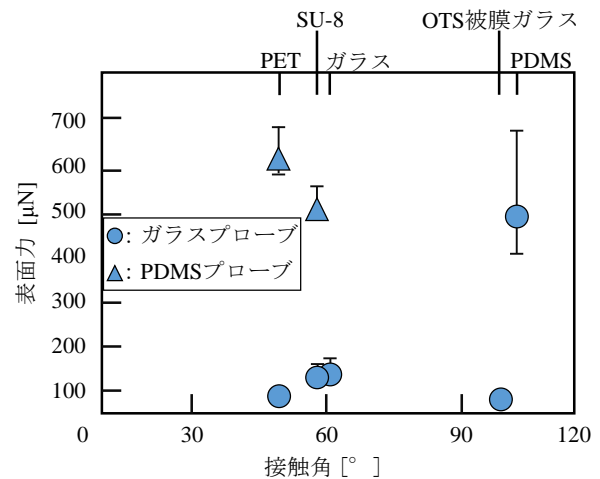


図 4 表面力の測定結果

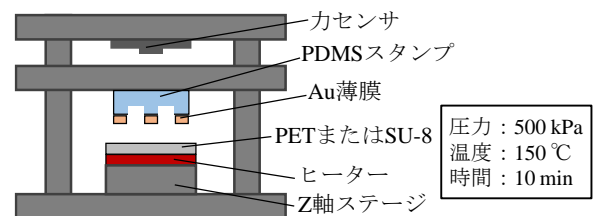
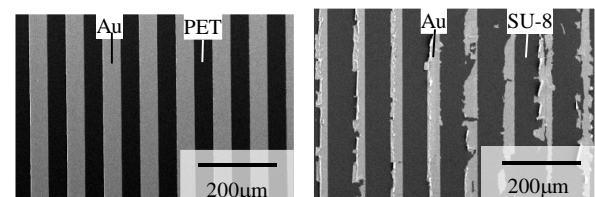


図 5 TP 装置および条件



(a) PET への Au の TP (b) SU-8 への Au の TP

図 6 TP 後の基板表面

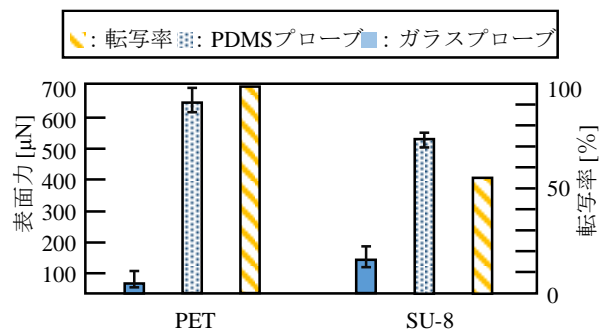


図 7 転写率と表面力の関係

### 参考文献

- 1) 村上ほか, 精密工学会誌, **81**, 4 (2015) 344-348.
- 2) 加藤孝久ほか, トライボロジー会議予稿集 (2014) 135-138