

Negative Thick Photoresist를 이용한 100 $\mu\text{m}$  높이의 금속 구조물의 제작에 관한 연구

장현기, 김용권  
서울대학교 전기공학부.

Fabrication of 100 $\mu\text{m}$  High Metallic Structure Using Negative Thick Photoresist and Electroplating

Hyun-Kee Chang and Yong-Kweon Kim  
School of Electrical Engineering Seoul National University

1. Abstract

This paper describes the fabrication process to fabricate metallic structure of high aspect ratio using LIGA-like process. SU-8 is used as an electroplating mold. SU-8 is an epoxy-based photoresist, designed for ultrathick PR structure with single layer coating [1, 2]. We can get more than 100 $\mu\text{m}$  thick layer by single coating with conventional spin coater, and applying multiple coating can make thicker layers.

In the experiments, we used different kinds of SU-8, having different viscosity. To optimize the conditions for mold fabrication process, experiments are performed varying spinning time and speed, soft-bake, develop and PEB (Post Expose Bake) condition. With the optimized condition, minimum line and space of 3 $\mu\text{m}$  pattern with a thickness of 40 $\mu\text{m}$  and 4 $\mu\text{m}$  pattern with a thickness of 130 $\mu\text{m}$  were obtained.

Using the patterned PR as a plating mold, metallic structure was fabricated by electroplating. We have fabricated a electroplated nickel comb actuator using SU-8 as plating mold. The thickness of PR mold is 45  $\mu\text{m}$  and that of plated nickel is 40 $\mu\text{m}$ . Minimum line of the mold is 5 $\mu\text{m}$ . Patterned metallic layer or polymer layer, which has selectivity with the structural plated metallic layer, can be used as sacrificial layer for fabrication of free-standing structure.

1. 서 론

정전력을 이용한 대부분의 초소형 액츄에이터의 효율을 높이기 위하여, 높은 종횡비의 초소형 구조물을 제작하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 그 중 LIGA와 LIGA-like 공정이 연구되고 있다. LIGA공정은 높은 종횡비를 얻을 수 있으나 비용이 크고 생산성이 낮은 단점을 가지고 있는 데에 반해 LIGA-like 공정은 비록 LIGA공정보다 높은 종횡비의 구조물 형성에는 불리하지만 더 낮은 비용으로 높은 생산성을 가지고 있다는 장점을 가지고 있다. 이러한 LIGA-like 공정의 단점을 보완하기 위해서 노광 수단 및 노광 방법, 그리고 고 종횡비를 얻는 데에 유리한 새로운 물질의 개발이 활발히 진행되고 있다. SU-8 역시 이러한 목적으로 IBM사에서 개발되어 Micro Chem.에서 상용화된 물질이다. 본 논문의 내용은 SU-8 막을 도금틀로서의 적절한 특성을 갖도록 하기 위하여 실행한 최적화 실험의 내용과 그 결과, 그리고 이를 이용하여 제작된 금속 구조물에 대한 것으로 이루어져 있다. 이러한 최적화된 조건에 의해서 본 논문에서는 LIGA-like 공정을 이용, 구조물의 높이가 100 $\mu\text{m}$  이상 그리고 구조물의 종횡비 10이상인 구조물을 형성하였으며 최소 선폭 3 $\mu\text{m}$ 를 갖는 40 $\mu\text{m}$  높이의 구조물을 형성하였다.

2. 본 론

2.1 SU-8

2.1.1 SU-8의 성질

SU-8은 epoxy-based negative PR로서 일반적으로 epoxy가 가지고 있는 성질과 MEMS 기술에 적합한 몇 가지의 성질을 가지고 있다.

첫째, 우선 SU-8은 일반적으로 사용되는 spin coater를 이용하여 한 번의 코팅으로도 100 $\mu\text{m}$ 이상의 두꺼운 막을 형성하기가 용이하다는 장점을 가지고 있다. 둘째, 다른 PR보다 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 PR구조물의 벽면 형상을 좋게 만들어 주는 역할을 하기도 한다. 아래의 그림은 일반적으로 쓰이는 다른 종류의 후막PR과의 빛에 대한 투과성을 비교한 그래프이다[1].

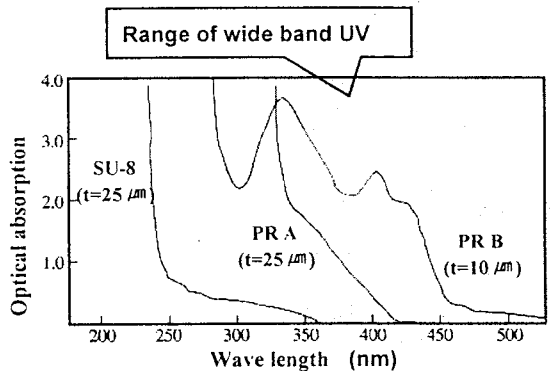


Figure 1. Optical absorption of SU-8 compared with other conventional thick photoresist.

PR A : RISTONE T -168  
PR B : diazo resist

위의 그래프에서 볼 수 있듯이 일반적으로 사용되는 자외선 노광장치의 파장 영역에서 SU-8이 다른 후막 PR보다 현저히 작은 광 흡수계수를 가지고 있다. 셋째, SU-8은 넓은 영역의 빛에 대해서 반응을 하는 특성을 가지고 있다. 자외선 뿐 아니라 X-ray나 E-beam에 의해서도 노광되는 특성을 가지고 있다[1]. 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 PR을 제거하는 것이 어려운 단점이 있기도 하다. 다섯째, SU-8은 플라즈마에도 좋은 내성을 가지고 있어서 건식 식각의 마스크로도 사용이 가능하다. 하지만 이러한 특성도 O<sub>2</sub> plasma ashing이 다른

PR보다 어려운 단점이 되기도 한다. 이러한 특성 외에도 가장 많이 쓰이는 기판 재료인 실리콘 웨이퍼나 유리나 좋은 접착력을 가진 장점을 가지고 있기도 하다. 위에 열거된 여러 가지의 유리한 특성 이외에도 제거하기 어렵다든지 막의 내부 응력이 큰 단점을 가지고 있다.

### 2.1.2 성분 및 공정 순서

SU-8은 흔히 EPON<sup>®</sup> resin SU-8 이라고 불리는 multifunctional Glycidyl Ether derivative of Bisphenol-A 를 주성분으로 하고 있으며, 적절한 유기 용제로 점도를 조정한다. 또한 노광시 산의 생성을 위해 photoinitiator를 포함하고 있다. 아래의 그림은 주성분인 EPON<sup>®</sup> resin SU-8의 화학식을 보여 주고 있다.

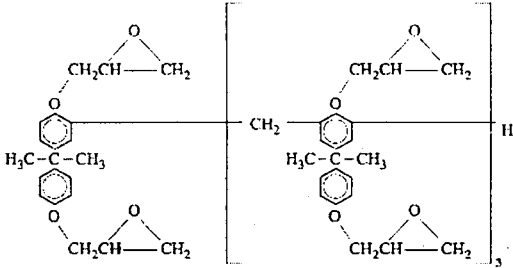


Figure 2. Chemical formula of multifunctional Glycidyl Ether derivative of Bisphenol-A

SU-8은 일반적으로 널리 쓰이는 positive PR 과는 구조물을 형성하는 원리가 다르다. 우선 기판은 수분의 제거를 위해 고온(250°C)에서 dehydrate bake를 해서 준비를 하고 spin coater로 막을 입힌 후, 열처리하여 휘발성의 용제를 제거하게 된다. 용제가 제거되어 경화된 막을 자외선 노광을 하게 되면, 강한 산이 생성이 되고 노광 뒤의 열처리를 통해 이 산이 폴리머를 서로 강하게 연결하게 된다. 이렇게 해서 특정한 용제에 대한 용해도의 차이를 만들어서 구조물을 형성하게 된다.

### 2.2 최적화 실험

여러 가지의 공정 변수를 변화시키면서 도금틀로서의 적절한 성질을 갖도록 공정을 최적화하였다.

#### 2.2.1 개선된 공정

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

다음의 그림은 일반적인 방법에 의해서 생성된 구조물에서 발견되는 문제점들을 보여 주고 있다.

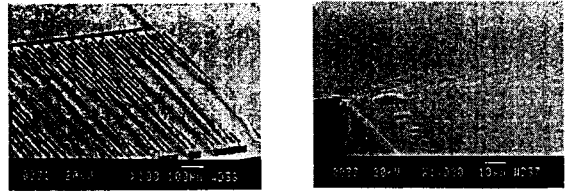


Figure 3. Stress effect on pattern generation.

그림 3의 (a)는 기판과의 접착력이 내부 응력을 견디지 못해서 빗모양 구조물의 도금틀이 서로 달라붙은 것을 보여 주고 있다. (b)는 구조물의 모퉁이에 주름이 잡힌 것을 보여 주고 있다. 이러한 영향을 제거하면서 정확한 구조물을 정의하기 위해서 공정을 다음과 같이 개선하였다.

우선 막의 두께를 조정하기 위해서 서로 다른 점도의 SU-8을 사용하여 5, 20, 25, 40, 45, 100 그리고 150 $\mu$ m 두께의 막을 형성하였다. SU-8 5와 SU-8 25 그리고 SU-8 50을 사용하였다. 여기에서 상품명 뒤에 있는 숫자는 3000rpm에서 spin coating할 경우에 형성되는 막의 두께를 의미하며, 권장되는 막의 두께이다. 하지만, 더 낮은 점도의 SU-8을 사용하여 더 낮은 회전 속도에서 막을 형성하였을 경우에 스트레스의 문제를 많이 감소시킬 수 있음을 알 수 있었다. 또한 막을 도포한 뒤에 도포 시에 발생한 응력을 감소시키기 위해 충분한 시간(30분 이상) 동안 수평이 유지된 평판 위에서 기판 위에 PR이 재배치할 시간을 주었다. 그리고 일반적인 열처리 방법을 개선하여 soft bake 와 PEB(Post Expose Bake)방법을 단일 온도에서 시행하지 않고 세 단계로 나누어서 온도의 갑작스런 변화에 의한 막의 스트레스 증가를 억제하였다. 다음의 그림은 일반적인 열처리와 새로운 열처리를 비교하고 있다.

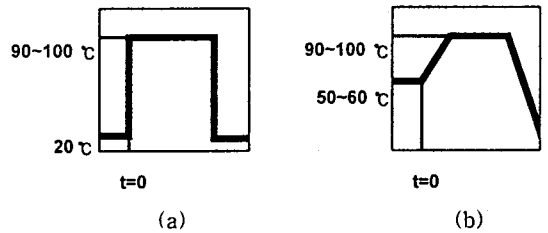


Figure 4. Comparison of heat treatment  
(a) : conventional heat treatment  
(b) : proposed heat treatment

다음 그림은 일반적인 방법에 의해서 생성된 막에서 생기는 문제점을 잘 보여 주고 있다.

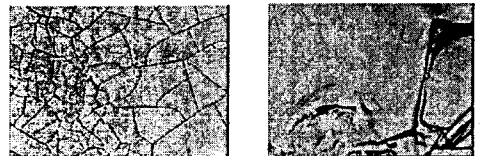


Figure 5. Stress effect

그림 5의 (a)의 경우는 막의 표면에 주름모양의 골이 파인 것을 보여 주고 있으며, (b)의 경우는 막 자체가 떨어진 모습을 보여주고 있다.

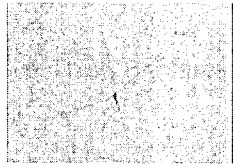
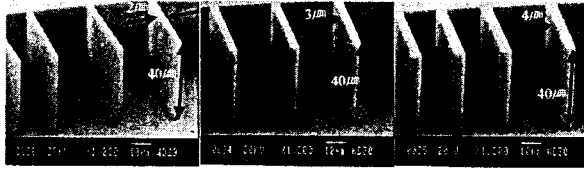


Figure 6. Film surface formed with proposed method

그림 6은 개선된 방법에 의한 막질을 보여 주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 막의 표면에 스트레스에 의한 영향이 거의 없음을 알 수 있다.

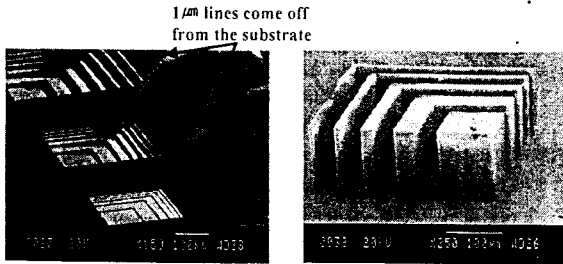
### 2.2.2 결과

위에서 설명한 새로운 공정에 의해서 구조물을 제작하였다. 우선 그림 7은 얇은 선폭을 구현한 것을 보여 주고 있다.



(a) (b) (c)  
Figure 7. Fabricated test pattern I

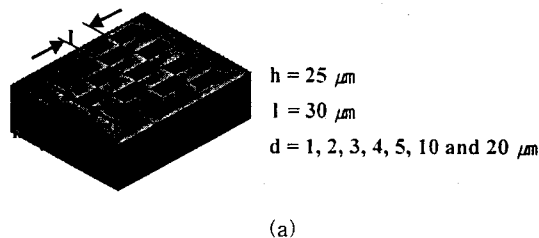
(a)의 경우 선폭의 두께가 2 $\mu\text{m}$ 이며 (b)의 경우에는 3 $\mu\text{m}$ , (c)의 경우에는 4 $\mu\text{m}$ 이다. 구조물의 높이는 모두 40 $\mu\text{m}$ 이다. 각 경우의 중횡비는 20, 13, 10이 된다. 다음 그림은 또 다른 형태의 구조물이다.



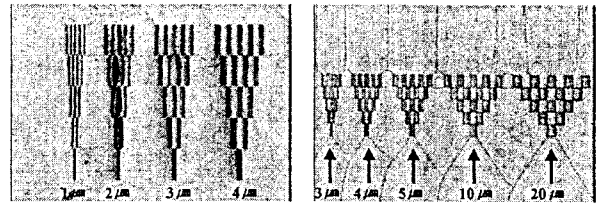
(a) (b)  
Figure 8. Fabricated test pattern II

(a)의 경우는 높이가 40 $\mu\text{m}$ 인 구조물이다. 구조물의 가장 바깥쪽에 두께가 1 $\mu\text{m}$ 인 현상이 옆으로 넘어져 있는 것을 볼 수 있다. 이 구조물의 경우 두께가 2, 3, 5, 10, 20, 40 그리고 100 $\mu\text{m}$ 인 형상이 구현되었다. (b)의 경우는 구조물의 높이가 130 $\mu\text{m}$ 인 경우로서 최소 5 $\mu\text{m}$ 의 선폭이 구현되었다.

아래의 그림은 SU-8이 도금틀로 사용되었을 경우에 가능한 최소 선폭을 알아보기 위해 한 실험의 결과이다. 구현된 구조물의 모습은 다음의 그림과 같다.

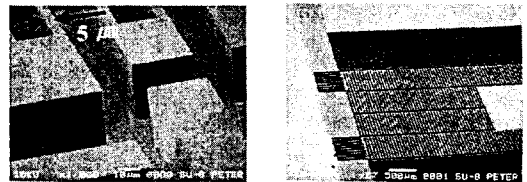


(a)

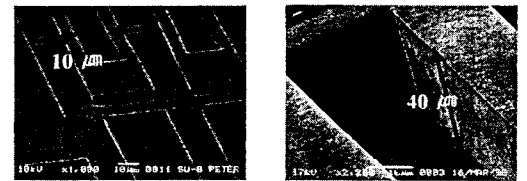


(b) (c)  
Figure 9. Fabricated test pattern III  
(a) perspective view of narrow trench  
(b),(c) narrow trenches with different gap width

위의 그림에서 구현된 최소 선폭은 1 $\mu\text{m}$ 이다. 이와 같이 도금틀제작의 공정을 최적화하였으며, 최적화된 공정을 이용하여 구조물을 도금하였다. 아래의 그림은 각 공정의 단계를 보여 주고 있다.



(a) (b)



(c) (d)

Figure 10. LIGA-like process  
(a) mold overview (b) mold generation  
(c) Nickel electroplating (d) mold removing

### 3. 결 론

이상과 같이 SU-8을 이용하여 도금틀을 제작하는 공정을 확립하였다. 이 공정을 사용하여 도금틀을 제작할 경우 중횡비 20이상의 구조물이나, 높이가 수백 $\mu\text{m}$ 인 도금틀의 구현이 가능하며, 적절한 회생층을 사용하여 뜬 구조물의 제작도 가능하다. 또한 이 공정을 따라서 공정을 수행할 경우 SU-8 전용remover에서 도금틀의 제거가 가능하며, 바닥 면의 얼룩은 수분 이내의 O<sub>2</sub> plasma ashing을 통해서 제거가 가능하다. 이러한 SU-8의 장점을 이용하여 더 많은 응용이 가능할 것이다.

### 감사의 글

본 논문은 97년도 교육부 반도체분야 학술연구조성비 (ISRC 97-E-4104)에 의하여 연구되었습니다.

### [참고 문헌]

[1] H. Lorenz, M. Despont, N. Fahrni, N. LaBianca and P. Resnaud, SU-8 a low-cost negative resist for MEMS, J. Micromech. Microeng. 7, pp.121-124, 1997.  
[2] J. M. Shaw, J. D. Gelorme, N. C. LaBianca, W. E. Conley, and S. J. Holmes, Negative photoresists for optical lithography, IBM Journal of Research & Development, Vol. 41, No. 1/2-Optical lithography, 1997.