

技術ノート

微細モールドを用いたソフトリソグラフィ技術の開発

工藤寛之*1) 加沢エリト*1) 渡邊耕士*1)

Studies on soft-lithography using micro molds

Hiroyuki KUDO, Elito KAZAWA and Koji WATANABE

1. はじめに

近年、バイオ・ナノテクノロジーという新しい分野が新しい巨大市場として注目を集め、日本の経済再生に大きな期待を寄せられている。医療分析や環境分析の現場ではナノテクを応用し、「高速に」、「その場で」、「正確に」、「安価に」化学・生化学分析を行うことへの要求がより高まりつつある。これらの要求に応えるため、 μ TAS (Micro Total Analysis Systems) や DNA チップなどの研究・開発が各国で盛んに進められてきた^{1),2)}。そこで、これらマイクロ流体チップの開発に必要な、三次元的な微細構造の転写技術と、それを用いたマイクロ流体チップの試作について報告する。

をガラスやシリコン基板上にパターニングし、モールドとして用いる方法がある。本研究では、100 μ m以上の膜厚で解像度15 μ m程度と比較的高精度に加工できるSU-8を用いることとした。

2. ソフトリソグラフィ

2.1 ソフトリソグラフィの基本工程

ソフトリソグラフィは、微細な鋳型にシリコン樹脂などの「やわらかいもの」を流し込み、そのまま硬化させることで微細な立体構造を転写する技術である。図1にソフトリソグラフィの基本工程を示す。従来のマイクロマシニング技術と比較して、一度、モールド(鋳型)得てしまえば、以後の転写工程ではフォトリソグラフィなどの工程を必要とせず、簡便に構造体を複製できるメリットがある。

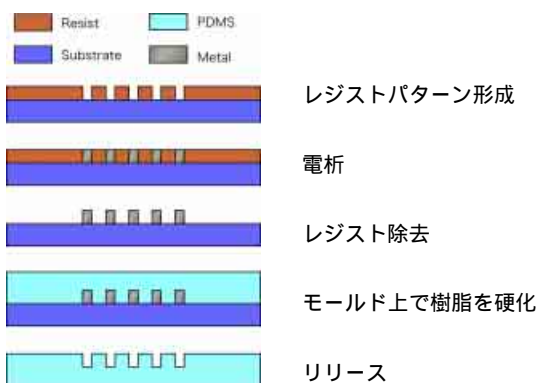


図1 ソフトリソグラフィによる微細構造の転写法の一例

2.2 SU-8モールドの形成

シリコンゴムなどに形状を転写するためのモールドを比較的簡便に製作できる手法として、SU-8(厚膜レジスト)



図2 シリコン基板上に形成したSU-8モールド

2.3 Ni電析モールドの形成

もう一つの手法として、ITOコートガラス基板上にフォトリソでパターンを形成し、そこにNi電析を行うことでモールドを形成した(図1)。この手法は、SU-8と比較して工程数が増加し、製作に要する期間が長くなるものの、耐久性、強度、および微細放電加工やエッチングを始めとするさまざまなプロセスを用いて、さらに複雑な再加工を行うことが可能である点で優れている。



図3 Ni電析によって形成したモールド

*1) エレクトロニクスループ

以上、三次元的な微細構造を有する鋳型の作製とその形状の転写方法について論じてきた。次にこれらの手法を用いて試作した微細流路チップについて述べる。

2.4 PDMS への微細構造の転写

それぞれの鋳型を製作し、PDMS (ポリジメチルシロキサン:二液硬化性のシリコン樹脂) に形状の転写を行った。PDMS 自体は、生体に無害であり透明性に優れているため、チップ内の光学的な観察に適しているという点で生化学分析チップなどの材料として適している。樹脂内部に多量のガスが取り込まれると透明度に悪影響を与える。このため、PDMS の硬化時には、真空中で脱気を行う必要がある。本研究では、室温で大気圧から急速に 10Torr まで減圧し、以後 300Torr から 1Torr の圧力サイクルを繰り返すことで、効率的にガスの除去を行っている。

3. 微細流路チップの試作

基礎的な機能を有する微細流路チップとして、T字型流路チップ、フィルタチップ、温度制御チップを試作した。これらの形状を以下に示す。

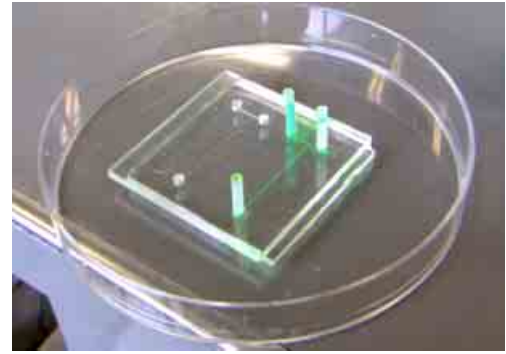
T字型流路チップは、2入力1出力の流体チップであり、それぞれの入力における圧力を制御することで1液のみの導入と2液が層流(シースフロー)を形成することを確認した。これは、低レイノルズ数の微小流体に特徴的な現象である。

フィルタチップでは、微細流路の中に多数のピラー(柱)を形成した。ピラーの直径は10 μ mであり、高さは45 μ mである。このような構造により、流体中の細胞や微粒子をトラップし、フィルタリングを行うことが可能である。

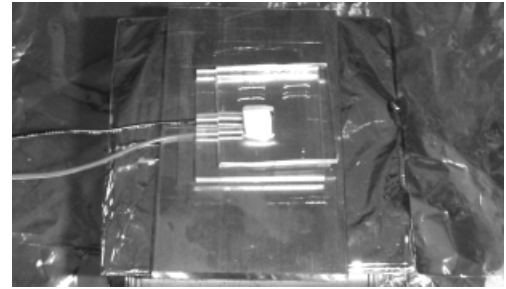
また、温度制御チップでは試作した微細流路チップにペルチェ素子を組み込み、流路を冷却した。流体チップとペルチェ素子の熱的な接続には市販の熱伝導シートを用いている。また、ペルチェ素子の放熱側には銅製のヒートシンクを張り付けている。この流体チップの最低到達温度は、ヒートシンクを自然放熱させた時3 $^{\circ}$ Cであり、ヒートシンクを冷却した時は0 $^{\circ}$ C以下の到達温度を確認できた。室温から最低到達温度までの冷却に要した時間は、いずれの場合も3分から5分程度である。

4. まとめ

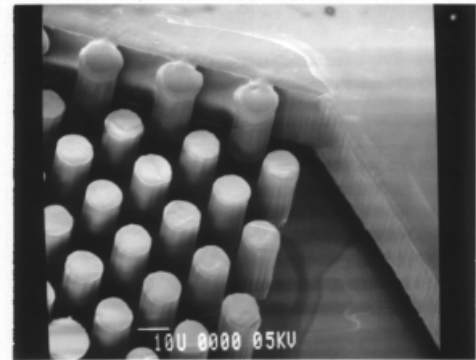
ソフトリソグラフィに用いる鋳型として、SU-8 構造体、およびITOコートガラス上への電析について比較検討した。これらの微細モールドを用いることで PDMS マイクロ流体チップの試作を行った。現在のところ 1 μ m 程度の構造まで転写に成功しており、5 程度のアスペクト比が得られている。今後はナノオーダーの微細構造にも適用していく予定である。一方、チップの製造技術と共に、流路内の状態を正確に



(a) T字型流路チップ



(b) 温度制御チップ



(c) フィルタチップ

図4 試作したマイクロ流体チップ

いずれもチップの寸法は40mm x 40mm、流路幅200 μ m、深さ45~100 μ mである。

診断する手法が求められている。特に、微小領域のダイナミックな温度測定技術については、これまでのところ有効な手法が示されていない。また、チップ内の流体の圧力、pHなどのさまざまな情報もモニタリングする必要がある。今後は、これら流体の物理的、化学的な状態を調べるための手段も開発していく予定である。

参考文献

- 1) P.Bergveld: Proc. Micro Total Analysis Systems 2002, 2002, pp.1-6.
- 2) J. Webster, D.K. Jones, and C.H. Mastrangelo, 9th Workshop on MEMS, 1996, pp. 491-496

(原稿受付 平成16年8月6日)