

# 멤브레인 구조 제작을 위한 단결정 실리콘의 이방성 습식 식각

조남인<sup>†</sup> · 강찬민<sup>\*</sup>

<sup>†</sup>\*선문대학교 전자정보통신공학부

## Anisotropic Wet Etching of Single Crystal Silicon for Formation of Membrane Structure

Nam-Ihn Cho<sup>†</sup> and Chan Min Kang<sup>\*</sup>

<sup>†</sup>\*Dept. of Electronic Engineering, Sunmoon University

### ABSTRACT

We have studied micro-machining technologies to fabricate parts and sensors used in the semiconductor equipment. The studies were based on the silicon integrated circuit processes, and composed of the anisotropic etching of single crystal silicon to fabricate a membrane structure for hot and cold junctions in the infrared absorber. KOH and TMAH were used as etching solutions for the anisotropic wet etching for membrane structure formation. The etching characteristic was observed for the each solution, and etching rate was measured depending upon the temperature and concentration of the etching solution. The different characteristics were observed according to pattern directions and etchant concentration. The pattern was made to incline 45° on the primary flat, and optimum etching property was obtained in the case of 30 wt% and 90°C of KOH etching solution for the formation of the membrane structure.

**Key Words :** Anisotropic Etching, Single Crystal Silicon, Membrane, Infrared Absorber

## 1. 서 론

반도체 장비는 점차 기능이 다양해지고 따라서 미세 부품의 사용이 증가하고 있다. 이러한 추세에 따라 반도체 장비의 부품을 제조함에 있어 신뢰성과 기능성 증가를 위하여 마이크로머신 기술 (micro-machining technology)의 이용이 더욱 늘어나고 있다 [1-3]. 마이크로머신 기술은 21세기 정보화시대에 필요한 핵심 기술로 부각되고 있는데, 이 기술은 반도체 집적회로 제조기술을 이용하여 각종 센서 및 기계부품을 초소형으로 제작함으로써 시스템을 간단화함은 물론 기능 다양화도 이룰 수 있기 때문이다[4].

마이크로머신 기술은 크게 덩어리 (bulk) 마이크로머신과 표면 (surface) 마이크로머신으로 나뉘어 진다. Bulk 마이크로 머신 재료로는 일반적으로 단결정 실리콘을 사용하며, 사진식각 기술, 다결정 실리콘형성 기

술, 습식 및 건식식각 기술, 산화막형성 기술 등을 이용하여 3차원 구조물을 만든다. 식각기술은 보통 건식과 습식 식각을 이용하는데, 건식식각은 증착된 박막을 식각할 경우와 미세한 구조물을 만들 때 쓰인다. 습식 식각은 건식식각과 달리 대개의 경우 등방성식각 특성을 가지나 특수한 경우 이방성 식각도 가능하다. 반도체 부품의 일 예로 열전형 적외선 센서를 마이크로머신 기술로 제작하는 것을 들 수 있는데, 이 때 센서는 적외선 흡수기와 열전대를 구비하여야 하며 적외선 흡수기는 입사된 적외선 양을 최대한 흡수할 수 있도록 설계되어야 한다. 본 실험에서 지향하는 마이크로머신 기술을 이용한 초소형 적외선 센서의 기본 구조는 Fig. 1과 같다. Fig. 1의 구조에서 입사된 적외선은 적외선 흡수기에 최대한 흡수되어 hot junction (온접점)이 되고, 이와 인접한 위치에는 열 발산이 쉽게 이루어져 상온이 유지되는 cold junction (냉접점)이 있어서, 이들 두 junction 간의 온도 차이를 열전대에 의하여 전압의 형태로 바꾸게 된다. 적외선 흡수기는 열전도도가 작은

<sup>†</sup>E-mail : nicho@sunmoon.ac.kr

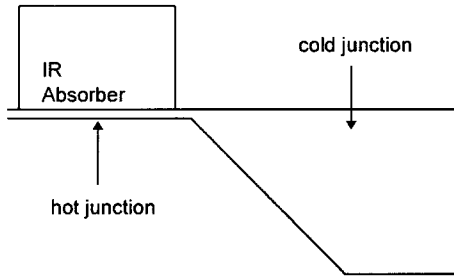


Fig. 1. 마이크로머신 기술로 제작된 멤브레인에 의한 적외선 센서의 hot junction 구조.

멤브레인 상에 위치하는데 멤브레인은 열의 전도가 작으면서도 적외선의 반사는 최대로 이루어져 입사된 적외선이 흡수물질 안에 최대한 갇히는 것이 바람직한 구조이다[5,6].

## 2. 실험방법

단결정 실리콘의 이방성식각을 위한 식각액으로는 ethylene diamine pyrocatechol, potassium hydroxide, potassium hydroxide isopropyl alcohol, tetramethyl ammonium hydroxide, cesium hydroxide 등이 개발되었으며, 일반적으로 potassium hydroxide (KOH) 용액이 주로 사용되고 있다[7,8]. 본 실험에서는 bulk 마이크로머신 기술을 이용하여 KOH 용액의 이방성 습식 식각 특성을 알아보고 TMAH (tetramethyl ammonium hydroxide) 용액을 이용한 식각 특성도 조사하였다.

실험의 진행 순서는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 단결정 실리콘의 이방성 습식식각의 특성을 알기 위한 첫 단계로서 4인치 직경의 단결정 실리콘 웨이퍼를 이용하여 습식산화 방법으로 SiO<sub>2</sub> 막을 성장시켰다. 마스크 패턴은 KOH 용액의 실험에서는 웨이퍼의 주된 컷(primary flat)에 대하여 45° 방향으로 패턴을 형성하였고, 10 μm의 마스크 패턴을 이용하여 SiO<sub>2</sub> 막을 사진 식각하였다. 감광액 코팅 후에는 대류식 오븐을 이용하여 90°C에서 10분 정도 soft bake를 했는데 이 과정은 코팅 후의 잔존하는 용매를 증발시키고 감광액과 웨이퍼 사이의 접착을 증대시킨다. Quintel사 Q-2001CT 모델의 mask aligner를 사용하여 노광 후에 현상액을 상온에서 원액 그대로 사용하여 1분 동안 현상시켰다. 현상이 끝난 후 웨이퍼는 감광막의 손상을 방지하기 위하여 120°C에서 10분 간 건조시킨다. 이 과정에서 준비된 웨이퍼를 0.5×0.5 cm 크기로 시료를 준비 한 후, 시료를 buffered oxide etchant (BOE) 용액에 담구어서 SiO<sub>2</sub> 막을 마스크 패턴에 따라 식각하였다. 그 후 PPS-100N

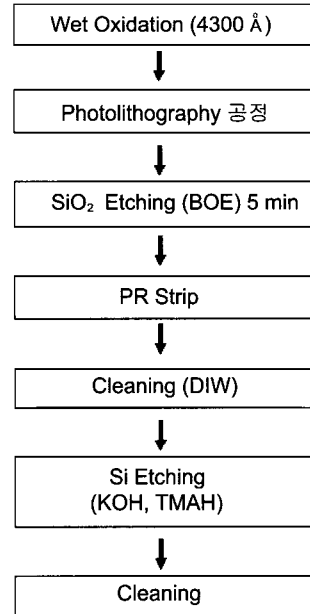


Fig. 2. 멤브레인 구조의 제작 공정 흐름도.

stripper를 이용하여 감광막을 제거하였다. 여기서 실리콘 웨이퍼 상에 남아 있는 SiO<sub>2</sub> 층은 KOH 용액에 대하여 마스크 역할을 하게 된다. 이방성 식각에서 식각액의 온도와 농도를 일정하게 유지하기 위하여 항온조 중탕 방식을 채택하였고, 항온조는 전기 히터와 온도 조절기를 이용하여 상온에서 200°C 범위에서 온도를 일정하게 유지시킬 수 있다. 항온조 머리 부분에는 냉각기, 온도계가 설치되는데, 냉각기는 실험 온도가 고온일 경우에 기체화한 식각액을 냉각시켜 줌으로써 농도를 균일하게 유지하게 한다. 또한 온도계는 중탕기와 항온조 내의 식각액의 온도 차이를 보정해 주는 역할을 함으로써 정확한 온도를 유지할 수 있다. 식각액 용액은 80% KOH를 DI water에 용해시켜서 10~30 wt% 농도의 식각액을 만들어 50~90°C 온도 범위에서 변화시켰다. 아울러 TMAH (tetramethyl ammonium hydroxide) 용액일 경우에도 동일한 순서에 따라 실험을 진행하였으며 농도의 범위는 2~15 wt%, 온도범위는 60~100°C로 변화시켰다.

## 3. 실험결과 및 고찰

식각 패턴은 두 가지로 분리하여 이방성 습식식각 실험을 진행하였다. 그것은 primary 절단면에 대하여 수직인 패턴과 45° 식각 패턴이다. 두 가지로 나누어 식각을 실시한 이유는 단결정 실리콘 웨이퍼의 식각

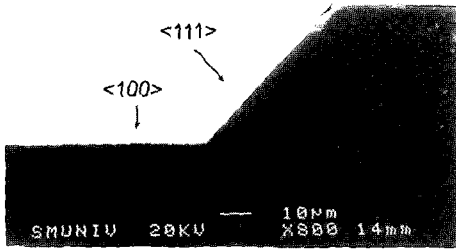


Fig. 3. 실리콘 웨이퍼의 이방성식각 후 SEM 관찰 단면.

결과로서 기대되는 구조는 SiO<sub>2</sub>층의 마스크가 식각된 부분에 대하여 <100> 결정면과 54.7°의 각도를 이루면서 이방성 식각이 이루어지기 때문이다. 식각된 시료의 구조는 주사형 전자현미경 (SEM; scanning electron microscopy), JEOL 모델 TSM6400으로 관찰하였고 가속전압은 20 keV로 하였다. 시료의 패턴에 따라 단면과 평면을 관찰하였으며 서로 다른 면과 실험조건에 따라 식각속도와 식각형태 등을 관찰하였다. 식각된 결과를 SEM으로 관찰한 단면 사진은 Fig. 3과 같다. 그림에서 (100) 결정면과 54.7°의 각도를 이루면서 식각이 이루어진 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 실리콘 웨이퍼의 결정방향에 따라 식각속도가 다르기 때문이다. 일반적으로 실리콘의 (100)면을 따라 식각이 가장 빠르게 진행되며, (111) 방향으로의 식각속도가 가장 느리다. 그리고 (110) 면의 식각속도는 중간 정도로 알려져 있다. 따라서 가장 식각이 적게 되는 (111) 면이 최종적으로 남게 되며, 멤브레인 구조에서 지지대 역할을 하게 된다.

KOH 용액에 의한 단결정 실리콘 습식식각 실험 결과에 의하면 Fig. 4에서 보는 바와 같이 농도에 관계없이 온도가 올라 갈수록 식각속도가 증가하였다. 한편, 식각 바닥면의 거칠기는 온도와 농도가 낮아질수록 거칠어지는 경향을 보였다. 이 실험 결과는 Seidel의 이론치와 비교될 수 있는데,  $R=k_0[H_2O]^{1/4}[KOH]^{1/4}e^{-E_a/KT}$ 의 알려진 관계식에 의하여 계산하면 Fig. 3과 거의 유사한 그래프를 얻을 수 있다[9]. 여기서 R은 식각속도, E<sub>a</sub>는 활성화 에너지(activation energy), k는 볼츠만 상수, 그리고 T는 절대온도이다. 이 때 이론치의 fitting 변수에 의한 값은 <100> 표면에 의한 E<sub>a</sub>=0.595 eV, k<sub>0</sub>=2840 µm/h (mol/liter)<sup>4.25</sup>로 하였다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 KOH 용액을 사용하여 식각할 경우, 온도의 증가에 따라 식각속도가 증가하는 경향을 보였지만, 농

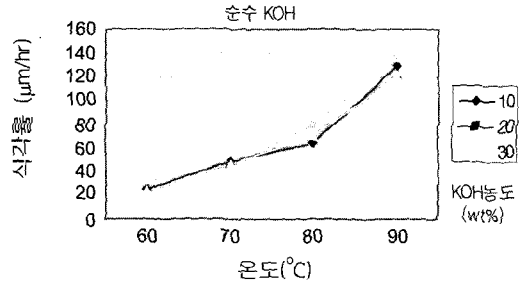


Fig. 4. KOH 용액에 의한 이방성 식각의 온도 및 농도에 따른 식각속도.

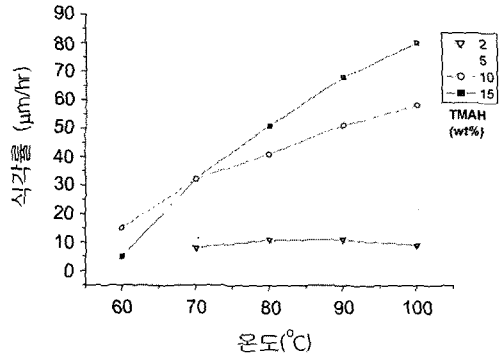


Fig. 5. TMAH 용액에 의한 이방성 식각의 온도 및 농도에 따른 식각속도.

도를 변화시킬 경우에는 식각속도의 차이는 거의 없었다. 그러나 식각된 후에 드러나는 실리콘 웨이퍼의 바닥 면의 거칠기는 온도가 올라갈수록 10 wt% 보다는 30 wt%에서 양호한 결과를 보였다.

TMAH 용액을 사용하여 단결정 실리콘을 이방성 습식 식각을 수행한 결과 KOH 용액에 의한 결과와 유사한 경향을 얻었다. 실험 결과에 따르면, 온도와 농도가 높아질수록 식각속도가 빨라지는데 Fig. 5에서 보는 바와 같이 15 wt%일 경우 가장 빠른 식각 속도를 나타냈고 100°C 이상에서는 TMAH 고유의 성질을 잃어버리기 때문에 식각속도의 증가율이 떨어지고 특히 낮은 농도에서 그러한 경향에 뚜렷해지는 것을 알 수 있었다. 사실상, TMAH가 실리콘을 식각하는 용액으로 관심을 끄는 것은 단결정에서 상대적으로 SiO<sub>2</sub> 박막을 마스크로 사용할 수 있을 뿐 아니라 다른 식각액보다 찌꺼기가 적다는 이유에서이다. 그렇지만, 다른 용액에 비해 가격이 고가이며 Fig. 5에서 보는 바와 같이 식각속도가 낮다는 것이 실용적인 측면에서 큰 단점으로 대두되고 있다. 이상의 식각특성을 고려할 때 순수한 KOH 용액 30 wt%, 90°C가 멤브레인을 제작하는 공정에서 가장 적합한 조건이라고 사료된다.

## 4. 요약

반도체 장비의 기능성과 신뢰성을 높이기 위하여 부품의 제조기술은 점차 마이크로 머신 기술을 요구하고 있다. 마이크로머신 기술 중 hot junction이 위치하는 멤브레인 구조는 각종 센서와 히터의 미세부품에서 가장 이용도가 큰 구조이다. 실험에서는 마이크로머신의 기본 구조인 멤브레인 형태를 만들기 위해 KOH 용액과 TMAH 용액으로 단결정 실리콘을 이방성 습식식각하였다. 실험결과, 식각액의 온도와 농도, 마스크 패턴과 웨이퍼의 결정성의 일치 등을 고려해야 하며, 식각속도는 KOH의 농도 및 온도에 따라 크게 변함을 알 수 있었다. KOH 용액은 30 wt% 80~90°C 온도 범위에서 가장 좋은 특성을 나타냈다. 한편, TMAH용액이 실리콘을 식각하는 용액으로 관심을 끄는 것은 단결정에서 상대적으로 SiO<sub>2</sub> 박막을 마스크로 사용할 수 있을 뿐 아니라 다른 식각액보다 찌꺼기가 적다는 장점때문이다. 그러나, 다른 용액에 비해 가격이 고가이며 식각속도가 낮다는 것이 실용적인 측면에서 큰 단점이다. 실험결과를 종합적으로 고려할 때 KOH 용액 농도 30 wt%와 온도 90°C가 마이크로머신 기술에 의한 멤브레인 구조 제작에서 적합한 공정조건이라고 할 수 있다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부 양선자기반공학기술개발사업의 양성자가속기이용자프로그램에 의해 지원되었습니다(Project No: M102KS010001-02K1901-01810).

## 참고문헌

1. Lim, J.S., "Introduction to Semiconductor Manufacturing Equipment", Sungandang, Seoul, 2000.
2. Campbell, S.A., "The Science and Engineering of Microelectronic Fabrication", 2nd Edition, Oxford University Press, New York and Oxford, 2001.
3. Kasap, S.O., "Principles of Electronic Materials and Devices", 2nd ed., McGraw-Hill, New York, pp.118-2002.
4. Kwon, D.H. and Seo, H.I., "Sensor technology", Edtec, Seoul, 2000.
5. Muller, M., Gottfried-Gottfried, R., Kuck, H. and Mokwa, W., "A fully CMOS-compatible infrared sensor fabricated on SIMOX substrates", Sensors and Actuators, Vol. A 41, pp. 538-541, 1994.
6. Schieferdecker, J., Quad, R., Holzenkampfer, E. and Schulze, M., "Infrared thermopile sensors with high sensitivity and very low temperature coefficient", Sensors and Actuators, Vol. 46, pp. 422-427, 1995.
7. Anuzaid, M.M., "Corner undercutting in anisotropic etching isolation contours", *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 339, pp. 2138-2141, 1984.
8. Price, J.B., "Anisotropic etching of silicon with KOH-H<sub>2</sub>O-Isopropyl alcohol", *Electrochem. Soc. Proceeding*, Vol. 3396, 1973.
9. Seidel, H., Csepregi, L., Heuberger, A. and Baumgartel, H., "Anisotropic etching of crystalline silicon in alkaline solutions", *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 137, pp. 3612-3626, 1990.