

A development of fabrication processes of microstructure using SU-8 PR

Chang Kyo Kim[†], Suk-Won Jang and Il-Ho Noh

Division of Information Technology Engineering, of Engineering College of Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea

(Received December 10, 2002)

(Accepted January 10, 2003)

Abstract In this paper, we developed a new thick photoresist fabrication technology for 3-dimensional microstructures. In general, like as AZ photoresist was coated with thin film thickness about 1 μm to 30 μm , but photoresist like SU-8 has thickness of several tens μm or more and high aspect ratio. When we fabricate a microstructure using the thick photoresist like SU-8, cracks on the SU-8 thick photoresist are appeared by stress which was caused by sudden cooling down during bake of the thick photoresist spun on wafer. Thus, it was hard to fabricate the microstructure using the thick photoresist for electroplating. In this paper, we developed a new process to produce a 3-dimensional microstructure without the crack by stress through a suitable thick photoresist coating, time control of cool down and time control of PEB (Post Expose Bake).

Key words UV-LIGA, Thick photoresist, Microstructure, Micro mold

SU-8 PR을 이용한 마이크로 구조물 제작 공정 개발

김창교[†], 장석원, 노일호

순천향대학교 정보기술공학부, 아산, 336-745

(2002년 12월 10일 접수)

(2003년 1월 10일 심사완료)

초 록 본 논문에서는 3차원 마이크로구조물을 위한 새로운 UV-LIGA 공정을 개발하였다. 일반적으로 photoresist는 얇은 두께로 코팅이 되지만, SU-8은 수 십 μm 이상의 두께를 가질 수 있으며, 높은 형상비를 갖는다. SU-8과 같은 Thick photoresist는 기존의 baking 공정과 같이 급격한 cool down을 할 경우 stress에 의한 crack이 발생한다. 이와 같은 경우 도금을 위한 마이크로구조물이 구현이 되지 않는다. SU-8의 코팅, bake에서의 시간 조절, 그리고 PEB의 시간 조절 및 cool down 조절을 통하여 stress에 의한 crack이 발생하지 않도록 3차원 마이크로구조물을 제작 할 수 있도록 하였다.

1. 서 론

마이크로 머시닝(MEMS : Micro Electro Mechanical System) 기술은 여러 가지로 분류할 수 있지만 그 중 표면 미세가공 기술은 마이크로구조물 제작을 위한 가장 유망한 분야이다. 이중에서 LIGA 기술은 수마이크로에서 수백마이크로 크기의 금속, 세라믹 또는 플라스틱 구조물을 제작하기 위한 기술로 알려져 있다[4]. 그러나 LIGA 기술은 x-ray를 발생하는 synchrotron source를 이용해야 하기 때문에 그동안 보편적으로 이용하기가 매우 어려웠다. 최근에는 어렵지 않게 이용할 수 있는 UV(ultraviolet) 광원을 이용한 UV-LIGA 기술을 개발하여 3차원 마이

크로 구조물을 제작하고 있다[1]. 본 논문에서는 마이크로 금속 구조물을 만들기 위한 도금 공정의 몰드(mold)를 UV-LIGA 기술을 이용하여 thick photoresist(TPR) 재료로 제작하는 방법을 제시하고자 한다. UV-LIGA 기술은 도금을 위한 몰드 제작에 가장 널리 쓰이고 있는데 도금을 위해서는 수 십 μm 이상의 몰드를 제작하여야 한다. 기존의 photoresist(PR)는 수 마이크로미터 이내의 박막이기 때문에 도금을 위한 몰드로 사용하기가 어렵다. 그러나 최근에 개발된 SU-8과 같은 TPR은 스핀 코터의 RPM(revolution per minute) 조절에 따라 100 μm 이상 두께로 웨이퍼상에 코팅이 가능하고 구조물의 종횡비(aspect ratio)가 높기 때문에 몰드 제작에 많이 쓰이고 있다[2]. 이러한 TPR의 사용에 있어서 선행되어야 할 공정 조건이 몇 가지 있다. 그중 가장 중요한 것은 PR이 스트레스(stress)에 의한 crack을 갖지 않도록 하는 것인데, crack이 발생하게 되면 마이크로 구조물의

[†]Corresponding author
Tel: +82-41-530-1339
Fax: +82-41-530-1097
E-mail: cckim1@sch.ac.kr

도금이 어렵기 때문이다. 이러한 crack의 대부분은 bake 공정 시에 발생한다. 그러므로 bake 시간의 적절한 단계와 bake 후의 냉각 시간을 조절하는 것이 무엇보다 중요하다.

2. 이론적 배경

2.1. SU-8의 성분 및 특성

SU-8은 에폭시 계열의 열경화성 수지인 multifunctional Glycidyl Ether derivative of Bisphenol-A를 주성분으로 하고 있다. 점도 조절을 위해 사용되는 유기용 재료는 γ -BL(γ -butyrolactone)이 사용되어 여러 가지 두께를 갖는 막의 형성이 가능하도록 하고 있다. 또한 노광 시 산의 생성을 위해 photoinitiator를 포함하고 있다. SU-8은 epoxy-based negative PR로서 일반적으로 epoxy가 갖고 있는 성질과 MEMS 기술에 적합한 몇 가지의 장점을 갖고 있다. 첫째, SU-8은 일반적으로 사용되는 spin coater를 이용하여 한 번의 코팅으로도 100 μm 이상의 두꺼운 막을 형성하기가 용이하다는 장점을 가지고 있다. 둘째, 다른 PR 보다 빛에 대한 높은 투과성을 가지고 있기 때문에 보다 두꺼운 막을 적은 빛 에너지로 노광할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 빛에 대한 높은 투과성은 노광시에 산란 또는 흡수되는 빛의 양을 상대적으로 줄어들게 하여 형성된 PR 구조물의 벽면 형상을 좋게 만들어 주는 역할을 하기도 한다. 아래의 그림은 일반적으로 쓰이는 다른 종류의 TPR과의 빛에 대한 투과성을 비교한 그림이다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 일반적으로 사용되는 자외선 노광장치의 파장 영역에서 SU-8이 다른 TPR 보다 현저히 작은 광 흡수율을 가지고 있다.

셋째, SU-8은 넓은 영역의 빛에 대해서 반응을 하는

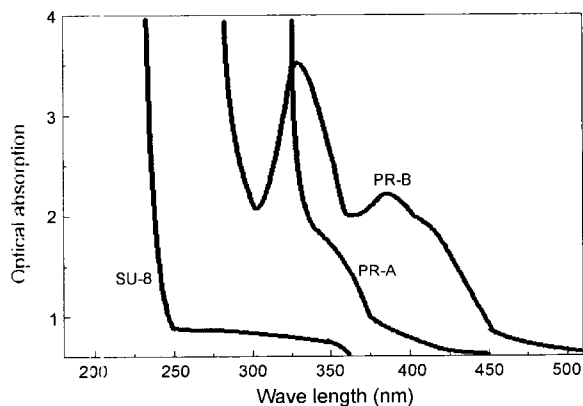


Fig. 1. Optical absorption of SU-8 compared with other conventional thick photoresists.

특성을 가지고 있다. 자외선 뿐만 아니라 X-ray나 E-beam에 의해서도 노광되는 특성을 갖고 있다. 넷째, SU-8은 다양한 종류의 화공약품에 대해서도 좋은 내성을 가지고 있어서 공정 설계 시에 보다 많은 종류의 방법을 선택할 수 있다. 하지만 공정의 마지막 단계에 PR를 제거하는 것이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 다섯째, SU-8은 플라즈마에도 좋은 내성을 갖고 있어서 건식 식각의 마스크로도 사용이 가능하다. 이러한 특성 외에도 가장 많이 쓰이는 기판 재료인 실리콘 웨이퍼나 유리와 좋은 접착력을 가진 장점을 가지고 있기도 하다. 위에 열거된 여러 가지의 유리한 특성 이외에도 제거하기가 어렵다든지 막의 내부 응력이 큰 단점을 가지고 있다[4].

2.2. SU-8의 patterning 원리

SU-8은 일반적으로 널리 쓰이는 positive PR과는 구조물을 형성하는 원리가 다르다. 우선 기판은 수분의 제거를 위해 고온(250°C)에서 dehydrate bake를 해서 준비를 하고 일반적인 spin coater를 이용하여 막을 입히고 soft bake를 통하여 막 내부에 있는 휘발성의 용제를 제거하게 된다. 용제가 제거되어 경화된 막에 자외선 노광을 하게 되면, 강한 산이 생성이 되고 노광 뒤의 열처리를 통하여 생성된 산이 분자구조를 서로 강하게 연결하여 고분자 물질로 결합하게 된다. 노광 뒤에 행해지는 이러한 열처리를 PEB(Post Exposure Bake)라고 하며 그 온도 및 열처리 시간에 따라서 막내부에 생기는 결합량이 결정된다. 이렇게 해서 특정한 용제에 대한 용해도의 차이를 만들어서 구조물을 형성하게 된다.

2.3. Low stress 공정의 필요성

SU-8을 사용하여 구조물을 만들 경우 가장 중요한 공정 변수가 되는 것은 노광량과 노광 뒤의 열처리이다. 이 두 가지의 조건은 폴리머 구조물의 결합량을 결정하게 되며, 서로 매우 밀접한 의존성을 갖고 있다. 내부의 결합량이 늘어날수록 형상이 깨끗해지고 높은 종횡비를 얻는 데 유리하지만, 막의 내부 응력이 증가하고 제거가 힘들어 지는 단점을 가지고 있다. 최적화 실험의 목표는 구조물의 형상은 더 좋아지고 스트레스에 의한 악영향은 최소화하며, 제거가 용이하도록 하는 것이다. 이러한 조건은 서로 상충되는 면을 갖고 있으며, 일반적인 PR 도금들의 제작에 사용된 방법과는 다른 방법을 필요로 하게 된다. 여기서 일반적인 방법이란 도포된 막을 일정한 온도에서 열처리하여 바로 노광한 후에 이를 다시 일정한 온도에서 열처리하는 것을 의미한다.

3. Low stress 공정

3.1. Spin coating 조건

다양한 두께의 SU-8 막의 형성조건 확립을 위하여 각기 다른 점도를 가지는 SU-8을 이용하여 원하는 두께의 막을 얻기 위한 시험을 하였다. PR 코팅 전에 접착력 향상을 위해 pirahna-gol'n method로 250°C에서 30분 동안 열처리를 하였다. 같은 두께의 막을 형성할 경우 낮은 점도의 SU-8을 이용하는 것이 응력 완화에 도움이 되었다. PR의 코팅 후에 수평이 유지된 상태로 30분 이상의 relaxation time을 가졌다. 점성이 강한 SU-8은 낮은 스핀속도에서 코팅을 하였다. 낮은 속도에서 웨이퍼 위에 PR을 균등하게 코팅하기 위해서는 PR안의 기포를 먼저 제거하여야 하는데 기포가 제거되지 않을 경우 균등한 도포가 불가능하기 때문이다. 코팅의 단계 역시 2 단계(step)로 하였다. 초기 RPM에서 Ramp time을 가지고 post coating을 한 다음 원하는 RPM까지 다시 증가시키는 방법을 택하였다.

3.2. Soft bake 조건

Soft bake 양이 과도한 경우 스트레스에 의한 패턴의 일그러짐이 두드러졌다. 노광용 마스크에 접촉되지 않는 한도에서 최소한의 열처리를 하였다. cool down 시간이 비교적 짧은 hot plate를 사용하였으며, 온도의 급격한 변화에 의한 충격을 줄여 주기 위해서 2 step으로 열처리 시간을 조절하였다.

3.3. UV 노광 조건

노광은 SU-8의 내부 결합량을 결정하는 중요한 변수이다. 노광하기 위해 사용된 UV 파장은 365 nm이다.

Table 1
Coating speeds with the variation of SU-8 film thickness

Thickness(μm)	70	100	130
Spin speed(rpm)	1500	1200	1000

Table 2
Bake times with the variation of SU-8 film thickness

Thickness(μm)	70	100	130
Bake time(min)	15	18	25

Table 3
Exposure powers with the variation of SU-8 film thickness

Thickness(μm)	70	100	130
Exposure(mJ)	225	255	275

Table 4
PEB times with the variation of SU-8 film thickness

Thickness(μm)	70	100	130
PEB time(min)	15	18	25

Table 5
Step of development

1 step	Developer	PR remove
2 step	Developer	PR remove
3 step	IPA	cleaning

3.4. PEB 조건

PEB(Post Expose Bake)는 노광량과 함께 내부 결합량을 결정하는 중요한 변수이다. soft bake와 같이 hot plate를 사용하였으며 온도의 급격한 변화에 의한 스트레스를 막기 위해 단계별 열처리 시간을 조절하였다. 같은 단계별 열처리 공정이라도 마지막 cool down 시간 조절에 의해 crack의 발생 정도가 틀려졌다. bake 공정에 있어서 cool down 시간의 조절이 몰드의 제작에 굉장히 중요한 변수인 것을 알 수 있었다.

3.5. 현상 조건의 확립

일반적으로 행해지는 1회의 dipping 방법으로 시행할 경우 얼룩무늬가 발생하여 단계별 현상을 실행하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. Low stress SU-8 구조물의 제작

SU-8 PR을 이용하여 구조물을 제작하였다. 우선 웨이

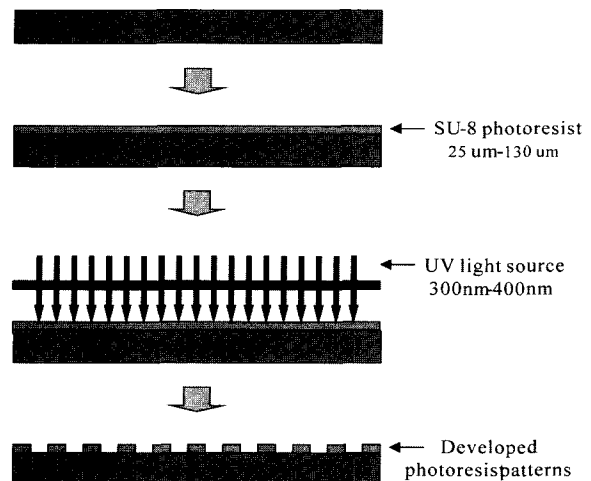


Fig. 2. Schematic of the fabrication process.

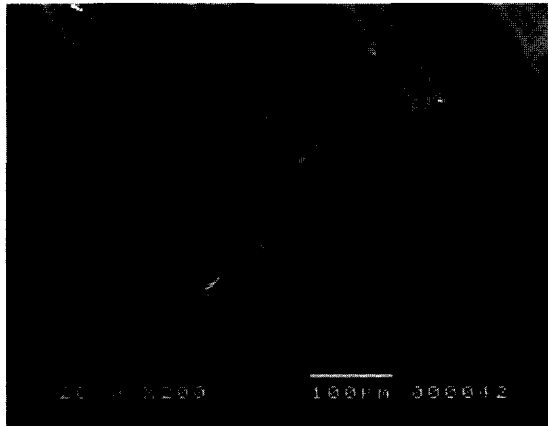
표상의 PR의 균일한 도포를 위하여 spread를 실시 한 후 스핀 속도를 조절하여 20 μm 에서 130 μm 까지 두께를 조절하였고, 구조물의 높이에 따라 soft bake 시간과 PEB 시간 및 cool down 시간을 조절하였다. 특히 노광 시의 노광 시간과 에너지 량은 현상(develop)을 위해 굉장히 중요한 조건이 되므로 구조물의 높이에 비례해서 광원의 세기를 높여가며 실험을 하였다.

4.2. Low stress 공정의 시험

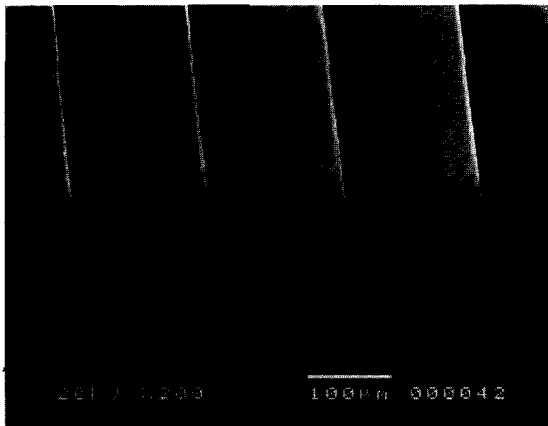
제안된 공정의 시험을 위하여 선풍 구현 실험을 하였다. 막 두께가 70 μm , 100 μm , 130 μm 이고 최소 선풍은 10 μm 로 설정을 하였다.

제안된 low stress 공정에 의해 제작된 구조물을 살펴 보면 스트레스에 의한 crack의 발생이 현저히 적음을 볼 수 있었다. 다음의 그림에서는 bake 공정에서의 cool down 시간 조절에 따른 crack의 발생을 살펴보았다.

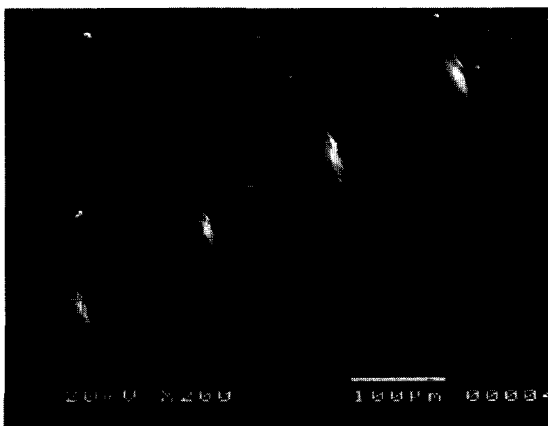
PEB 후의 cool down 시간이 길어질수록 스트레스에 의한 crack 발생이 적음을 알 수 있었다. 이는 온도의 급격한 변화에 의해 PR의 결합력이 변화하기 때문이다. 다음의 표와 같은 공정을 통하여 중횡비가 각각 7, 10, 13인 구조물의 low stress 공정을 확립하였다.



(a) Width 10 μm , Height 70 μm

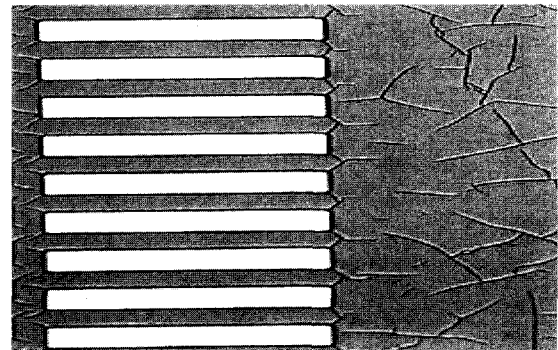


(b) Width 10 μm , Height 100 μm

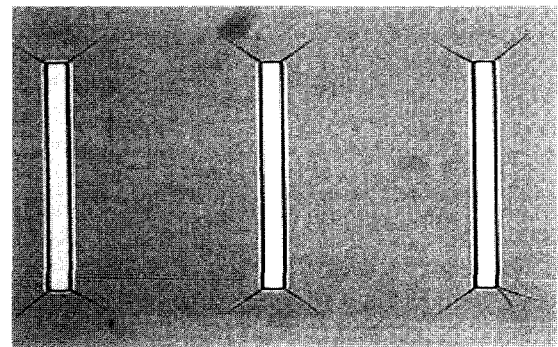


(c) Width 10 μm , Height 130 μm

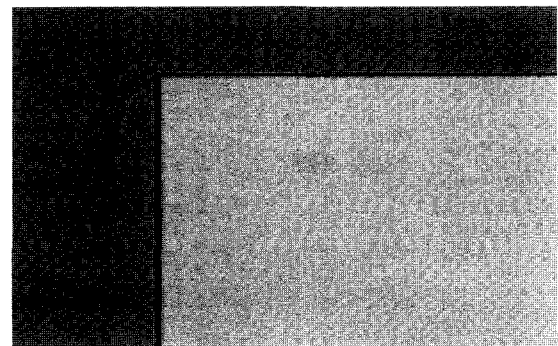
Fig. 3. Microstructures by low stress fabrication.



(a) PEB cool down temperature 0 $^{\circ}\text{C}$



(b) PEB cool down temperature 30 $^{\circ}\text{C}$



(c) PEB cool down temperature 50 $^{\circ}\text{C}$

Fig. 4. Cracked by cool down temperatures.

Table 6
Condition of microstructure (Width 10 μm , Height 70 μm)

Spin speed	Soft bake	Exposure	PEB
Step 1 500 RPM	Step 1 65°C	225 mJ	Step 1 65°C
Step 2 1500 RPM	Step 2 95°C		Step 2 95°C

Table 7
Condition of microstructure (Width 10 μm , Height 100 μm)

Spin speed	Soft bake	Exposure	PEB
Step 1 500 RPM	Step 1 65°C	255 mJ	Step 1 65°C
Step 2 1200 RPM	Step 2 95°C		Step 2 95°C

Table 8
Condition of microstructure (Width 10 μm , Height 130 μm)

Spin speed	Soft bake	Exposure	PEB
Step 1 500 RPM	Step 1 65°C	275 mJ	Step 1 65°C
Step 2 1000 RPM	Step 2 95°C		Step 2 95°C

5. 결 론

UV-LIGA 공정을 이용하여 3차원 마이크로 구조물을 제작하기 위해서는 금속도금을 위한 TPR 몰드를 제작이 필요하다. 본 논문에서는 여러 가지 공정조건에 따른 TPR 제작 공정을 개발하였다. 본 논문에서는 스피너의 회전속도에 따라서 TPR의 두께를 조절하였으며, 두

께가 다른 TPR의 soft bake 시간 조건을 확립하였다. 또한, UV 노광조건과 PEB 조건을 확립하였는데, 실험 결과 TPR의 형상에 가장 결정적인 영향을 미치는 공정 요소는 PEB 시의 cool down임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 RRC 연구비를 이용하여 수행하였음을 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Daniel J. Sadler, Trifon M. Liakopoulos, and Chong H. Ahn, "A Universal Electromagnetic Microactuator Using Magnetic Interconnection Concepts", Journal of MEMS 9 (2000) 460.
- [2] Jang Hyun Ki, "Opimization of Fabrication Process for High Aspect Ratio Metallic Comb Actuator Using UV LIGA Process", Department of electric engineering of Seoul National University (1999. 2).
- [3] M. Steven Rogers and Jeffry J. Sniogowski, "5-Level Polysilicon Surface Micromachine Technology; Application to Complex Mechanical System", Proc. Solid-State Sensors and Actuators Workshop, June 8-11 (1998).
- [4] H. Guckel, "High Aspect Ratio micromachining Via Deep X-Ray Lithography", Proc. the I EEE 86 (1998) 1586.
- [5] J.M. Shaw, J.D. Galore, N.C. Bionic, W.E. Coney and S.J. Holmes, "Negative Photoresists for Optical Lithography", IBM Journal of Research & Development 41 (1997) 250.