한국반도체장비회지 제2권 제4호(2003년 12월)
Journal of the Korean Society of Semiconductor Equipment Technology, Vol. 2, No. 4. December 2003.

압력센서용 다이아프램 제작을 위한 TMAH/AP 식각특성

윤의중† · 김좌연*
†호서대학교 정보제어공학과, *호서대학교 신소재공학과

The Etching Characteristics of TMAH/AP for the Diaphragm Fabrication of Pressure Sensors

Eui Jung Yun† and Jwa Yeon Kim*
†Dept. of Information and Control Engineering, Hoseo University, Chungnam 336-795, Korea
*Dept. of Materials Science and Enginerring, Hoseo University, Chungnam 336-795, Korea

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 μm thickness and 100-400 μm one-side length were fabricated successfully by adding AP of (5/6)g to 800 ml TMAH solution every 10 minutes.

Key Words : Tetramethylammonium Hydroxide (TMAH), Ammonium Persulfate (AP), Piezoresistive Pressure Sensor, Diaphragm, Anisotropic Etching

1. 서 론

Si에서는 단결정격자(Single crystal lattice) 구조의 반도체에 외력이 인가되면 결정구조에 변형이 발생하면서 결정구조 내의 Carrier(Electron과 Hole)의 이동도(Mobility)가 변화되고 전기적인 저항이 변화하는 현상인 압저항 효과 (Piezoresistive effect)를 갖는 것으로 알려져 있다.[1]

이와 같은 Si의 특성을 이용하여 마이크로 실리콘 압력센서를 제작하기 위해서는 이방성 습식식각 방법을 이용하여 Si 단결정에 얇은 다이아프램을 제작하는 기술은 매우 중요하다.

†E-mail : ejyun@office.hoseo.ac.kr

다이아프램 제작을 위하여 초기에는 KOH, EDP (Ethylene diamine, Pyrocatechol), N_2H_4 용액을 사용하였다.[2] 그러나 KOH 수용액을 사용하여 식각한 경우, K^+ 이온에 의해 기존의 집적회로 공정과 호환성이 없으며, EDP와 hydrazine은 독성이 강하고 불안정하므로 취급에 상당한 주의가 요구되고 있다.[1]

최근에는 무해하며, 집적회로 공정과 호환성이 있다는 장점이 있으며[3-5], 130°C 이하에서는 분해되지 않는 등 안전성이 뛰어난 TMAH가 많이 쓰이고 있다.[2]

본 연구에서는 실리콘 압력 센서용 다이아프램을 제작하는데 있어서, TMAH용액을 사용하여 여러 공정조건 및 AP 첨가에 따른 특성을 조사하였다. 식각특성 조사는 SEM과 광학현미경을 사용하여 조사하였다.

2. 실험방법

2.1. Si 에칭 공정 및 측정조건

실험에 사용된 TMAH의 온도를 증가시키기 위하여 Hot Plate를 사용하였고 에칭반응을 촉진하기 위해 회전체에 부착된 Magnetic bar로 용액을 순환시켰다. 온도 증가에 따라 증발된 TMAH의 양은 30분 주기로 보충하였다. 사용된 TMAH 농도는 DI Water를 첨가하여 5wt%에서 20wt%까지 변화시켰다. AP는 800 ml의 TMAH 용액에 첨가 횟수를 변화시키면서 1시간당 5 g 정도의 AP양이 되도록 첨가되었다. TMAH 용액의 농도와 식각온도 및 시간을 변화시키면서 SEM과 α-step에 의한 두께 측정을 통해 Si의 식각률 변화를 관찰할 수 있었다. 또한 에칭률과 표면상태를 개선하기 위하여 TMAH용액에 첨가제인 AP를 섞어서 사용한 후 그 표면상태를 SEM을 이용하여 비교하였다.

2.2. 압력 센서용 Si 다이아프램의 제작

Si 다이아프램을 제작하기 위하여 양면에 폴리싱 된 (100) N형 Si wafer 양면에 1 μm 두께의 SiO_2를 thermal oxidation으로 증착한 후 에칭공정을 실시하였다. 다이아프램 공정용 chrome mask는 Auto-CAD로 pattern 을 만든 후에 전문 회사에 의뢰하여 제작하였다. Fig. 1은 Si 다이아프램의 제작공정도 이다. 뒷면의 SiO_2를 BOE(buffered oxide etchant)로 제거하고 2.1.에서 얻은 최적조건의 Si에칭공정을 사용하여 Si wafer의 두께를 200 μm정도로 식각하였다. PECVD를 이용하여 뒷면에 SiO_2를 약 1 μm 증착하고 photolithography 공정과 준비된 mask를 이용하여 다이아프램 pattern을 형성하였다. BOE로 SiO_2를 에칭 한 후 PR(Photoresist)을 제거하고, 다이아프램 구조를 만들기 위해 다시 TMAH로 에칭 하였다. 마지막으로 BOE로 SiO_2를 에칭하여 원하는 정사각형 모양의 다이아프램이 완성되었다.

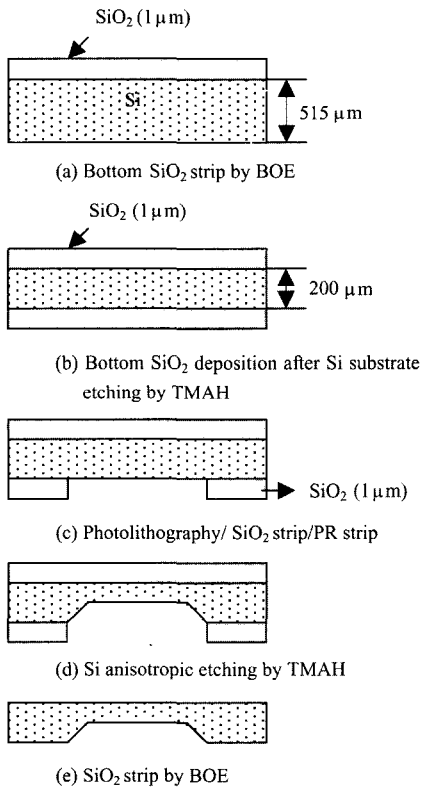


Fig. 1. Process flow for fabrication of a Si diaphragm.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 식각 온도변화와 TMAH 농도 변화에 따른 Si 식각률 특성을 나타낸다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 동

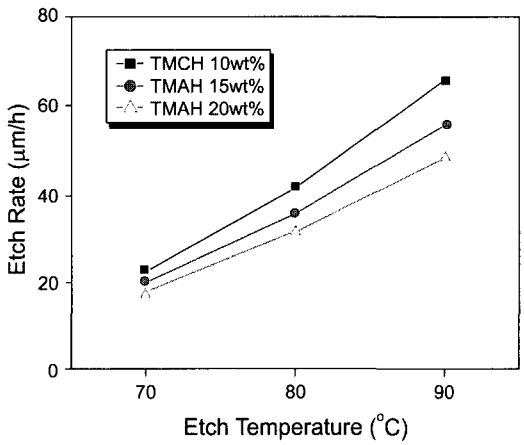


Fig. 2. The variations of Si etch rate on the etching temperature and TMAH concentration.

일한 TMAH농도에서 온도가 증가할수록 에칭률이 증가하였고, 동일한 온도에서 TMAH 농도가 증가할수록 에칭률은 감소하는 경향이 있음을 확인할 수 있었다.

Fig. 3은 식각시간을 1시간으로 고정시키고 식각온도와 TMAH농도를 변화시켰을 때의 Si표면상태를 나타내는 SEM사진이다. 그림에서 보는 바와 같이 농도 10wt%의 경우, 온도가 증가할수록 hillock의 크기가 커짐을 알 수 있다. 이를 앞의 Fig. 2의 결과와 비교하면 hillock이 높은 식각률에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

Fig. 4에서는 식각 온도를 90°C로 고정시키고 TMAH

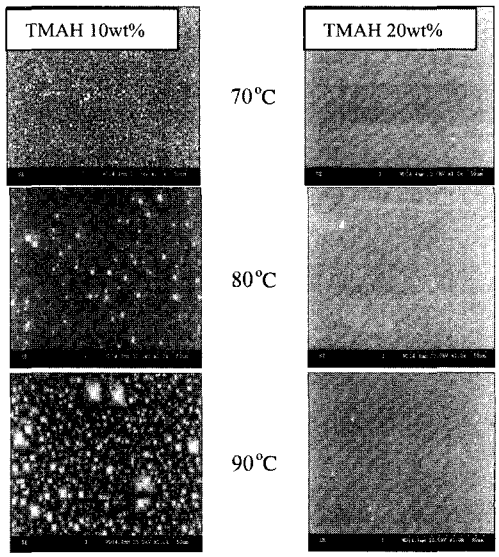


Fig. 3. SEM photographs for showing the variations of Si surface condition on the etching temperature and TMAH concentration.

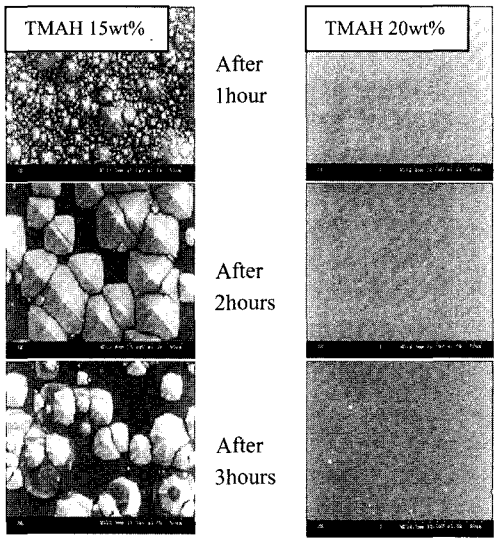


Fig. 4. SEM photographs for showing the variations of Si surface condition on the etch time and TMAH concentration. (Etching temperature=90°C)

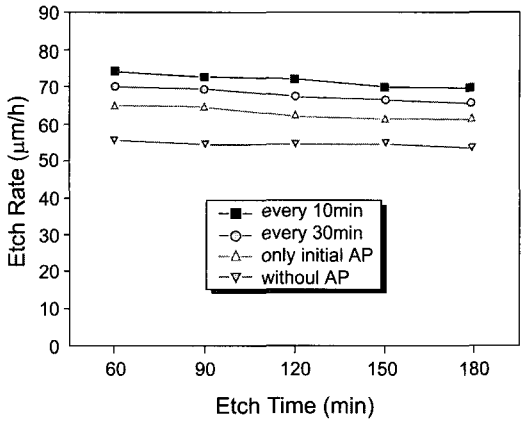
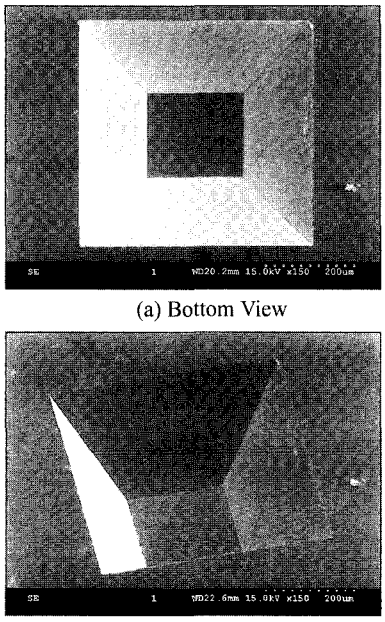


Fig. 5. The etch rate vs. etch time as a function of the number of addition of AP to TMAH solution per one hour. (TMAH concentration=15wt%, Etching temperature =90°C)



(a) Bottom View

(b) Side View

Fig. 6. SEM photographs of the Si square diaphragms of 20 μm thickness and 200 μm one-side length fabricated by applying optimum Si etching conditions of TMAH/AP solutions.

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 hillock 크기가 증가하다가 3시간 후부터 다시 감소하는 경향을 보이고 있다. 즉 오랜 시간 경과 후 TMAH 20wt%와 같은 표면으로 될 것으로 예측할 수 있다.

TMAH 농도15wt%이고 식각온도 90°C에서TMAH 800 ml용액에 대하여 AP첨가횟수를 변화시키면서 시간당 5 g정도의 AP양이 되도록 AP를 첨가 시키면서 Si 식각률을 측정하였고, 이는 Fig. 5에 나타나 있다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 시간당 동일한 분량의 AP를 자

주 첨가할수록 높은 에칭률이 나타남을 알 수 있다.

Fig. 6은 15wt% 농도의 TMAH용액(800 ml)으로 90°C 의 식각온도에서 10분 간격으로 5/6 g의 AP를 첨가하면서 3시간 에칭 후 얻은 다이아프램 형상을 나타내는 SEM사진이다. 또한 Fig. 6은 Fig. 5의 결과 중 가장 높은 식각률을 나타내는 공정을 사용하여 얻은 결과이다. Fig. 6을 AP를 첨가하지 않은 경우의 Fig. 4(TMAH 농도=15wt%)와 비교할 때 AP첨가로 hillock의 발생을 억제할 수 있다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 단결정 Si 기판에 마이크로 실리콘 압력센서를 만들기 위하여 20 μm 두께의 다이아프램 (100×100~400×400 μm^2) 제작을 위한 TMAH 용액의 식각 특성을 연구하였다. 친환경적이며 무독성이고 CMOS 집적회로 공정과 호환성이 높은 TMAH를 사용하여, 식각온도와 TMAH 농도 및 식각시간에 따른 에칭률 변화를 측정하였다. hillock 숫자는 식각 초기에 급격히 증가했다가 시간이 지남에 따라 일부의 hillock의 크기가 커지고 전반적으로 hillock의 숫자는 감소하는 경향을 보이고 있다. 식각온도가 증가 함에 따라, 그리고 TMAH 농도가 감소함에 따라, Si 에칭률은 증가하였으나 hillock 발생률이 증가하여 식각표면의 평탄화 정도가 나빠졌다. 이러한 단점을 AP(Ammonium Persulfate) 첨가제를 이용하여 해결하였다. 15wt% 농도의 TMAH 800 ml 용액을 가지고 매 10분당 같은 양의 AP를 1시간당 5 g이 되도록 첨가하여, 한 변의 길이가 100~400 μm인 양질의 다이아프램을 성공적으로 만들 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 한국과학재단 지정 지역협력연구센터 인호서대학교 반도체 제조장비 국산화연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

참고문헌

1. Sze, S.M., "Semiconductor Sensors", John Wiley & Sons, Inc., pp. 153 (1994).
2. 박세일, "MEMS 기술의 계측센서 응용", 산학연 공동기술개발 컨소시엄 세미나 (KETI), pp. 42-43, (2002).
3. Brida, S., Ferrario, L., Guarnieri, V., Giacomozzi, F., Margesin, B., Paranjape, M., Verzellesi, G. and Zen, M., "Optimization of TMAH etching for MEMS", SPIE, 3680, pp. 969-976 (1999).
4. Merlos, A., Acero, M., Bao, M.H., Bausells, J. and Estive, J., "TMAH/IPA anisotropic etching characteristics", Sensors and Actuators, A37-38, pp. 737 (1993).
5. Schnakenberg, U., Benecke, W. and Lange, P., "TMAH etchants for Silicon micromachining", proc. 6th Int'l. Conf. on Solid-State Sensors and Actuators (Transducers'91), San Francisco, CA, pp. 815 (1991).