

生物模倣による表面張力駆動液体操作

名工大院工 ○石井 大佑

[緒言] 近年、医療用カテーテルや分析装置といった微小流路をもつマイクロ流体デバイスの研究が盛んである。微小流路のメリットは、分析試料の微量量化による廃棄物削減や反応速度上昇による実験効率の向上などが挙げられる。しかし、既存の微小流路はチューブ状の閉塞流路であるため、液体を輸送するために流路内を高圧にする必要があり、不純物付着による流路阻害や洗浄効率の悪化といった問題を抱えている。

生物のもつ表面構造機能を模倣し、上記の問題を解決することを試みた。岸壁に生息するフナムシの後ろ脚には、水を効率よくエラまで輸送する毛状の微小構造で形成されたオープン流路がある (Fig. 1) [1]。我々のグループでは、表面濡れ性を制御した実際の脚の直接的な物理化学的測定を試み、流路を形成している微細構造の濡れダイナミクスの違いと表面化学組成の違いにより、液体が輸送されている事を明らかにした [2]。これまでに、フナムシの流路構造を模倣した微細表面をフォトリソグラフィにより作製し、表面濡れ性を制御することで、フナムシと同様に親疎水性の違いを利用して水輸送を実現できている [3]。また、作製したフナムシ流路の安全装置を見つけたこと、および、フナムシ模倣流路でも安全装置が再現できることを報告している。本講演では、表面の微細構造の化学組成を系統的に変化させることで、純水のみならずオイル輸送も可能であることを見いだしたことから、表面修飾のパターンニング等により液体輸送および水-オイル分離システムなど、液体輸送制御に関して報告する。

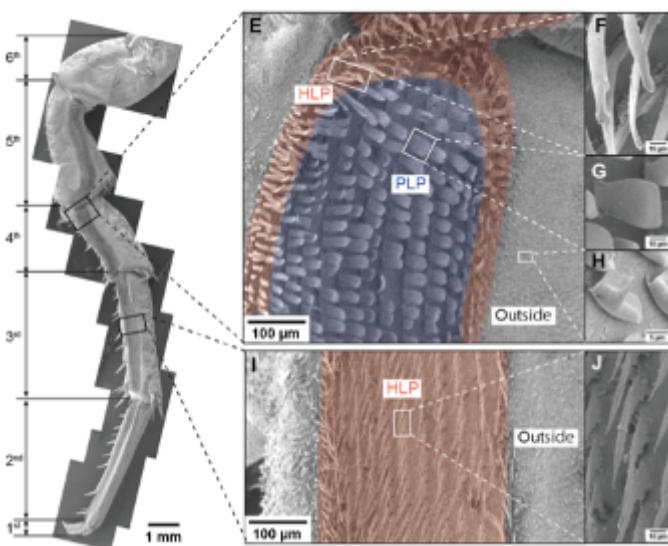


Fig.1 Combined SEM image of the VI leg and magnified SEM images of open capillaries. [2]

[実験] サイズや配列の異なる μm スケールの突起構造で構成されるフナムシ模倣流路を、フォトリソグラフィによりシリコンウェハ上に作製した。真空紫外線照射により流路表面を親水化し、CVDにより疎水性の物質で表面修飾した。作製した模倣流路の重力に逆らった自発的な液体輸送を動画撮影し、画像解析により液体の輸送能力評価を行った。また、真空紫外線の照射部と非照射部のパターンニングにより、表面修飾のパターンニングを行った。得られたパターン流路を用いた水-オイル分離プロセスに関する検討した。

[結果と考察] フナムシのオープン流路は、流路縁部の針状毛と中央部のペダル状毛で構成されたキャピラリーバンドルで形成されている。それぞれの水輸送挙動の詳細観察から、針状毛とペダル状毛の濡れダイナミクスが異なり、流路縁部の針状毛からなる流路に水が先に満たされて流路を形成した後、流路中央部のペダル状毛に水が満たされて液量を補充していた。

つまり、流路形成の役割をもつ針状毛と流量確保の役割をもつペダル状毛が複合している微細構造の濡れやすさの違いを利用したオープン流路である。

まず、フナムシ模倣オープン流路の濡れやすさの違いを表面処理により形成させ、その流路機能について検討した。微小ブレードの均一な配列パターンをもつ模倣流路を真空紫外線照射して親水化した場合、流路に沿った水の抗重力輸送が確認された。照射しない場合は、水の抗重力輸送は起きないことから、表面の濡れ性の違いにより、流路になる部分とならない部分を作り分けることが可能である。そこで、スリットマスクを用いて照射部のパターニングをした結果、真空紫外線の照射部のみに水が流れる流路を作製することができた (Fig.2a)。同様のパターニングにより、水だけでなくシリコンオイル等の多種の液体を照射部のみに流すことができた (Fig.2b)。

次に、真空紫外線の照射部に CVD を用いてフルオロシラン (FAS17) で表面修飾した。その結果、流路であった照射部の水およびオイルの接触角が大きくなり、流路機能は失われた。しかし、再度の真空紫外線照射により、接触角は小さくなり再び流路として液体が流れることができた (Fig.3)。つまり、表面の濡れ性の制御により流路機能の有無を制御できることが示唆された。この現象を利用し、書き換え可能な流路として用いる事ができる。これらの結果は、今後の微小流路の設計の効果的な指針となる。

本研究では、平板状突起で構成された表面構造において、突起の配列変化が液体の濡れ広がりへ及ぼす影響を明らかにした。その結果、流路に対して短軸方向と長軸方向のミクросケールでの濡れ拡散挙動が、マクロスケールでの液体輸送速度を制御していることが分かった。講演では、このような輸送制御に必要な表面構造の最小構成単位に関する議論する。

[1] H. Horiguchi, *et al.*, *Biol. Bull.*, **213**, 196 (2007). [2] D. Ishii, *et al.*, *Sci. Rep.*, **3**, 3024 (2013). [3] M. Tani, D. Ishii, S. Ito, *et al.*, *PLoS ONE*, **9**, e94341 (2014).

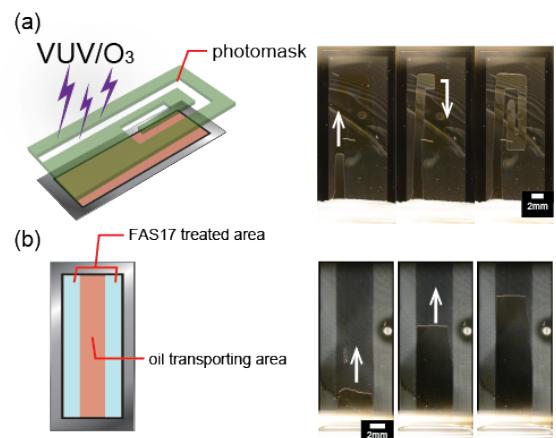


Fig.2 “Writing” liquid transport channels with surface modifications. (a) Schematic of experimental setup and image sequence of water transport. The area highly treated with VUV/O₃ was able to transport water without leaking out to non-treated area. (b) Schematic of an open channel partially treated with CVD of FAS-17 and image sequence of silicone oil transport. The central area exclusively transports oil without leaking out to FAS-17 treated area.

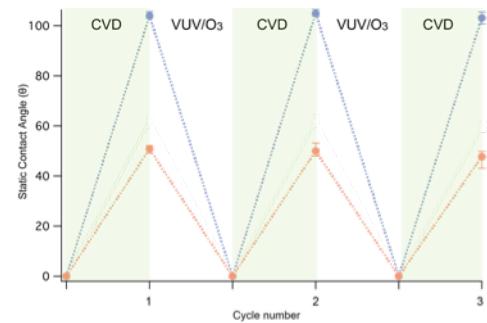


Fig.3 Contact angles of water (blue line) and n-hexadecane (red line) on silicone wafer modified by VUV/O₃ and CVD of FAS17 over 3 times.