

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05729

研究課題名(和文) ナノトランスファプリントにおける表面力制御と立体構造への適用

研究課題名(英文) Micro-fabrication by nano-transfer-printing with controlled surface force

研究代表者

金子 新 (Kaneko, Arata)

首都大学東京・システムデザイン研究科・准教授

研究者番号：30347273

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：ナノトランスファプリントは、金属やナノ材料の薄膜をスタンプから基板に転写する技術である。本研究では、nTPにおける表面力制御法を調査し、薄膜を立体構造化する基本条件を明らかにした。プラズマ処理またはSAM成膜によりスタンプと基板の表面力が制御可能であり、その結果としてnTPの転写性を向上させることに成功した。スタンプの離型性を高くすると、金属薄膜を両もち梁や波板状に構造化可能であることを実証した。

研究成果の概要(英文)：PDMS stamps are processed in O₂-plasma for surface modification, so that the surface roughness Ra is adjusted in the range of 10 nm to 100 nm. The stamp with moderate surface force improves the transferring ratio of Au thin-film. It is confirmed that high modulus PDMS stamp is favorable in three-dimensional micro-fabrication by transfer-print as compared to low modulus PDMS, because Au thin-films could be easily formed in a micro-beam structure of 50- μ m-width and 150- μ m-length. It is also demonstrated that a micro-tactile sensor can be fabricated by transfer-print using the high modulus stamp with moderate surface force. Applying load in the range of 0 to 1 N to the fabricated micro-tactile sensor induces the capacitance to be linearly increased with the load, so that the prototype structure has a function of tactile sensing. Another transfer-printing makes bi-layered film of graphene oxide nanoparticles and Au formed into two-dimensional line patterns or rectangular-corrugated film.

研究分野：微細加工

キーワード：トランスファプリント 薄膜 微細構造 MEMS 表面力

1. 研究開始当初の背景

ナノトランスファプリント (nTP) は、スタンプを介して薄膜を転写し、マイクロ・ナノスケールでパターン化する技術であり、電極やトランジスタの作製例がある。薄膜の転写原理はスタンプ-薄膜と薄膜-基板の表面力 (接着力) の差である。しかし、表面力はアンカ効果や静電力などで複雑に変化し、薄膜や基板によって nTP に効果的な表面力は異なる。例えば、Au 薄膜では UV オゾン処理等の親水性表面で、ナノチューブでは疎水性表面で高い転写性が得られる。従来研究では特定の事例報告のみであり、nTP の材料に応じた表面処理条件は明確ではない。

一方、nTP による薄膜の立体構造化は、申請者らの厚さ 70nm の両もち梁や Lee らの直径 10 μ m の中空ディスクなどがあるが、創成可能な幾何学的形状は明らかでない。したがって、nTP による薄膜の立体構造化をマイクロセンサ (MEMS) に応用するためには、表面力を考慮しながら、薄膜および基板の材料と形状の適用条件を明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、nTP の汎用性および実用性を高めることを大目的に、①nTP の転写性・形状精度を向上させる表面力制御法の確立、②センサ応用を目指した 3 次元立体構造創成の基礎的条件を明らかにすることの 2 点を目的としている。具体的には、金属、酸化物、およびナノ材料の薄膜を対象とし、①では表面処理条件が nTP における加工性に及ぼす影響を体系的に調査し、②では薄膜または基板の幾何学的条件が創成構造に及ぼす影響を調査する。

3. 研究の方法

薄膜・基板に応じた表面力が得られる表面処理方法を確立する。

nTP 用の基板表面をプラズマ照射、自己組織化単分子膜 (SAM)、イオン照射により改質し、プロセス条件と表面力の成分 (濡れ性、表面自由エネルギー、表面電位、表面粗さ、など) の関係を明らかにする。次いで、薄膜は稠密・連続膜 (金属、酸化物) と粒子・不連続膜 (粒状、繊維状)、そして成膜条件による構造や物性で整理する。これらの薄膜を種々の表面物性の基板に nTP し、転写率および転写圧力との関係を調査する。その結果から各薄膜で支配的な表面力の成分を見出す。

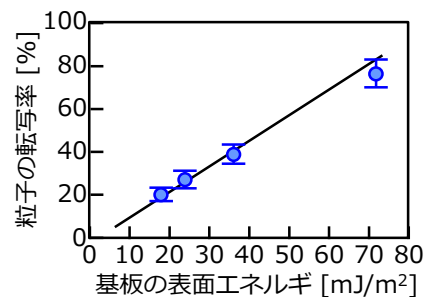
また、nTP で立体構造化できる薄膜形状を明確化するため、その基礎特性を明らかにする。スタンプ形状に倣った 3 次元構造と加工基板上への架橋構造を対象とし、スタンプの幾何学的特徴と転写性の関係、そして構造創成可能な寸法範囲を明らかにする。また、スタンプからの離型時に薄膜に作用する応力をシミュレーションし、上記実験結果の妥当性を検証する。その後、nTP で立体構造化し

た薄膜に対して、マイクロカンチレバー等を用いて機械的特性 (剛性等) や電気的特性 (導電性) を評価する。また、圧電薄膜と金属薄膜を nTP で立体構造化し、力センサ (触覚センサ) への応用を試み、その検出感度および耐久性を評価する。

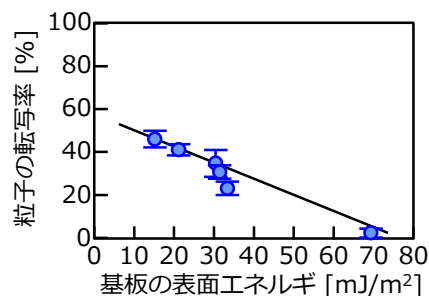
4. 研究成果

(1) 表面自由エネルギー nTP の関係

図 1 に表面自由エネルギーの異なる基板にナノ粒子をトランスファプリントした結果を示す。親水性ナノ粒子では、基板の表面自由エネルギーが低いほど転写率が高くなっている。これは界面自由エネルギーが最小のとき接着力が大きいという Fowkes 式に整合する。一方で、疎水性ナノ粒子の場合には、基板の表面自由エネルギーが高いほど転写率が高くなっており、Young Dupre 理論と整合することがわかった。



(a) 親水性ナノ粒子



(b) 疎水性ナノ粒子

図 1 表面自由エネルギーの影響

(2) 表面処理スタンプによる nTP

スタンプにプラズマ処理により表面改質を行うことで、薄膜の離型性を変えることに成功した。一定のマイクロラフネスと濡れ性により薄膜とスタンプの表面力が低下し、結果として nTP における薄膜の転写性が改善する。図 2 はスタンプの表面粗さと濡れ性を変えたとき、nTP で Au 薄膜を両もち梁状に構造化した場合の作製率と形状精度である。スタンプの表面処理により転写薄膜の平面度、および作製率が向上していることがわかる。

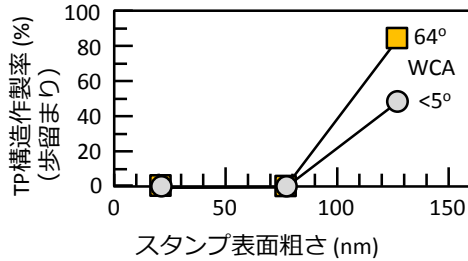
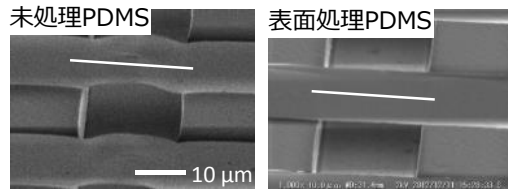


図2 スタンプ表面処理と nTP による微小両もち梁構造の作製結果

(3) nTP の作製構造のセンサ応用

適切な表面処理を実施したスタンプと、nTP のプロセス条件最適化により、TP による静電容量型触覚センサの試作を行った。nTP によって Au 薄膜をキャパシタの極板に構造化した。LCR メータを用いて極板間の静電容量(全体)を測定したところ、初期状態で 6.8pF のキャパシタとして機能していた。図 3 に示すように、上部極板に静荷重を負荷しながら、静電容量の変化を測定すると、静荷重とともに静電容量は線形的に増加した。TP によって作製した微小機械要素が触覚センサに応用可能であることを実証した。

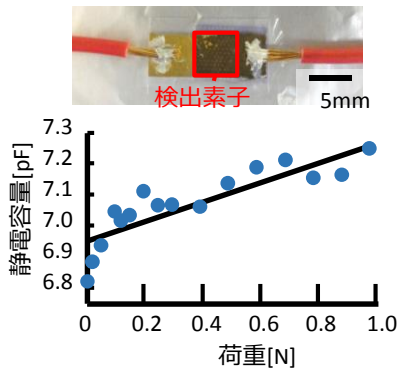


図3 触覚センサの試作結果

(4) ナノ粒子積層膜の nTP と立体構造作製

表面処理したスタンプに Au と酸化グラフェン (GO) ナノ粒子の積層膜 (膜厚 128nm) を堆積し、これまでのプロセス条件の影響を考慮した nTP を行った。その結果、図 4 に示すような矩形の波板状マイクロ立体構造を作製することに成功した。次いで、舞 k る雄マニピュレータに取り付けた AFM カンチレバーとデジタルマイクロスコープにより曲げ試験を行い、有限要素解析と併せて作製したマイクロ立体構造の機械特性を評価した。Au 薄膜単体で作製した構造でヤング率は

35GPa だが、酸化グラフェンナノ粒子を積層化させることで 125GPa になった。つまり、酸化グラフェンナノ粒子積層化により、nTP による作製構造の機械強度向上を実証した。

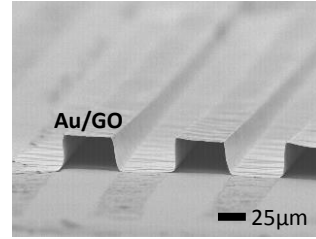


図4 ナノ粒子積層膜の立体構造

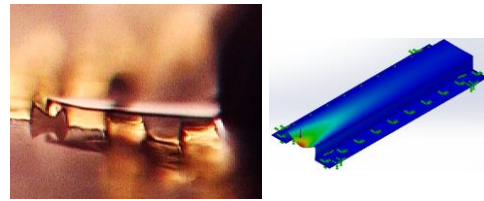


図5 マイクロ立体構造の曲げ試験

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- (1) A. Kaneko, Y. Miyazaki, T. Goto, Transfer-print of CNTs and Its Application to Cell Scaffold, International Journal of Automation Technology, 11, 6, (2017), 941-946.
- (2) 金子新, ナノ・マイクロスケールでの表面修飾と微細構造創成への応用, 機械の研究, 69, 6, (2017), 473-479
- (3) 村上大宙, 吉野健作, 金子新, トランスファプリントを応用した微小機械要素作製に関する研究, 精密工学会誌, 81, 4, (2015), 344-348.
- (4) A. Kaneko, H. Murakami, T. Yamashita, Effect of Surface Property on Transfer-Print of Au Thin-Film on Micro-Structured Substrate, International Journal of Automation Technology, 9, 4, (2015), 411-417.

[学会発表] (計 14 件)

- (1) A. Kawahata, K. Nagahashi, A. Kaneko, Effects of stamp geometry on transfer-printing of Au thin-film, Proc. The 7th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology, (2017).
- (2) K. Nagahashi, H. Kobayashi, M. Hasegawa, Y. Shima, A. Kaneko, An Investigation of Adhesive Surface Force on Nano-structured Surface Proc. The 7th International

- Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology, (2017).
- (3) T. Katayama, K. Nagahashi, A. Kawahata, A. Kaneko, Effects of stamp properties on transfer-print and its application to fabricate a micro-tactile sensor, Proc. The 9th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century, (2017).
- (4) 片山泰良, 川畑敦士, 長橋和人, 金子新, 原子拡散接合を援用したトランスファプリントに関する研究, 2018年度精密工学会春季大会講演論文集, pp.13-14
- (5) 三宮龍, 長橋和人, 川畑敦士, 金子新, Au/酸化グラフェン積層膜によるストレッチャブル配線の作製, 2018年度精密工学会春季大会講演論文集, pp.15-16
- (6) 川畑敦士, 片山泰良, 金子新, 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, 2017年度精密工学会秋季大会講演論文集, pp.645-646
- (7) 菅原鈴子, 三宮龍, 金田恵輔, 金子新, トランスファプリントした酸化グラフェン上での細胞接着, 2017年度精密工学会秋季大会講演論文集, pp.895-896
- (8) 長橋和人, 小林隼人, 長谷川真之, 島義和, 金田恵輔, 金子新, ナノ構造表面の表面力に関する研究, 2017年度精密工学会秋季大会講演論文集, pp.797-798
- (9) 森章洋, 三宮龍, 小林隼人, 長谷川真之, 長橋和人, 金子新, 表面力評価によるトランスファプリントの薄膜転写性の調査, pp.245-246
- (10) 片山泰良, 案納響平, 森章洋, 川畑敦士, 金子新, Au 薄膜のトランスファプリントに関する研究 (スタンプの形状の影響および MEMS への応用), 日本機械学会・第 11 回生産加工・工作機械部門講演会, pp.125-126
- (11) 森章洋, 案納響平, 長橋和人, 金子新, トランスファプリントによる Au/酸化グラフェン積層膜の微細構造作製, 2017年度精密工学会春季大会学術講演会, pp.867-868
- (12) 案納響平, 森章洋, 川畑敦士, 金子新, 光触媒効果を利用したトランスファプリントの転写性向上, 2017年度精密工学会春季大会学術講演会, pp.869-870
- (13) A. Mori, K. Annou, A. Kaneko, Micro-Patterning of Metal Thin-Films Using Multistep Transfer-Print, The 6th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology, (Harbin, 15th-19th, Aug)
- (14) 角場洋平, 森章洋, 案納響平, 金子新, 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, 2016年度精密工学会春季大会学術講演会, 講演論文集, (2016), 259-260.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

<http://www.comp.sd.tmu.ac.jp/kanekolab/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金子 新 (KANEKO, Arata)
首都大学東京・システムデザイン研究科・
准教授
研究者番号：30347273

(2) 研究分担者

諸貫 信行 (MORONUKI, Nobuyuki)
首都大学東京・システムデザイン研究科・
教授
研究者番号：90166463

(3) 連携研究者

()
研究者番号：

(4) 研究協力者

清水徹英 (SHIMIZU, Tetsuhide)
武田伊織 (TAKEDA, Iwori)
小林隼人 (KOBAYASHI, Hayato)