

논문 2000-9-3-11

표면 미세가공에서 Al 전극 및 Al 미세 구조물 제작을 위한 습식 식각 공정

김성운\*, 백승준\*, 이승기\*\*, 조동일\*

## Wet Etch Process for the Fabrication of Al Electrodes and Al Microstructures in Surface Micromachining

Sung-Un Kim\*, Seung-Joon Paik\*, Seung-Ki Lee\*\* and Dong-Il Cho\*

### 요약

표면 미세가공 공정에서 Al 공정을 이용하면 Al 전극의 제작에 의해 접촉 저항이나 선 저항 등을 줄여 전기적인 신호 손실을 줄일 수 있고, 산화막을 희생층으로 사용하는 간단한 공정에 의해 Al 구조물 제작이 가능한 장점을 지닌다. 그러나 실제 공정에서는 Al 전극이나 Al 구조물이 희생층 제거 시에 사용되는 HF 용액에 의해서 부식되는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 사용되는 희생층 식각액인 BHF/glycerine 혼합 용액에 대한 PSG와 Al의 기본적인 식각 특성은 표면 미세가공에서 발생하는 구조적인 제한 조건에 따라 상당히 달라진다. 본 논문에서는 이러한 희생층의 구조적 특성과 Al 박막의 증착 표면 거칠기의 변화로 인한 식각 특성의 변화를 고려하여 실제로 표면 미세가공에 적용 가능한 혼합 용액의 조건을 조사하였다. 희생층 식각 조건변화에 따른 BHF/glycerine 혼합용액의 최적 혼합비는  $\text{NH}_4\text{F}:\text{HF}:\text{glycerine}=2:1:2$  에서 가장 좋은 식각 선택비를 보이는 것으로 나타났으며 이 실험 결과를 실제 Al 전극 제작에 적용한 결과 Al 패턴이 희생층 식각액에 대해서 우수한 내식성을 보였다. 또한 Al의 식각액에 대한 내식성을 향상시키기 위하여 CMP 공정을 도입하여 증착 표면을 개선시켰으며 이를 Al 구조물의 제작에 적용하여 식각 특성을 분석하였다. 이러한 분석을 통해 본 논문에서 제시한 식각 조건을 이용하면 Al 전극과 Al 구조물을 표준적인 표면 미세가공 공정을 통하여 간단하게 제작할 수 있다.

### Abstract

Aluminum metal process in surface micromachining enables to fabricate Al electrodes or Al structures, which improve electrical characteristics by reducing contact- and line-resistance or makes the whole process to be simple by using oxide as sacrificial layer. However, it is not possible to use conventional sacrificial layer etching process, because HF solution attacks aluminum as well as sacrificial oxide. The mixed solution of BHF and glycerine as an alternative shows the adequate properties to meet with this end. The exact etching properties, however, are sensitively depends on the geometry of the released structure, because the most etching process of sacrificial layer proceeds to the lateral direction in narrow space. Also, the surface roughness of aluminum affects to the etching characteristics. This paper reports experimental results on the effect of microstructure and surface roughness of aluminum to the etching properties. Considering these effects, we propose the optimized etching condition, which can be used practically for the fabrication of aluminum electrodes and microstructures by using standard surface micromachining process without modification or additional process.

### 1. 서론

\* 서울대학교 전기공학부 (School of Electrical Eng., Seoul National Univ.)

\*\* 단국대학교 전기공학과 (Dept. of Electrical Eng., Dankook Univ.)

<접수일자 : 2000년 3월 5일>

최근 점차 고성능화를 추구하는 미세 전기기계 시스템(MEMS ; microelectromechanical system) 분야의 발전에 맞추어 가기 위해 표면 미세가공에서도 금속

공정을 도입하고 있는 추세이다. 표면 미세가공에서 금속 공정을 도입하면 신호선으로 사용하고 있는 폴리실리콘 대신에 금속선을 사용할 수 있으므로 선 저항이나 접촉 저항 등을 감소시켜 신호 대 잡음비 등의 개선에 의한 성능 향상이 기대되고 더 나아가 산화막을 희생층으로 사용하는 금속 구조물의 제작 공정도 가능하다. 많은 금속 중에 Al은 높은 전기전도도, 실리콘과의 낮은 접촉 저항, 우수한 부착력, 결선 시에 금이나 Al선에 쉽게 연결되는 점, 저렴한 가격, 비교적 쉬운 공정 등의 장점들을 지니고 있어 금속 공정에 널리 사용되고 있다<sup>[1]</sup>. 그러나 실리콘 산화막을 희생층으로 이용한 폴리실리콘 구조물 제작 공정에서 Al 공정은, 구조물의 희생층 제거 시에 식각액으로 사용되는 HF 용액이 Al을 부식시키는 문제점을 지닌다. 희생층 제거 시에 발생하는 Al의 부식을 최소화시키기 위하여 HF와 여러 용액을 혼합해 산화막과 Al의 식각 선택비를 높이기도 하는데 대표적인 희생층 식각액으로는 NH<sub>4</sub>F/HF/glycerine 혼합용액이 있으며 이미 혼합비에 따른 Al과 실리콘 산화막의 식각률, 식각 선택비에 대한 실험 결과가 발표된 바 있다<sup>[2-4]</sup>.

그러나 이전에 발표된 NH<sub>4</sub>F/HF/glycerine의 혼합비에 따른 실리콘 산화막과 Al의 식각률은 일반적인 환경조건, 즉 단결정 실리콘 웨이퍼 상에 산화막이나 Al을 증착하고 이것들의 중방향(두께 방향)으로의 식각률을 측정할 기본적인 데이터들이므로, 대부분의 식각이 좁은 공간 내에서 횡방향으로 발생하는 실제 표면 미세가공 공정에서의 식각률과는 다소 차이를 보인다.

본 논문에서는 표면 미세가공에서 희생층의 구조적 제한에 따른 식각률 양상과 Al의 증착 표면 거칠기에 따른 식각률의 변화를 고려한 실험을 통하여 실제 공정에서 적용 가능한 조건을 모색하고 이를 이용하여 실제 구조물 상에 Al 전극과 Al 미세 구조물을 제작해 본다.

**2. 실험방법**

**2.1 미세 구조물의 제작**

희생층의 식각률을 측정하기 위한 구조물은 표준 표면 미세가공으로 제작하였다. 절연막으로 완충 실리콘 산화막(0.05 $\mu$ m)과 실리콘 질화막(0.25 $\mu$ m)을 사용하였으며 전극은 0.5 $\mu$ m 폴리 실리콘(저항<5x10<sup>-3</sup>ohm·cm)박막을, 전극 절연막은 실리콘 질화막 0.25 $\mu$ m를 증착하였다. 희생층은 7wt.% PSG를 2 $\mu$ m 증착하였고 dimple과 anchor 패턴이 들어간다. 구조물은 2 $\mu$ m 폴리 실리콘(E=160GPa±10%, 저항<5x10<sup>-3</sup>ohm·cm) 박막으로 하

였으며 패드 패터닝과 Al 스퍼터링(0.5 $\mu$ m) 공정이 포함되었다.

제작된 구조물의 개략도 및 광학현미경 사진을 그림 1에서부터 그림 4까지에 나타내었다. 그림 1과 2는 식각액이 방사 형태로 퍼져나갈 수 있도록 etch hole을 중앙에 위치시킨 정사각형 형태의 cavity 구조물이며 그림 3과 4는 식각액이 한 쪽으로만 유입 될 수 있도록 제작한 채널 형태 구조물이다. 두 구조물들은 dimple 패턴으로 제작한 마이크로 눈금으로 식각된 산화막을 측정할 수 있도록 하였으며 패턴의 크기는 구조물의 아래에 나타내었다.

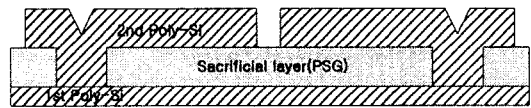


그림 1. Cavity 형태의 구조물.  
Fig. 1. Cavity type structure.

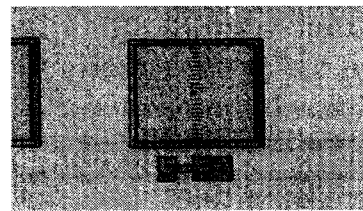


그림 2. Cavity 형태 구조물의 광학 현미경 사진.  
Fig. 2. Microscope picture of cavity type structure.

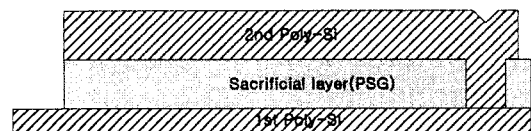


그림 3. Channel 형태의 구조물.  
Fig. 3. Channel type structure.

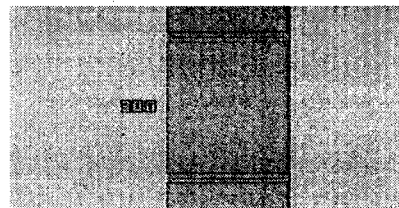


그림 4. Channel 형태 구조물의 광학 현미경 사진.  
Fig. 4. Microscope picture of channel type structure.

2.2 희생층 및 AI의 식각률 측정 방법

희생층 식각에 사용된 NH<sub>4</sub>F/HF/glycerine 혼합용액의 조성비는 이미 발표된 실험 결과<sup>[2]</sup>에서, 높은 식각 선택비를 보인 부분 중에서도 빠른 PSG 식각률을 나타내는 혼합비를 선택하였다. 즉, PSG와 AI 박막과의 식각 선택비가 1000:1 이상이며 PSG의 식각률이 2 $\mu$ m/min 이상인 혼합 조성비만을 선택하여 실험에 채택하였다. 이러한 조건을 모두 갖추고 있는 혼합 조성비 군은 NH<sub>4</sub>F/HF/glycerine=2:1:x이며, 여기서 x는 0에서 4의 값을 가진다. 그리고 기존의 희생층 식각액으로 널리 사용되는 HF(49%) 용액도 실험 대상에 추가하여 서로 비교할 수 있도록 하였다.

희생층 식각을 한 후, 희생층의 식각된 정도를 보기 위해 희생층 상부에 있는 폴리 실리콘 구조물을 제거해야 되며 이 공정은 SF<sub>6</sub>를 식각가스로 하는 RIE-80 dry etcher와 XeF<sub>2</sub> etcher로 시도하였다. 그러나 두 장비 모두 식각 시간을 과도하게 할 경우 구조물 폴리 실리콘뿐만 아니라 바닥의 bulk 폴리 실리콘까지 식각되어 측정에 어려움이 따랐다. RIE-80의 경우 폴리 실리콘의 식각 조건은 300mTorr chamber pressure, 200W의 RF power, SF<sub>6</sub> 20sccm으로 8분 정도 식각하였다. XeF<sub>2</sub> etcher의 경우 XeF<sub>2</sub> 가스를 약 6분 동안 식각 chamber에 흘려주었다. 희생층 식각을 한 후 희생층이 보일 수 있을 정도로 구조물의 폴리 실리콘을 식각한 결과를 그림 5, 6에 나타내었다.

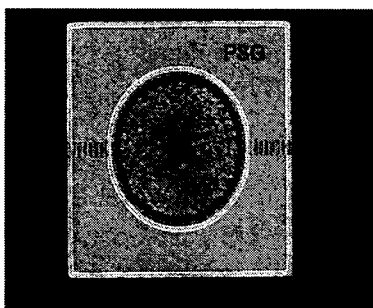


그림 5. 희생층 식각 후 폴리 실리콘을 제거한 cavity 구조물의 광학 현미경 사진.

Fig. 5. Microscope picture of cavity type structure without 2nd poly-Si after sacrificial etching.

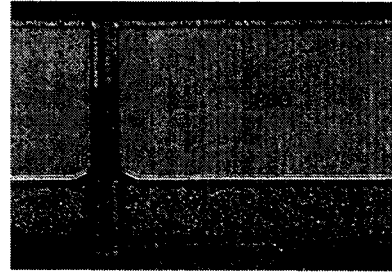


그림 6. 희생층 식각 후 폴리 실리콘을 제거한 채널 구조물의 광학 현미경 사진.

그림 6. Microscope picture of channel type structure without 2nd poly-Si after sacrificial etching.

3. 미세 구조물 상에서의 AI 전극의 구현

3.1 식각률 측정 결과와 분석

희생층의 식각률은 표 1과 그림 7에서 나타내었으며 실험에서 얻은 식각률은 횡방향 식각률(lateral etch rate)로서 이미 발표된 종방향 식각률(vertical etch rate)과는 약 3배 이상의 차이를 보였다. HF(49%)에서의 식각률은 횡방향 식각률이 종방향 식각률보다 3배 정도 작게 나왔으며 혼합용액에서는 거의 50% 이하의 차이를 나타내어 희생층 식각에 있어서 희생층의 구조적인 요소가 식각률에 상당한 요소로 작용함을 알 수가 있다. 그리고 식각액에서 글리세린의 첨가량이 증가할수록 횡방향 식각률과 종방향 식각률의 차이가 줄어들게 됨을 확인할 수 있는데 이것은 혼합용액에서 글리세린의 비중이 커지면 희생층의 구조적 형상으로 인한 식각률 감소보다는 화학적 반응의 비활성화로 인한 식각률 감소가 더 큼을 보여주는 것이다.

표 1. 희생층의 횡방향 식각률 ( $\mu$ m/min).

Table 1. Lateral etch rate of sacrificial layer( $\mu$ m/min).

혼합비	식각률
HF(49%)	12.4
2:1:0 혼합	4.8
2:1:1 혼합	3.7
2:1:2 혼합	2.5
2:1:3 혼합	1.8
2:1:4 혼합	1.1

\* 혼합비 순서는 NH<sub>4</sub>F:HF:glycerine

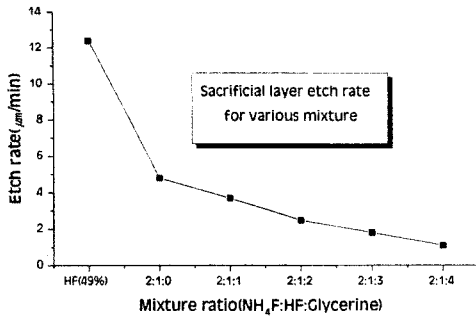


그림 7. 희생층의 횡방향 식각률 (μm/min).  
Fig. 7. Lateral etch rate of sacrificial layer (μm/min).

한편, 표 2에서는 cavity 형태와 채널 형태 구조물의 희생층 식각률을 비교하였는데, 채널 형태 구조물의 희생층 식각률은 HF(49%)에서의 식각을 제외하고는 cavity 형태 구조물의 희생층 식각률의 60% 이하의 값을 보였다. 이는 식각액의 식각 요소의 소모에 비해 식각액의 확산이 채널 형태의 구조물에서 비교적 더 어렵기 때문인 것으로 판단된다.

표 2. Cavity와 채널 형태 구조물의 희생층 식각률  
Table 2. Etch rate of cavity and channel type structure (μm/min).

혼합비	cavity	channel
HF(49%)	10.5	12.7
2:1:0 혼합	2.8	1.8
2:1:1 혼합	2.5	1.5
2:1:2 혼합	1.8	1.2
2:1:3 혼합	1.3	0.3
2:1:4 혼합	0.8	0.1

\* 혼합비 순서는 NH<sub>4</sub>F:HF:glycerine, 식각 시간은 9분

한편, 그림 8에 나타난 Al의 식각률은 표준 표면 미세 가공으로 제작한 폴리 실리콘 위에 증착된 두께 1μm, 너비 20μm의 패턴을 희생층 식각과 동일한 조건에서 식각하여 얻었다. 이미 발표된 Al 식각률과 이번 실험에서 얻어진 식각률과는 큰 차이를 보였다. 이것은 이미 알려진 Al의 식각률은 표면의 거칠기가 매우 고른 단결정 실리콘 웨이퍼에서 증착된 Al의 식각률이며 이번 실험에서 얻은 Al 식각률은 일정한 거칠기를 가지고 있는 폴리 실리콘 위에 증착된 Al의 식각률이기 때문이다. Al의 증착 표면 거칠기에 따른 Al의 식각률 변화 양상은 희생층 식각 혼합용액에서 글리세린의 양이 증가됨에 따라 식각률 차이가 큰 것으로 나타났으

며 혼합비가 2:1:4인 경우 식각률 차이가 20배정도 발생하였다 (표 3).

표 3. Al 패턴의 식각률 (Å/min).

Table 3. Etch rate of Al pattern (Å/min).

혼합비	Al 증착표면	단결정 실리콘	폴리실리콘
	웨이퍼	웨이퍼	박막
HF(49%)		732	1346
2:1:0 혼합		172	361
2:1:1 혼합		35	191
2:1:2 혼합		10	102
2:1:3 혼합		4	80
2:1:4 혼합		3	57

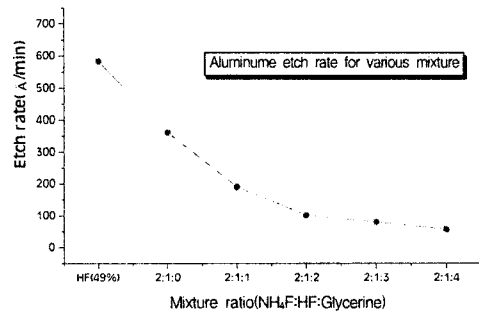


그림 8. 혼합비에 따른 Al의 식각률.  
Fig. 8. Etch rate of Al with variation of mixing ratio of etchant.

희생층과 Al과의 식각 선택비는 NH<sub>4</sub>F:HF:glycerine=2:1:2에서 최적 값을 나타내었으며 전반적으로 식각 선택비는 식각 시간이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 혼합비에 따른 식각 선택비는 2:1:2의 혼합비에서 245:1라는 비교적 큰 값을 보였으며 자세한 데이터는 표 4와 그림 9에 나타내었다.

표 4. 혼합비에 따른 희생층과 Al과의 식각 선택비.  
Table 4. Etch selectivity between sacrificial layer and Al with mixing ratio.

혼합비	식각률
HF(49%)	92
2:1:0 혼합	133
2:1:1 혼합	194
2:1:2 혼합	245
2:1:3 혼합	219
2:1:4 혼합	190

\* 혼합비순서는 NH<sub>4</sub>F:HF:glycerine, 사용한 Al 패턴폭은 20μm

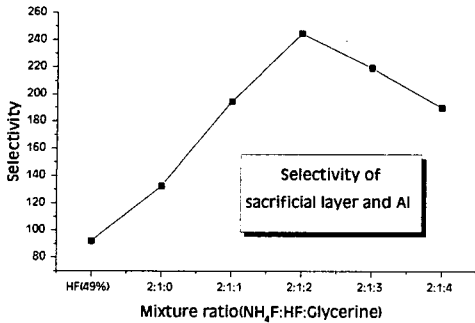


그림 9. 혼합비에 따른 희생층과 Al과의 식각 선택비.  
Fig. 9. Etch selectivity between sacrificial layer and Al with mixing ratio.

3.2 미세 구조물 상에서 Al 전극의 식각 특성

앞에서 얻은 실험 데이터를 표준 표면 미세가공으로 제작한 시편에 적용시켜 이 데이터가 실제 사용 가능 한지를 알아보았다. 실험에 사용한 구조물은 etch hole 사이의 폭이 최대 10 $\mu$ m인 comb-drive 액추에이터이며 HF(49%) 용액과 NH<sub>4</sub>F:HF:glycerine=2:1:2의 혼합비를 갖는 혼합용액으로 각각 실험을 하였다. 희생층 식각 시간 설정은 희생층을 충분히 제거하기 위하여 이론적인 희생층 식각 시간의 약 3배로 하였으며 여기에 사용되는 실험데이터 중 산화막 식각률은 식각 형태가 비슷한 채널 형태 구조물의 식각률을 택하여 실험하였다. 이렇게 하여 얻은 식각 시간은 HF(49%) 용액의 경우 약 1분이며 혼합용액의 경우는 약 12분이 되었다. 그리고 실험 결과는 실험의 관찰 대상이 되는 패드의 표면상태를 판단 기준으로 하여 HF(49%) 용액과 혼합용액을 서로 비교 분석하였다.

그림 10은 구조물을 부유하기 전의 패드 표면 상태이며 Al 표면이 매우 고름을 알 수 있다. 한편 그림 11은 HF(49%) 용액에서 식각하여 부유한 후의 패드 사진이며 그 표면이 상당히 거칠어 보인다. 그리고 그림 12는 혼합용액으로 식각하여 부유한 구조물의 패드 사진이며 그림 11에 비해 훨씬 표면이 고르다는 것을 현미경 사진으로 알 수 있다. 패드의 표면 상태를 더욱 정확하게 확인하기 위하여 surface profiler( $\alpha$ -step)를 사용하여 패드 표면의 거칠기를 측정하였다 (표 5). 2:1:2 혼합용액으로 식각한 경우는 49.6A 정도의 평균 거칠기를 나타내었으며 HF(49%)의 경우는 혼합용액의 경우의 약 두 배인 86A를 나타내었다. 이러한 결과로

써 혼합용액을 희생층 식각액으로 사용했을 시에 HF(49%)에서 보다 나은 특성을 보여줄을 알 수 있다.

표 5. 2:1:2 혼합용액과 HF(49%)로 희생층 식각한 후 패드의 표면 거칠기 (Å).

Table 5. Surface roughness of pad after sacrificial etching with HF(49%) solution and 2:1:2 mixing etchant (Å).

평가항목 \ 공정조건	희생층 식각전	혼합용액 식각	HF(49%)로 식각
Ra (roughness average)	44	49.6	86
TIR (maximum peak-to-peak value)	307	433	819

\* Scan length : 100 $\mu$ m, scan speed : 10 $\mu$ m/s, sampling rate : 50Hz

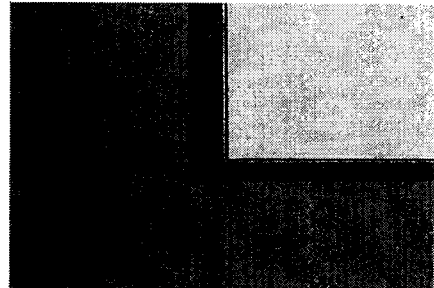


그림 10. 희생층을 제거하기 전의 패드 사진.  
Fig. 10. Picture of pad before sacrificial etching.

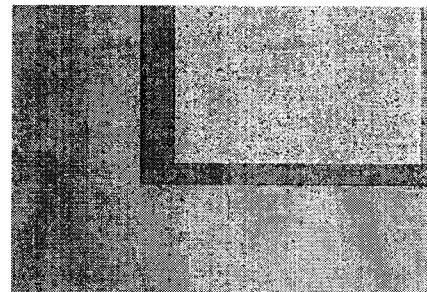


그림 11. HF(49%)로 식각한 후의 패드 사진.  
Fig. 11. Picture of pad after sacrificial etching with HF(49%) solution.

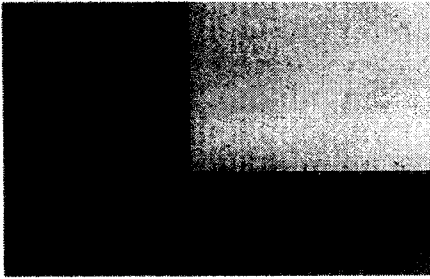


그림 12. 2:1:2 혼합용액으로 식각한 후의 패드 사진.  
Fig. 12. Picture of pad after sacrificial etching with mixing etchant.

이 실험을 통해 표준 표면 미세가공의 공정 조건에서의 희생층과 Al의 최적 식각 선택비는 이미 발표된 최적 혼합비인  $NH_4F:HF:glycerine=2:1:4$ 의 혼합비[2]에서의 최적 식각 선택비와는 차이가 있음을 알 수 있다. 희생층 자체의 제한된 형상으로 인한 산화막의 식각 변화와 표면 거칠기 영향으로 더욱 빨라진 Al 박막의 식각으로 글리세린이 적게 첨가되는 방향으로 최적 혼합비가 이동한 것이다. 본 실험에서는  $NH_4F:HF:glycerine=2:1:2$ 에서 최적 혼합비를 보였으며 이때 식각 선택비는 250:1정도가 나왔으며 이때 산화막의 식각률은  $2.5\mu m/min$  정도인 것으로 나타났다. 이 결과는 Al 구조물 제작에 적용하기에는 크게 만족스럽지 않지만 전극에 사용되는 금속은 충분히 보호할 수 있는 수준으로 판단된다.

한편 구조물로 사용되는 폴리 실리콘 위에 증착되는 Al 박막의 표면 상태가 희생층 제거 시 가장 중요한 요소가 되는 식각 선택비를 저하시키는 문제점을 나타 내었다. 또한 희생층의 구조적 형상에 따른 식각률의 감소도 식각 선택비를 감소시키는데 영향을 끼치고 있다. 이러한 희생층의 구조적 형상에 의한 식각률 감소는 etch hole의 간격을 줄이거나 희생층의 식각이 원활하게 가능한 구조물 설계를 취한다면 어느 정도 줄일 수 있을 것이다. 그리고 Al 박막의 경우 아래층에 증착되는 폴리 실리콘 표면이 고르게 형성되는 공정 조건을 찾아낼 수 있다면 식각 선택비를 개선시킬 수 있다.

#### 4. Al 미세 구조물의 제작

##### 4.1 표면 거칠기에 따른 식각 특성

Al 구조물을 제작할 때 희생층을 photoresist로 채택한 경우 희생층 제거에서 구조물과 높은 식각 선택

비를 가지는 장점을 지니고 있으나 후속 공정에 고온 공정이 따를 수 없는 단점을 지니고 있으며 높은 단차를 해결하기 위한 평탄화 공정을 적용시키기 어려운 문제점을 지니고 있다. 이러한 문제점은 희생층을 실리 콘 산화막으로 사용하면 해결할 수가 있어 Al 구조물 제작에 많은 가능성을 부여하게 된다. 그러나 Al 역시 희생층 식각액에 대해 쉽게 부식되는 단점을 지니 이에 대한 개선이 필요하다. 그러므로 Al의 희생층 식각액에 대한 내식성 검토를 위해 Al의 증착 표면 거칠기 변화에 대한 식각 특성을 알아보았으며 Al 증착 표면의 재료는 표면 거칠기가 서로 다른 폴리 실리콘 박막으로 하였다.

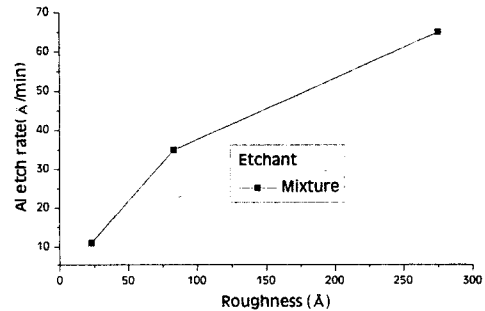


그림 13. 혼합용액에서 증착 표면 거칠기 변화에 따른 Al 식각률.

Fig. 13. Etch rate of Al varying surface roughness in mixing solution.

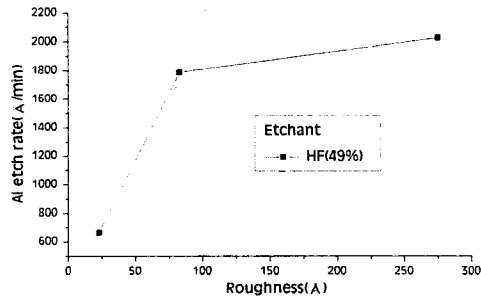


그림 14. HF(49%) 용액에서 증착 표면 거칠기 변화에 따른 Al 식각률.

Fig. 14. Etch rate of Al varying surface roughness in HF(49%) solution.

혼합용액의 경우(그림 13) 표면 거칠기에 비례하여 Al 식각률도 증가함을 볼 수 있으나 HF(49%) 용액의

경우(그림 14)는 빠른 식각률로 인해 Al 증착 표면 거칠기 영향이 혼합용액에 비해 적게 나타나는 것으로 관찰된다. 어느 경우든 거칠기의 증가에 따라 식각률이 증가함을 알 수 있다. 이 결과로부터 Al의 증착 표면 거칠기를 개선할수록 Al이 희생층 식각액에 대해서 내식성이 강해짐을 알 수가 있으며 Al 증착 표면 거칠기 개선은 Al 구조물 제작에 가장 큰 문제점을 제거해 주게 된다.

**4.2 실리콘 산화막을 희생층으로 사용하는 Al 미세 구조물의 식각 특성**

Al 구조물의 희생층은 높은 식각률을 나타내는 PSG(7wt.%)로 선택하였으며 희생층 식각액은 NH<sub>4</sub>F:HF:glycerine=2:1:2 혼합용액을 사용하였다. 표면 거칠기 개선에 따라 Al 구조물이 어느 정도의 내식성을 지니고 있는지를 분석하기 위하여 희생층을 CMP(Chemical Mechanical Polishing) 한 것과 그렇지 않은 경우로 나누어 습식 식각을 수행하였다.

표 6에서는 희생층으로 쓰인 PSG 박막에 CMP 공정을 한 경우와 하지 않은 경우의 거칠기를 측정할 수치를 나타내었다. CMP 공정에 의한 PSG 박막은 약 5000Å 정도가 식각이 되었으며 그에 따른 표면 거칠기는 거의 단결정 실리콘 웨이퍼 표면과 같은 값을 얻었다.

표 6. PSG 박막의 CMP 공정 적용에 따른 거칠기  
Table 6. Surface roughness of PSG with CMP (Å).

Process	Roughness (Ra)
CMP	20
No CMP	349

표 7. Al 박막의 CMP 공정 적용에 따른 거칠기  
Table 7. Surface roughness of Al pattern with CMP (Å).

Process	Before etching	After etching
CMP	18	30
No CMP	252	329

또한 CMP 공정이 적용된 PSG 박막과 CMP 공정이 적용되지 않은 PSG 박막 위에 Al을 증착하고 표면 거칠기를 측정하여 Al이 증착된 후에는 거칠기가 어떠한 양상을 보이는 지를 조사하였다. 그 결과 표 7(before etching)에서 나타낸 수치와 같이 Al 박막 표면 거칠기

는 아래층의 PSG 표면 거칠기를 따라가고 있음을 알 수 있다.

표준 표면 미세가공으로 제작한 외팔보를 Al 구조물의 부유 실험 대상으로 하였으며 식각액은 NH<sub>4</sub>F:HF:glycerine=2:1:2 혼합용액으로, 희생층 식각 시간은 Al 외팔보가 완전히 부유되는 것을 목표로 하였다. 희생층 식각 시간은 외팔보 폭이 약 9µm인 점과 NH<sub>4</sub>F:HF:glycerine=2:1:2 혼합용액에서의 식각률을 함께 고려하여 결정하였다. 그리고 희생층의 완벽하고 깨끗한 식각을 위하여 300% 과도 식각을 하였다.

식각 실험 후 Al 표면 거칠기는 표 7(after etching)에 나타낸 바와 같이 CMP 공정을 적용한 경우 30Å의 평균 거칠기를 보였으며 CMP 공정을 하지 않은 경우 약 330Å 정도의 평균 거칠기를 보여 약 11배 차이를 나타내었다. 앞에서 조사한 데이터를 살펴보았을 때 CMP 공정에 따른 식각률과 거칠기 차이는 확연한 결과를 보여, 예상했던 것처럼 표면 거칠기 개선에 따른 Al 박막의 내식성은 향상됨을 알 수 있었다.

그림 15는 희생층에 CMP 공정을 추가하지 않고 식각하여 구조물을 부유한 후의 광학 현미경 사진이며 그림 16은 희생층에 CMP 공정을 적용한 경우 희생층을 식각했을 때의 Al 구조물의 광학현미경 사진이다. CMP 공정 없이 부유한 경우 Al 구조물의 표면이 거칠어 어둡게 보였으며 anchor의 모서리 부분 등에서 심한 부식 현상이 발견되었다 (그림의 확대 부분). 반면 CMP 공정을 한 경우는 Al 구조물의 표면과 패턴의 모서리 부분 등이 희생층 식각 전의 원형과 비슷하게 관찰되었다.

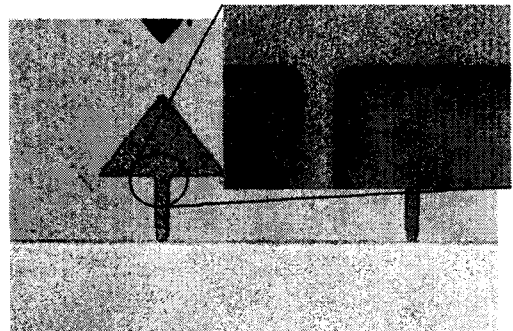


그림 15. CMP를 하지 않은 Al 구조물의 부유 후의 광학 현미경 사진.

Fig. 15. Microscope picture of Al structure without CMP after sacrificial etching.

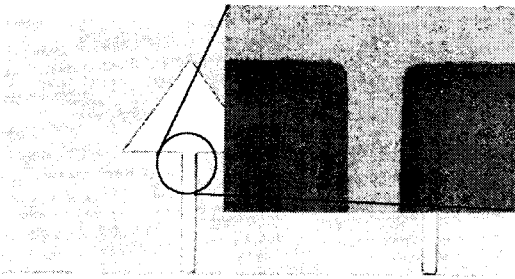


그림 16. CMP를 적용한 Al 구조물의 부유 후의 광학 현미경 사진.

Fig. 16. Microscope picture of Al structure with CMP after sacrificial etching.

한편 실험에 사용된 시편들의 정확한 표면 상태를 알아보기 위해 SEM 촬영을 하였으며 CMP 공정을 적용하지 않은 경우(그림 15에 해당)는 그림 17과 같은 형태를 보였다. 외팔보와 anchor 사이에서 식각이 많이 일어남을 볼 수 있으며 Al 구조물의 표면을 확대한 사진에서는 매우 거친 표면이 드러나 있다.

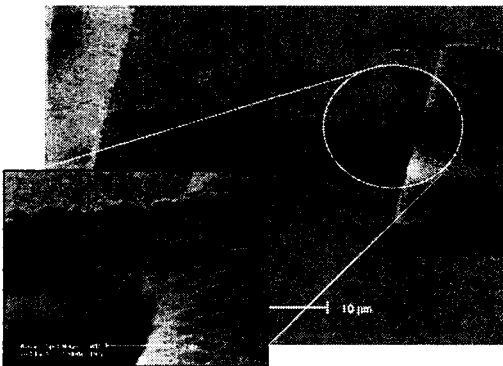


그림 17. CMP를 하지 않은 Al 구조물의 부유 후의 SEM 사진.

Fig. 17. SEM picture of Al structure without CMP after release process.

한편 CMP 공정을 적용한 알루미늄 구조물의 SEM 사진은 그림 18에 나타내었으며 CMP를 적용하지 않은 경우와 비교하였을 때 모서리 마모나 표면 상태에 있어서 상당히 개선되어 있음을 알 수 있다.

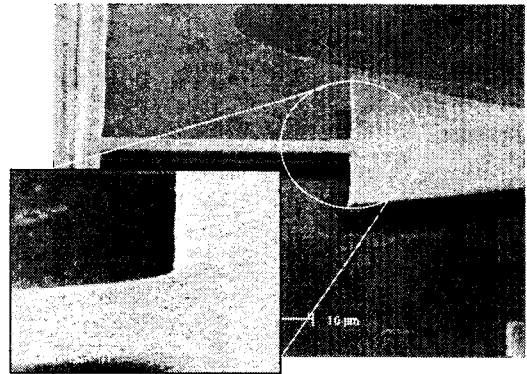


그림 18. CMP를 적용한 Al 구조물의 부유 후 SEM 사진.

Fig. 18. SEM picture of Al structure with CMP after release process.

## 5. 결론

본 논문에서는 표면 미세가공에서 실제 Al 전극이나 Al 미세 구조물 제작에 적용할 수 있는 희생층 식각액 혼합비 조건을 표준 표면 미세가공을 통해 제작된 미세 구조물을 이용하여 조사하였다. 희생층 식각 조건은 구조물의 구조적 형상에 의한 식각 제한에 의해서 일반적으로 알고 있는 산화막의 식각률과는 다소 차이가 나며 실제 식각 데이터에서도 3배 이상의 차이를 보였다. 그리고 Al 패턴 또한 식각 특성이 Al의 증착 표면 거칠기에 따라 변화하였으며 이에 따라 식각률의 재검토가 필요하였다. 본 실험을 통해서 얻은 희생층 식각액의 최적 조성비는  $\text{NH}_4\text{F}:\text{HF}:\text{glycerine}=2:1:2$ 였으며 이미 발표된 혼합비와는 glycerine의 첨가량에서 다른 값을 가졌으며 식각 선택비는 약 40배 가량 낮은 것으로 나타났다. 이것은 희생층의 구조적 제한에 의한 식각률 감소와 증착 표면의 거칠기에 의한 Al 식각률 증가에 의한 것이다. 새로이 얻어진 혼합비의 희생층 식각액으로 실제 미세 구조물을 부유하고 제작한 Al 전극을 관찰하였으며 그 결과 일반적인 희생층 식각액으로서 사용되는 HF(49%)와 비교했을 때 혼합 희생층 식각액의 개선된 특성을 확인할 수 있었다. 또한 Al 식각률이 Al 증착 표면 거칠기에 큰 영향을 받으므로 실리콘 산화막 희생층에 CMP 공정을 도입하여 Al 증착 표면 거칠기를 개선한 Al 구조물은 혼합 희생층 식각액에서 식각을 잘 견뎌내었으며 식각 후 표면 상태도 매우 양



호한 것으로 나타났다.

이와 같이 개발된 희생층 식각 공정 조건과 CMP 공정을 실제 표면 미세가공에 적용한다면 표준적인 표면 미세가공 공정을 통하여 AI 전극은 물론 AI 구조물도 제작할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 1998년도 교육부 학술연구조성비 (ISRC 98-E-4207)에 의하여 연구되었음.

## 6. 참고문헌

- [1] 이종덕, "실리콘 집적회로 공정기술", 대영사, 1997.
- [2] 김성운, 백승준, 김임정, 이승기, 조동일, "PSG 희생층 식각시 Al층을 보호하기 위한 새로운 HF/NH<sub>4</sub>F/glycerine 혼합식각액," 센서학회지, 제8권, 5호, pp. 61-67, 1999.
- [3] J. Gajda, "Techniques in Failure Analysis of MOS Devices," *Annual Proc. Reliability Physics*, vol. 12, pp. 30-37, 1974.
- [4] P. T. J. Genissen and P. J. French, "Sacrificial Oxide Etching Compatible with Aluminum Metallization," *1997 International Conference on Solid-State Sensors and Actuators (Transducers '97)*, pp. 225-228, 1997.

## 著 者 紹 介



**김 성 운 (金 聖 雲)**  
 1975년 10월 30일 생  
 1998년 아주대학교 제어계측공학과 졸업 (공학사)  
 2000년 서울대학교 전기공학부 대학원 석사과정 졸업(공학석사)  
 현재-삼성SDI PDP 사업부 개발팀 연구원



**이 승 기 (李 承 起)**  
 1963년 5월 15일 생  
 1986년 서울대학교 전기공학과 졸업 (공학사), 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업 (공학석사), 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업 (공학박사), 1992-1993년 일본 동북(東北)대학교 기계전자공학과 특별연구원 (JSPS fellow)  
 1994-현재 단국대학교 전기공학부 부교수



**백 승 준 (白 承 俊)**  
 1975년 4월 20일 생  
 1999년 서울대학교 전기공학부 졸업 (공학사)  
 1999년-현재 동 대학원 전기공학부 석사과정 재학 중



**조 동 일 (趙 東 日)**  
 1958년 6월 15일 생  
 1980년 카네기멜론대 졸업(공학사)  
 1984년 MIT대 졸업(공학석사)  
 1987년 MIT대 졸업(공학박사)  
 1987-1993년 프린스턴대학교 기계항공공학과 조교수 역임  
 1993-현재 서울대학교 전기공학부 부교수