

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19760172

研究課題名（和文）

単一マスク傾斜 UV 露光法を用いた三次元複雑構造の作製とマイクロミキサへの応用

研究課題名（英文）

Three dimensional multi-layered flow generator and its application

研究代表者

鈴木 孝明 (Suzuki Takaaki)

香川大学・工学部・准教授

研究者番号：10378797

研究成果の概要：本研究では、単一のマスクパターンからアライメントレスで複雑な 3 次元構造を作製するフォトリソグラフィ法を提案するとともに、提案するプロセスの具体的な応用例として 3 次元多層流を用いた高速マイクロミキサの試作・評価を行った。提案するフォトリソグラフィ技術は、遮光用のメタル層がパターンニングされたガラス基板に紫外線硬化性樹脂を直接塗布し、裏面から紫外線を傾斜露光することによって、単一のマスクパターンから 3 次元的な構造を作製することができる。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	0	1,800,000
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	450,000	3,750,000

研究分野：知能機械学・機械システム

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：マイクロ流体システム、microTAS、フォトリソグラフィ、マイクロミキサ

1. 研究開始当初の背景

各種システムのマイクロ・ナノシステム化の利点は、従来システムの小型化・並列化・集積化とスケール効果を組み合わせることによって、これまでにない機能を有するシステムの創製であり、例えばマイクロ流体システムでは、必要となる試薬量・廃液量の節減、分析時間の短縮、エネルギー量の低減、装置の小型・軽量化、システムの自動化、バッチプロセスによる低コスト化などのメリットが上げられる。近年、高度化するマイクロ領

域の研究ニーズに対応して、半導体製造技術に基づいた MEMS 加工プロセスは複雑化・多段階化する一方である。このような問題点に対応するため、加工プロセスを単純化する試みが行われている。マイクロ流体システムには欠かせないマイクロ流路についての作製方法としては、従来から用いられているソフトリソグラフィを初めとして、特殊光源を用いる方法や特殊機能材料を用いる方法などがあるが、これらの方法は作製プロセスが複雑であるとともに、特殊な装置・材料が必

要となる点が問題となる。そこで本研究では、単一マスクパターンからアライメントレスで複雑な3次元構造を作製するフォトリソグラフィ法を提案するとともに、具体的な応用例として3次元多層流を用いた高速マイクロミキサの試作・評価を行った。

2. 研究の目的

環境分析や生化学分析のためのマイクロ流体システムにおいては、液体混合が拡散律速となるため、液体混合を促進するための様々なマイクロミキサが提案されている。その中でも外部駆動源を必要としないパッシブミキサは装置・操作の簡易性が優れており、多層流を発生し界面増加により物質拡散を促進する方法や、二次流れを励起し複雑な流れの元で混合を促進する方法などが提案されている。しかしながら、従来の構造は2次元あるいはそれらを積層した構造に限られているため、複雑な流れの生成には限界があると共に、作製手順が煩雑であった。

そこで本研究では、傾斜基板裏面より露光を行う Single-Mask 傾斜リソグラフィ (SiMPLE プロセス) を用いて、デバイス表面に複数の導入口を配置、各導入口から斜めに支流路が伸延し、1ヶ所で合流の後、導出口へ主流路が伸びる複雑な3次元構造を簡便に作製する露光法を提案する。提案する方法は、従来の MEMS プロセスの問題点として経験に頼ることが多かったボンディングプロセスが不要となり、簡単・高速にこれまで作製困難であった複雑な構造を作製できる。本研究で構築する原理・設計方法は、マイクロ流体システムの製造プロセスのさらなる微小化・集積化のみならず、これまでにない新規の機能を有する構造を創製すると期待できる。また、作製するマイクロミキサは、混合流体の物質拡散を促す界面の増加や、各導入口の流量を制御することにより複雑な2次元流れを生成し、速やかな混合が可能であると考えられる。本研究期間内では、提案する手法を用いて3次元マイクロミキサを作製し、蛍光溶液の流れ評価を行った。

3. 研究の方法

提案するマイクロミキサの概念図を図1に、作製方法である SiMPLE プロセスの原理を図2に示す。メタルをパターンニングしたガラス基板の上に、厚膜ネガレジスト (SU-8) を直接スピコートする。その後、ガラス基板を傾斜させ、基板裏面側から2回露光する。このとき、2本のマスクパターンによって立体的に遮光された未露光になる部分を現像により除去することで立体流路構造を作製する。微小流路の大きさはマスクパターンの幅に

よって決まり、レジスト中に配置した構造となる流路の膜厚方向の位置は2本のマスクパターンの間隔によって決まる。

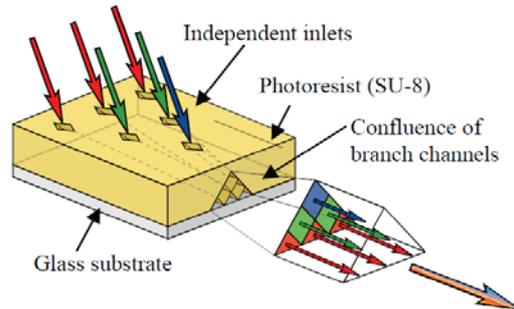


図1 マイクロミキサの概念図

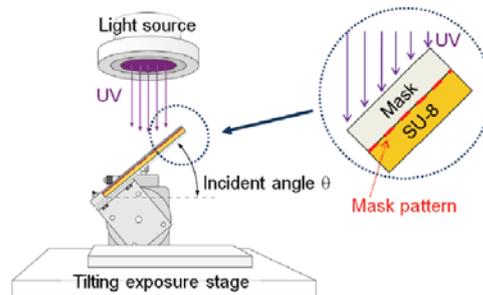


図2 SiMPLE プロセスの原理

4. 研究成果

作製したマイクロミキサの SEM 写真を図3に示す。マイクロミキサの特長は、混合する液体を導入する6個の導入口から幅20μmの微小支流路が高さ方向に3段に伸び、1ヶ所で合流するため複雑な多層流を生成でき、さらに合流後は幅60μm、長さ2000μmの主流路を有する。

また、数値解析ソフトウェア MATLAB を用いて、露光パターンエミュレータの開発を開始し、数値計算によって作製した基本構造が再現可能であることが分かった。今後エミュレータの精度を向上することによって、提案する露光技術の広範囲な応用、さらなる微細化が期待できる。

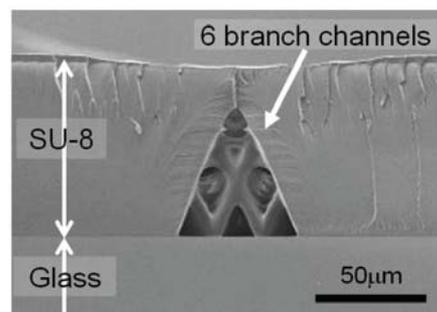


図3 作製したミキサの断面 SEM 写真

また、微細化および寸法精度の向上のため、プロセス現象の解析と条件最適化について検討するとともに、作製したマイクロミキサの基本構造である多層構造のマイクロ流路群からなるマイクロミキサの評価を行った。

埋め込み型マイクロ流路の現像プロセスにおける流路途中での閉塞を解消するために、現像・リンス時間と流路側壁凹凸形状の関係について検討し、製作条件の最適化を行った。また、マイクロミキサの混合特性については、蛍光色素濃度の異なる2種の液体をシリンジポンプで送液し、共焦点レーザー顕微鏡により3次元な流れ場中での混合を観察し、試作したマイクロミキサの有用性を検証した。

図4に示すように、作製したマイクロミキサに、シリンジポンプにより蛍光溶液B励起(435nm)のウラニン 0.2%溶液を中段支流路、純水を上段・下段支流路に流し、蛍光顕微鏡により合流点下流の混合場を評価した。また、比較用のY字型ミキサにおいては、左右支流路より導入した。観察結果を図5に示す。それぞれの支流路から蛍光溶液が主流路へ流れ、蛍光が拡散している様子から、提案する作製法により複雑な3次元流路構造を有するミキサ構造が、単一のマスクから作製できることが分かった。計測した範囲内では、提案したマイクロミキサは、Y字型ミキサに比べて、1.67倍の高速混合が可能であることが分かった。

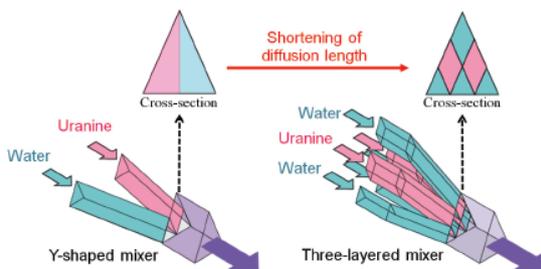


図4 ミキサへの溶液導入方法

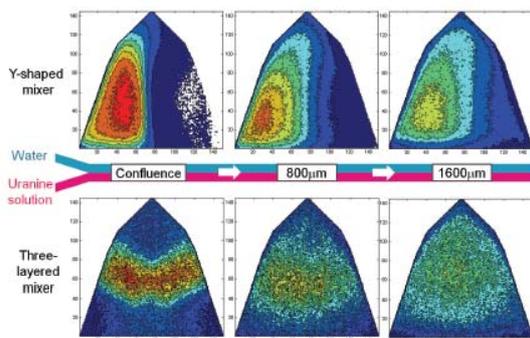


図5 下流部における流路断面内濃度分布

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計4件)

- ① 鈴木孝明, 秦 秀敏, 神野伊策, 小寺秀俊, 積層型圧電アクチュエータを用いた進行波型マイクロポンプによる流体輸送制御, 日本AEM学会誌, 17, 253-258, 2009, 査読有
- ② 鈴木孝明, バルプレスマイクロポンプによる流体輸送, 油空圧技術, 47, 69-74, 2008, 査読無
- ③ K. Kanda, S. Ishikawa, J. Ogawa, T. Suzuki, I. Kanno, and H. Kotera, Modal Analysis for Externally Driven Micropump and Additional Mass Effect of Water, Japanese Journal of Applied Physics, 47, 5226-5230, 2008, 査読有
- ④ T. Suzuki, H. Yamamoto, M. Ohoka, I. Kanno, M. Washizu, and H. Kotera, a low-damage cell trapping array fabricated by single-mask multidirectional photolithography with equivalent circuit analysis, Proceedings of the 11th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (MicroTAS2007), 2, 1765-1767, 2007, 査読有

[学会発表] (計10件)

- ① T. Suzuki, Y. Hirabayashi, K. Terao, I. Kanno, M. Washizu, and H. Kotera, Single-Mask Multidirectional Photolithography with Multiple Resist Coat for Multi-Layered Microfluidic Networks, International Conference on Microtechnologies in Medicine and Biology, 2009/04/01-03, Quebec, CANADA
- ② 萩尾吉則, 鈴木孝明, 神野伊策, 小寺秀俊, Single-Mask 傾斜リソグラフィによる3次元マイクロミキサの作製, 第18回化学とマイクロ・ナノシステム研究会, 2008/12/08-09, 京都大学(京都市)
- ③ 鈴木孝明, 秦 秀敏, 神野伊策, 小寺秀俊, 積層型圧電アクチュエータを用いた進行波型マイクロポンプによる流体輸送制御, 第17回MAGDAコンファレンス in 日立, 2008/11/20-21, 日立シビックセンター(茨城県日立市)
- ④ 鈴木孝明, 平林恭稔, 神野伊策, 小寺秀俊, 2層構造を有する細胞固定デバイスの開発, 第25回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 2008/10/22-24, 沖縄コンベンションセンター(沖縄県宜野湾市)
- ⑤ T. Suzuki, Y. Hirabayashi, I. Kanno, M. Washizu and H. Kotera, Assembly-free

microfabrication process for multi-layered microfluidic networks using single-mask multidirectional photolithography, The 12th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (MicroTAS2008), 2008/10/12-16, San Diego, USA

- ⑥ K. Kanda, Y. Noda, T. Suzuki, I. Kanno and H. Kotera,, Novel Micromixer Utilizing Frequency Mode Modulation on Meta-Structure, The 12th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (MicroTAS2008), 2008/10/12-16, San Diego, USA
- ⑦ 神田健介、鈴木孝明、神野伊策、小寺秀俊、質量分布型マイクロミキサー、日本機械学会 2008 年度年次大会、2008/8/3-7、横浜国立大学 (神奈川県横浜市)
- ⑧ 志牟田耕平、鈴木孝明、小此木孝仁、神野伊策、小寺秀俊、細胞固定チップのオリフィス構造上で培養される細胞の評価、2007 年度年次大会、2007/9/9-12、関西大学千里山キャンパス(吹田市)
- ⑨ 鈴木孝明、山本英郎、大岡正孝、神野伊策、鷲津正夫、小寺秀俊、Single-Mask回転傾斜リソグラフィを用いた細胞固定アレイの設計、第 24 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム、2007/10/16-17、タワーホール船堀 (東京都江戸川区)
- ⑩ T. Suzuki, H. Yamamoto, M. Ohoka, A. Okonogi, H. Kabata, I. Kanno, M. Washizu, and H. Kotera, High throughput cell electroporation array fabricated by single-mask inclined UV lithography exposure and oxygen plasma etching, The 14th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems, 2007/6/10, Lyon, France

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称：回転傾斜露光法を用いた流路形成

発明者：鈴木孝明、小寺秀俊、神野伊策

権利者：京都大学

種類：特許

番号：特願 2007-261628

出願年月日：平成 19 年 10 月 5 日

国内外の別：国内

[その他]

ホームページ

<http://www.eng.kagawa-u.ac.jp/~suzuki/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

鈴木 孝明 (SUZUKI TAKAAKI)

香川大学・工学部・准教授

研究者番号：10378797