

補助事業番号 2021M-123

補助事業名 2021年度 自己組織化単分子膜と光触媒援用トランスファプリントによる  
微細構造作製技術の開発 補助事業

補助事業者名 東京都立大学 システムデザイン学部 機械システム工学科 金子研究室  
金子 新

## 1 研究の概要

本研究では、光触媒効果を薄膜・箔材のトランスファプリントスタンプに応用し、センサなどのマイクロデバイスに応用可能な微細構造作製技術の開発を行う。提案している加工技術は低エネルギー、低環境負荷、低コストでの実施が可能であり、これからの「持続的なものづくり」を具現化する技術であると言える。また、提案技術の確立は様々な機器・設備に搭載できるフレキシブルなマイクロデバイスの開発を促進し、結果としてSociety5.0などが目指す安全安心な社会システムの構築に貢献する。

## 2 研究の目的と背景

第5期科学技術基本計画で超スマート社会の実現に向けたSociety5.0が提唱され、同社会システムの実現には、あらゆるものから情報を収集・活用するナノ・マイクロデバイス(MEMS)の開発が必要不可欠である。そのためには、高分子フィルム、繊維、紙などをフレキシブルな基材への微細構造作製技術が必要であるが、従来の半導体プロセスだけでは対応が困難な場合もあり、印刷技術を応用が期待されている。とりわけ薄膜・箔材をスタンプから基材に転写するトランスファプリントは、構造材料、基材、および設計の自由度が大きい、将来の中核技術である。しかしながら、スタンプからの離型性が形状精度を向上するための重要な技術課題となっていえる。そこで本研究では、自己組織化単分子膜と光触媒援用トランスファプリントによる微細構造作製技術以下(1)～(3)を目的とした。

### (1) 光触媒と自己組織化単分子膜を被膜したスタンプの開発

光触媒と自己組織化単分子膜を被膜したスタンプを作製する。このスタンプに紫外線(UV光)を照射すれば、光触媒効果によって自己組織化単分子膜が分解されるため、薄膜・箔材の離型性が向上する。光触媒(酸化チタン( $\text{TiO}_2$ ))を成膜したガラス製スタンプへ、自己組織単分子膜(APTES, AHAPSなど)を簡易気相成膜またはインクジェット成膜する技術を開発する。

### (2) 自己組織化単分子膜の分解特性と光触媒援用トランスファプリント

上記(1)で開発したスタンプに紫外線(UV光)を照射し、自己組織化単分子膜の分解特性を明らかにし、トランスファプリントに適した単分子膜を選定する。その結果を応用して、金属薄膜(Au, Cuなど)および機能性ナノ粒子膜(酸化グラフェン、二硫化モリブデンなど)を対象とした光触媒援用トランスファプリントを行い、その離型性向上を実証するとともに、最適なプロセス条件を明らか

にする。

### (3) 光触媒援用トランスファプリントによるナノ振動子の開発

ナノインプリント等で製作した加工基板に光触媒援用トランスファプリントを行い、化学センサに応用可能なナノスケールの振動子を作製し、新たに構築するレーザー変位計を主体とした測定系によりナノ振動子の動特性の調査を明らかにする。その測定結果を微細構造の設計にフィードバックし、光触媒援用トランスファプリントによる実用的な化学センサの開発を試みる。

## 3 研究内容

### (1) 光触媒と自己組織化単分子膜を被膜したスタンプの開発

ガラス製スタンプにスパッタ成膜したTiO<sub>2</sub>表面への、自己組織化単分子膜の成膜技術の開発を行う。密閉容器を利用した簡易気相成膜およびインクジェット成膜のシステム構築とプロセス条件の最適化を行った。

### (2) 自己組織化単分子膜の分解特性と光触媒援用トランスファプリント

TiO<sub>2</sub>の光触媒効果による自己組織化単分子膜の分解速度を明らかにし、次いで、高分子フィルムを基材として光触媒援用トランスファプリントを行い、自己組織化単分子膜の分解による離型性向上を実証した。

### (3) 光触媒援用トランスファプリントによるナノ振動子の開発

光触媒援用トランスファプリントによりナノパターンを作製するとともに、3次元加工基板に応用して静電駆動型のナノ振動子を作製した。その静的変位と共振周波数などの動特性を明らかにし、有限要素解析(シミュレーション)との比較を行った。

上記の研究内容に関する主な写真を以下に示す

<p style="text-align: center;">1</p> 	<p style="text-align: center;">2</p> 	<p style="text-align: center;">3</p> 
<p>本事業で作製した光触媒援用トランスファプリント装置。UV光をスタンプに照射して光触媒効果を発現させながら、スタンプと基板を密着・加圧して薄膜を転写できる装置。</p>	<p>本事業で購入したインクジェット成膜システム。単分子膜やナノ粒子の溶液（液滴）を1mm以下の範囲に吐出して、薄膜やパターンを作製できる装置。</p>	<p>本事業で使用したナノ振動子の特性評価装置。駆動しているナノ振動子にレーザーを照射し、その反射光からナノ振動子の振幅や共振周波数を調べる装置。</p>
<p style="text-align: center;">4</p> 	<p style="text-align: center;">5</p> 	
<p>本事業で実施したナノ振動子のシミュレーション。有限要素解析によりナノ振動子の機械特性をシミュレーションした。</p>	<p>本事業で作製したナノ振動子。厚さ100nm以下の構造で、電圧印加により振動させることが可能。</p>	

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究で開発した光触媒援用トランスファプリントによる微細加工技術の成果は、学術論文や書籍などで公開している。したがって、関連技術者は先行する他技術とともに同技術を利用したマイクロデバイスの開発に着手できる状況にある。従来はコスト面などでMEMS利用が困難であった多品種少量生産の市場で、本研究の成果を展開することが期待される。また、本研究の成果は、マイクロデバイスの広範な普及を可能とし、人や社会を見守る安全安心で持続可能な社会システムの構築に貢献できると考えられる。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

申請者は平成30～令和2年度および平成27～29年度の科学研究費補助金（基盤B：18H01352，基盤C：15K05729）および（公財）JKA研究助成（2021，2017）の助成を得て、トランスファプリントによる微小機械要素作製に成功し、エレクトロニクス応用が主体の当該技術をMEMS作製へと展開した。上記研究によって、疎水性表面のスタンプは薄膜の離型性がよいが、薄膜が島状で不連続

になりやすいためにデバイス応用には不向きであること、限定的条件だが光触媒による離型性の発現効果が認められることを明らかにした。また、上記成果を報告した学会等で、同技術の実用化にはスタンプ開発やプロセス条件の最適化などの研究が必要であるとの示唆を得た。これらの成果や第三者からの意見が動機となり、本研究の提案に至った。

## 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- [1] Tatsuki Sugihara, Satoshi Nagai, Arata Kaneko, Precision Engineering, 74, (2022), 205-208.
- [2] Yuto KASUGA<sup>1</sup>, Keisuke KANADA, Arata KANEKO, Fabrication of Micro-oscillator by Printing technologies of Au thin film and graphene oxide, Proc. LEM21, (2022), 673-677.
- [3] 金子新, ストレッチャブルエレクトロニクスの技術動向, 第5章「トランスファプリントによる微細構造作製とMEMS応用」, シーエムシー出版. (2022年6月)
- [4] 杉原達記, 金子新, 2021年度精密工学会秋季大会, (2021), pp. 476-478.
- [5] 孔維綱, 春日祐人, 増田拓己, 蘇星, 金子新, 2022年度精密工学会春季大会, (2022), pp. 49-50.
- [6] 増田拓己, 金子新, 精密工学会第29回学生会員卒業研究発表講演会, (2022).  
(<https://www.comp.sd.tmu.ac.jp/kanekolab/new1006.html>)

## 7 補助事業に係る成果物

### (1) 補助事業により作成したもの

特になし, 出版物としては上記成果記載した論文等のみ

### (2) (1)以外で当事業において作成したもの

特になし

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 東京都立大学システムデザイン学部  
(トウキョウトリツダイガク システムデザインガクブ)

住 所: 〒191-0065  
東京都日野市旭が丘6-6

担 当 者: 教授 金子 新(カネコ アラタ)

担 当 部 署: 機械システム工学科(キカイシステムコウガツカ)

E - m a i l: kaneko-arata@tmu.ac.jp

U R L: <https://www.comp.sd.tmu.ac.jp/kanekolab/index.html>