

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1日現在

機関番号：82108

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23651142

研究課題名（和文）温度応答性界面形状記憶材料を用いた多彩なマイクロ流体操作の実現

研究課題名（英文）Micro-fluidics control with temperature-responsive surface shape memory material

研究代表者

青柳 隆夫 (AOYAGI TAKAO)

独立行政法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテクトニクス研究拠点・コーディネータ

研究者番号：40277132

研究成果の概要（和文）：分岐型のポリカプロラクトン架橋体の形状記憶特性を利用した、新しいマイクロ流路のチャンネル開閉操作を実現した。形状記憶特性は、予め作成したモールドを材料表面に押し当てて、そのモールド形状の固定化と温度変化後の回復率を調べることによって評価した。その結果、僅かな圧力で形状が記憶され、回復率がほぼ 100%であった。マイクロパターンを用いて流路を作成し、局所加熱装置を用いた流路操作を行った。その結果、温度変化のみでチャンネルの形成や方向の変更ができることが分かった。

研究成果の概要（英文）：In this study, we realized the channel opening and closing operation of the new micro-channel using the shape memory properties of cross-linked polycaprolactone. Shape memory properties were evaluated by the recovery by temperature change after patterning of the mold shape. As a result, the shape is stored in a slight pressure and recovery ratio was almost 100%. Then, a flow path by using a micro-pattern was prepared and the passage operation was studied using the local heating device. We found that the change of direction and the formation of the channel can be done by only the temperature change.

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	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用生体工学・生体材料学

キーワード：形状記憶、マイクロ流路、温度応答性、パターンニング

1. 研究開始当初の背景

微細なマイクロ流路を基板上に形成させたマイクロチップを用いて、医用診断、細菌検査などの分析・解析を簡便化する研究が急速な勢いで進展している。このようなシステムの実現には、様々な化学操作の集積化、特に、流体の流れを利用した化学プロセスの小型化が必要となるため、マイクロ流体操作に関するデバイス開発やシステム構築には多くの研究者が挑戦している。しかし、これまでの研究の多くは、微細な機械バルブの作製やマイクロ流路内の表面改質法など、どれも複

雑な機能付与によるデバイス作製・流体操作プロセスの煩雑性が問題となり、ユーザーが望む自由度の高いマイクロチップの開発には至っていない。

2. 研究の目的

そこで本研究では、半結晶性高分子の融解現象を利用した新しい界面形状記憶を創出しこれまでにない全く新しいマイクロ流体操作法の提案を行う。本提案システムは、マイクロ流路のすべての領域の機能化が可能のため、従来の機械ポンプ・バルブ作製が不要な極めて自由度の高い流体操作の達成が

期待できると考えられる。

3. 研究の方法

まず、温度応答性界面形状記憶材料には、分岐型ポリ(ϵ -カプロラクトン)(PCL)を用い、それらを架橋することでマイクロ流路構造の構築/消失が狭い温度領域で劇的に生起する条件を検討する。

次にマイクロヒーターを利用したマイクロ流路の局所的な温度制御を行うことによって、流路の切り替えの可能性や弁の ON-OFF 制御を検討する。

4. 研究成果

(1) 温度応答性界面形状記憶材料の合成

モノマーとして ϵ -カプロラクトン (CL) を用いて分岐型脂肪族ポリエステル合成を行った。テトラメチレングリコールまたはペンタエリスリトールを開始剤とし、開環重合を行うことで分岐型ポリカプロラクトン (PCL) を合成した。さらに、得られた分岐型 PCL の末端水酸基にアクリロイル基を導入し、架橋反応が可能な CL マクロモノマーを合成した。

(2) 形状記憶特性の評価

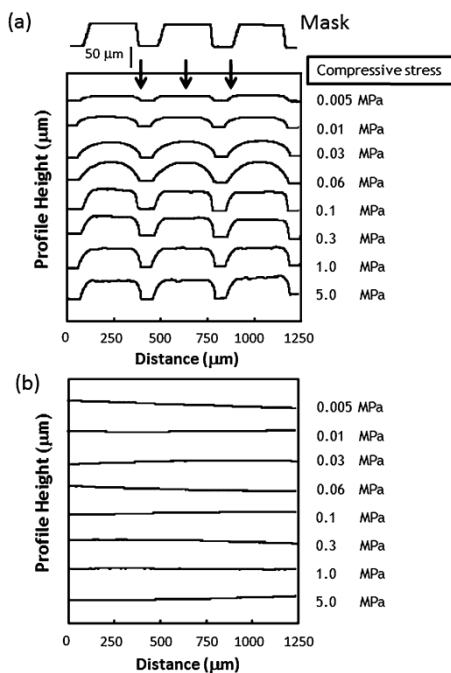


図 1 ポリカプロラクトンからなる形状記憶材料の形状記憶特性 (1) 記憶→消去

図 1 に、(a)マスク (パターン) を押し付ける圧力とその断面形状の様子と、(b)融点 (軟化点) 以上に温度を上昇させた時の回復の様子を示した。概ね 0.1MPa 以上 d_w パターンに沿った形状が記憶されることがわかった。また、(b)で示されるように温度上昇によって完全に記憶された形状が消去され

た。

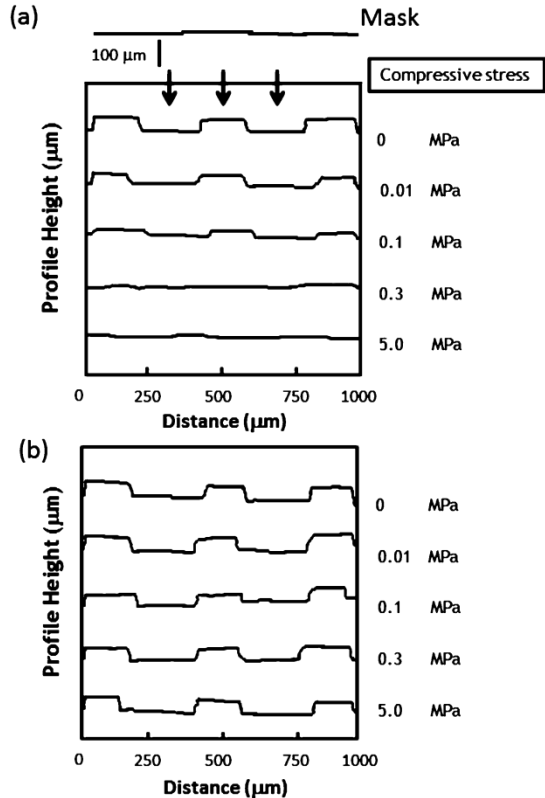


図 2 ポリカプロラクトンからなる形状記憶材料の形状記憶特性 (2) 記憶→消去→記憶

図 2 に予めパターンを記憶させておいた材料にフラットな板を押し付けて記憶を消去し (フラットな形状を記憶させ)、温度を上げることによってまた前の形状を呼び戻す実験を行った。(a)で示されたように概ね 0.1MPa 以上でフラットなパターンになり、温度を低下させることによってその形状は保持された。次に (b)で示されるように、温度上昇によって完全に前の形状に戻ることがわかった。

これらの結果は、軟化点以上に上げることによって概ね 0.1MPa 以上の圧力で、自由に形状を記憶させまた、形状を消去したり、別の形状を呼び戻すことができることがわかった。

(3) マイクロチャネルの方向の制御

次ページの図 3 には、実際に作成したマイクロ流路の方向を 90 度反転させた実験の結果を示した。(a)は材料表面上に作成した流路のイメージ、(b)は実際の材料の顕微鏡像、(c)は走査型電子顕微鏡像、(d)は形状の断面の様子をそれぞれ示している。

また、同様に図 4 には直角の流路が反転する様子を示した。

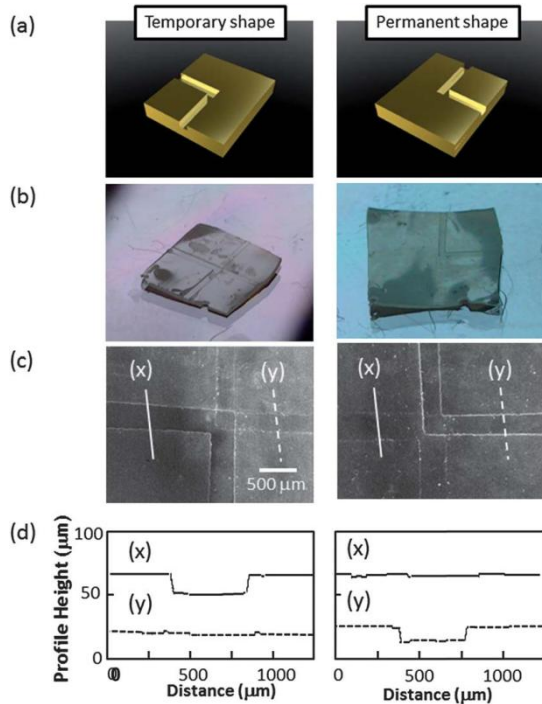


図3 作成したマイクロ流路の温度変化による90度反転の様子(1)

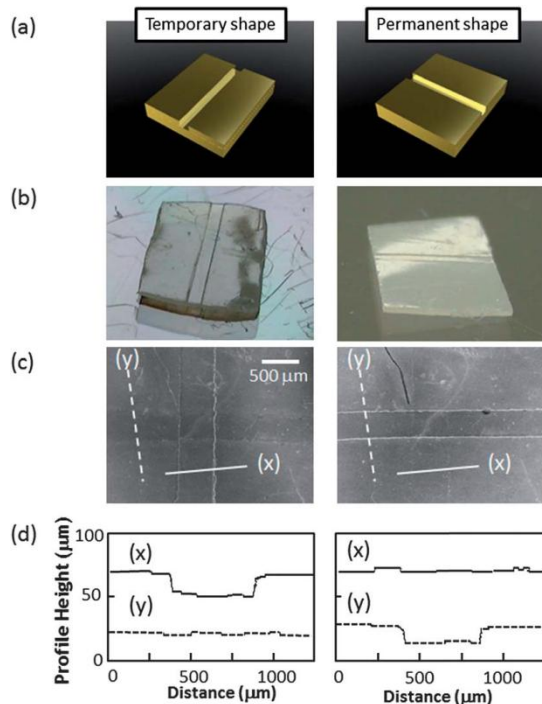


図4 作成したマイクロ流路の温度変化による90度反転の様子(2)

図3および図4より、この材料にマイクロ流路を記憶させておき、温度変化によって、別の流路を作成、さらに温度変化によってもとの流路に戻すことによって、流路を反転させる

ることができることがわかった。

(4) マイクロチャネル内の流れの制御

図5 作成したマイクロ流路へ流体(着色した水)を通した時の流れのON-OFF制御

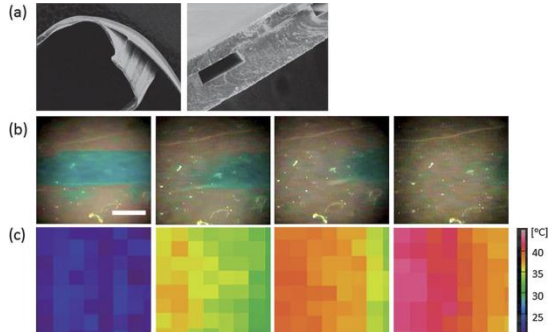


図5 実際に作成したマイクロ流路と温度変化による流れのコントロール

図5 (a)には実際に作成したマイクロ流路の走査型電子顕微鏡像、(b)着色した水の流れの制御、(c)サーモグラフによる温度変化の様子を示した。図から明らかなように、温度を上昇させると、それに対応して徐々に流れが止まる様子が見られる。特別な弁の機構を用いずに、温度変化のみで流れを制御できる事がわかった。

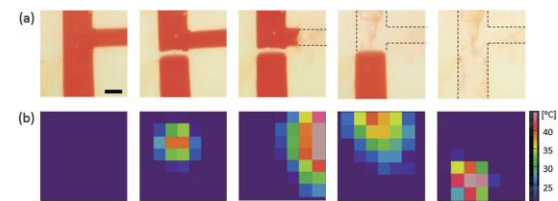


図6 局所加熱による流れの制御

図5では、材料全体を加熱して、ある流路の全体の流れが止まる様子を調べたが、図6の実験では、ある流路のみの流れを局所加熱によって制御できるか検討した。図中(b)示した、赤い部分が局所加熱されている場所をしめしている。(a)の赤に着色した水の流れが、局所加熱部位でストップしていることがわかる。

以上より、表面形状記憶材料を用いてマイクロ流路を作成することにより特別な流体操作を用いずに、流れの方向性や、流れのON-OFFを温度変化のみで制御できることが分かった。今後、レーザー照射による光熱変換現象を利用したマイクロ流路の局所的な温度制御や、基材への金ナノ粒子添加や光熱変換層の形成により任意の場所を局所加熱できる材料を創製したいと考えている。作製したマイクロ流体操作の実証には、レーザー照射の手法による多彩なマイクロ流体制御スキャン照射による脈流形成やパルス照射

による一時的なバルブ機能、区間照射による定容などを実践したいと考えている。

(3)連携研究者 なし

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)

M. Ebara, K. Uto, N. Idota, J. M. Hoffman, T. Aoyagi “Rewritable and shape-memory soft matter with dynamically tunable microchannel geometry in a biological temperature range” 査読あり
Soft Matter, 9, 3074-3080 (2013).
doi:10.1039/c3cp50165e

[学会発表] (計3件)

- ① 荻原 充宏・宇都 甲一郎・井戸田 直和・青柳 隆夫、「形状記憶マイクロ流路を用いた流体操作」、第62回高分子年次大会(京都、2013.5.30)
- ② M. Ebara, K. Uto, N. Idota, T. Aoyagi, “Smart” Shape-Memory Surfaces for Mechano-Structural Control of Cell Functions” Softinterface international Mini-Symposium on Biointerface(SIMS2013)(招待講演)(福岡、2013.3.14)
- ③ 宇都 甲一郎・Forte Giancarlo・荻原 充宏・青柳 隆夫、「構造力学的シグナルを時間・空間的に制御可能なスマートメカノバイオマテリアルの開発」第61回高分子年次大会(横浜、2012.5.29)

[その他]

ホームページ等

<http://www.nims.go.jp/bmc/group/smartbiomaterials/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

青柳 隆夫 (AOYAGI TAKAO)

独立行政法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテクトニクス研究拠点・コーディネーター

研究者番号：40277132

(2)研究分担者

荻原 充宏 (EBARA MITSUHIRO)

独立行政法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテクトニクス研究拠点・MANA 研究者

研究者番号：10452393