

## 전기화학적 식각정지에 의한 고수율 실리콘 박막 멤브레인 제작

### Fabrication of High-yield Si Thin-membranes by Electrochemical Etch-stop

정귀상\*, 박진성\*\*, 이원재\*\*\*, 송재성\*\*\*

(Gwiy-Sang Chung\*, Chin-Sung Park\*\*, Won-Jae Lee\*\*\*, Jae-Sung Song\*\*\*)

#### Abstract

In this paper, the authors present the fabrication of high-yield Si thin-membranes by electrochemical etch-stop in tetramethyl ammonium hydroxide (TMAH):isopropyl alcohol (IPA):pyrazine solutions. The current-voltage (I-V) characteristics of n- and p-type Si in TMAH:IPA:pyrazine solutions were analysed, respectively. Open circuit potential (OCP) and passivation potential (PP) of n- and p-type Si, respectively, were obtained and applied potential was selected between n- and p-type Si PPs. The electrochemical etch-stop method was applied to the fabrication of 801 micro-membranes with 20.0  $\mu\text{m}$  thickness on a 5" Si wafer. The average thickness of fabricated 801 micro-membranes on one wafer was 20.03  $\mu\text{m}$  and the standard deviation was  $\pm 0.26\mu\text{m}$ . The Si surface of the etch-stopped micro-membranes was extremely flat with no noticeable taper or nonuniformity. The results indicate that use of the electrochemical etch-stop method for the etching of Si in TMAH:IPA:pyrazine solutions provides a powerful and versatile alternative process for fabricating high-yield Si micro-membranes.

**Key words** : Si thin-membrane, electrochemical etch-stop, OCP(Open circuit potential), PP(passivation potential)

#### 1. 서론

최근 Si 마이크로 머시닝 기술에 의한 집적화 마이크로 센서 및 액츄에이터 연구개발에 관심이 집중되고 있다. 벌크 (bulk) 마이크로 머시닝 기술 중에서도 이

방성 식각기술에 의한 3차원 미세 구조물 제작기술은 중요한 기술중의 하나이다[1-3]. 또한, 웨이퍼 단위의 소자 제작시 Si 박막 멤브레인의 두께 오차에 따른 각 소자간의 특성 변화를 줄이기 위해서는 고수율의 Si 멤브레인 두께 제어기술 개발이 절실히 요구되고 있다. 현재 Si 박막 멤브레인 두께 제어법으로는 불순물의 농도차를 이용하는 방법[4], SOI (Si-on-Insulator) 기판을 이용하는 방법[5] 그리고 전기화학적 식각 정지법[6] 등이 있다. 그러나 고농도 불순물을 식각 정지층으로 사용할 경우, 잔류 응력 때문에 소자의 정확한 특성을 얻을 수 없다. 또한 SOI 기판을 사용할 경우, 정확한 두께를 갖는 멤브레인을 제조할 수 있지만 생산비용이 고가이다. 그러나, Si 박막 멤브레인 제작 시 역바이어스된 pn 접

\* : 동서대학교 정보시스템공학부 메카트로닉스전공

(부산광역시 사상구 주례동 산69-1번지)

FAX : 051-320-2122

E-mail : gschung@dongseo.ac.kr

\*\* : 삼성종합기술원 MEMS팀

\*\*\* : KERI 전자기소자연구그룹

2000년 12월 4일 접수, 2001년 1월 11일 1차심사완료

2001년 2월 21일 2차심사완료

합 다이오드의 성질과 양극산화현상을 이용한 전기 화학적 식각 정지법을 이용하면 대량생산시 낮은 가격으로 고수율의 Si 박막 멤브레인의 제작이 가능하다[7].

따라서, 본 논문에서는 Tetramethyl ammonium hydroxide (TMAH):isopropyl alcohol (IPA):pyrazine 수용액[8]에서 전기화학적 식각 정지법으로 20 μm의 n-type Si epi.층이 길러진 5" Si기판상에 1.5×1.5 mm<sup>2</sup> 크기의 801개의 Si 박막 멤브레인을 제작하여 식각 정지특성을 분석·평가하였다.

## 2. 실험

본 연구에서는 550 μm 두께의 <100> 5" p-와 n-type Si기판을 사용하였다. 저항률은 각각 13 ~ 18 Ωcm과 4 ~ 6 Ωcm이다. TMAH의 열산화막에 대한 식각 속도가 3A/min 정도로 매우 낮기때문에 모든 샘플은 4000Å의 열산화막을 마스크 재료로 사용하였다.

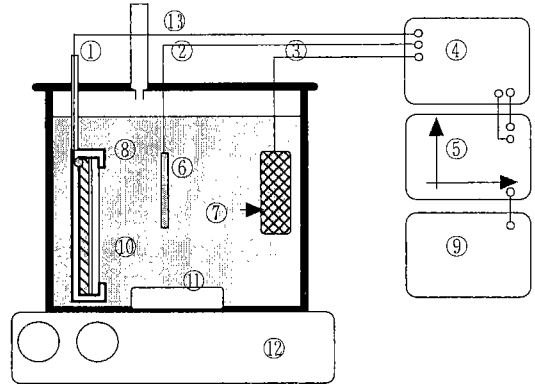
본 연구에서는 두 가지의 Si기판 샘플을 준비하였다. 첫번째는 전압-전류 측정을 위한 샘플로서, 한쪽은 금속전극을 입힌 n-와 p-type 각각의 기판이고, 1.5 mm × 1.5 mm 크기의 정사각형 식각창을 801개 형성하였다.

두번째는 Si 박막 멤브레인 식각을 위한 샘플로서, p-type Si기판 위에 농도가 3.5×10<sup>12</sup> cm<sup>-3</sup> 이며 두께가 20 μm의 n-type epi.층을 가지는 기판을 이용하였다. N-type Si층에 contact 형성을 위한 이온주입 후, 알루미늄을 증착하였으며, 다른쪽은 801개의 멤브레인 패턴을 형성하였다.

식각용액은 TMAH:IPA 수용액보다 식각 속도가 빠르고 식각된 시료 표면의 평탄도가 우수한 이방성 식각의 최적조건인 TMAH 20 wt.%,IPA 8.5 vol.%,pyrazine 0.5 g/100 ml(TMAH 용액 기준)를 사용하였다[9]. 식각용액의 온도는 80℃로 설정하였으며, 마그네틱 교반장치를 사용하여 식각용액에 교반효과를 주었다.

그림 1은 전기화학적 식각 장치도를 나타낸 것으로서 3전극 시스템을 사용하였다. 본 연구에서 제시된 모든 전압값은 EG&G 362 potentiostat를 사용하여 제어하였으며 RE (Reference Electrode)를 기준으로 한 전압값을 나타낸다. RE는 비교적 높은 온도에서 안정된 전압특성을 나타내는 Ag/AgCl형을 사용하였으며, CE (Counter Electrode)는 전류의 흐름을 좋게 하기 위하여 큰 면적을 가지도록 백금 mesh 형태를 사용하였다. WE (Working Electrode)

는 기판 보호용 지그를 제작하여 n-type Si epi.층으로부터 연결된 전선으로 연결하였다. 식각용액의 침투로 인한 WE 전압인가용 금속부분의 보호와, 누설 전류의 영향을 차단하기 위한 Teflon 및 O-ring을 각각 사용하여 기판보호용 지그를 제작하였다.



- ① Working Electrode ② Reference Electrode
- ③ Counter Electrode ④ Potentiostat ⑤ PC
- ⑥ Ag/AgCl ⑦ Pt mesh ⑧ Teflon holder
- ⑨ Plotter ⑩ Sample ⑪ Magnetic stir bar
- ⑫ Hot Plate & Stirrer ⑬ Reflux condenser

그림 1. 전기화학적 식각 정지용 장치도.

Fig. 1. The configuration for electrochemical etch-stop.

전기화학적 식각 정지의 기본특성인 OCP (Open Circuit Potential) 및 PP (Passivation Potential)을 얻기 위하여 전압-전류곡선을 도시하였다. 인가 전압범위는 -2 V ~ 0 V까지로 설정하였으며, 전압의 scan rate는 2 mV/sec로 유지하였다. 전압의 scan에 따른 전류값의 변화를 측정하기 위하여 potentiostat에서의 전류값을 A/D 변환기를 통해 PC상에 나타내었다.

식각 정지에 필요한 전압은 n-와 p-type Si의 PP 점 사이에서 선택했으며, 5" Si기판에 대한 식각 정지특성도 분석하였다. 식각 정지된 멤브레인의 두께는 measuring microscope와 SEM을 각각 이용해서 측정·분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 2는 전압-전류 특성곡선을 나타낸 것이다. n-와 p-type Si에 대한 OCP는 각각 -1.4 V와 -1.1

V이며, PP는 -0.9 V와 -0.74 V였다. 따라서, 선택적인 식각이 가능한 영역을 선택할 수 있으며 전압값들이 두 PP점 사이에 존재하기 때문에 -0.9 V와 -0.74 V의 사이에 존재하는 -0.8 V로 선택하였다.

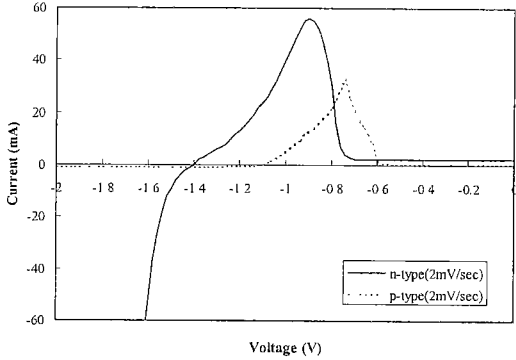


그림 2. TMAH:IPA:pyrazine 수용액에서 얻어진 n-와 p-type Si에 대한 전류-전압 특성곡선.  
Fig. 2. Current-voltage characteristics of n- and p-type Si obtained in TMAH:IPA:Pyrazine solutions.

그림 3은 20  $\mu\text{m}$  두께의 에피층을 가지는 5" Si기판을 TMAH:IPA:pyrazine 수용액에서 전기화학적 식각이 진행되는 동안 측정된 시간-전류 특성곡선을 나타낸 것이다. Pyrazine의 첨가에 따라 식각 속도가 증가되었으므로 식각 정지에 필요한 시간을 단축시킬 수 있었다[10]. 곡선의 peak치는 멤브레인의 두께가 얇아지면서 역바이어스 상태의 누설전류값이 증가함으로써 나타난 증가된 전류의 값을 의미한다. P-type Si이 모두 식각된 후, 식각용액에 직접 노출된 n-type Si은 단지 저항의 역할만을 하므로 큰 전류의 흐름이 수용액 속으로 흘러나오게 된다. 이 전류는 수용액 속에 음으로 대전되어 수산화기 이온들을 n-type Si의 표면으로 끌어당김으로써 양극산화 현상을 발생시킨다. Si 표면에서는 Si와 수산화기 이온들이 반응해서  $\text{SiO}_2$ 가 형성된다. 여기서 생성된  $\text{SiO}_2$ 는 다공질의 막질이 좋지 않은 상태이다. 따라서, 산화막은 TMAH 수용액에 의하여 식각이 되는 반응과 양극산화 현상에 의한 산화막의 성장반응이 동시에 일어나게 된다. 그러나, 산화막에 대한 TMAH 수용액의 식각 속도보다 산화막의 성장 속도가 더욱 빠르기 때문에 서서히 산화막의 성장이 일어나게 된다. 따라서, TMAH 수용액의  $\text{SiO}_2$ 에 대한 식각 속도가 매우 낮기때문에 식각은 더 이상 진행되지 않고 정지되며,  $\text{SiO}_2$ 는 절연체이기 때문에 전

류의 흐름을 거의 0으로 감소시킨다[7].

그림 4는 전기화학적 식각 정지법으로  $1.5 \times 1.5 \text{ mm}^2$  크기의 801개 Si 박막 멤브레인이 제작된 5" Si기판의 뒷면 사진이다.

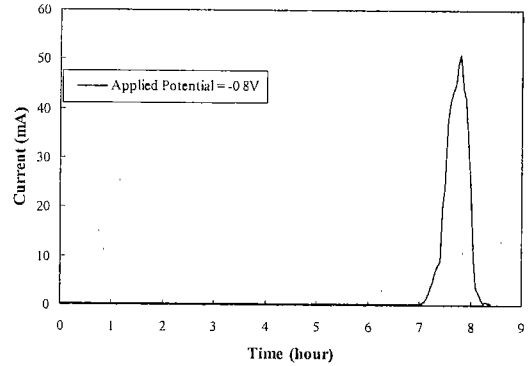


그림 3. 전기화학적 식각 정지 공정동안 TMAH:IPA:pyrazine 수용액에서 5" Si기판에 대한 시간-전류 특성곡선.  
Fig. 3. Time-current characteristics for a 5" Si wafer in TMAH:IPA:pyrazine solutions during the electrochemical etch-stop process.

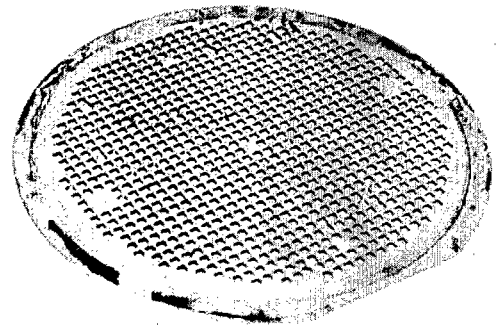


그림 4. 5" Si기판상에 제작된 801개 Si 박막 멤브레인의 뒷면사진.  
Fig. 4. Back-side photography of 801 Si thin-membranes fabricated on the 5" Si wafer.

그림 5는 TMAH:IPA:pyrazine 수용액에서 전기화학적 식각 정지법으로 제작된 Si 박막 멤브레인의 단면 SEM 사진이다. 식각 정지에 사용된 Si기판은 20  $\mu\text{m}$  두께의 에피층을 가지는 n-type Si이었으므로 20  $\mu\text{m}$  두께의 Si 박막 멤브레인이 제조된 것으로써

식각이 정확하게 pn 접합계면에서 정지하였음을 알 수 있다.

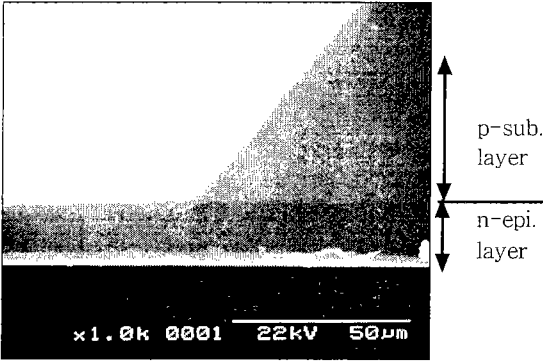


그림 5. 전기화학적 식각 정지된 Si 박막 멤브레인의 단면 SEM 사진.

Fig. 5. Cross-sectional SEM photography of an electrochemical etch-stopped Si thin-membrane.

그림 6은 전기화학적 식각 정지법으로 제작된 Si 박막 멤브레인의 표면 AFM 이미지를 나타낸 것이다. 약 5 µm 정도의 초기 표면 거칠기를 갖는 초기 뒷면이 폴리싱되지 않은 Si기판임에도 불구하고도 식각 정지된 Si 박막 멤브레인 표면의 평탄도는 5.42 nm 이하로 대단히 평탄함을 알 수 있다. 따라서, TMAH:IPA:pyrazine 수용액에서의 전기화학적 식각 정지법은 평탄도가 우수하며 정확하게 Si 박막 멤브레인 두께 제어가 가능함을 알 수 있다.

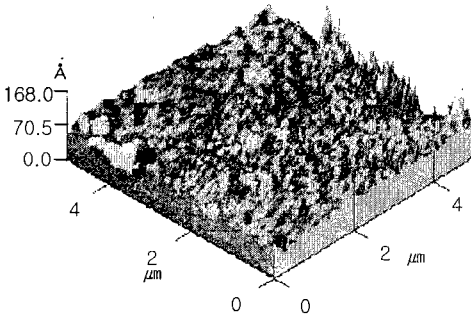


그림 6. TMAH:IPA:pyrazine 수용액에서 전기화학적 식각 정지된 Si 박막 멤브레인 표면의 AFM 이미지.

Fig. 6. AFM image of an electrochemical etch-stop Si thin-membrane surface in TMAH:IPA:pyrazine solutions.

그림 7은 전기화학적 식각 정지법으로 5" Si기판 상에 제조된 박막 멤브레인의 두께 분포를 나타낸 것이다. 멤브레인의 두께는 모든 멤브레인에 대해서 measuring microscope를 이용해서 측정하였다. 20 ± 0.2 µm의 두께를 가지는 멤브레인이 전체의 77.9% 이었다. 본 연구결과는 Palik[11] 및 Masaki[12] 등의 결과와 비교할 때 매우 우수한 특성을 가짐을 알 수 있다. 801개 Si 박막 멤브레인에 대한 평균두께는 20.03 µm이고, 표준편차는 ± 0.26 µm이다. Si기판의 중앙부분에서 멤브레인의 두께가 20 µm보다 약간 얇으며, 이것은 본 연구에서 사용한 전기적 contact의 결과이다. Si기판의 가장자리에 4개의 point전극을 부착시켰으며 Si기판의 중앙부분에 pn접합계면에서 n-type Si에 보호막을 형성할 만한 충분한 전압이 공급되지 않았을 것으로 사료된다. 또한, Si기판의 가장자리 부분에서는 멤브레인의 두께가 20 µm보다 약간 두껍게 나타났으며, 이것은 식각용 지그의 문제점이다. 식각 시 발생하는 수소 기포가 원활히 제거되지 못하고 지그의 가장자리에 모임으로 인해서 수용액과의 접촉이 줄어들게 되고 그 만큼 식각이 덜 된 것으로 사료된다. 이러한 문제점들은 추가적인 point 전극을 추가하고 식각홀더의 구조를 변경함으로써 개선되어질 수 있을 것이다.

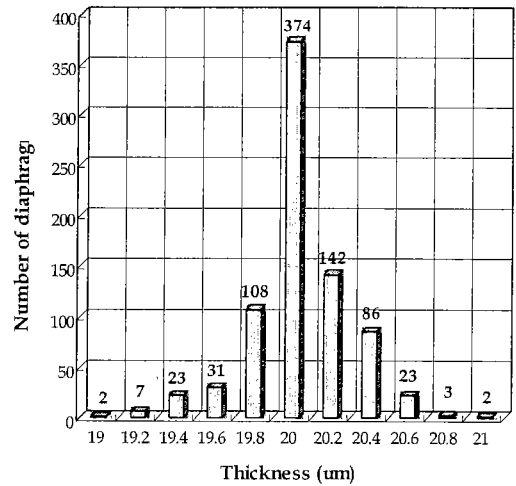


그림 7. TMAH:IPA:pyrazine 수용액에서 전기화학적 식각 정지 공정으로 5" Si기판상에 제작된 801개 Si 박막 멤브레인의 두께 분포.

Fig. 7. Thickness distribution of 801 Si thin-membranes fabricated on a 5" Si wafer by electrochemical etch-stop process in TMAH:IPA:pyrazine solutions.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 기관 단위에서의 TMAH:IPA:pyrazine 수용액에서의 전기화학적 식각 정지에 관하여 전류-전압 특성을 분석하여 OCP와 PP를 결정했으며, 시간-전류 특성곡선을 이용하여 식각 정지를 관찰하였다. 5" Si기판상에 전기화학적 식각 정지 공정으로  $1.5 \times 1.5 \text{ mm}^2$  크기의 801개 Si 박막 멤브레인을 제조한 결과, 멤브레인 두께의 평균은  $20.03 \mu\text{m}$ 이며 표준편차는  $\pm 0.26 \mu\text{m}$ 이었다. 또한 식각 정지된 박막 멤브레인 표면의 평탄도는  $5.42 \text{ nm}$  이하로 대단히 우수하였다.

따라서 TMAH:IPA:pyrazine 수용액에서의 전기화학적 식각 정지법은 고수율 Si 박막 멤브레인 제조에 대단히 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참고 문헌

- [1] M. Hirata, S. Suwazono and H. Tanigawa, "Diaphragm thickness control in silicon pressure sensors using an anodic oxidation etch-stop", *J. Electrochem. Soc.*, vol. 134, no. 8, pp. 2037-2041, 1987.
- [2] K. Peterson, "Silicon as a mechanical material", *Proc. IEEE*, vol. 70, pp. 420-457, 1982.
- [3] 정귀상, 박진성, "TMAH:IPA의 실리콘 이방성 식각 특성", 전기전자재료학회지, vol. 10, no. 5, pp. 481-486, 1997.
- [4] E. Steinsland, M. Nese, A. Hanneborg, R. W. Bernstein, H. Sandmo and G. Kittilsland, "Boron etch-stop in TMAH solutions", *'95 Transducers*, pp. 190-193, 1995.
- [5] A. Soderbarg, "Investigation of buried etch-stop layer in silicon made by nitrogen implantation", *J. Electrochem. Soc.*, vol. 139, no. 2, pp. 561-566, 1992.
- [6] M. C. Acero, J. Esteve, C. Burrer and A. Gotz, "Electrochemical etch-stop characteristics of TMAH:IPA solutions", *Sensors & Actuators A*, vol. 46-47, pp. 22-26, 1995.
- [7] 정귀상, 박진성, "TMAH:IPA:pyrazine 용액에서의 전기화학적 식각정지에 관한 연구", 센서학회지, vol. 7, no. 6, pp. 426-431, 1998.
- [8] H. Seidel, L. Csepegi, A. Heuberger and H. Baumgartel, "Anisotropic Etching of crystalline silicon alkaline solutions", *J. Electrochem. Soc.*, vol. 137, no. 11, 1990, pp. 3612-3626.
- [9] G. S. Chung and C. S. park, "Anisotropic Etching Characteristics of Silicon in TMAH:IPA:Pyrazine Solutions", *Sensors & Materials*, vol. 12, no. 3, pp. 133-142, 2000.
- [10] 정귀상, 박진성, "Pyrazine이 TMAH:IPA 실리콘 이방성 식각특성에 미치는 영향", 전기학회지, vol. 47, no. 12, pp. 2265-2271, 1998.
- [11] E. D. Palik, J. W. Faust, H. F. Gray and R. F. Greene, "Study of the etch-stop mechanism in silicon", *J. Electrochem. Soc.*, vol. 129, no. 8, pp. 2051-2059, 1982.
- [12] M. Hirata, S. Suwazono and H. Tanigawa, "Silicon diaphragm pressure sensors fabricated by anodic oxidation etch-stop", *Sensors & Actuators*, vol. 13, pp. 63-70, 1988.