

# TMAH/AP 용액의 실리콘 이방성 식각특성 및 다이아프램 제작에 대한 연구

윤의중, 김좌연\*, 이태범, 이석태  
호서대학교 정보제어공학과, 신소재공학과\*

전화 : 041-540-5675 / 핸드폰 : 018-243-8005

## A Study on Anisotropic Etching Characteristics of Silicon in TMAH/AP Solutions and Fabrication of a Diaphragm

Yun Eui-Jung, Kim Jwa-Yeon\*, Lee Tae-Bum, Lee Seok-Tae  
Department of Information & Control Engineering, Hoseo University  
\*Department of Materials Engineering, Hoseo University  
E-mail : ejyun@office.hoseo.ac.kr

### Abstract

In this paper, Si anisotropic etching characteristics of tetramethylammonium hydroxide (TMAH)/ ammonium persulfate (AP) solutions were investigated to realize the optimum structure of a diaphragm for the piezoresistive pressure sensor application. Due to its low toxicity and its high compatibility with the CMOS processing, TMAH was used as Si anisotropic etchants. The variations of Si etch rate on the etching temperature, TMAH concentration, and etching time were obtained. With increasing the etching temperature and decreasing TMAH concentrations, the Si etch rate is increased while a significant non-uniformity exists on the etched surface because of formation of hillocks on the <100> surface. With the addition of AP to TMAH solution, the Si etch rate is increased and an improvement in flatness on the etching front is observed. The Si etch rate is also maximized with increasing the number of addition of AP to TMAH solution per one hour. The Si square diaphragms of 20 $\mu$ m thickness and 100~400 $\mu$ m one-side length were fabricated successfully by applying optimum Si etching conditions of TMAH/AP solutions.

### I. 서론

고성능 마이크로센서, 액추에이터 및 시스템 등의 개발에 사용되는 MEMS(micro-electro mechanical system) 기술의 핵심은 Si 이방성 식각 기술이다. 고정밀도의 압력센서의 경우, 다이아프램 박막의 두께와 식각 표면의 평탄화가 아주 중요하다[1]. 최근까지는 KOH, EDP, Hydrazine, NaOH, CsOH 등의 Si 이방성 식각 용액이 많이 사용되어 왔다[2]. Hydrazine, EDP 등의 용액은 높은 유독성과 불안정성 때문에 취급에 각별한 주의가 요구된다. 또한, KOH, NaOH 용액은 유독성이 비교적 적고, 식각 특성이 우수하나 알칼리 이온에 의한 오염 때문에 기존의 IC 제조 공정을 이용할 수 없다[3]. 이러한 이온에 의한 오염 문제는 이방성 식각 후의 열처리 공정에 더 큰 문제를 줄 수 있다. 최근 유동전하의 오염이 적고, 반도체 제조 공정에 사용이 가능한 단결정 Si 이방성 식각에 관한 연구에 관심이 많아지는 추세이다. NH<sub>4</sub>OH를 기본으로 하는 암모니아계의 식각 용액은 이온에 의한 오염이 없고, 반도체 제조 공정에 사용이 가능하지만 NH<sub>4</sub>OH 용액은 우수한 평탄도와 hillock이 없는 식각 표면을 형성하기가 어렵다. 또한, TMAH 용액은 암모니아 계열의 용액 중에서도 가장 안정되고 독성이 적으며 130 $^{\circ}$ C 이하에서는 분해되지 않기 때문에 반도체 제조 공정에 사용하기 적합하다 [4-6].

본 논문에서는 TMAH 자체와 TMAH/AP 용액의 Si 이방성 식각 특성을 연구하였고, 최적식각공정조건을 이용하여 압저항(piezoresistive) 압력센서용 다이아프램의 최적구조를 제작하였다.

## II. 실험방법

### 2.1 Si etch 공정 및 측정 조건

실험에 사용된 TMAH의 온도를 증가시키기 위하여 hot plate를 사용하였고, etch반응을 촉진하기 위해 회전체에 부착된 magnetic bar로 용액을 순환시켰다. 온도 증가에 따라 증발된 TMAH의 양은 주기적으로 보충하였다. 사용된 TMAH 농도는 DI water를 첨가하여 5wt.%에서 20wt.%까지 변화시켰다. AP는 500ml의 TMAH 용액에 첨가 횟수를 변화시키면서 1시간당 2.5g 정도의 AP양이 되도록 첨가되었다. TMAH 용액의 농도와 식각온도 및 시간을 변화시키면서 SEM과  $\alpha$ -step에 의한 두께 측정을 통해 Si의 식각률 변화를 관찰할 수 있었다. 또한 etch rate와 표면상태를 개선하기 위하여 TMAH용액에 첨가제인 AP를 섞어서 사용한 후 그 표면상태를 SEM을 이용하여 비교하였다.

### 2.2 압력센서용 Si 다이아프램의 제작

Si 다이아프램을 제작하기 위하여 양면에 폴리싱 된 (100) N형 Si wafer 양면에 1 $\mu$ m 두께의 SiO<sub>2</sub>를 thermal oxidation으로 증착한 후 etch공정을 실시하였다. 다이아프램 공정용 chrome mask는 Auto-CAD로 pattern을 만든 후에 전문 회사에 의뢰하여 제작하였다. 그림 1은 Si 다이아프램의 제작공정도이다.

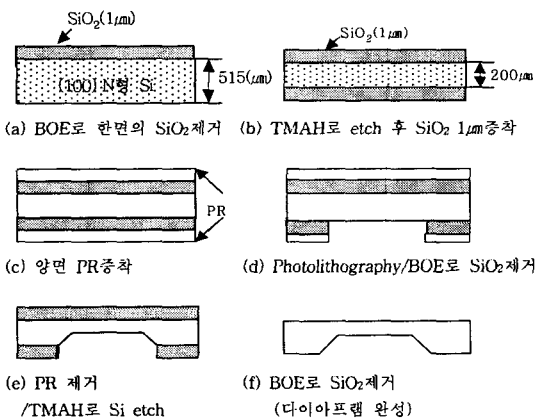


그림 1. Si 다이아프램 제작 공정도

뒷면의 SiO<sub>2</sub>를 BOE로 제거하고 2.1에서 얻은 최적조건을 Si etch공정을 사용하여 Si wafer의 두께를 200 $\mu$ m 정도로 식각하였다. PECVD를 이용하여 뒷면에 SiO<sub>2</sub>를 약 1 $\mu$ m 증착하고 photolithography 공정과 준비된 mask를 이용하여 다이아프램 pattern을 형성하였다. BOE로 SiO<sub>2</sub>를 etch 한 후 PR을 제거하고, 다이아프램 구조를 만들기 위해 다시 TMAH로 etch하였다. 마지막으로 BOE로 SiO<sub>2</sub>를 etch하여 원하는 정사각형 모양의 다이아프램이 완성되었다.

## III. 실험결과 및 고찰

그림 2는 식각 온도변화와 TMAH 농도 변화에 따른 Si etch rate 특성을 나타낸다. 그림 2에서 알 수 있듯이 동일한 TMAH 농도에서 온도가 증가할수록 etch rate이 증가하였고, 동일한 온도에서 TMAH 농도가 증가할수록 etch rate은 감소하는 경향이 있음을 확인할 수 있었다.

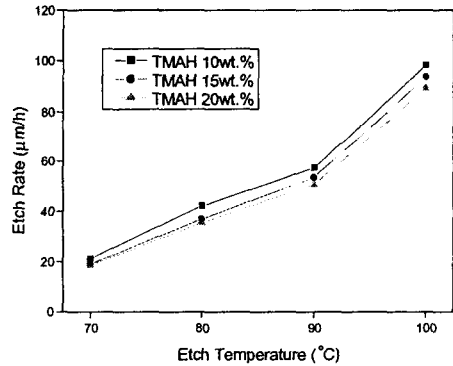


그림 2. TMAH 농도와 온도변화에 따른 Etch Rate

그림 3은 etch시간을 1시간으로 고정시키고 etch온도와 TMAH 농도를 변화시켰을 때의 Si 표면상태를 나타내는 SEM사진이다. 그림에서 보는 바와 같이 농도 10wt.%의 경우, 온도가 증가할수록 hillock의 크기가 커짐을 알 수 있다. 이를 앞의 그림 2의 결과와 비교하면 hillock이 높은 etch rate에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

그림 4에서는 etch 온도를 90 $^{\circ}$ C로 고정시키고 TMAH 농도 및 식각 시간변화에 따른 Si 표면 상태의 변화를 나타내는 SEM사진이다. 20wt.% 농도에서 발생되지 않았던 hillock이 15wt.%에서 많이 발생함을 알 수 있었다. 15wt.% 농도의 경우 식각 시간이 증가함에 따라 hillock의 개수가 감소하는 경향을 보이고 있다. 즉, 오랜시간 경과 후 TMAH 20wt.%와 같은 표면으로

될 것으로 예측할 수 있다.

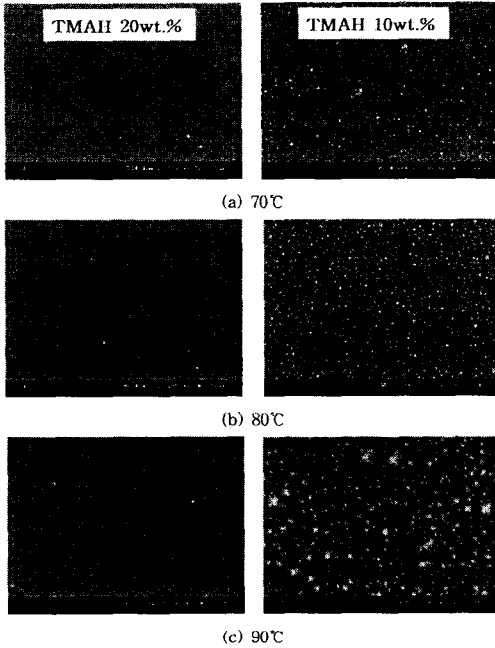


그림 3. TMAH 농도 및 식각온도 변화에 대한 Si 표면 상태를 비교하기 위한 SEM사진(etch시간 : 1시간)

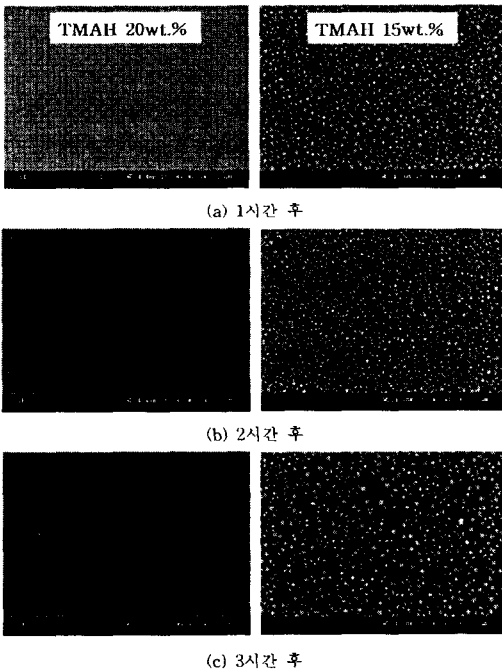


그림 4. TMAH 농도와 식각시간변화에 대한Si 표면 상태를 나타내는 SEM사진(etch온도 : 90°C로 고정)

TMAH 농도 10wt.%이고 식각온도 90°C에서 TMAH 500ml용액에 대하여 AP 첨가횟수를 변화시키면서 시간당 2.5g정도의 AP양이 되도록 AP를 첨가시키면서 Si etch rate을 측정하였고, 이는 그림 5에 나타나 있다. 그림 5에서 보는 바와 같이 시간당 동일한 분량의 AP를 자주 첨가할수록 높은 etch rate이 나타남을 알 수 있다. 그리고 그림 6에서 알 수 있듯이 AP 첨가제를 사용하였을 경우 hillock이 없이 식각표면의 평탄도도 우수한 결과를 보이고 있다.

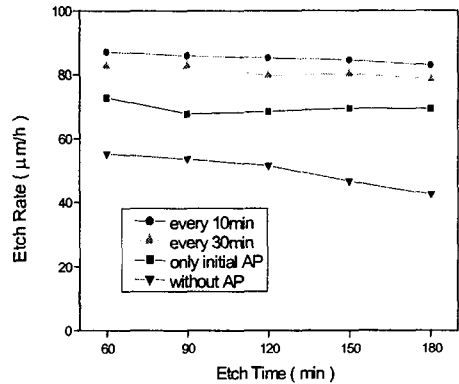
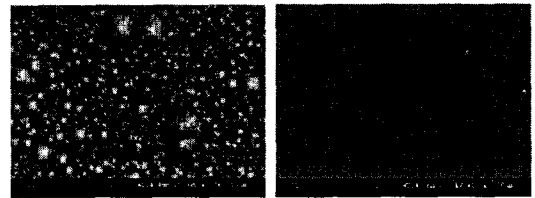


그림 5. AP 첨가에 따른 etch rate 비교 (TMAH 농도:10wt.%, 식각온도:90°C로 고정)

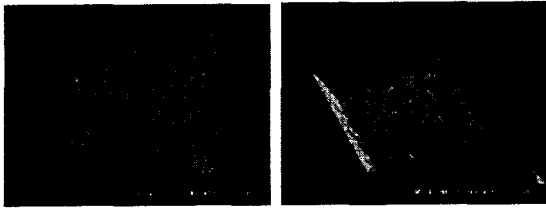


(a) AP 첨가를 하지 않은 경우 (b) 매 10분마다 (2.5/6)g의 AP 첨가

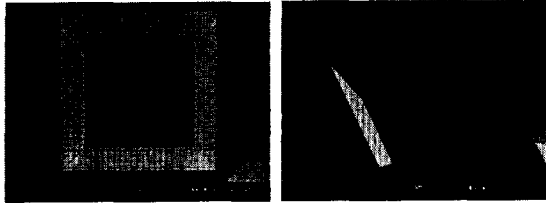
그림 6. AP 첨가에 따른 Si 식각표면 변화를 나타내는 SEM사진 (TMAH 농도:10wt.%, 식각온도:90°C, 식각시간:1시간)

그림 7은 AP를 첨가하지 않은 TMAH 10wt.% etch 용액으로 etch 후 얻은 다이아프램 형상과 TMAH 10wt.%에 10분 간격으로 (2.5/6)g의 AP를 첨가하면서 etch 후 얻은 다이아프램 형상을 서로 비교하는 SEM 사진이다. 그림 7의 (b)는 그림 5의 결과 중 가장 높은 etch rate을 나타내는 공정을 사용하여 얻은 결과이다. 그림 7(a)와 그림 7(b)를 비교할 때 AP 첨가로 hillock의 발생을 억제할 수 있다는 것을 알 수 있었으며, 한편의 길이가 100~400µm인 정사각형 모양을 가진 우수한 이방성 다이아프램을 성공적으로 제작하였다.

참고문헌



밀면도 측면도  
(a) AP를 첨가하지 않은 경우



밀면도 측면도  
(b) AP를 첨가한 경우

그림 7. 본 연구에서 제작된 다이아프램에 대한 SEM 사진  
(TMAH 농도:10wt.%, etch 온도:90℃,  
다이아프램 면적:300×300μm)

IV. 결론

본 논문에서는 단결정 Si 기판에 마이크로 실리콘 압력센서를 만들기 위하여 20μm 두께의 다이아프램 (100×100~400×400μm<sup>2</sup>) 제작을 위한 TMAH 용액의 식각 특성을 연구하였다. 친환경적이며 무독성이고 CMOS 집적회로 공정과 호환성이 높은 TMAH를 사용하여, 식각온도와 TMAH 농도 및 식각시간에 따른 etch rate 변화를 측정하였다. hillock 숫자는 식각 초기에 급격히 증가했다가 시간이 지남에 따라 전반적으로 hillock의 숫자는 감소하는 경향을 보이고 있다. 식각온도가 증가함에 따라, 그리고 TMAH 농도가 감소함에 따라, Si etch rate은 증가하였으나 hillock 발생률이 증가하여 식각표면의 평탄화 정도가 나빠졌다. 이러한 단점을 AP첨가제를 이용하여 해결하였다. TMAH 용액에 AP를 첨가하여, 한 변의 길이가 100~400μm인 양질의 다이아프램을 성공적으로 제작할 수 있었다.

후기

이 논문은 한국과학재단 지정 지역협력연구센터인 호서대학교 반도체 제조장비 국산화연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

[1] Gwiy-Sang Chung, Tae-Song Kim, Won-Fae Lee, Jae-Sung Song, "The Effect of Pyrazine on TMAH : IPA Singal-Crystal Silicon Anisotropic Etching Properties". Thranactions on Electrical and Electronic Materials, Vol.2, No.2, pp21-25, 2001.

[2] 박세일, "MEMS 기술의 계측센서 응용", 산학연 공동기술개발 컨소시엄 세미나(KETI), p.42~p.43, 2002.

[3] S.M.Sze , "Semiconductor Sensors," John Wiley & Sons, Inc., pp 153-153, 1994.

[4] S. Brida, L.Ferario, V.Guarnieri, F.Giacomozzi, B.Margesin, M.Paranjape, G.Verzellesi, M.Zen," Optimization of TMAH etching for MEMS", Part of the Symposium on Design, Test, and Microfabrication of MEMS and MOEMS Paris, France, March-April, 1999

[5] A.Merlos, M.Acerio, M.H. Bao, J.Bausells and J.Estive, "TMAH/IPA anisotropic etching characteristics", Sensors and Actuators A pp.37-38(1993) 737

[6] U.Schnakenberg, W.Benecke, and P.Lange, "TMAH etchants for Silicon micromachining", proc. 6th Int'l. Conf. On Solid-State Sensors and Actuators(Transducers'91), Sanfrancisco, CA (1991) 815