

p+ 컨틸레버 빔을 이용한 다결정 실리콘 압저항 가속도계의 제작

°저영훈, 양의혁, 양상식
아주대학교 제어계측공학과

Fabrication of a Polysilicon Piezoresistive Accelerometer Using p+ Cantilever Beams

°Y. H. Ji, E. H. Yang, and S. S. Yang
Department of Control and Instrumentation Engineering
AJOU University

Abstract - In this study, a silicon piezoresistive accelerometer is designed and fabricated using p+ etch stop layer. The accelerometer consists of a seismic mass and four cantilevers, and is fabricated mainly by the anisotropic etching method using EPW as an etchant. Eight piezoresistors are properly arranged and connected to make a bridge circuit so that acceleration in only one direction may be measured. The etch stop method is adequate to the mass-production and the precise thickness control of the diaphragms as well, when compared with the electrochemical etch stop method.

단가가 높다는 단점이 있다. 이러한 점을 감안하여 본 연구에서는 p+ 박막을 이용한 식각정지법으로 외팔보의 두께를 조절한다.

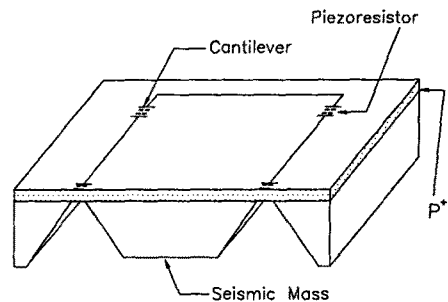
II. 구조설계 및 제작

A. 가속도계의 구조

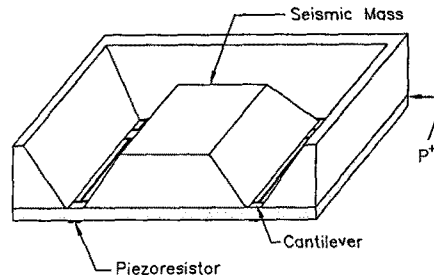
본 연구에서의 가속도계는 공진자는 메사(mesa)형의 진동추(seismic mass)와 네 개의 외팔보를 갖는 구조로 이루어진다. 그림 1은 설계된 가속도계의 구조를 나타낸다. 외

I. 서론

실리콘 소자 제조기술의 발달과 함께 실리콘 가속도계의 수요가 급격히 늘어날 전망이다. Roylance[1]등이 최초로 벨크 마이크로머시닝 기술을 이용한 실리콘 가속도계를 개발한 이후 이에 관한 많은 연구들이 진행되어 왔다.[2~4] 3 차원 구조를 갖는 실리콘 센서의 제작에는 식각공정이 가장 필수적이다. 미세한 구조를 정확히 식각하기 위해서 실리콘의 비등방성 식각액을 사용한다. 측정되는 감도와 주파수 응답 및 선형성이 이론치와 일치되려면 외팔보 두께의 조절이 가장 중요한데, 일반적으로 p 형 기판에 n 형 에피층을 성장시키고 p 형 실리콘을 전기 화학적 식각법으로 식각하여 n 형 실리콘을 외팔보로 사용하는 방법이 주류를 이루고 있다.[5, 6] 이 방법은 외팔보의 두께를 정확히 조절할 수 있다는 장점 때문에 정밀도를 요하는 센서의 제작에 유리하지만, 식각시 전위공급을 위하여 웨이퍼를 하나씩 고정시켜야 하기 때문에 대량생산공정에는 적합하지 않다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 SOI 구조를 이용하는 방법도 이용되고 있다.[7] 그러나 이 방법은 웨이퍼 자체의



(a)



(b)

그림 1. 가속도계 구조

(a) 앞면 (b) 뒷면

팔보는 3 μm 의 얇은 박막으로 이루어지고, 네 개의 외팔보를 이용하여 진동추를 지지하게 된다. 외팔보 위에는 압저항이 제작되어, 가속도로 인한 외팔보의 휨을 저항의 변화로 바꾸어준다. 가속도계의 이상적 감도, S_i 와 공진주파수, f_n 는 다음과 같다.[3]

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4Ebh^3}{Ml^3}} \quad (1)$$

$$S_i = \frac{3KMl}{4Ebh^2} \quad (2)$$

여기서, K 는 게이지 계수이고 M 은 진동추의 질량, l 은 외팔보의 길이, b 와 h 는 각각 외팔보의 폭과 두께이다. 또, E 는 탄성계수(Young's modulus)를 나타낸다. 본 연구에서는 각 구조물의 무게와 크기를 $M \approx 15 \times 10^{-6} \text{ kg}$, $l = 400 \times 10^{-6} \text{ m}$, $b = 260 \times 10^{-6} \text{ m}$, $h = 3 \times 10^{-6} \text{ m}$ 로 정한다. 또, 폴리실리콘의 붕소도핑농도가 $2.2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 일 때의 게이지 계수는 약 27이다.[8] 이 값들을 식 (1), (2)에 대입하면 계산하면 이상적 감도, S_i 는 4.17 mV/Vg이고 공진주파수, f_n 는 300.6 Hz로 계산된다. 측정 가능한 가속도의 범위는 $\pm 35 \text{ g}$ 이고 주파수 범위는 약 100 Hz이다. 가속도계를 설계할 때 원하는 방향의 가속도만을 측정하기 위해서는 측면방향의 가속도로 인한 외팔보의 휨이나 비틀림 등이 외부의 전압 측정단자에 나타나지 않도록 하여야 한다. 8 개의 압저항을 금속배선을 통하여 그림 2와 같은 브리지 회로로 구성하여 횡방향 가속도에 대한 감도를 줄일 수 있다.[3]

B. 제작공정

본 가속도계의 제작에는 비저항이 10 ~ 20 Ωcm 이고, 두

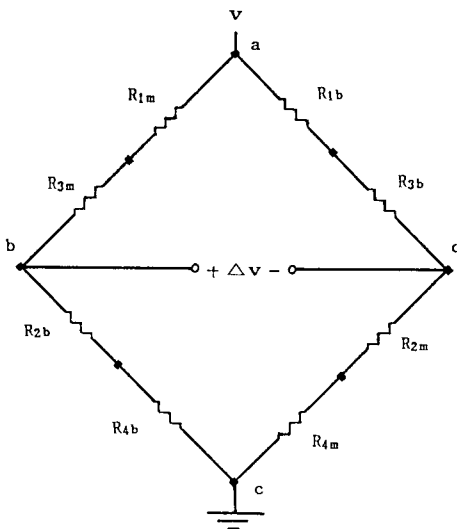


그림 2. 브리지 회로도

그림 3은 가속도계의 제작 공정도이다. 붕소 확산에 필요한 조건을 얻기 위하여 TSUPREM IV 시뮬레이션을 통하여 확산 시간과 온도를 결정하고 이를 토대로 하여 확산 공정을 행한다. 박막의 두께가 3 μm 가 되도록 하기 위하여는, 박막 표면으로부터 3 μm 떨어진 점에서의 EPW 식각액에 의한 실리콘 식각율이 약 100분의 1 이하로 떨어지게 되는 붕소 도핑 농도를 얻어야 한다.[9]

p^+ 박막의 제작을 위하여 먼저 1 μm 의 열산화막을 형성시킨 후 앞면의 산화막을 제거한다. 1100 $^{\circ}\text{C}$ 에서 500분 동안 붕소를 선확산(predeposition)한 후 10 : 1 HF 에 5분 동안 처리하고 900 $^{\circ}\text{C}$ 에서 20분 동안 습식산화시킨다. 다시 10 : 1 HF에 5분 동안 처리하여 BSG를 제거하고, 1100 $^{\circ}\text{C}$ 에서 300분 동안 건식산화한다. p^+ 박막 형성과 함께 형성된 0.3 μm 의 열산화막 위에 0.5 μm 의 폴리실리콘을 증착하고 이온주입법으로 $1.1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 의 붕소를 주입한다. 950 $^{\circ}\text{C}$, N_2 분위기에서 50분 동안 아닐링한 후 웨이퍼 앞면에 APCVD 산화막을 0.2 μm , PSG를 0.3 μm 증착한다. 저항패턴 형성을 위한 사진식각공정 후 PR을 마스크로 하여 RIE로 2분 30초 동안 폴리실리콘을 식각한다. 저항패턴의 형성이 끝나면 PR을 제거하고 다시 앞면에 CVD 산화막을 0.2 μm , PSG를 0.8 μm 증착한 후, 외팔보 패턴을 제작하기 위한 앞면의 사진식각공정을 거쳐 HF : HNO_3 : $\text{CH}_3\text{COOH} = 9 \text{ ml} : 75 \text{ ml} : 30 \text{ ml}$ 용액을 이용하여 p^+ 실리콘을 5 μm 가량 식각한다. 웨이퍼 양면에 PSG를 1.5 μm 두께로 증착한 후 양면정렬구멍을 패터닝하고, EPW 용액을 이용하여 525 μm 전체를 식각한다. 다시 뒷면의 산화막을 선택적으로 제거하고 EPW 용액을 이용하여 진동추를

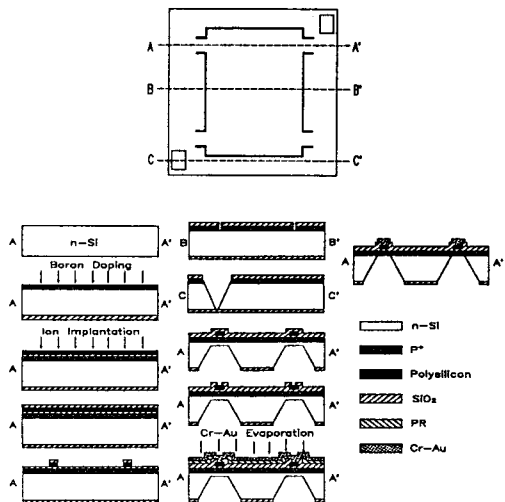
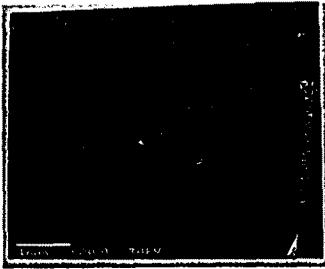
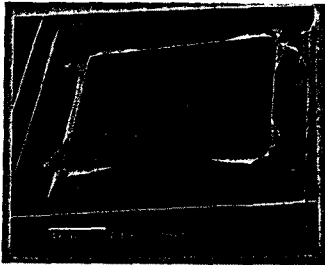


그림 3. 가속도계의 제작 공정 단면도



(a)



(b)

그림 4. 제작된 가속도계의 SEM 사진
(a) 앞면 (b) 뒷면

식각한다. 이 때, $420 \mu\text{m}$ 가량의 실리콘만을 식각하고 나머지 $100 \mu\text{m}$ 두께의 실리콘은 마지막 공정에서의 식각을 위하여 남겨둔다. 집속장을 형성하고 금속배선을 위한 사진식각공정을 행한다. 열진공증착기를 이용하여 Cr-Au를 증착하고 lift-off법을 이용하여 브리지 회로를 구성한다. 앞면의 공정을 마치고 뒷면의 남은 $100 \mu\text{m}$ 를 식각하여 진동추 제작을 완료한다. 이 때, 가속도계의 진동추는 mesa 형태이므로 진동추 식각시 모서리 부분의 하부부식을 방지하기 위하여 (212) 면의 식각률을 고려한 보상 마스크를 사용한다.[3] 그림 4는 제작된 가속도계의 SEM 사진을 나타낸다.

III. 결론

p^+ 박막을 식각정지막으로 이용하여, 자동차의 현가장치, 반제동장치 등에 응용 가능하고 대량생산공정에 적합한 실리콘 압저항 가속도계를 설계하고 제작하였다. 본 가속도계의 동작에 대한 역학적 해석에 관하여는 이미 연구되어 있으며, 여기서는 식각정지층을 이용한 외팔보의 두께조절에 중점을 두었다. 8 개의 압저항을 적절히 배열하여 한 방향의 가속도만을 감지하도록 브리지 회로를 구성하였다.

진동추 식각시 하부부식을 방지하기 위하여 보상된 마스크를 사용하였다. 제작 결과, p^+ 박막을 이용한 가속도계의 제작방법이 외팔보를 이루는 박막의 두께조절에 유리함을 알 수 있었다. 가속도계의 제작시 p^+ 박막을 이용하면 대량생산공정으로의 응용이 용이하므로, 전기화학적 식각법에 의한 제작보다 적절한 방법이라 생각된다.

참고 문헌

- [1] L. M. Roylance and J. B. Angell, "A Batch - Fabricated Silicon Accelerometer," IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-26, pp. 1911-1917, Dec. 1979.
- [2] Y. Yamada, K. Higuchi and H. Tanigawa, "A Novel Silicon Accelerometer with a Surrounding Mass Structure," Transducers '89 Digest, pp. 308-311, Montreux, Switzerland, June 1989.
- [3] 양 의 혁, 양 상 식, "압저항 가속도계를 위한 실리콘 공진자에 관한 연구," 대한 전기학회 논문지, 41권, 10호, pp. 1164-1171, 1992.
- [4] C. Burrer, J. Esteve, J. A. Plaza and M. Bao, "Fabrication and Characterization of a Twin-Mass Accelerometer," Transducers '93 Digest, Yokohama, Japan, pp. 840-843, June 1993.
- [5] T. N. Jackson, M. A. Tischler and K. D. Wise, "An Electrochemical P - N Junction Etch - Stop for the Formation of Silicon Microstructures," IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-2, pp. 44-45, Feb. 1981.
- [6] B. Kloeck, S. D. Collins, N. F. D. Rooij and R. L. Smith, "Study of Electrochemical Etch-Stop for High-Precision Thickness Control of Silicon Membranes," IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-36, pp. 663-669, April 1989.
- [7] 양 의 혁, 양 상 식, "A Silicon Piezoresistive Accelerometer with Silicon-on-insulator Structure," 대한전기학회 논문지, 43권, 6호, pp. 1036-1038, 1994.
- [8] E. Obermeier, P. Kopstynski and R. Nießl, "Characteristics of Polysilicon Layers and Their Application in Sensors," IEEE Solid-State Sensors Eorkshop, pp. 4-7, 1986.
- [9] H. Seidel, "The Mechanism of Anisotropic Silicon Etching and Its Relevance for Micromaching," Transducers '87 Digest, pp. 120-125, Tokyo, Japan, June 1987.