

바이오 멤스 및 마이크로 시스템 적용을 위한 3차원 마이크로 유로 제작

윤 광 석[†]

Fabrication of 3-D microchannel for biomems and micro systems application

Kwang-Seok Yun[†]

Abstract

This paper reports a new technology to implement complex PDMS microchannels, which are simply constructed using three-dimensional photoresist structures as mold for PDMS replica process. The process utilizes LOR resist as a sacrificial layer to levitate the structural photoresist and multi-step exposure to control the thicknesses of photoresist structures. Various shapes of photoresist structures were successfully fabricated. Using the PDMS replica method, the three-dimensional photoresist structures are demonstrated to be applicable for implementing complex microchannels in PDMS. In addition, more complex multilevel microchannels are constructed by bonding two PDMS layers with just single PDMS alignment.

Key Words : MEMS, PDMS, multi-layer microchannel, three dimensional photoresist, Lab-on-a-chip

1. 서 론

최근 미소유체 시스템 구성을 위해 폴리머의 일종인 polydimethylsiloxane (PDMS)를 도입하는 예가 많다. PDMS는 광학적으로 가시광 영역에서 투명하여 반응을 관찰하기 쉬우며, 생물 또는 화학적 반응과 호환성이 있으며, 가격이 저렴하고, 또한 몰딩이라는 비교적 쉬운 공정으로 간단한 구조의 유체 시스템을 제작할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 일반적인 PDMS 몰딩 공정은 (1) 구조체의 원형제작 한 뒤, (2) 액체 상태의 PDMS prepolymer를 제작된 구조체에 적용하며, (3) 가열하여 고체 상태로 굳힌 뒤, (4) 마지막으로 원형틀로부터 떼어내는 순서로 이루어진다. 이렇게 제작된 PDMS 구조체는 다른 PDMS 구조체 또는 실리콘 등의 기관과 접합하여 추가적인 응용 구조체를 형성하게 된다^[1-3].

PDMS의 원형 틀로는 가공된 실리콘 또는 유리, 또는 전기도금으로 형성된 금속구조체, 그리고 가장 많이 쓰이는 것으로 감광막(photoresist) 등이 있다. 그러나 언급된 구조체를 이용할 경우, 2차원상의 유체 시스템을 형성하는 것은 비교적 용이하나, 여러 층이 겹쳐진 형태의 유로를 형성하기가 어렵다는 단점이 있다. 형틀을 이용한 몰딩 방법으로 적층 형태의 유로를 제작하기 위해서는 3차원의 형틀 구조체를 형성해야 한다. 일반적으로 SU-8과 같은 음성(negative) 감광막을 이용하면 외팔보 형태나 유로를 제작하기가 쉬운 장점이 있다^[4]. 그러나 대부분의 음성 감광막은 제거가 힘들기 때문에 PDMS의 원형 틀로 이용되는데 한계가 있다. 따라서 현재까지 PDMS를 이용한 적층 유로는 여러장의 PDMS 층을 서로 접합하여 제작하고 있으며, 이 경우 공정이 복잡하게 되며 기관간의 정렬을 요하는 등의 문제점이 있다^[8-10].

이러한 문제점을 해결하기 위한 한 방법으로, LOR resist(Microchem. Co.)를 이용한 3차원양성(positive) 감광막의 형성과 이를 이용한 적층 유로의 제작 가능성에 대한 연구결과가 있다^[11]. 이에 본 논문에서는 3차원 감광막 형성기술에 대한 간단한 소개와 더불어

Mechanical and Aerospace Engineering Department, University of California, Los Angeles 37-129 Engr. IV Bldg., 420 Westwood Plaza, Los Angeles, CA 90095

[†]Corresponding author: ksyun@ucla.edu
(Received : July 6, 2006, Accepted : July 21, 2006)

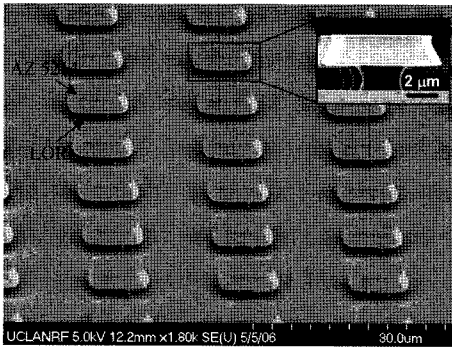


그림 1. LOR과 양성 감광막을 이용하여 제작된 구조체
Fig. 1. Microstructures fabricated with LOR resist and positive photoresist.

이를 이용하여 제작 가능한 3차원 유로에 대한 연구 결과를 보여준다.

2. LOR을 이용한 3차원 몰딩

LOR은 미국의 Microchem 회사에서 개발된 lift-off 전용 도료(resist)이다. 일반적인 감광막(photoresist)이 UV등의 광선에 반응하는 반면, LOR은 광선의 조사와 관계없이 적절한 현상용액(developer)에서 매우 일정한 현상율을 가지며 녹는 성질을 가지고 있다. 그림 1은 LOR을 코팅한 뒤 일반적인 양성 감광막인 AZ 5214를 그 위에 패터닝한 결과를 보여 준다. 이때 사용한 현상액은 AZ 400 K(물: 현상액=4:1)로서, AZ 5214의 경우 UV에 조사된 부분만 현상되며, LOR의 경우 현상액에 노출된 모든 부분에서 일정한 식각율을 가지며 현상된다. 따라서 현상액 속에서 유지하는 시간을 조절함으로써 AZ 5214 아래쪽으로 식각된 LOR의 깊이를 임의로 조절할 수 있다.

이러한 LOR의 성질과 양성 감광막을 이용한 공정을 사용하게 되면, 다양한 형태의 3차원 몰드를 제작할 수 있다. 다음 그림 2는 양성 감광막을 이용하여 3차원 몰드를 제작하는 과정을 보여준다: (a) 먼저 LOR을 원하는 두께로 스핀코팅하고, 적절한 온도를 가하여 굳힌 뒤, 얇은 감광막인 AZ 6612 감광막을 그 위에 코팅한다(4000 rpm, 30 sec). 본 실험에서는 20 μm 두께의 LOR 층을 위하여 저속(700 rpm)에서 2번의 스핀코팅을 거쳤다. (b) 자외선 조사를 한 다음 AZ 400 K(4:1 with DI water) 현상액을 이용하여 현상한다. 이때 자외선에 조사된 양성 감광막이 현상되게 되며, 그 아래의 LOR도 시간이 지남에 따라 현상되게 되는데, 아래 기판이 드러나면 현상을 중단하여 옆 방향으로 현상이 진행되

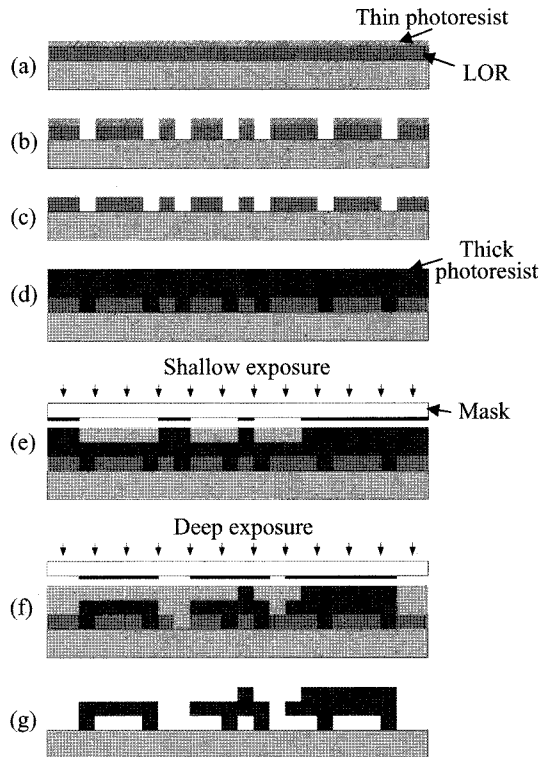


그림 2. 3차원의 감광막 구조체 형성을 위한 공정도
Fig. 2. Fabrication process for 3-dimensional positive photoresist structures.

지 않도록 한다. 본 실험에서 관찰한 결과 LOR 막은 AZ 400 K 현상액에서 약 5 μm/min의 일정한 식각율을 가지는 것으로 측정되었다. (c) 다음으로, 마스크를 사용하지 않고 웨이퍼의 전 영역에 자외선을 조사해주며, 그리고 AZ 340 현상액을 사용하여 LOR을 제외한 모든 얇은 양성 감광막을 제거한다. (d) 다음으로 구조체 역할을 할 두꺼운 감광막(AZ 9260)을 원하는 두께로 코팅한다. 본 실험에서는 약 70 μm의 두께를 위하여 1500 rpm에서 1.4초 동안 스핀코팅을 하였다. (e) 원하는 영역에 약한 자외선 조사를 해주게 되는데 600 mJ의 자외선 조사를 이용하여 약 20 μm 깊이까지 노광되도록 하였다. 이 부분은 나중에 현상하게 될 때, 자외선 양이 충분치 않으므로 적당한 두께 까지만 제거되게 된다. (f) 다른 마스크를 이용하여 원하는 부분에 충분한 자외선 조사를 해준다(3400 mJ)^[2]. (g) 마지막으로 AZ 400 K 현상액을 이용하여 현상하게 되면, 자외선에 조사된 두꺼운 감광막 부분과 모든 LOR이 제거되면서 원하는 3차원의 양성 감광막 구조체를 얻게 된다.

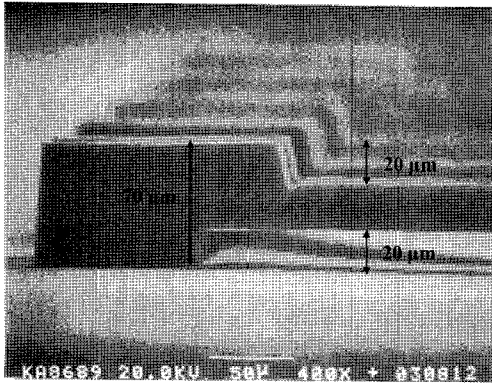


그림 3. 제작된 3차원 감광막 구조체의 전자현미경 사진
Fig. 3. SEM picture of suspended 3-dimensional photoresist structures.

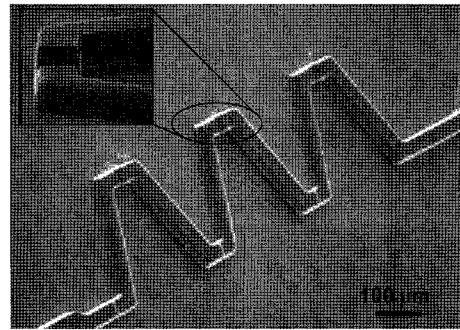
제작된 감광막 구조체를 이용하여 PDMS 유로를 제작하기 위해, PDMS prepolymer를 제작된 구조체 위에 붓고 진공펌프를 사용하여 기포를 제거한다. 그리고 약 70도 정도에서 3시간 가열하여 PDMS를 굳힌다. 마지막으로 굳은 PDMS를 기판에서 떼어내게 되는데, 이때 PDMS에 손상 없이 쉽게 떼어내기 위해 아세톤 용액 속에서 수행하여, 감광막을 녹이면서 동시에 떼어내게 된다. 이렇게 제작된 PDMS 구조체는 기판 또는 다른 PDMS 구조체와 결합하여 다양한 형태의 유로를 형성하게 된다.

3. 실험 결과

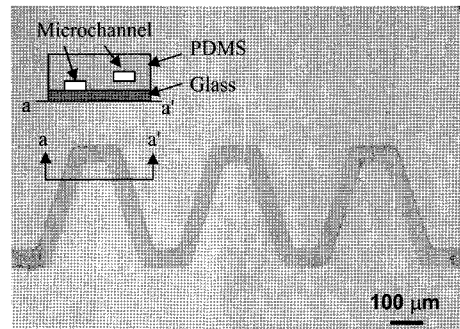
다음 그림 3은 제작된 3차원 형상의 감광막 구조체를 보여준다. 기판으로부터 약 20 μm 떠 있으며, 약한 자외선 조사를 이용하여 형성된 얇은 팔 부분의 두께는 약 30 μm 정도이다. 이와 같이 적절한 디자인을 이용하여 다양한 모양의 3차원 감광막 구조체를 제작할 수 있다.

제작된 다양한 감광막 구조체를 이용하여 몇 가지 형태의 PDMS 유로를 제작하였다. 그림 4는 솔레노이드 형태를 가지는 3차원 감광막 구조체(그림 4(a))와 이를 형태로 이용하여 제작된 PDMS 유로 및 일부분의 단면 모습을 보여준다(그림 4(b)). 시각적인 관찰을 위하여 제작된 PDMS 유로에 잉크를 흘린 사진이다. 이 경우 미소 유로는 PDMS 구조체를 유리기판 위에 접합하여 제작하였다.

또한 유리 기판이 아닌, PDMS 유로 구조체와 또 다른 PDMS 유로 구조체를 접합하게 되면, 좀 더 다양하고 복잡한 미소 유로들을 쉽게 제작할 수 있다. 다음



(a)



(b)

그림 4. (a) 솔레노이드 형태의 감광막 구조체 및 확대된 사진. (b) 감광막 구조체를 이용하여 제작된 PDMS 마이크로 유로 및 단면도

Fig. 4. (a) Microfabricated photoresist structure with solenoidal shape and magnified view. (b) PDMS microchannel and cross-sectional view.

그림 5는 다양한 감광막 구조체들과(그림의 왼쪽) 그를 이용하여 제작된 PDMS 미소 유로들을(그림의 오른쪽) 보여준다.

4. 결 론

본 연구에서는, 3차원 감광막 구조체를 형태로 이용한 PDMS 몰딩 방법을 이용하여, 복잡한 PDMS 유로를 간단히 제작할 수 있음을 보였다. 제안된 공정은 3차원 형상의 두꺼운 감광막 구조체를 형성하기 위하여 LOR을 희생층으로 사용하였으며, 두꺼운 감광막의 현상 두께 조절을 위하여 자외선 조사 양을 조절하는 기법을 사용하였다. 제작된 감광막 형태에 PDMS 몰딩 방법을 사용함으로써 다양하고 복잡한 3차원 PDMS 유로들을 제작할 수 있었다. PDMS로 네 면이 이루어지는 완전히 PDMS 기판 내에 파묻힌 형태의 유로는 간단한 한번의 몰딩 과정과 기판과의 결합으로 쉽게 제

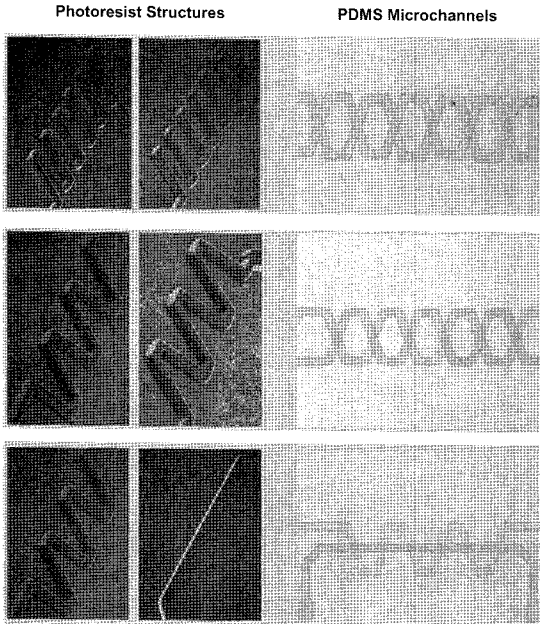


그림 5. 다양한 모양의 감광막 구조체 및 이를 이용하여 제작된 여러 층의 마이크로 유로

Fig. 5. Various types of photoresist structures and multi-level microchannels

작되었다. 또한 좀 더 복잡한 다층의 유로들도 PDMS 기판들 간의 한번의 정렬과 접합을 통하여 제작되었다. 따라서 제안된 기술을 이용하면, 다양하고 복잡한 미소 유로, 미소 유체 혼합기, 그리고 미소 필터 등을 간단하고 빠르게 제작할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다 (KRF-2005-214-D00284).

참고 문헌

- [1] B.-H. Jo, L. M. Van Lerberghe, K. M. Motsegood, and D. J. Beebe, "Three-dimensional micro-channel fabrication in polydimethylsiloxane(PDMS) elastomer", *J. Microelectromech. Syst.*, vol. 9, no. 1, pp. 76-81, 2000.
- [2] 윤광석, 이도훈, 김학성, 윤의식, "미소유체 칩 상에서 Quantum Dot 및 마이크로 비드를 이용한 생체 물질 분석", *센서학회지*, 제14권, 제5호, pp. 308-312, 2005.
- [3] 정귀상, 우형순, "PDMS 몰드를 이용한 초고온 MEMS용 SiCN 미세구조물 제작과 그 특성", *센서학회지*, 제15권, 제1호, pp. 53-57, 2006.
- [4] F. G. Tseng, Y. J. Chuang, and W. K. Lin, "A novel fabrication method of embedded micro channels employing simple UV dosage control and antireflection coating", *IEEE 15th International Conference on MEMS*, pp. 69-72, 2002.
- [5] F. E. H. Tay, J. A. V. Kan, F. Watt, and W. O. Choong, "A novel micro-machining method for the fabrication of thick-film SU-8 embedded microchannels", *J. Micromech. Microeng.*, vol. 11, pp. 27-33, 2001.
- [6] Y.-K. Yoon, J.-H. Park, F. Cros, and M. G. Allen, "Integrated vertical screen microfilter system using inclined SU-8 structures", *IEEE 16th International Conference on MEMS*, pp. 227-230, 2003.
- [7] M. Han, W. Lee, S.-K. Lee, and S. S. Lee, "Fabrication of 3D microstructures with inclined/rotated UV lithography", *IEEE 16th International Conference on MEMS*, pp. 554-557, 2003.
- [8] J. R. Anderson, D. T. Chiu, R. J. Jackman, O. Cherniavskaya, J. C. McDonald, H. Wu, S. H. Whitesides, and G. M. Whitesides, "Fabrication of topologically complex three-dimensional microfluidic systems in PDMS by rapid prototyping", *Anal. Chem.*, vol. 72, pp. 3158-3164, 2000.
- [9] K.-S. Yun and E. Yoon, "A micro/nano-fluidic chip-based micro-well array for high-throughput cell analysis and drug screening", *Proceedings of μ TAS 2003*, pp. 861-864, 2003.
- [10] O. Hofmann, P. Niedermann, and A. Manz, "Modular approach to fabrication of three-dimensional microchannel systems in PDMS-application to sheath flow microchips", *Lab Chip*, vol. 1, no. 2, pp. 108-114, 2001.
- [11] K.-S. Yun and E. Yoon, "Microfabrication of 3-dimensional photoresist structures using selective patterning and development on two types of specific resists and its application to microfluidic components", *IEEE International conference on MEMS*, pp. 757-760, 2004.
- [12] J.-B. Yoon, J.-D. Lee, C.-H. Han, E. Yoon, and C.-K. Kim, "Multilevel microstructure fabrication using single-step 3D photolithography and single-step electroplating", *Proc. SPIE*, vol. 3512, pp. 358-366, 1998.



윤 광 석

- 1996년 경북대학교 전자공학과(공학사)
- 1999년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)
- 2003년 한국과학기술원 전자전산학과(공학박사)
- 2004년 한국과학기술원 전자전산학과 초빙교수
- 2005년 현재 Mechanical and Aerospace Engineering Dept. of University of California, Los Angeles 박사 후 연구원
- 주관심분야 : Micro analytical systems, BioMEMS