

# 光制御型微小流体バルブの開発

## 新規表面疎水化法により光で微小な流れを制御

紫外光の照射により、ポリマーから放出された疎水性物質を固相表面に吸着させる新規表面疎水化法を発見した。そして、酸化チタン膜の超親水性および光触媒作用と組み合わせることにより、新規な光制御型微小流体バルブを開発した。これにより、光の強弱で微小流路内壁の表面物性を局所的に変化させ、分岐路における流体の流れ方向を可逆的に切り換え可能である。

Photo-induced super-hydrophilicity on titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) was applied to microfluidics as a novel micro valve device. Although the initial hydrophobic property on TiO<sub>2</sub> surface has been hardly reproduced in a minute by optical control, we found out a new phenomenon for reversible wettability conversion using polydimethylsiloxane (PDMS). Here we present the rapid reversible wettability conversion with microsystem of a simple PDMS and TiO<sub>2</sub> substrate by optical control. Furthermore, the micro optical switching valve (MOS/V) based on the super-hydrophilicity has been successfully demonstrated in a model channel. The MOS/V will be useful for a wide applicability in highly integrated micro/nano fluidics.

永井 秀典 Hidenori Nagai  
hide.nagai@aist.go.jp

ヒューマンストレスシグナル研究センター  
ストレス計測評価研究チーム

これまで、微細加工技術を用いてバイオテクノロジーや分析技術を微小化する研究に従事。細胞サイズまで微小化した反応場を、数センチ角のチップ上に集積化することで、多数の細胞から個別に遺伝子を増幅する技術や、電気泳動技術をオンチップ化したマイクロチップ電気泳動法に関する研究開発を進めてきた。現在は、表面物性を制御することにより、微小流体を操作するための要素技術の開発を行っており、将来的には、複数の微小デバイスを大規模に集積化したシステム開発を目指している。



刻一刻と変化する微量な生体成分(バイオマーカー)の計測には、試料の抽出・濃縮・分離・検出の一連の操作を迅速化・集積化した小型可搬システムが不可欠である。近年、半導体微細加工技術を利用して、分析装置や反応装置を小型化する研究の進展は著しく、微小化・集積化が急速に進展している。より高度な集積化チップを実現するためには、微小流体を自由に操作する技術が望まれている。現在、微小流体デバイス中の溶液の流れ方向を制御するために、さまざまなバルブが提案されている。しかし、その多くは構造が複雑で、これ以上の微小化が困難

な点や、周辺にバルブ駆動に必要な加圧・減圧用の制御機構が必要なため高集積化には不向きである。

そこで、我々は、外部に圧力制御機構やアクチュエーターを全く必要としないオンチップ型のバルブを実現するために、光照射のオン・オフのみで微小流体の流れ方向を制御できる新規光制御型微小流体バルブ (Micro Optical Switching Valve; MOS/V)を開発した。

MOS/Vの基本原理は、光によって表面物性(ぬれ性)を制御することである。すなわち、図1に示すように、マイクロチャネルの分岐点において、各分岐チャネル内壁の表面ぬれ性を光に

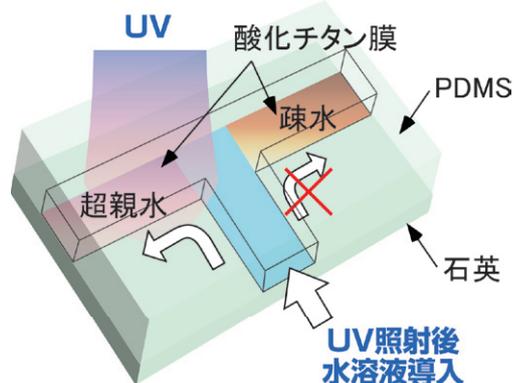


図1 光制御型微小流体バルブの概要

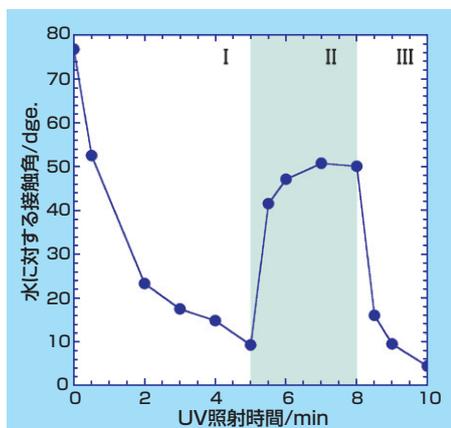


図2 UV照射による酸化チタン表面の超親水化

I : PDMSを用いた新規表面疎水化

II : 光分解による再親水化

III : による可逆的な表面ぬれ性制御

よって局所的に制御し、表面張力に依存するラプラス圧の差によって、微小溶液の流れ方向を選択的に制御する。従来、表面ぬれ性の光による制御法としては、酸化チタン表面への紫外光照射により、水に対する表面ぬれ性が著しく低下する超親水化作用が知られている。酸化チタンを利用することにより、表面の迅速な親水化が可能であるが、可逆的に光を用いて迅速に疎水性の方向へ戻す手法は確立していなかった。しかし、最近、我々は、ポリジメチルシロキサン (PDMS) を通して紫外光を照射することにより、超親水化した酸化チタンの表面ぬれ性が超親水化前のレベルへ戻る現象を発見し、これを利用することに成功した。

図2に、酸化チタン膜への光照射による超親水化と、PDMSを介した光照射による疎水化を、連続的に行った際の表面ぬれ性の経時変化を示す。光源には、親水化・疎水化ともに、312 nm にピーク波長をもつUVランプを使用し、表面ぬれ性は水に対する接触角により評価した。その結果、新しい表面疎水化法により、超親水化した酸化チタン表面を、1分程度で疎水化できた。この際、PDMSから未重合のモノマー

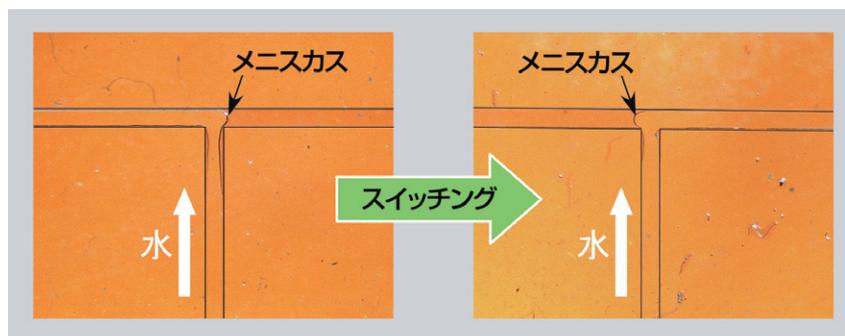


図3 微小流体のスイッチング

T型流路の右側のみをレーザー照射し水溶液を導入(右)し、引き続き左側のみ照射して水溶液を導入(左)する。

が放出されることをGC/MSにより確認した。よって、ポリマー中の未重合のPDMSモノマーが紫外光を吸収後、気化しPDMS表面から放出されたものと考えている。特に、光強度が強い場合は、酸化チタンの超親水化作用と、光触媒による吸着モノマーの分解の過程が優位だが、弱い光強度では、疎水性モノマーの放出・吸着の方が優位で、この3種類の光反応のバランスにより、表面ぬれ性を制御できることを明らかにした。

以上の原理を利用して、フォトリングラフィーによりPDMS表面に形成した微小流路と、酸化チタンを成膜した石英基板と接合させたT型の微小流路を用いて、MOS/Vの動作を確認した(図3)。溶液を通す側(図中右側)の流路のみ、PDMS側から波長325nmのHe-Cdレーザーで照射し、水溶液を注入したところ、超親水化したチャンネ

ル側のみ溶液が流入した。引き続き、これとは逆(図中左側)の流路について同様にレーザーを照射して溶液を注入したところ、流れ方向を切り換えることが可能であり、光制御による微小流体の制御を実現した。

今回開発したMOS/Vは、構造がシンプルで、さらなる微小化も容易なオンチップ型微小バルブであると考えられる。今後、酸化チタン膜の光応答性をより感度の高いものにするにより、1枚のフォトマスクと単一光源で複数のMOS/Vを同時に制御できるようになり、微小流体デバイスの大規模集積化のキーテクノロジーになると考えている。そして、この技術により、多検体・多項目を同時に分析できるポータブルな診断システムや、ドラッグスクリーニングシステムなどの超小型化への応用が実現できるものと期待される。

#### 関連情報：

- 特願 2003-345586 「流体の制御方法」(永井、脇田、高橋) .
- 特願 2003-345585 「対水接触角の制御方法」(永井、脇田、高橋) .
- PCT/JP2004/14499 「流体の制御方法」(永井、脇田、高橋) .
- PCT/JP2004/14498 「対水接触角の制御方法」(永井、脇田、高橋) .