

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月20日現在

機関番号：11301
研究種目：挑戦的萌芽研究
研究期間：2011～2012
課題番号：23651100
研究課題名（和文） バイオミメティック超撥水表面によるライデンフロストラチエット液滴輸送デバイス
研究課題名（英文） Leiden Frost Latchet Droplet Transfer Devices Based on Biomimetic Superhydrophobic Surfaces
研究代表者 藪 浩 (YABU HIROSHI) 東北大学・多元物質科学研究所・准教授 研究者番号：40396255

研究成果の概要（和文）：自己組織化によって作製されるハニカム状多孔質膜を基に得られる低摩擦な超撥水ピラー構造表面と、その表面形状制御、およびマイクロヒータアレイを組み合わせることで、ライデンフロスト現象を利用した高速で低消費エネルギーな液滴輸送デバイスを実現することである。耐熱性の高いポリジメチルシロキサンシートにハニカム状多孔質膜の構造を転写する手法を確立した。さらに Layer-by-Layer 法を用いた表面修飾手法および表面の機能化に成功した。これらの知見は低摩擦超撥水表面の形成に寄与し、ライデンフロスト現象を用いた液滴駆動デバイスの端緒となると考えられる。

研究成果の概要（英文）：This research aims for creating Leiden frost latches based on superhydrophobic surfaces prepared by self-organization process. Basic technologies for Leiden frost latches have been developed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学・ナノ材料・ナノバイオサイエンス

キーワード：超撥水、ライデンフロスト、バイオミメティック、液滴輸送、無電解メッキ

1. 研究開始当初の背景

熱したフライパンの上に水を垂らすと水滴が踊るように表面上を転がる。この現象をライデンフロストの滴といい、水滴がフライパンの表面で急激に熱せられ、気化することによってホバークラフトのように水滴を浮かせることに起因する。研究代表者らは疎水リマー溶液を加湿下で塗布し、製膜する過程で水滴が結露し、ハニカム状の多孔体を形成する事、その上面を剥離することで、突起状の構造を形成し、超撥水表面となる事を見いだしている。そこで、このような超撥水表面を用いることにより、ライデンフロストの原理を利用した液滴駆動デバイスが実現できるのではないかと考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、自己組織化によって作製されるハニカム状多孔質膜を基に得られる低摩擦な超撥水ピラー構造表面と、その表面形状制御、およびマイクロヒータアレイを組み合わせることで、ライデンフロスト現象を利用した高速で低消費エネルギーな液滴輸送デバイスを実現することである。

3. 研究の方法

本研究は以下の研究課題を順次遂行する事により、効率的に研究を進める。

- (1) 超撥水表面の微細加工
- (2) ニッケル/クロム合金の無電解メッキによるパターンニング
- (3) 液滴輸送評価系の構築

(4) 微細加工超撥水表面へのマイクロヒータの実装

(5) ライデンフロストラジェットによる液滴輸送の実証

これらの研究課題を後述の組織・スケジュールに基づき研究を行い、最終的に顕微鏡下での観察が容易な 100 μ L 程度の液滴をデジタル的に高速 (1mm/s 程度) で輸送できるデバイスを構築する。

上記の性能を達成するために必要な表面構造の物性は、マイクロヒータの熱に対して十分な耐熱性を持つ超撥水表面と、ニッケルメッキを局部的に施すことが可能なパターンメッキ手法である。

本研究では、耐熱性を持つポリジメチルシロキサン (PDMS) 表面への微細加工手法として、多孔体を介した UV-オゾン処理によるパターン転写について検討を行った。さらに、多様な材料を表面に形成するために、Layer-by-Layer 手法を用いた表面コーティングについて検討した。

4. 研究成果

研究期間中に耐熱性の高いポリジメチルシロキサンシートにハニカム状多孔質膜の構造を転写する手法を確立した。

ポリマー溶液を高湿度下でキャスト製膜することにより、ハニカム状の多孔質膜を形成することが可能である。さらにこのハニカム状多孔質膜は水滴を鋳型としているため、球状の空孔を持ち、空孔と空孔はラテラルに連通している。これは見方を変えれば、上下2層からなる多孔質膜が柱で支えられた構造と考えることができる。

ポリスチレンのクロロホルム溶液を高湿度雰囲気下でキャスト製膜する事で、ミクロンスケールの空孔を持つポリスチレンハニカム状多孔質膜をガラス基板上に作製した。作製したポリスチレン多孔質膜を基板から剥離し、あらかじめ作製しておいたポリジメチルシロキサンシートにハニカム状多孔質膜の上面を貼り付け、UV-オゾン処理を行う事で、空孔内部を座屈によって変形させることで、パターンの転写を行った(図1)。

UV-オゾン処理の時間および用いるポリジメチルシロキサンシートの弾性率を変化させると、表面の凹凸が弾性率や UV-オゾン処理の時間に依存して変化することを明らかにした (図2)。

さらに、サブミクロンサイズのポリスチレン微粒子をキャストすることにより形成されるコロイド結晶をポリジメチルシロキサンシートに押しつけ、同様に UV-オゾン処理を行うことにより、ポリジメチルシロキサンシート表面上にポリスチレン微粒子の配列を転写することに成功した。

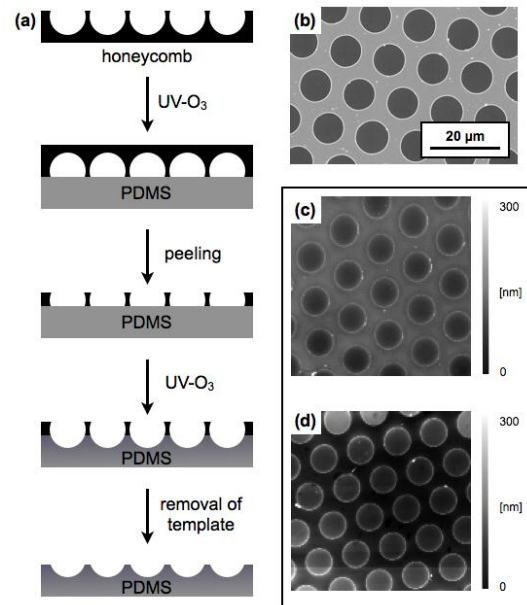


図1. ポリジメチルシロキサン (PDMS) シートへの構造転写手法(a)と鋳型ハニカム多孔膜の電子顕微鏡像(b)および転写された構造の原子間力顕微鏡像(c), (d)。

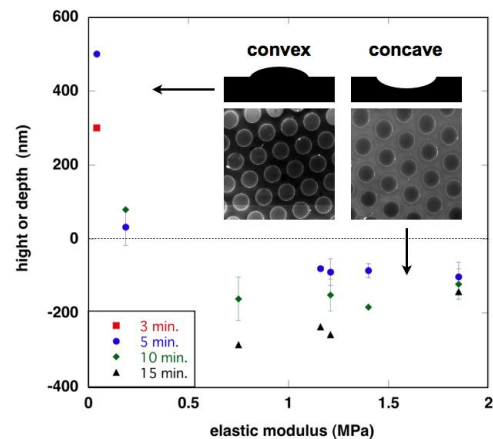


図2. 用いるポリジメチルシロキサンシートの弾性率と転写された表面凹凸の高さ/深さ。

本手法の特徴は、多孔質構造を耐熱性の高いポリジメチルシロキサンシートに転写できるだけでなく、多孔体鋳型をポリジメチルシロキサンシート上に形成した後、空孔サイズよりも十分大きなパターンを持つフォトマスクを通して UV-オゾン処理を行うことにより、光パターンニングされた表面凹凸構造をポリジメチルシロキサンシート上に形成することが可能である事である (図3)。

以上の結果から、ポリジメチルシロキサンの様な耐熱性エラストマー表面に超撥水表面の起源である多孔構造を転写できる事を

示した。

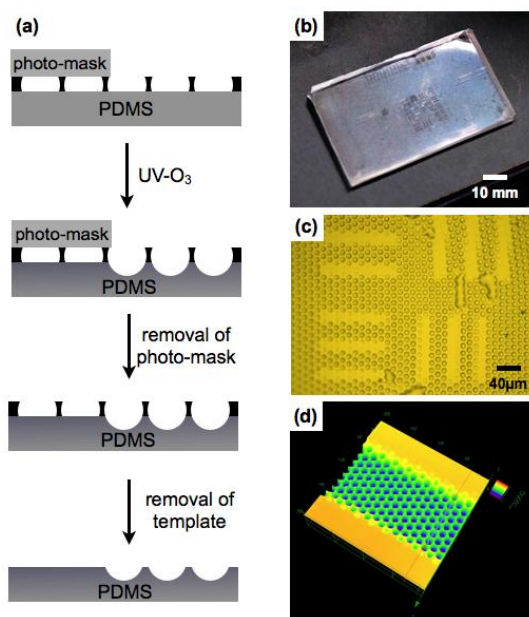


図3. フォトマスクを用いた表面微細構造転写のスキーム (a) と形成された表面パターンの写真 (b)、光学顕微鏡像 (c) およびレーザ顕微鏡像 (d)。

これら表面微細構造を持つ材料にメッキなどの処理を施すためには、静電相互作用や錯形成など、金属あるいは金属イオンと相互作用する物質を表面に固定化することが必要である。

そこで本研究では静電相互作用によりアニオン性とカチオン性高分子を交互に積層する事により表面改質を行うLayer-by-Layer法により、多孔体表面の改質を行うことを考案した。

ポリスチレンから作製したハニカム状多孔質膜を作製し、その表面をUV-オゾン処理により親水化した。この親水化プロセスでハニカム状多孔質膜表面にはカルボン酸などのアニオン性極性官能基が形成される。作製した表面改質ハニカム状多孔質膜をポリカチオンであるポリアリルアミン塩酸塩水溶液に浸漬した後、水洗した。さらにこのサンプルをポリイミドの前駆体であり、ポリアニオンであるポリアミック酸の水溶液に浸漬した。この操作を繰り返すことにより、ハニカム状多孔質膜表面にポリイオンコンプレックス膜を形成した (図4)。

Layer-by-Layer法によりポリイオンコンプレックス膜で表面被覆されたハニカム状多孔質膜表面はラフネスが上昇した。さらに作製した膜を無水酢酸とピリジンの溶液に浸漬することで化学イミド化を行った。イミド化はフーリエ変換赤外九州により同定を行った。その結果、250℃までその構造を保つ事が明らかとなった (図5)。

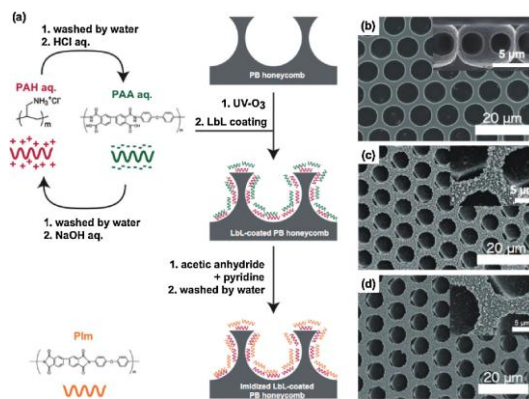


図4. Layer-by-Layerによる表面コート手法のプロセスと、コート前後のハニカム状多孔質膜の走査型電子顕微鏡像。

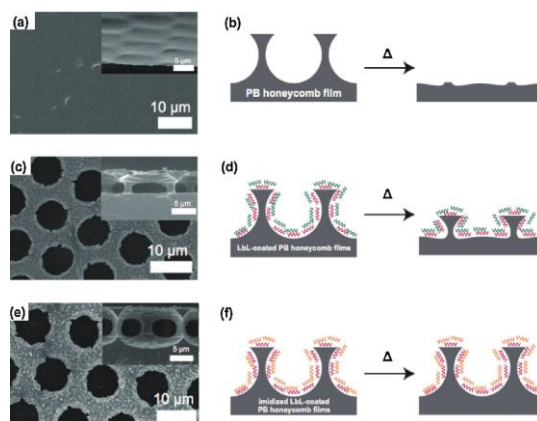


図5. Layer-by-Layer手法によって表面コートしたハニカム状多孔質膜としていないハニカム状多孔質膜の加熱後の走査型電子顕微鏡像。

以上の知見は低摩擦超撥水表面の形成に寄与し、ライデンフロスト現象を用いた液滴駆動デバイスの端緒となると考えられる。

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1件)

1. Hiroshi Yabu, "Self-assembled porous templates allow pattern transfer to poly(dimethyl siloxane) sheets through surface wrinkling", *Polymer Journal*, 44(6), 573-578 (2012) (査読有り) DOI:10.1038/pj.2012.43

[学会発表] (計0件)

[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://poly.tagen.tohoku.ac.jp/yabu_homepage/hiroshi.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藪 浩 (YABU HIROSHI)

東北大学・多元物質科学研究所・准教授

研究者番号：40396255

(2) 研究分担者

下村 政嗣 (SHIMOMURA MASATSUGU)

東北大学・原子分子材料科学高等研究機構・教授

研究者番号：10136525

平井 悠司 (HIRAI YUJI)

東北大学・多元物質科学研究所・助教

研究者番号：30598272

(3) 連携研究者

()

研究者番号：