

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 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011 ～ 2012

課題番号：23656184

研究課題名（和文）

電気化学反応による表面機能制御を用いたマイクロ流体チップ制御機構

研究課題名（英文）

Microfluidic Control Using Surface Regulation by Electrochemical Reactions

研究代表者

丸山 央峰 (MARUYAMA HISATAKA)

名古屋大学・工学研究科・助教

研究者番号：60377843

研究成果の概要（和文）：

本研究では、マイクロ流体チップ内で必要となるマイクロバルブ・ソーター、ポンプ、及び微粒子や細胞の捕捉機構の実現を目的として、有機電気化学反応を用いたチップ内の基板表面の親水・疎水性を制御することで実現することを目的とする。本研究機関中にはビニル基を有するシランカップリング剤を透明電極上に修飾し、ビニル基の酸化・還元反応を用いてマイクロ流路中の流体抵抗制御及び微粒子の付着制御に成功した。

研究成果の概要（英文）：

We studied the microfluidic components controlled by surface modification induced by electrochemical reaction. The surface which can control the microparticle adhesion electrochemically was prepared by using Indium Thin Oxide (ITO) electrode and silane coupling agent. The ITO surface, modified with the vinyl-terminated silane coupling agent, showed the reversible change between hydrophilic and hydrophobic surface. Flow speed control was succeeded by proposed method. Reversible adhesion control of polystyrene (PS) microparticles were also succeeded in a microchip.

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	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：マイクロ・ナノメカトロニクス

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：電気化学反応，親水性，疎水性，マイクロ流体チップ，流体制御

1. 研究開始当初の背景

マイクロ流体チップにおける流速及び流れ方向は、外部ポンプやチップ内部に構築したバルブにより行われてきた。これらの手法では、①ポンプの可動部からチップまでの距離が長く、またチューブを介するため応答速度が遅く振動が乗りやすい、②機械的な部品を駆動して制御するため、駆動時に流体が乱れやすい、等の課題がある。高速な流れ方向の切り替え手法としては、庄子らによる感温性のゾル-ゲル相転移性樹脂であるPNIPAAmを流体チップ内に導入し局所加熱で

ゲル化させ物理的に制御する手法が提案されているが、チップ内へのPNIPAAmの投入が必要となる。また外部とチューブを介して接続されているため、外部からのコンタミネーションの課題となる。完全に閉じた環境での流体制御法として、磁性体を導入した流路に回転磁場を与えて磁性体の回転により流れを発生させる研究もあるが、磁性体の制御性やコンタミネーション等において課題が残っている。

申請者は、これまで有機電気化学反応におけるビニル基-カルボキシル基間の可逆

的な酸化・還元反応を利用して能動的に表面の機能を制御する研究を行ってきた。マイクロ流路において流体は四方を壁面に囲まれているため、壁面の親水性・疎水性は内部の流体の運動に大きく影響し、また流路サイズが小さくなるにつれてその影響は大きくなることが考えられる。

2. 研究の目的

電気化学反応を利用してマイクロ流体チップ内壁の親水性・疎水性等を可逆的に制御し流体制御・物体操作・固定を目的として以下の項目について研究を行う。

(1) 有機電気化学反応を利用した外部ポンプ・バルブを有さないマイクロ流体制御システムの構築

マイクロ流体チップ底面に加工した電極表面に電気的な酸化還元反応等により親水性・疎水性を可逆的に制御可能な高分子で修飾し、チップ内の流体抵抗を制御することで可動部を有さないポンプ及びバルブ等のマイクロ流体制御機構を実現する。

(2) 細胞操作及び固定機能を集積した有機電気化学細胞操作システムの構築

(1) で作製した流体制御システムを用いて細胞をマイクロ流体チップ内で分離等の操作を行う。また細胞付着性を制御することで細胞固定への応用を試みる。

3. 研究の方法

電気化学反応を利用してマイクロ流体チップ内壁の親水性・疎水性等を可逆的に制御し流体制御・物体操作・固定を目的として以下の項目について研究を行う。

(1) 有機電気化学反応を利用した外部ポンプ・バルブを有さないマイクロ流体制御システムの構築

マイクロ流体チップ底面に加工した電極表面に電気的な酸化還元反応等により親水性・疎水性を可逆的に制御可能な高分子で修飾し、チップ内の流体抵抗を制御することで可動部を有さないポンプ及びバルブ等のマイクロ流体制御要素を実現する。

・基板表面を修飾する材料の選定

現状ではビニル基をITO電極表面に修飾して可逆的な表面親水・疎水性を制御している。電気化学的に可逆的に親水性・疎水性が変化する材料の選定を行う。また選定した材料を効率的に基板表面に修飾する手法について検討を行う。

作製した電極基板を用いて電圧を印加し、親水・疎水性変化の制御性を検討する。濡れ性の変化率や繰り返し性等の評価を行い、ポンプ・バルブ機構に適した電極構造について

も検討を行う。

・マイクロ流体制御機構の構築

マイクロ流路の上面を疎水化処理しておき、下面の電極上を親水性にしておくことで流体を流し、電極上を疎水化することで流体抵抗を上げて流体を静止させることでバルブを実現する。このバルブ機構を多段に構築することで流速制御機構を構築する。またT字流路の分岐部で同様の機構を構築することで、粒子ソーティングを試みる。そして交互に親水・疎水領域を構築し、進行波のように親水・疎水領域の切り替えを行うことで図4に示すような水の引き込み現象により流体の搬送を実現する。

以上の原理を用い、図1から4に示すマイクロ流体制御素子の実現可能性について検討する。

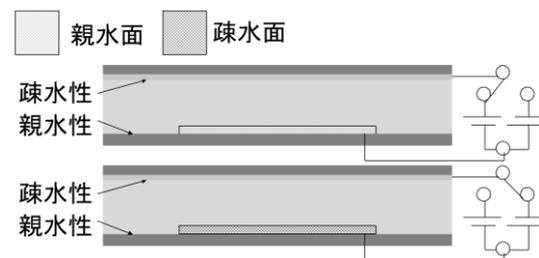


図1 マイクロバルブの概念図

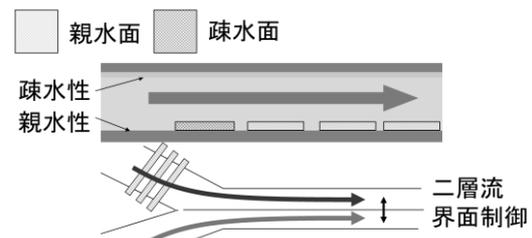


図2 流速制御機構の概念図

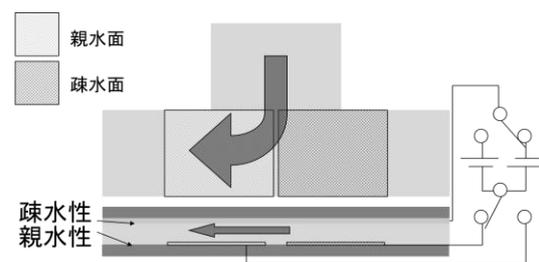


図3 マイクロ粒子ソータの概念図

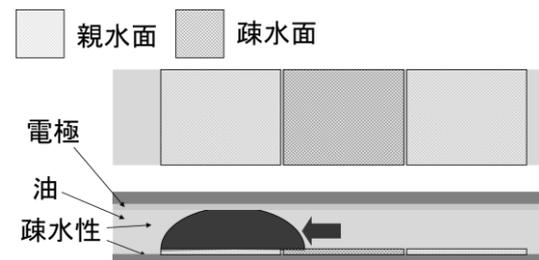


図4 ポンプ機構の概念図

(2)細胞操作及び固定機能を集積した有機電気化学細胞操作システムの構築

(1) で作製した流体制御システムを用いて細胞に対してマイクロ流体チップ内で分離等の操作を行う。また細胞付着性を制御することで細胞固定への応用を試みる (図 5)。

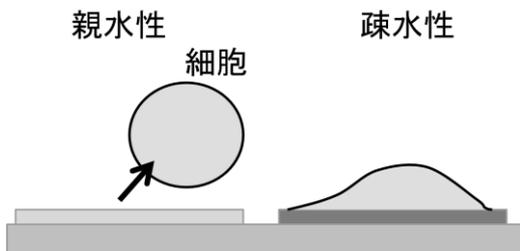


図 5 ポンプ機構の概念図

4. 研究成果

(1)有機電気化学反応を利用した外部ポンプ・バルブを有さないマイクロ流体制御システムの構築

・基板表面への親水・疎水制御に用いる単分子膜の形成

図 6 に示す電気化学的な酸化・還元反応を用いてガラス基板の上に積層した透明電極 (ITO) 上で修飾した高分子を変化させ、局部的に流体抵抗を変化させることに成功した (図 7)。今後はその応答速度や最大反応回数、適用可能な流路サイズ等に関して定量評価を行っていく。また、親水性・疎水性を可逆的に制御することで細胞の接着及び成長パターンの制御についても検討を行う。

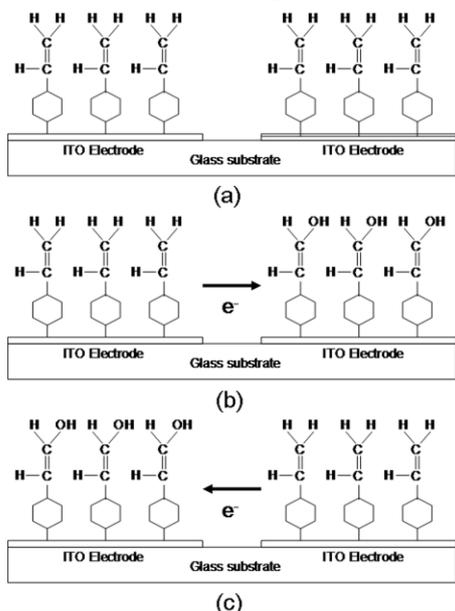


図 6 表面での電気化学的反応

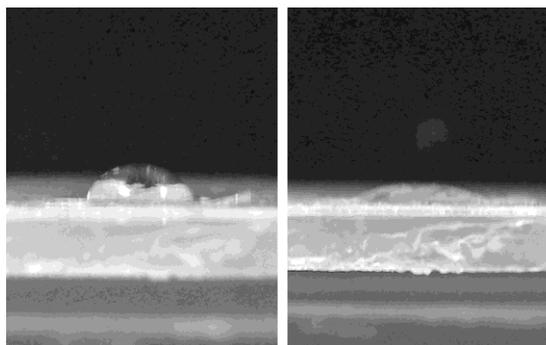


図 7 ITO 上における親水・疎水性制御
左：疎水性，右：親水性

電気化学反応を利用してマイクロ流体チップ内壁の親水性・疎水性等を可逆的に制御し流体制御・物体操作・固定を目的として、(1) 有機電気化学反応を利用した外部ポンプ・バルブを有さないマイクロ流体制御システムの構築を行った。

マイクロ流体制御機構の構築に関しては、マイクロ流路の上面を疎水化処理しておき、下面のパターン化した電極上に電気的に酸化・還元する高分子を修飾し、電極上を疎水化することでマイクロ流路中の流体抵抗を上げて流路中を流れる微粒子の速度を変化させることに成功し、流体制御用素子としての機能を確認した (図 8)。流体制御の応答速度や最大反応回数、適用可能な流路サイズ等に関しては今後も定量評価を行っていく必要がある。

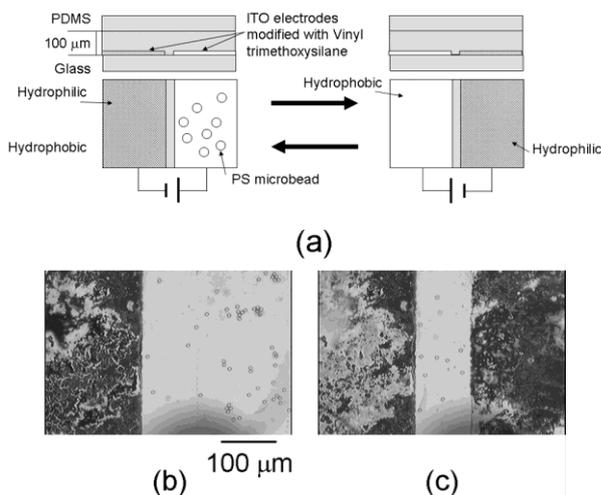
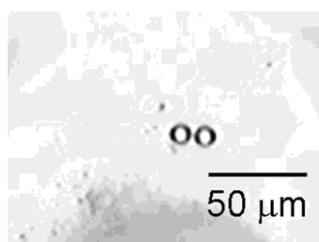


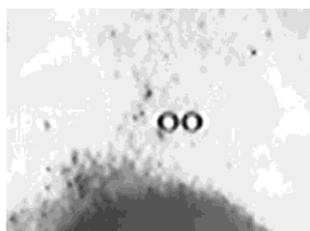
図 8 表面制御によるマイクロ流路内の流体抵抗制御を用いたバルブ機構の実験結果 (a) マイクロ流路の概念図 (b) 左側：疎水，右側：親水 (c) 右側：親水，左側：疎水

(2)細胞操作及び固定機能を集積した有機電気化学細胞操作システムの構築

細胞操作及び固定機能を集積した有機電気化学細胞操作システムの構築に関しては、細胞は疎水性表面に付着し親水性表面に付着しない性質があるので電極パターンを微細加工により構築することで任意の細胞固定パターンを構築することも目的とした。ポチスチレン性の微粒子を用いた実験では、疎水化した部分への粒子の固定と親水化後に微粒子の基板からの剥離には成功したが、細部の高分子を修飾した基盤への固定に関し再現性が得られなかった。



(a)



(b)



(c)



(d)

図 9 電気化学反応を用いたマイクロ流路中での微粒子の付着制御 (a) 微粒子付着 (表面：疎水性), (b) 表面を親水化, (c) 微粒子離脱 (表面：親水性), (d) 再疎水化による表面への微粒子付着

本研究期間内には、高分子の微粒子を用いた、電気化学反応による表面の親水・疎水性制御による流体抵抗制御及び付着制御に関する基礎検討を行った。基本原理については確認できたが、再現性については十分なデータを得ることができず、今後も検討が必要である。また、細胞への応用も今後の課題である。

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 0 件)

[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 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

丸山 央峰 (MARUYAMA HISATAKA)

名古屋大学・工学研究科・助教

研究者番号：60388743

(2) 研究分担者なし

(3) 連携研究者なし