微細加工と表面機能専門委員会

表面機能の創出のための微細加工技術*

Nano/Micro Fabrication Technology for Development of Surface Functions

吉野雅彦** 金子 新***

Masahiko YOSHINO and Arata KANEKO

Key words nano/micro fabrication, non lithography process, transfer print, 3D structures, stamp

1. はじめに

微細加工と表面機能専門委員会は、物体の表面に種々の微細テクスチャーを作製することにより新たな表面特性や表面機能を付与する技術の確立を目指し、2006年度に分科会として発足し、2008年に専門委員会として承認された。多くの工業製品の品質や特性はその表面特性に左右されていることは経験的に知られている。例えば機械部品の表面粗さが摩擦係数や光沢に影響するため、その部品の使用目的に合わせてさまざまな方法で表面仕上げ加工が施される。一般的には平坦で粗さの小さい表面が高品質な仕上げ面と考えられているが、潤滑性や付着性、手触り、見た目の質感などをうまく制御するためには、かえって微細な凹凸を表面に作製する方が効果的なこともある。そこで、どのような表面微細構造やテクスチャーがいかなる表面特性の発現につながるかを明らかにし、それを積極的に利用することにより新たな表面機能を創出する技術体系を確立することを本専門委員会の目的としている。

表面の微細構造によりさまざまな表面特性が発現する例は自然界によく見られる。例えば図1は蓮の葉の表面に

図1 蓮の葉表面の水滴

たまった水滴であるが、蓮の葉によって水分がはじかれ球状に保持され、葉を傾けると転がるように移動する。これは蓮の葉の表面がロウで覆われ、ある程度の撥水性がある上に、葉の表面に5~15 μ m程度の微細突起があることにより撥水性を高めているためである。この水滴により蓮の葉の表面に付着した汚れを落とす自浄作用もあるといわれている。

このように表面微細構造によりさまざまな機能を発現もしくは強化させることができる。このためには、寸法がサブ μ mからサブmm程度の微細な規則的構造を材料表面に加工する必要がある。このような微細形状を加工するには、UVリソグラフィ法やEBリソグラフィ法など半導体のプロセスが広く利用されている。これらの方法は、高精度でかつ比較的低コストで大量生産が可能であり、半導体製品などの製造に適している。しかし、プロセスが複雑で条件等の厳密な管理が必要であり、また、エッチングやクリーニングのための薬品類が必要なため、その管理や処理などの手間もかかる。さらに設備コストやランニングコストも大きくならざるを得ず、半導体のように比較的単価の高い製品でなければ、実用的には適用できない。一方、表面機能の発現に必要な微細構造は半導体素子ほど複雑ではないが、例えば撥水性表面などの応用を考えると、半導体よりはるかに広い面積が求められる。そのため、微細構造による表面機能を実用的に利用するにはサブ μ mレベルの形状を大面積に加工する技術が不可欠である。

本稿では、このような表面機能創出のための微細加工技術として今後の発展が期待されるトランスファープリントを紹介する。

2. 微細加工技術

表面の微細凹凸によりさまざまな表面機能が創出されることが知られているが、表面に異なる物質を付着させることによりさらに多くの機能を創出できると期待される。例えば潤滑性や耐食性を向上させるためさまざまなコーティング技術が開発されているが、この機能はあくまでコーティング膜の特性に限定される。しかし、異なる物質の構造

*原稿受付 令和元年8月9日

**正会員 東京工業大学大学院 (東京都目黒区大岡山 2-12-1)

***正会員 首都大学東京大学院 (東京都日野市旭が丘 6-6)

図2 CNTのトランスファープリント²⁾

体を表面に付着させることにより、基板と構造体の物質の組み合わせによる効果、さらに構造体の形態による効果が加わり、さまざまな機能創出の可能性が増える。

数 μm レベルの微細立体構造を作製する技術は数多く提案されているが、基板から材料を削り取っていく方法と、基板に材料を付加していく方法に大きく分類することができる。前者はあらかじめ金属薄膜をコーティングした基板にフォトリソグラフィ法により形状を描き、エッチングにより除去するプロセスが一般的であるが、この方法は基本的に表面に描いた形状に従い縦に削っていくため、立体的に入り組んだ複雑な構造を作製することは困難である。それに対して後者は、さまざまな形状の部材を付け加えていくので立体的な構造を作製するのに有効である。このような方法は3D micro AM (3D Micro Additive Manufacturing) と呼ばれている。

3D micro AMにはさまざまな方法が開発されている。UVレーザービームを用いて描画するマイクロ光造形法、2光子重合を利用しサブ μm の分解能を実現する方法、レーザーにより微粉末を焼結する方法、インクジェットにより樹脂や溶融金属を印刷し積層する方法、樹脂等を出し積層する方法、反応性ガスをレーザーなどで固体層に変換し堆積する方法、FIBにより堆積する方法、メッキにより積層する方法などが提案されている。また、素材も樹脂、金属、炭素系素材、セラミック系素材のほか細胞やDNAなど生物材料を積層する方法も提案されている。これらのプロセスの多くは通常の3Dプリンターと同様に、レーザービームやプローブなどを走査し物質を堆積させていく方式が多い。原理的には自在な立体形状を造形できる利点があるが、生産効率を高くすることは困難である。

効率的に立体構造を作製する方法として、著者らが注目している方法にトランスファープリント法がある。トランスファープリント法は、ソフトリソグラフィ法の一種であり、2002年にYueh-Lin Looらによって提案された。フォトリソグラフィ法などで作製された型（スタンプ）に金属などの薄膜をコーティングし、この型を基板に押し付けることにより、型の凸部の薄膜をインクのように基板に転写する方法である。基本的にスタンプを基板に押し付けるだけなので、簡便な工程で効率的に微細構造を大量に製造することが可能になる。インクによるスタンプと異なり、何でも移転するわけではなく、基板と薄膜の付着力が薄膜と型の付着力より強い場合に薄膜の微細構造が基板に移転する。そこで基板の表面をプラズマや紫外線で処理し表面エ

(a) 円柱状ドット

(b) 微細溝列

図3 PDMS製スタンプの例²⁾ 図4 PET板にトランスファープリントした円盤状CNT膜列²⁾

ネルギーを高める、もしくは基板や型表面にあらかじめ付着層もしくは剥離膜をコーティングしておくなどの処理が必要である。この技術により、平坦なPETフィルム上に電極やトランジスタを形成できることが示された¹⁾。

トランスファープリントにより作製した表面機能材料の例を示す²⁾。図2に示すようにPDMS製のスタンプにCNT膜をコーティングし、それを基板に押し付けることによりCNT膜を転写する。図3にフォトリソグラフィ法で作製したPDMS製のスタンプのSEM像を示す。ここにCNTを混合したDMFをインクとして塗布し焼き付け薄膜を生成し、それを95℃に加熱したPET基板に押し付けることにより転写した。図4はこのようにしてPET基板上に転写されたCNT円板列である。

CNTを転写したPET板は、細胞培養基板として利用できる。図5に、ラットの褐色細胞腫(PC12)をこのPET基板上で培養した例を示すが、細胞はCNT円板部分に選択的に張り付き成長していることが分かる。この基板を使えば所定の位置に細胞を配置できるため、薬品が細胞に与える影響などを検査するための細胞培養基板として有用である。

トランスファープリントにより立体構造の製作も可能である。図6にトランスファープリントにより微細な両持ち梁構造を作製した例を示す。PDMSで作製したライン&スペース構造のスタンプにスパッターコーティングより金属薄膜を生成した。次いでそれを10 μm の微細溝列を有するSU-8基板に、圧力2.8 MPa、基板温度423 Kで

図5 CNT/PET 基板上に培養したラット細胞²⁾

図6 トランスファープリントにより作製した微細両持ち梁構造³⁾

押し付け、トランスファープリントした、厚さ 100 nm の Au 薄膜が SU-8 の微細構造の上に橋渡しされ、下に空隙のある両持ち梁構造が作製されていることが確認できる。

トランスファープリントを重ねて行うことにより、さらに複雑な立体構造が効率的に作製でき、さまざまな表面機能、例えば光メタマテリアルやプラズモンセンサーなど光機能デバイスへの応用が期待される。

今後、このような効率的な微細加工技術、微細構造の製造技術についてさらに調査研究を進め、実用的な表面機能材料の実現可能性を模索していきたいと考えている。

3. 本専門委員会の活動状況

【2014 年度】

○第 1 回 (2014.7.15) @首都大東京

- ・講演 1 バイオセンサとバイオミメティクスへの機械工学からのアプローチ (岩手大学 山口昌樹)
- ・講演 2 危機感・違和感が失敗からの逆転成功を生む (東京大学 中尾政之)

○第 2 回 (2014.7.15) @首都大東京

- ・講演 1 凸版印刷における微細加工技術 (凸版印刷(株) 小西敏雄)
- ・講演 2 ナノバックリング技術を利用した光学シートの紹介 (王子ホールディング株式会社 岡安俊樹)

【2015 年度】

○第 1 回 (2015.3.16) @(株)小坂研究所

- ・小坂研究所三郷工場見学会および講演会

○第 2 回 (2015.8.5) @首都大東京

- ・講演 1 MEMS 技術によるナノ・マイクロ流体デバイスの作製技術とその生体分子解析への応用 (東京工業大学 茂木克雄)
- ・講演 2 高分子マイクロ・ナノ成形の最前線～RtR による UV および熱可塑性ポリマーの超精密転写技術～ (山形大学 伊藤浩志)

○第 3 回 (2015.9.5) @東北大学川内キャンパス

- ・精密工学会秋季大会シンポジウム「超精密加工による表面機能創成とその工学・医学への応用」(ナノ精度機械加工専門委員会との共同開催)

○第 4 回委員会 (2015.11.9) @(株)エリオニクス

- ・(株)エリオニクス工場見学および会社説明
- ・講演 1 高速偏光計測によるガラス割断現象の可視化と割断品質の定量評価 (千葉大学 松坂壮太)
- ・講演 2 新開発の大電流 EB 装置紹介 ((株)エリオニクス 新聞 高)

○第 5 回 (2016.2.5) @京セラ株式会社国分工場

- ・京セラ国分工場見学会 (切削加工専門委員会と共同開催)

【2016 年度】

○第 1 回 (2016.3.14) @日本パーカライジング株式会社

- ・日本パーカライジング株式会社見学および会社説明
- ・講演 1 自己析出型コーティング技術 (日本パーカライジング株式会社 石井 均)
- ・講演 2 金属の表面粗面化技術 イソナイト処理, ケミブラスト処理 (日本パーカライジング株式会社 藤野孝洋)
- ・講演 3 プラズマコーティング (名古屋大学 上坂裕之)

○第 2 回 (2016.8.9) @慶応義塾大学矢上キャンパス

- ・講演 1 インプラント型人工透析装置の開発 (慶應義塾大学 三木則尚)
- ・講演 2 3 次元微細構造を応用した機能性表面の開発

(慶應義塾大学 柿沼康弘)

- ・講演3 研究紹介(慶應義塾大学 小池 綾)
- ・慶應大学理工学部 青山・柿沼研究室見学

【2017 年度】

○第1回(2017.6.23) @中村留精密工業株式会社

- ・中村留精密工業株式会社の会社説明と工場見学
- ・講演1 強化ガラスの加工(中村留精密工業株式会社 出坂英史)
- ・講演2 高速・超高速切削領域の工具一切りくず摩擦特性について(横浜国立大学 篠塚 淳)

○第2回(2017.11.21) @東京工業大学大岡山キャンパス

- ・講演1 ダイヤモンドの表面改質に伴う強磁性発現による新機能創出(東京工業大学 山崎敬久)
- ・講演2 飛翔生物の翼の微細構造とバイオミメティクス人工翼(東京工業大学 田中博人)

【2018 年度】

○第1回(2018.4.6) @産業技術総合研究所 臨海副都心センター(「表面微細テクスチャと摩擦機能表面の創出」塑性加工学会プロセッシング計算力学分科会との共催)

- ・講演1 高圧水を用いた深絞り加工などにおける潤滑剤の流体挙動と塑性変形の準連成解析(電気通信大学 久保木孝)
- ・講演2 結晶塑性有限要素法による板材加工時の表面荒れシミュレーション(新日鐵住金株式会社 久保雅寛)
- ・講演3 微細ストラクチャ表面の機械加工技術(東京電機大学 松村 隆)
- ・講演4 金型表面のマイクロテクスチャリングとその無潤滑摩擦・摩耗挙動(首都大学東京 清水徹英)
- ・総合討論

○第2回(2018.7.20) @大阪大学大学院工学研究科 機械工学専攻

- ・講演1 挑越(大阪大学 高谷裕浩)
- ・講演2 表面テクスチャによる切削工具の高機能化(大阪大学 杉原達哉)

○第3回(2018.9.13) @東京工業大学大岡山キャンパス(「金属材料の組織解析と表面分析の基礎(装置見学付き)塑性加工学会との共催」)

- ・講演1 分析装置の基礎および事例紹介(東京工業大学 吉野雅彦)
- ・分析装置の見学
- ・講演2 光学式非接触表面形状測定の基礎((株)日立ハイテクノロジーズ 栗原順治)
- ・講演3 電子顕微鏡観察の基礎((株)日立ハイテクノロジーズ 谷 友樹)
- ・講演4 EBSD(Electron Back Scatter Diffraction)を用いた結晶方位および結晶相解析の基礎(TSL ソリューションズ(株) 鈴木清一)

【2019 年度】

○第1回(2019.3.19) @首都大学東京 秋葉原サテライト

キャンパス

- ・講演1 “STRATEGIES FOR IMPROVED VEHICLE SAFETY AND OCCUPANTS’ SURVIVABILITY: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES”(トロント大学 Shaker A. Meguid)

- ・講演2 プラズマプリンティングの原理とそのマイクロエンボス型加工への応用(表面機能デザイン研究所・所長 相澤龍彦)

○第2回(2019.8.23) @株式会社小松精機工作所

- ・講演1 微細加工と表面機能専門委員会の活動と最近のトピックス紹介(東京工業大学 吉野雅彦)
- ・講演2 中小企業だからグローバルマーケットで世界トップに挑戦できることと、その楽しさ(株式会社小松精機工作所 小松隆史)

4. お わ り に

今後は、さまざまな分野の技術および研究を調査し、工学的な体系化を目指していきたいと考えている。機能表面に関するニーズ、シーズを掘り起し、幅広くその可能性を追求していくことも目指している。本専門委員会はセミナーや見学会を中心に機能表面に関する調査や情報交換を行っているが、シンポジウムや国際ワークショップなどによりさらに間口を広げ、多くの研究者が参加できる機会を増やしたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) M. Vaezi, H. Seitz and S. Yang: A review on 3D micro-additive manufacturing technologies, Int. J. Adv. Manuf. Technol., **67** (2013) 1721-1754, DOI 10.1007/s00170-012-4605-2
- 2) A. Kaneko, Y. Miyazaki and T. Goto: Transfer-Print of CNTs and Its Application to Cell Scaffold, International Journal of Automation Technology, **11**, 6 (2017) 941-946.
- 3) A. Kaneko, H. Murakami and T. Yamashita: Effect of Surface Property on Transfer-Print of Au Thin-Film to Micro-Structured Substrate, International Journal of Automation Technology, **9**, 4 (2015) 411-417.

吉野雅彦

昭和59年3月東京工業大学理工学研究科機械物理工学専攻修士課程修了。昭和59年3月博士(工学)。
研究内容: 微細加工、硬脆材料の無欠陥加工、金属材料の組織材質制御加工

金子 新

2001年3月東京都立大学大学院工学研究科博士課程修了。2001年4月～2002年3月NTT 物性科学基礎研究所。2002年4月～2009年3月首都大学東京助教。2009年4月～首都大学東京准教授。
学位: 博士(工学)
研究内容: トランスファープリントを応用した微細構造作製とMEMS応用