

벌크 마이크로 머쉬닝에 의한 다결정 실리콘 압력센서

제작 관한 연구

A Study on Fabrication of Piezoresistive Pressure Sensor

Based on poly-Si

임재홍, 박용욱, 윤석진, 정형진, 윤영수

(Lim Jae Hong, Yong Wook Park, Seok Jin Yoon, Hyung Jin Jung, Young Soo Yoon)

Abstract

Rapid developing automation technology enhances the need of sensors. Among many materials, silicon has the advantages of electrical and mechanical property. Single-crystalline silicon has different piezoresistivity on different directions and a current leakage at elevated temperature, but poly-crystalline silicon has the possibility of controlling resistivity using doping ions, and operation at high temperature, which is grown on insulating layers. Each wafer has slightly different thicknesses that make difficult to obtain the precisely same thickness of a diaphragm. This paper deals with the fabrication process to make poly-crystalline silicon based pressure sensors which includes diaphragm thickness and wet-etching techniques for each layer. Diaphragms of the same thickness can be fabricated consisting of deposited layers by silicon bulk etching. HF etches silicon nitride, $\text{HNO}_3 + \text{HF}$ does poly-crystalline silicon at room temperature very fast. Whereas ethylenediamine based etchant is used to etch silicon at 110°C slowly.

Key Words(중요용어) : piezoresistivity, poly-crystalline silicon, pressure sensor, diaphragm thickness

1. 서 론

급속도로 발전하는 자동화기술의 요구에 부응하기 위하여 센서의 중요도는 점점 높아지고 있다. 여러 물질 중에서 실리콘은 전기적 특성뿐만 아니라 기계적 성질이 우수하여 여러 종류의 물리적 신호를 측정하는데 센서의 재료로 사용되어왔다. 이 중에서 실리콘의 압저항 효과(piezoresistance effects)는 압력을 측정하는데 사용되었다. 종래의 탄성체를 사용하는 벨로즈나 부르돈관을 사용하여 압력을 측정하는 방법은 소량의 변화에는 감압성이 떨어진다. 하

한국과학기술연구원 박막기술연구센터

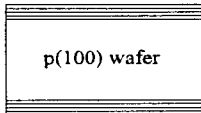
지만 다이어프램(diaphragm)을 이용하는 센서의 경우에는 다이어프램의 두께를 얇게 함으로써 측정압력의 감도를 높일 수 있다.⁽¹⁾ 종래의 압력센서의 대부분은 실리콘 다이어프램위에 이온을 투입시켜 (ion implant) 압저항체를 형성하였다. 120°C 에서의 누설 전류(current leakage)는 상온보다 4000배 크다.⁽²⁾ 이것은 결핍층(depletion region)을 통하여 투입된 이온들의 확산으로 온도변화에 따라 응력인가에 따른 저항의 변화율이 달라져 저항의 변화율이 선형성을 보이지 않는다. 이 때문에 외부에 온도를 보상해 주는 회로⁽²⁾ 또는 휘스톤 브릿지를 연결시켜 온도

를 보정하여 준다.^(2,3) poly-Si의 경우 다결정체이므로 방향에 따른 저항변화가 거의 없어 응력에 따른 저항 변화율이 거의 선형적으로 나오고 poly-Si층 밑에 절연막을 형성시켜 0~150°C의 온도에서 2%의 저항변화율을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.⁽⁴⁾ 그리고 다이어프램을 형성하는데 있어서 실리콘 비등방 식각을 이용하여 제작을 하는데 기존의 식각정지 방법은 불순물의 농도차를 이용하는 방법⁽⁵⁾, SOI 기판을 이용하는 방법⁽⁶⁾, 전기화학적 식각정지법⁽⁷⁾이 있다. 불순물의 농도차를 이용하는 방법의 경우 압저항체를 형성할 수 없다는 단점을 가지고 있고 SOI 기판을 이용하는 것은 고가라는 단점이 있다. 그리고 전기화학적 식각정지법은 다이어프램 두께를 효과적으로 제어할 수 있다. 본 연구에서는 EPW (Ethylenediamine, pyrocatechol, water, pyrazine) 으로 실리콘 벌크 식각(bulk etching)하여 웨이퍼 두께의 오차를 없애기 위하여 실리콘을 전부 식각하여 Si 웨이퍼(wafer)위에 습식 열산화공정으로 산화막, LPCVD로 질화막, poly-Si, 질화막으로 다이어프램을 제작하여 일정한 두께의 다이어프램을 얻었다. 그리고 각 막은 습식식각을 사용하여 제거하였다.

2. 실험 방법

초기의 웨이퍼의 막들은 4개로 구성되어 있다. 웨이

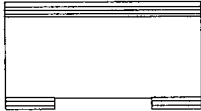
1. film deposition (SiO₂, Si₃N₄, Poly-Si, Si₃N₄)



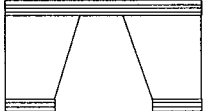
2. Si₃N₄ Etching and Photolithography



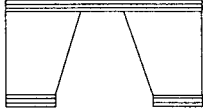
3. Poly-Si, Si₃N₄, SiO₂ Etching



4. Silicon bulk etching



5. Si₃N₄ Etching



6. Poly-Si Etching

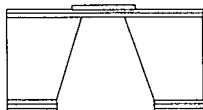


그림 1. 압력센서 제작공정의 단면도

Fig. 1. Fabricating procedures of pressure sensor presenting by cross-section

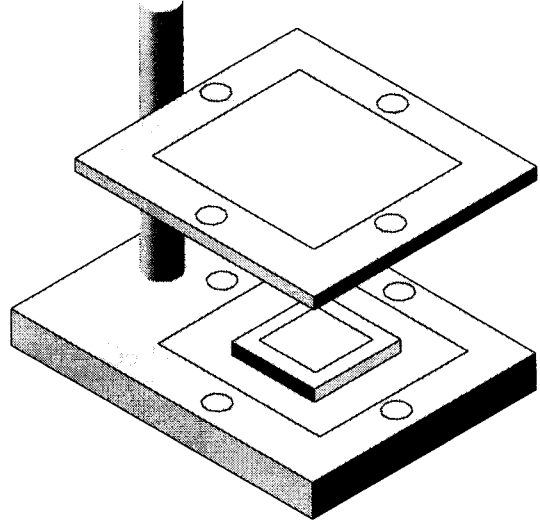


그림 2. 식각시 사용한 웨이퍼 샘플 홀더의 도면
Fig. 2. Sketch of sample holder used during etching

퍼위의 증착된 막을 다이어프램으로 하여 소자를 제작하였다. 우선 각 막들의 조건은 실리콘 산화막 (SiO₂), 습식열산화로 1000°C에서 5000 Å, 실리콘 질화막(Si₃N₄)은 LPCVD로 785°C에서 4000 Å, 다결정 실리콘은 LPCVD로 625°C에서 5000 Å, 저항을 작게 하기 위하여 POCl₃ doping을 하여 비저항값을 30 Ω/□로 한후 deglaze를 하였다. 그리고 다시 LPCVD로 질화막을 3000 Å 두께로 하였다. 실험에서 쓰인 4인치 크기의 p type (100) 웨이퍼로 두께는 500±24μm이다. 그림 1에 각 공정의 단면을 나타내었다. 위와 같은 공정으로 막을 증착시킨 웨이퍼로 한쪽면의 실리콘 질화막을 불산(HF)에 넣어서 식각을 한다. 그리고 뒷면의 실리콘 질화막은 식각되지 않게 하지 위하여 웨이퍼를 뒤집어서 한쪽 면만 식각액에 노출되게 하는 식각 홀더를 사용하였다. 그림 2에 식각시 사용한 샘플 홀더의 도면을 나타내었다. 이것의 재질을 테프론으로 하였고 아래와 뒷면을 고정시키기 위하여 테프론 나사를 사용하였다. 이때 다결정 실리콘은 불산에 식각이 되지 않으므로 식각정지층으로 작용한다.⁽⁷⁾ 그리고 다이어프램 영역을 설정하기 위하여 우선 HMDS (Hexamethyldisilane) 을 5000 rpm으로 도포 후 AZ 1512를 5000rpm으로 도포하여 90°C에서 30분동안 soft bake를 한후 노광 작업을 하였다. 그리고 130°C에서 30분 동안 hard bake순으로 사진공정 작업

을 하였다. 다이어프램의 크기는 1.5, 2.0, 2.5mm의 정사각형 모양으로 하였고 각 소자의 크기는 5.0mm로 하였다. 다결정 실리콘을 식각하기 위해 95wt% HNO₃+5wt% HF를 사용하여 식각하였다. 이 다결정 실리콘을 식각마스크로 사용하여 실리콘 질화막과 실리콘 산화막을 HF에 식각하였다. 그리고 실리콘 질화막과 실리콘 산화막을 식각마스크로 실리콘 뒷면 식각을 했다. 이때 사용한 식각액으로는 Ethylenediamine, pyrocatechol, water, pyrazine (1L:160g:133ml:6g)를 혼합한 용액으로 110°C에서 실험을 하였다. 이때 가열을 일정하게 하기 위하여 실리콘 오일로 증탕을 하였고 혼합식각액의 증발을 막기 위하여 테프론으로 비이커 덮개를 만들어 실험을 하였다. 그리고 실리콘을 식각한 후에 다시 MA6 aligner로 영역을 설정한 후에 앞의 공정에서의 다결정 실리콘의 식각액으로 식각을 하였다. 박막의 두께는 Tencor사의 Alpha step P1과 Ellipsometer L117을 사용하여 두께측정을 하였다

3. 실험 결과 및 논의

본 실험에서 실리콘 식각액으로 사용한 혼합용액은 실리콘 질화막을 마스크로 하여 110°C에서의 식각률은 46.9 μ m/hr(0.78 μ m/min)이다. 그림 3에 시간에 따른 식각 깊이를 나타내었다. 식각시 110°C로 온도

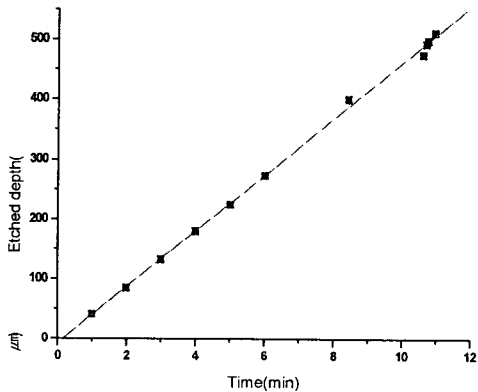


그림 3. 시간에 따른 Ethylenediamine, pyrocatechol, water, pyrazine (1L:160g:133ml:6g) 용액에서의 (100) 실리콘의 식각률

Fig. 3. Etch rate of (100) silicon in Ethylenediamine, pyrocatechol, water, pyrazine (1L:160g:133ml:6g) as function of time

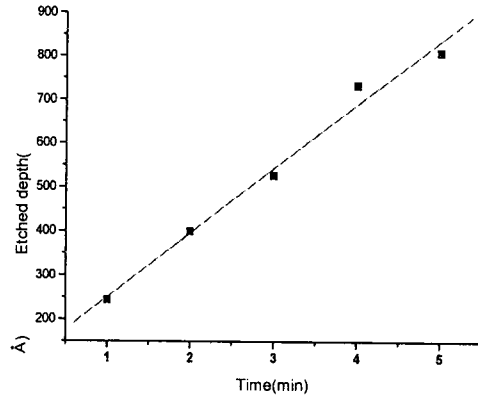
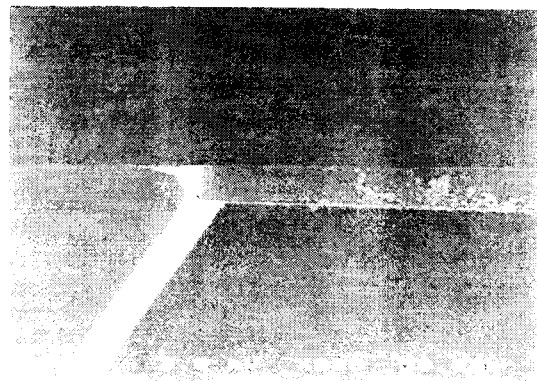


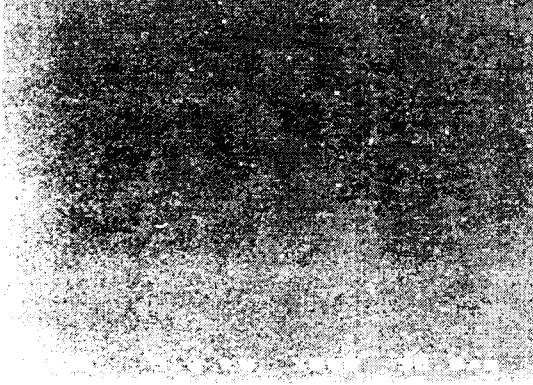
그림 4. 시간에 따른 49% HF 용액에서의 질화막의 식각률

Fig. 4. Etch rate of silicon nitride in 49% HF as function of time

로 정한 것은 물을 뺀 나머지의 성분들의 끓는점이 115~118°C에 존재하기 때문에 증발을 억제하고 식각률을 높이기 위함이었다. 그리고 이 용액을 사용한 이유는 실리콘이 전부 식각된 후 Ethylenediamine, pyrocatechol, water, pyrazine의 혼합식각액의 실리콘 산화막에 대한 선택비가 높아 웨이퍼 표면에 있는 산화막이 식각정지층으로 작용할 수 있기 때문에 사용하였다. 이때 실리콘이 전부 식각이 된 후 더 이상의 식각을 막는다. 그러므로 웨이퍼의 두께와 관계없이 증착시킨 막들로 일정한 다이어프램을 얻을 수 있다. 그리고 질화막을 제거하기 위하여 사용한 용액은 49% HF를 상온에서 사



(a)



(b)

그림 5. Ethylenediamine , pyrocatechol, water, pyrazine (1L:160g:133ml:6g)으로 식각된 실리콘 웨이퍼의 SEM 사진 (a) 단면 (b) 표면

Fig. 5. SEM view of the etched silicon wafer with Ethylenediamine , pyrocatechol, water, pyrazine (1L:160g:133ml:6g) (a) surface view (b) cross-section view

용하였다. 그림 4에 식각에 따른 실리콘 질화막의 식각 깊이를 나타내었고 식각률은 약 146.7Å/min이었다. 그리고 그림 5는 식각된 실리콘의 SEM 사진을 나타낸다. (a)는 단면을 보여주는데 여기에서 측정된 경사 각도는 약 56.8°이다. 그리고 표면의 SEM의 사진 (b)는 식각된 면을 보여주는데 고른 표면을 나타내고 있다.

4. 결론

본 실험에서는 다결정 실리콘을 압착항체로 사용하여 압력센서를 제작하였다. 식각공정은 습식식각을 사용하여 진행하였다. 그리고 식각액은 Ethylenediamine , pyrocatechol, water, pyrazine (1L : 160g : 133ml : 6g)을 110℃에서 사용하여 식각률은 46.9μm/hr(0.78μm/min)를 얻었다. 그리고 다이어프램의 두께를 일정하게 하기 위하여 실리콘 벌크 식각시 증착된 막만으로 다이어프램으로 구성하여서 웨이퍼 두께와 관계없이 두께를 조절할 수 있었다.

참고문헌

1. C. C. Cheng, C. T. Lieu, M. K. Hsich, *Int. Elec.* 295-302 (1997)
2. D. Tandeske, *Pressure Sensors*, 87 (1991)
3. Y. Kanda, A. Yasukawa, *Sensors and Actuators A*, 539-542 (1997)
4. B. Semmache, P. Kleimann, M. Le Berre, M. Lemiti, D. Babier, P. Pinard *Sensors and Actuators A*, 76-81 (1995)
5. E. Steinsland, M. Nese, A. Hanneborg, R. W. Bernstein, H. Sandmo, G. Kittilsland, *The 8th Int. Conf. on Solid State Sensors & Actuators and Eurosensors IX*, 190-193 (1995)
6. A. Sonderberg, *J. Electrochem. Soc.*, 561-566 (1995)
7. Les M, Landsberger, Mojtaba Kahrizi, Makarand Paranjape, Sasan Naseh, *Sensors and Materials*, 417-426 (1995)
8. Kirt R. Williams, *J. microchem. Sys.*, 256-269 (1996)