

**알루미늄 희생층을 이용한 금속 구조물의 제작**

김정무, 박재형, 이상호, 신동식\*, 김용권, 이윤식\*  
 서울대학교 전기 컴퓨터 공학부, 서울대학교 응용화학부\*

**Fabrication of metal structure using Al sacrificial layer**

Jung-Mu Kim, Jae-hyoung Park, Sang-ho Lee, Dong-Sik Sin, Yong-Kweon Kim, Yoon-Sik Lee  
 School of electrical & computer engineering, School of chemical engineering  
 Seoul National University

**Abstract** - In this paper, novel release technique using wet etch is proposed. The results of this technique and the results of SAMs (Self-Assembled monolayers) coated after release using this technique are compared. Fabricated structure have 100 um in width and experimental length is from 100 um to 1 mm. Thickness of aluminum sacrificial layer is 2 um and structure thickness is 2.5 um. Cantilevers and bridges are fabricated with electroplated gold and silicon nitride deposited on substrate. An aluminium sacrificial layer was evaporated thermally and removed in various wet etching solutions. Detachment length of cantilever is 200 um and detachment length of bridge is 1 mm after isooctane rinsing. And the SAMs coating condition which is appropriate for gold and nitride are studied respectively.

도가 다른 용매로 세척해서 구조물을 띄운 결과와 SAMs 도포 후 구조물을 띄운 결과를 비교하는 실험을 수행하였다.

**2. 본 론**

**2.1 이론 및 제작**

**2.1.1 이론**

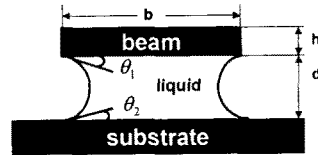
그림.1은 희생층 제거와 세척을 마친 후에 건조되는 도중 접착 되는 길이를 결정하는 요인들을 나타낸 모식도이다. Legtenberg, et al[1]은 구조물의 탄성 에너지와 용액의 모세관 에너지가 최소가 되는 점에서 양팔보의 접착이 일어나는 길이를 결정하고 아래 (1)식과 같이 표현하였다.

**1. 서 론**

최근 초고주파 소자가 출현하면서 수동 소자의 소형화가 요구되었고, 발전하는 반도체 공정 기술에 힘입어 저가, 저전력의 MEMS(Micro Electro Mechanical System) RF 소자가 설계, 제작되고 있다. 마이크로머시닝 기술을 이용해 제작된 RF 수동 소자는 삽입 손실(insertion loss)과 신호 분리(isolation)면에서 능동 소자보다 나은 특성을 가지기 때문에 이에 대한 연구가 주목되고 있다. RF 필터(filter), RF 스위치(switch), 바랙터(varactor), 위상 변조기 등 대부분의 RF 수동 소자들은 외팔보와 양팔보 구조로 되어있고 대부분 금속 구조물로 제작되었다. 일반적으로 떠있는 금속 구조물을 제작하기 위해서 희생층을 감광재(Photoresist)로 사용하여 건식 식각을 이용해 희생층을 제거하는 공정을 주로 이용하였다. 그러나 건식 식각으로 희생층을 제거할 때 발생하는 열 때문에 구조물의 변형이 발생하고 이는 RF 특성을 저하시키는 결과를 초래하였다.

기존에는 실리콘 산화막을 희생층으로 한 폴리 실리콘 구조물을 불산(HF)에서 희생층을 습식 식각으로 제거했다. 표면의 개질 없이 습식 식각만으로 떠있는 구조물을 제작하기에는 한계가 있다. 그래서 실레인 계열을 도입하여 구조물의 표면을 소수성으로 만들어 구조물을 띄울 수 있었다. 이 방법으로 떠있는 폴리 실리콘 구조물의 접착을 방지하여 미세 미세 가공에 유용하게 쓰이고 있다[2]. 표면 미세 가공에서는 니켈 희생층을 가진 금속 도금 구조물이 제작된 경우가 보고된 바 있고 떠있는 금속 구조물에 대한 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 건식 식각으로 희생층을 제거할 때 생기는 문제를 해결하기 위해서 습식 식각으로 알루미늄 희생층을 제거해서 떠있는 구조물을 제작하였다. 이렇게 습식 식각으로 희생층을 제거해서 구조물을 띄우는 방법에는 한계가 있으므로 표면 개질을 통한 SAMs 도포 실험을 수행하였다. 이 방법으로 습식 식각의 한계를 극복하고 습식 식각만으로 띄울 수 있는 구조물의 결과와 비교하였다. 습식 식각 후 표면 에너지, 접촉각, 증발 속



(a)

그림.1 건조 도중의 구조물 단면도

$$L_{det} = 1.059 \left[ \frac{8E d^2 h^3}{\gamma(\cos \theta_1 + \cos \theta_2)} \right]^{1/4} \quad (1)$$

(1)식에서  $L_{det}$ 는 접착이 일어나지 않는 최대 길이를 나타내고  $b$ 는 구조물의 폭,  $d$ 는 구조물과 기판 사이의 간격,  $h$ 는 구조물의 두께를 나타낸다.  $\theta_1, \theta_2$ 는 구조물과 용액과의 접촉각, 기판과 용액과의 접촉각을 나타낸다.  $E$ 는 구조물의 기판 영률이고  $\gamma$ 는 용액의 표면 장력을 나타낸다. 용액이 물일 경우 접촉각은  $90^\circ$ 를 넘지 않으며 접촉하고 있는 고체 표면의 물질에 따라서 접촉각이 달라지게 된다.  $E$  값은 구조물의 재질에 의해 결정되는 값이고  $\gamma$ 는 최종으로 세척하는 용액이 가지는 표면 장력 값이다. (1)식은 구조물의 두께와 구조물과 바닥과의 간격이  $L_{det}$ 와 비례함을 보여준다. 구조물과 기판의 표면이 친수성일 경우 접촉각이 작아져서  $L_{det}$ 가 짧아지게 된다.  $L_{det}$ 를 늘리기 위해서는 표면을 소수성으로 만들어서 접촉각을 크게 해야 한다. 소수성 표면을 만들어서  $L_{det}$ 를 증가시키기 위해서 SAMs 도포가 연구되었다.

### 2.1.2 떠있는 구조를 제작

건식 식각으로 회생층을 제거할 때 생기는 열에 의한 구조물의 변형을 막기 위해서 알루미늄 회생층을 습식 식각으로 제거하는 공정을 진행하였다. 알루미늄 회생층을 사용한 외팔보와 양팔보 금 구조물의 폭은 100  $\mu\text{m}$  이고 길이는 100  $\mu\text{m}$  부터 1 mm까지 제작되었다. 회생층의 두께는 2  $\mu\text{m}$ 이고 구조물의 두께는 2.5  $\mu\text{m}$ 로 제작하였다. 대부분의 RF 소자는 절연막을 실리콘 질화막으로 사용하면서 그 위에 떠있는 금 구조물로 제작되었다. 이와 비슷한 구조로 제작하기 위해서 우선 기판에 실리콘 질화막을 증착하고(그림 2-a) 알루미늄으로 회생층을 형성한 후(그림 2-b) 도금 틀을 제작하였다(그림 2-c). 그리고 금 도금으로 구조물을 제작한 후 회생층을 제거하였다.(그림 2-d). 회생층을 제거할 때는 10wt% KOH와 HF(10:1), PAN(인산:아세트산:질산:DI=16:1:1:2)용액을 식각 용액으로 사용하였다. 알루미늄 식각 속도는 분당 4000  $\text{\AA}$  정도이고 식각 용액은 실제 구조물을 제작할 때 다른 구조물을 고려해서 선택해야 한다. 10wt% KOH로 회생층을 식각할 경우 식각 후 탈이온화수에 세척하는 과정에서 KOH와 탈이온화수가 기판과 구조물 사이에서 교체되는 동안 점도가 큰 KOH 때문에 점착이 일어나기도 한다. 본 논문에서는 용액간의 교체와 건조 후 표면 상태가 양호한 HF(10:1)를 회생층 식각액으로 선택하여 실험했다.

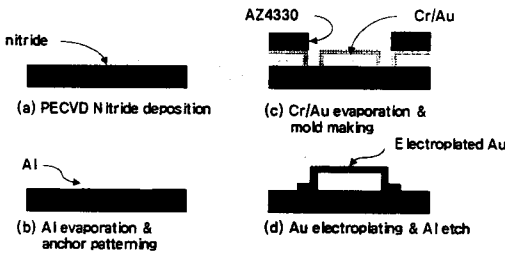


그림 2 제작 공정도

## 2.2 회생층 제거 후 처리 방법에 따른 결과

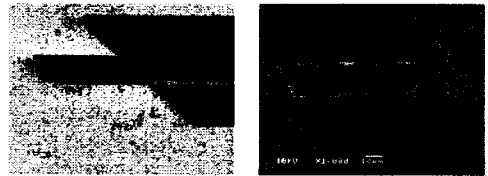
### 2.2.1 세척 방법에 따른 결과

세척은 물, 이소프로필알콜, 이소옥탄으로 진행했다. 각각을 최종 세척액으로 실험해서 점착이 일어나는 길이를 측정해 본 결과 표.1과 같이 물로 세척을 한 외팔보는 모든 길이에서 점착이 일어났고 양팔보는 100  $\mu\text{m}$  이상의 길이에서는 모든 구조물이 점착되었다. 최종 세척액을 이소프로필알콜로 하고 건조시켰을 때도 물과 마찬가지로 길이 100  $\mu\text{m}$  이상의 양팔보에서는 점착이 일어났다. 이소옥탄으로 세척한 경우에는 점착이 일어나지 않는 길이가 외팔보는 200  $\mu\text{m}$ , 양팔보는 1 mm의 값으로 측정되었다. 세척액이 물일 경우에는 식(1)에 물의 표면 장력 값인 72  $\text{mN/m}$  와 금 구조물의 물에 대한 접촉각  $70.6^\circ$ , 실리콘 질화막의 물에 대한 접촉각  $36.7^\circ$  를 대입해서  $L_{det}$  값을 구할 수 있다. 2.5  $\mu\text{m}$ 의 두께를 가지는 금 구조물이 기판과 2  $\mu\text{m}$  떨어져 있을 경우 점착이 되지 않는 양팔보의 최대 길이는 190  $\mu\text{m}$ 로 계산된다. 외팔보는 양팔보의 길이보다 2.5배 작은 77  $\mu\text{m}$ 로 계산된다. 제작된 외팔보는 회생층을 습식으로 제거하고 물에서 세척 후 건조시킨 경우 이론적으로 77  $\mu\text{m}$  이상의 길이에서 점착이 일어나고 양팔보는 190  $\mu\text{m}$  이상의 길이에서 점착이 일어난다. 이 값은 실험을 통해서 얻은 표.1의 결과에 부합됨을 알 수 있다.

표.1 점착이 일어나지 않는 금 구조물의 최대 길이

최종 세척액	점착이 일어나지 않는 최대 길이	
	외팔보	양팔보
물	점착	100 $\mu\text{m}$
이소프로필알콜	점착	100 $\mu\text{m}$
이소옥탄	200 $\mu\text{m}$	1 mm

세척을 마치고 건조시킬 때에는 열에 의한 구조물의 변형을 최소화 하기 위해서 30  $^\circ\text{C}$  진공 오븐에서 건조하였다. 그림.3 은 길이 100  $\mu\text{m}$  길이의 외팔보(그림.3-a)와 양팔보(그림.3-b)의 전자 현미경 사진이다. 구조물 끝부분의 변형 없이 안정적으로 기판으로부터 떠 있음을 확인하였다.



(a) (b)

그림.3 100  $\mu\text{m}$  길이의 (a)외팔보와 (b)양팔보 전자 현미경 사진

### 2.2.2 SAMs 도포 결과

습식 식각으로 회생층을 제거할 때 점착을 방지하기 위해서 SAMs 도포를 수행한다. 이와 같은 표면 처리로 구조물의 표면을 소수성으로 만든다. SAMs 도포를 하게 되면 표면이 소수성이 되어 점착각이 커지게 된다. 일반적으로 폴리 실리콘의 경우 실레인 계열의 도포로 표면을 소수성으로 만들 수 있다. 폴리 실리콘 하나의 단일 물질로만 제작된 구조물에서는 실레인 계열의 표면 처리만으로 구조물에 소수성 막을 형성할 수 있다[2]. 금 구조물에 실리콘 질화막 기판을 가진 혼합된 표면을 소수성으로 만들기 위해서는 금과 실리콘 질화막에 대한 SAMs 도포 조건을 개발함과 동시에 각 표면이 도포 용매에서 서로 반응하지 않도록 SAMs 도포 조건을 확립해야 한다. 즉 단일 표면에 대한 표면 처리가 아닌 혼합된 표면에 대한 연속적인 SAMs 도포 조건이 개발되어야 한다.

물에 대한 금과 실리콘 질화막 표면의 접촉각이 작기 때문에 접촉각을 크게 만들기 위해서 싸이를 계열, 실레인 계열의 시약과 DMF (N,N-dimethylformamide), 이소옥탄 용매를 사용하였다[3,4].

금 구조물과 실리콘 질화막을 가진 구조의 SAMs 도포 방법은 그림.4와 같다. 먼저 알루미늄 회생층을 식각한 후 탈이온화수에 10분동안 회생층 식각액을 세척하고  $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$  (4:1) 용액에서 금과 실리콘 질화막 표면의 불순물을 제거한다. 그리고 다시 탈이온화수, 이소프로필알콜 순으로 10분씩 전처리를 한 후 DMF에 10분정도 넣어서 도포 분위기를 만들어준다. 그리고 금에 대한 SAMs 도포 용액인 1% 싸이올+DMF 용액에서 10분 동안 도포를 한 후 같은 분위기의 DMF 용액에서 세척을 한다. 이렇게 하면 도금된 금 표면에 소수성 막이 형성된다. 다음에는 DMF와 이소옥탄이 서로 잘 녹지 않기 때문에 아세톤으로 세척을 하고 이소옥탄+실레인으로 실리콘 질화막에 소수성 막을 형성시킨다. 마지막으로 이소프로필알콜에서 세척한 후에 건조시키면 금 구조물과 실리콘 질화막 양쪽에 소수성 막이 형성되게 된다.

표.2 금과 실리콘 질화막의 물에 대한 접촉각

	1. 황산세척	2. 금 SAMs 도포	3. 실리콘 질화막 SAMs 도포
금	70.6°	112.8°	111.8°
실리콘 질화막	36.7°	36.7°	115.8°

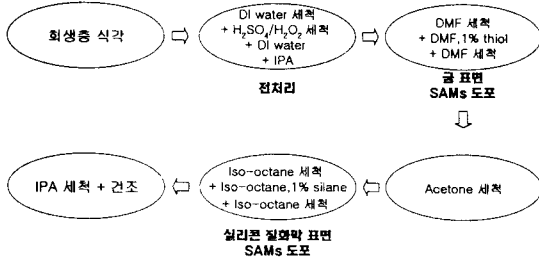


그림.4 SAMs 도포 방법

접촉각은 측정하려는 표면에 물방울을 떨어뜨려서 측정된다. 떨어뜨린 물방울을 측면에서 사진을 찍은 후에 물방울이 맺힌 모양으로 각도를 계산한다. 그림.5와 그림.6은 SAMs 도포하기 전과 도포 후의 물에 대한 금 표면의 접촉각 변화와 실리콘 질화막 표면의 접촉각 변화를 보여주는 물방울의 모양이다. 그리고 표.2 는 금과 실리콘 질화막을 금에 대한 SAMs 도포를 하고 이어서 실리콘 질화막에 대한 SAMs 도포를 한 후 각 단계마다 물에 대한 접촉각을 보여주고있다. 도금된 금표면은 70.6°, 실리콘 질화막의 표면은 36.7° 값의 물에 대한 접촉각을 갖기 때문에 건조 도중에 모세관 힘에 의해서 접촉이 일어나게 된다. 그러나 표.2 에서 보는바와 같이 SAMs 도포를 하게되면 접촉각이 커지게 됨을 알 수 있다. 그림.6 과 표.2에서 보듯이 실리콘 질화막은 SAMs 도포 후에 80° 정도로 접촉각이 증가한 것을 확인할 수 있다. 이 결과는 SAMs 도포 후에 실리콘 질화막 표면이 친수성에서 소수성으로 되었다는 것을 보여주고 있다. 즉 금 표면과 실리콘 질화막 표면에 소수성 막이 형성되었음을 알 수 있다.

현재 금과 실리콘 질화막 각각에 대해서 개발된 SAMs 도포 조건을 혼합된 표면을 가지는 구조물에 적용하는 실험을 수행하고 있다. 제작된 떠있는 금 구조물에 본 논문에서 개발된 SAMs 도포를 적용했을 때 구조물과 기판 표면의 오염 문제로 인하여 균일한 결과를 얻지 못하고 있다. 균일한 결과를 얻기 위해서 연속된 SAMs 도포 조건이 확립되어야 한다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 알루미늄을 희생층으로 하는 도금 공정으로 금 구조물을 제작하였다. 습식 식각으로 희생층을 제거한 후 이소옥탄을 사용해서 물에서 세척할 때보다 접촉을 줄일 수 있었다. 그리고 금과 실리콘 질화막의 혼합 구조로 되어 있는 구조에 대해서 각 표면에 대한 SAMs 도포 조건을 개발하였다. 습식 식각으로 희생층을 제거해서 금 구조물을 띄운 것과 희생층 제거 후 SAMs 도포 조건으로 표면 처리해서 구조물을 띄운 결과를 비교 실험할 예정이다.

### Acknowledgement

본 연구는 두뇌한국 21 (BK 21) 사업의 지원으로 수행되었습니다.

### [참 고 문 헌]

[1] R. Legtenberg, H A C Tilmans, J. Elders and M. Elwenspoek "Stiction of surface micromachined structures after rinsing and drying: model and investigation of adhesion mechanisms," Solid-State Sensors and Actuators A vol. 43 230-8, 1994

[2] B. H. Kim, C. H. Oh, K. Chun, T. D. Chung, J. W. Byun and Y. S. Lee "A new class of surface modifiers for stiction reduction," J. Microelectromech. Syst. pp 189-193, 1999

[3] R. Maboudian, "Surface Processes in MEMS Technology", Surface Science Reports, vol. 30, pp. 207-269, 1998.

[4] F. Bensebaa, R. Voicu, L. Huron, and T. H. Ellis, "Kinetics of Formation of Long-Chain n-Alkanethiolate Monolayers on Polycrystalline Gold", Langmuir, vol. 13, pp. 5335-5340, 1997.



그림.5 금표면에 떨어뜨린 (a)SAMs 도포하기 전의 물방울 모양과 (b)도포 후 물방울 모양

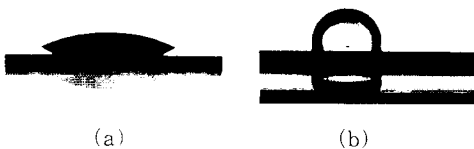


그림.5 실리콘 질화막 표면에 떨어뜨린 (a)SAMs 도포하기 전 물방울 모양과 (b)도포 후 물방울 모양