

논문 94-3-1-03

## 사각뿔 형태의 Mass 보상된 실리콘 압저항형 가속도 센서\*

손병복\*, 이재곤\*, 최시영\*\*

## Silicon Piezoresistive Acceleration Sensor with Compensated Square Pillar Type of Mass

Byoung-Bok Sohn, Jae-Gon Lee, and Sie-Young Choi

## 요 약

KOH와 같은 이방성 식각수용액을 사용하여 직각모양의 불룩한 가장자리를 식각할 때, 언더컷팅에 의해 가장자리가 뭉개어지는 현상이 나타난다. 그래서 이 현상을 방지하기 위해 mass 패턴을 수정할 필요가 있어 보상법에 관한 실험을 하였다. 가속도센서 소자공간을 고려할경우 정사각형의 보상구조로 mass를 보상하는 것이 적당하다는 결과를 얻었다. 이 결과를 기초로, SDB 웨이퍼를 이용하여 사각뿔 형태의 mass 보상된 실리콘 압저항형 가속도센서를 제조하였다.

## Abstract

When etching rectangular convex corners of silicon using anisotropic etchants such as KOH, deformation of the edges always occurs due to undercutting. Therefore, it is necessary to correct the mass pattern for compensation. Experiments for the compensation method to prevent this phenomenon were carried out. In the result, the compensation pattern of a regular square is suitable for acceleration sensors considering space. With this consequence, silicon piezoresistive acceleration sensor with compensated square pillar type of mass has been fabricated using SDB wafer.

## I. 서 론

센서제조기술은 반도체 집적회로 기술에 미세가공(micromachining)기술이 첨가되어 실리콘의 이방성이나 불순물 농도차이 등을 이용하여 웨이퍼 상에 구멍, 홈, 피라미드형과 같은 여러가지 형상의 기계소자를 조립할 수 있게 되었으며<sup>[1-3]</sup> 힘, 압력, 가속도센서 등에 이용되고 있다. 화학 용액에 의한 실리콘의 식각은 1950년대 초에 시작되었으나, KOH 수용액을 이용한 이방성 식각법은 1967년 H. A. Waggener등<sup>[4]</sup>이 처음 보고하였다. 그리고 1970년대 말부터 K. E. Bean등<sup>[5]</sup>

에 의해 실리콘 이방성 식각에서 직각모양의 불룩한 가장자리의 언더컷팅에 대한 보상법과 보상구조에 관한 연구가 되어왔다. 특히 소자의 좋은 감도와 특성을 위해 미세가공 실리콘, 예를들면 가속도센서의 mass 제조에서 불룩한 가장자리의 언더컷팅을 방지하기 위해 집중적인 가장자리 보상법을 개발하여 왔다.<sup>[6-8]</sup> 이러한 보상법은 보상에 관한 수식이 이해하기가 어렵고, 보상구조 또한 복잡하여 보다 간단한 보상구조가 요구되고 있다. 가속도센서의 핵심부인 미세기계구조부는 실리콘 미세가공기술로 제조된 다이아프램, cantilever, air-bridge등의 구조를 많이 이용하고 있다. 이러한 미세 가공기술로는 KOH,<sup>[9]</sup> EPW,<sup>[10]</sup> Hydrazine<sup>[11]</sup>등의 이방성 식각용액으로 실리콘 기판을 3차원 식각하여 단결정 실리콘 미세구조를 제조하는 기관 미세가공(bulk micromachining)법<sup>[1,2]</sup>과 기관 산화층위에 다정질 실리콘등의 박막을 형성하고 이를 선택적으로 식각하는 표면 미세가공(surface micromachining)법<sup>[12]</sup>이 있다. 표면 미세가공법은 단결정 실

\* 慶北大學校 電子工學科  
(Dept. of Electronics, Kyungpook Nat'l Univ.)

\*\* 正會員 : 慶北大學校 電子工學科  
(Dept. of Electronics, Kyungpook Nat'l Univ.)  
<접수일자 : 1994년 1월 5일>

※ 본 논문은 센서기술연구소의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

리콘의 미세기계구조를 만들 수 없고, 공정이 복잡하다는 단점이 있다. 이방성 식각용액을 이용한 기판 미세가공법은 단결정 실리콘의 미세기계구조를 만들 수 있고, 표면 미세가공법보다 제조공정이 간단하나 긴 식각시간이 필요하다.

본 연구에서는 KOH 식각 수용액을 사용하여 직각 모양의 불룩한 가장자리를 식각할 때, 언더컷팅으로 인해 가장자리가 뭉개어지는 현상을 방지하기 위하여 보다 간단한 보상구조 형성을 위한 가장자리 보상에 관한 실험을 하였다. 그리고 SDB(silicon direct bonding) 기술을 이용하여 만든 실리콘 웨이퍼로 중간부분의 실리콘 산화막을 etch-stop층으로 하고 이방성 식각법을 이용하여 가속도센서의 핵심부인 사각뿔 형태의 mass를 제조하였으며, 이를 가속도센서 제조에 적용하여 보았다.

## II. 실험 및 측정

### 1. Mass 보상을 위한 마스크 제작 및 실험

최종적으로 원하는 mass의 크기와 부피를 남기기 위해, 처음부터 mass 패턴에 첨가되는 보상구조가 필요하게 된다. 보상구조들 중에서 삼각형태는 넓은 공간을 차지하기 때문에 작은 소자에는 적합하지 않다는 것을 알 수 있었고, 가속도센서 등과 같이 공간이 작은 소자인 경우 정사각형태의 보상이 적합하였다.

그래서, 뿔형태, 정사각형태 보상구조를 첨가하여 마스크를 제작하였다. 사각뿔 형태의 mass 보상을 위

해 정사각형의 보상구조를 mass 패턴의 안쪽 정사각형의 가장자리를 대각선으로 연장하여 정사각형 보상구조의 중점을 옮겨가면서 마스크를 제작하였다. 그림 1은 mass 보상에 관한 마스크 형태와 mass를 제조했을 때 단면도를 나타낸 것이다. 정사각형 보상구조들 중에서 (b)는 x 길이의 2/3 되는 대각선상의 점, (c)는 x 길이의 대각선상의 점, (d)는 x 길이의 10/9 되는 대각선상의 점이다. 여기서 x는  $T/\tan 54.74^\circ$  이고, T는 원하는 식각깊이다.

실험에 사용된 웨이퍼는 두께  $625 \pm 25 \mu\text{m}$ , 비저항  $10 \sim 25 \Omega \cdot \text{cm}$ 인 p형 (100) 5 inch 실리콘이다. 식각은  $\text{KOH} : \text{H}_2\text{O} = 30\text{g} : 100\text{ml}$ 의 수용액으로  $80^\circ\text{C}$ 에서 행하였으며, 식각율은  $1.25 \mu\text{m}/\text{min}$ 이었다. KOH 수용액의 실리콘 식각 마스크로는 습식 산화법으로 성장시킨 약  $1 \mu\text{m}$ 의 실리콘 산화막을 이용하였다.

### 2. 소자의 설계 및 마스크 제작

압저항형 실리콘 가속도센서는 웨이퍼를 부분적으로 식각하여 사각뿔 형태의 mass를 만들고 마주보는 일직선상에 있는 2개의 빔 가장자리에 4개의 확산 저항체를 브릿지회로 형태로 연결시킨 모양을 갖는다.

그림 2는 본 실험을 위하여 설계한 가속도 센서의 레이아웃 형태도이다. 하나의 소자 크기는  $3.4 \times 3.4 \text{mm}^2$ 이고, mass의 크기는 윗면이  $1.48 \times 1.48 \text{mm}^2$ , 밑면이  $1.1 \times 1.1 \text{mm}^2$ , 그리고 빔의 길이는  $200 \mu\text{m}$ 로 각각

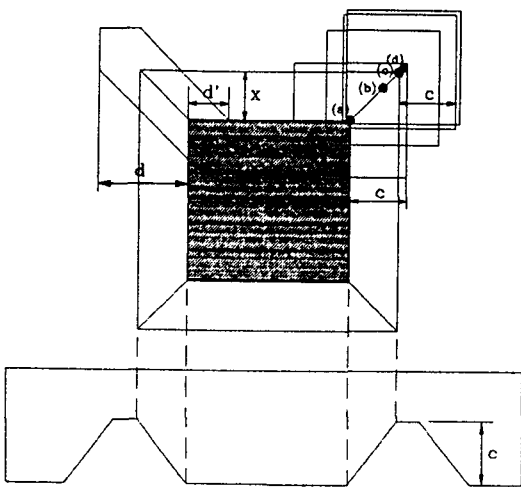


그림 1. mass 보상에 관한 마스크 형태와 칩의 단면도  
Fig. 1. Mask configuration for mass compensation and cross sectional view of chip.

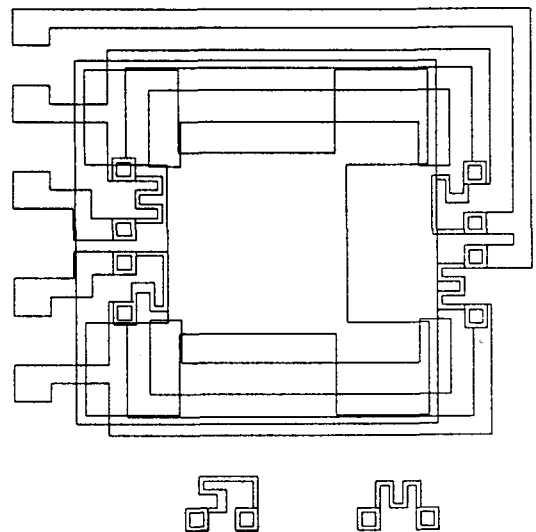


그림 2. 가속도센서의 칩 형태  
Fig. 2. Chip configuration of acceleration sensor.

설계하였고, 저항은 2kΩ을 가지며 가속도의 변화에 대한 감도에 있어 최대가 되도록 프레임과 빔의 교차지점에 위치하게 하였다. 여기서 계산상의 mass 질량은 1.6mg 이었다.

**3. 소자 제조공정 및 측정**

본 실험에서 사용된 기판은 먼저 (100) p형 실리콘 위에 p형 에피층 20μm를 올린 웨이퍼와 (100) p형 실리콘에 산화막을 형성한 웨이퍼를 SDB 기술로 만든 후 mass를 형성하는 쪽의 웨이퍼를 300μm로 lapping 및 polishing을 행한 웨이퍼이다. 그림 3은 본 실험에 사용한 기판 단면도이다.

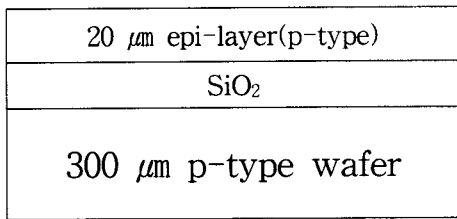


그림 3. 기판의 단면도

Fig. 3. Cross sectional view of substrate.

위에서 준비한 기판을 가지고 표 1의 미세구조의 제조조건과 공정순서에 따라 가속도센서를 제조하였다. 그림 4는 가속도센서 제조공정의 순서를 2차원적인 단면으로 나타내고 있다. 먼저 실리콘 식각 마스크로 이용하기 위해 1μm 실리콘 산화막을 습식 산화법으로 성장시켰다. 양면 마스크 정렬기(double-sided mask aligner)로 양면 사진식각(photolithography)을 하여 앞면의 저항형성 부분과 뒷면의 빔과 mass가 형성될 부분의 산화막을 BHF 용액으로 제거하여 가속도센서의 감지부인 저항체를 형성하였다. 즉 사진식각법을 이용하여 n<sup>+</sup> 확산층을 연 다음 인(phosphorus) 불순물원을 사용하여 950°C에서 30분간 선확산한 후, 1100°C에서 90분간 후확산하여 저항영역을 형성하였다. 이 때 형성된 저항의 표면농도와 접합깊이는 각각  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  및 약 1μm 였다. 이때의 저항은 미세구조에 가해지는 진동, 충격, 가속도 등의 물리량, 즉 응력을 감지하여 저항의 변화를 전기신호로 바꾸어 주는 역할을 한다. 그리고 앞면의 실리콘 에피층 20μm를 KOH 수용액으로 이방성 식각을 행하였다. 전기적 연결을 하기 위한 금속화공정은 후확산 공정에서 미세 기계구조 부분위에 성장된 실리콘 산화막을 이용하여

사진식각법을 행한 후 접촉부의 실리콘 산화막을 제거하고 Al을 진공증착하여 전극을 형성하였다. 마지막으로, 앞공정에서 뒷면의 빔과 mass가 형성될 부분의 산화막을 제거해 놓은 부분을 KOH 이방성 식각액으로 300μm의 실리콘을 식각하였다.

표 1. 가속도센서 미세구조의 제조 공정조건

Table 1. Fabrication conditions of acceleration sensor microstructures

Process	Conditions
KOH mask oxidation	1100°C 5 hour, wet O <sub>2</sub>
n <sup>-</sup> predeposition	950°C, 30 min, N <sub>2</sub>
n <sup>-</sup> drive-in	1100°C, 90 min, wet O <sub>2</sub>
Front-side Si etching	KOH : H <sub>2</sub> O = 30g : 100ml 80°C, 20 min
Back-side Si etching	KOH : H <sub>2</sub> O = 30g : 100ml 80°C, 240 min

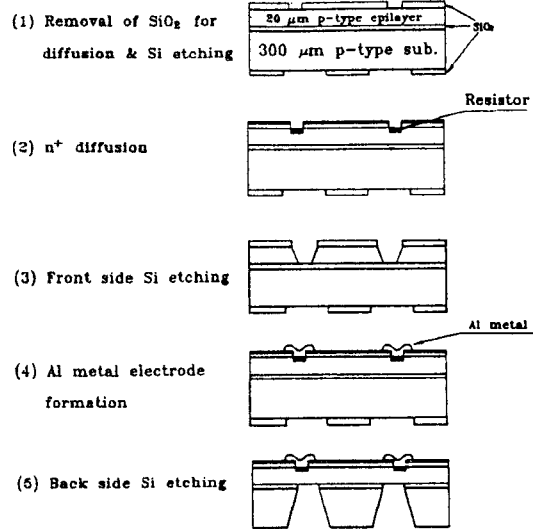


그림 4. 공정순서에 따른 가속도센서 제조의 단면도

Fig. 4. Cross sectional view of acceleration sensor fabrication by process sequence.

빔과 mass는 가속도센서에서 가속도에 의해 작용되는 힘을 받아들이며 빔의 휨과 응력에 의해 저항변화를 일으키게 하는 부분이다. 이때, KOH 수용액이 Al 금속 전극을 부식시키는 것을 막기 위하여 이 부분을 왁스로 바른 후 그 위에 glass를 얹고 실리콘 고무로 패던 가장자리를 밀봉하여 충분히 경화시켰다.

본 연구에서 제조한 압저항형 가속도센서에 대해서

브릿지의 저항은 HP 4145B 로 측정하였고, 사각뿔 형태의 mass 질량은 mass 부분만 잘라내어 미세질량 측정 전자저울로 측정하였다.

### III. 결과 및 고찰

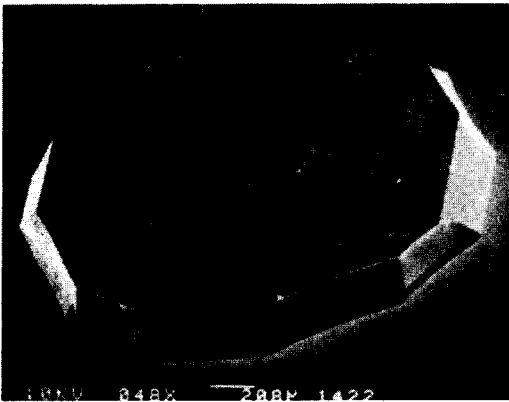
#### 1. 사각뿔 형태의 mass 구현

KOH 이방성 식각용액을 사용하여 사각뿔 형태의 실리콘 mass를 제조할때, 언더컷팅에 의해 가장자리가 뭉개어지는 현상은 소자의 감도 및 특성을 위해 바람직하지 못한 현상이다. 그래서 주로 뿔형태와 정사각형태의 보상구조에 관한 실험을 하였다.

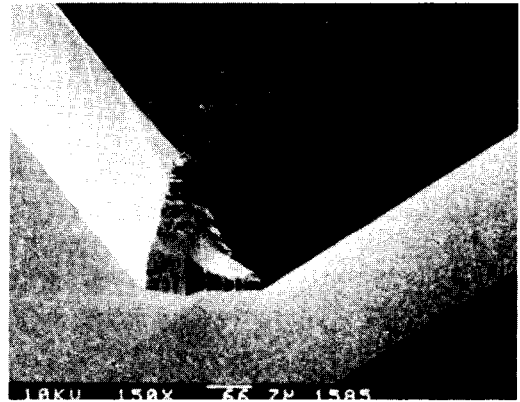
그림 5는 보상구조를 정사각형으로 한 경우, 보상조건에 따른 사각뿔의 mass 모양에서 가장자리를 SEM으로 찍은 것이다. 그림 5(a)는 보상구조를 첨가하지 않은 것인데, 가장자리가 언더컷팅 되어 윗면이 거의

팔각형이 되었다. 이것으로 보아 보상구조가 첨가되어야 한다는 것을 알 수 있다. 그림 5(b)는 mass 보상 마스크 형태를 나타내는 그림 1에서 점 (a)을 중점으로, 그림 5(c)는 점 (b)를 중점으로, 그림 5(d)는 점 (c)를 중점으로 하여 각각 정사각형의 보상구조를 첨가한 후 식각한 mass의 가장자리 모양을 나타내고 있다. 이 그림들로부터 그림 1의 점 (c)를 중점으로 보상한 경우가 가장 잘 보상되었다. 뿔형태의 보상구조인 경우도 정사각형의 경우처럼 잘 보상되었으나 정사각형의 보상구조보다 넓은 보상공간이 필요했다.

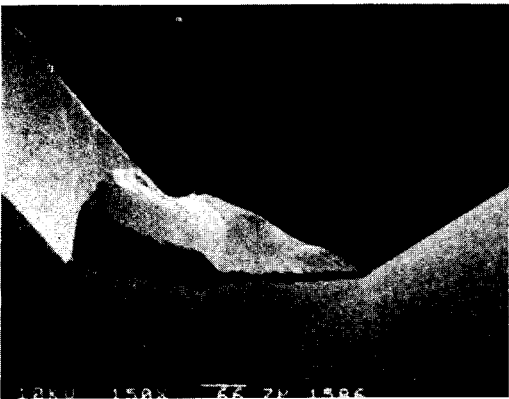
그림 6은 정사각형의 보상구조인 경우, 이방성 식각을 행한후 사각뿔 형태 mass의 SEM 사진이다. 보다 명확하게 가장자리를 보기 위하여 기울기를 주었다. 최종적으로 원하는 사각뿔 형태의 mass 제조 결과를 보여주고 있다. 위의 결과들로부터 가속도 센서와 같이 보상공간이 좁은 소자에는 정사각형의 보상구조가



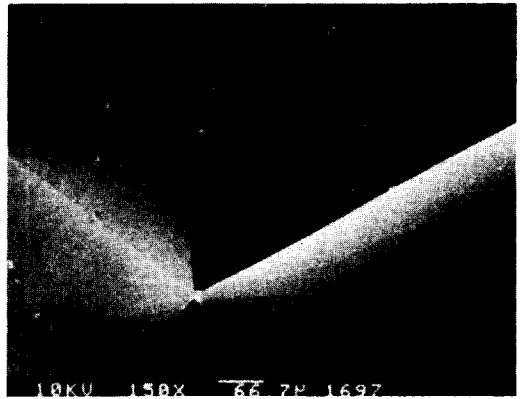
(a) 보상구조를 첨가하지 않은 경우



(c) 그림 1의 점(b)을 중점으로 보상한 경우



(b) 그림 1의 점(a)을 중점으로 보상한 경우



(d) 그림 1의 점(c)을 중점으로 보상한 경우

그림 5. 보상조건에 따른 mass 가장자리의 SEM 사진

Fig. 5. SEM photograph of mass edge by compensation condition.

적합하다는 것을 알았다.

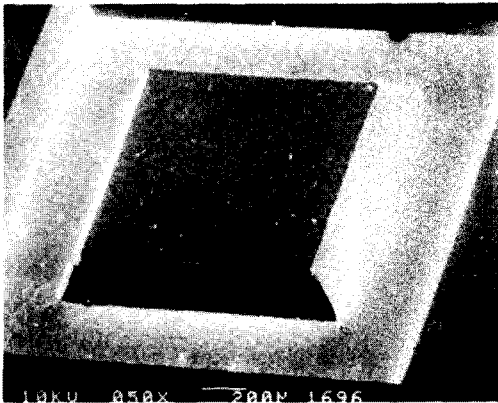
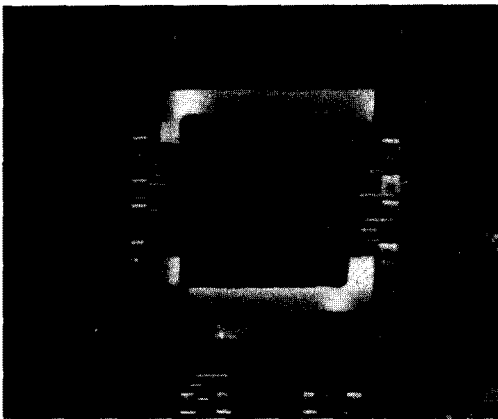
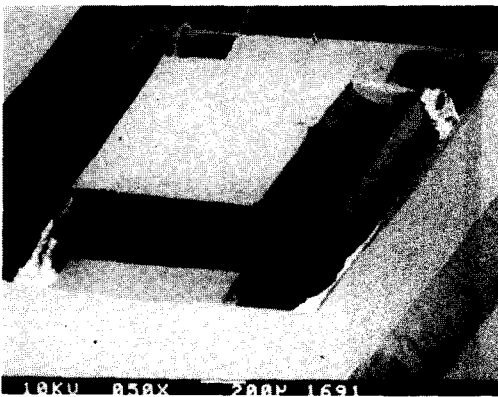


그림 6. 식각되어진 mass의 SEM 사진  
Fig. 6. SEM photograph of an etched mass.



(a) 소자의 앞부분

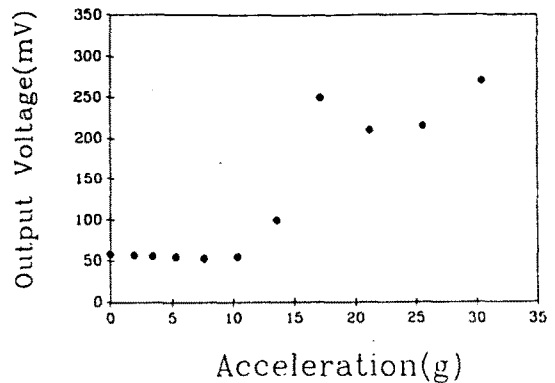


(b) 소자의 뒷부분

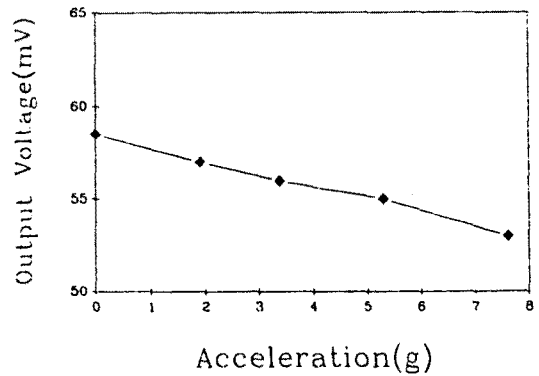
그림 7. 제조된 소자의 사진  
Fig. 7. Photograph of the fabricated device.

2. 가속도센서 제조에 적용

본 실험에서는 실리콘 미세 가공기술을 이용하여 가속도센서의 핵심부인 미세 기계구조부를 다이아프램 형태의 구조로 제조하였다. 그림 7(a)는 제조된 소자의 앞부분, 즉 브릿지형의 저항과 전극을 나타내며, 빔의 가장자리에 형성한 저항은 HP 4145B로 측정되어졌다. 4개의 브릿지 각 저항은 설계상으로는 2 kΩ 이었으나, 실험공정, 확산조건 등의 원인으로 약 1.5 kΩ 이었다. 그리고 4개의 저항도 각각 약간의 오차가 생겼다. 그림 7(b)는 뒷부분인 mass와 빔의 형태를 보여주고 있다. 사각뿔 형태의 mass 질량은 계산상의 질량이 1.6mg이었으나, 전자 저울로 측정한 결과 약 1.5mg 이었다. 이것은 마스크 제작, 실험공정 등의 오차에 기인된 것 같다.



(a) 전반적인 g에 대하여



(b) 낮은 g에 대하여

그림 8. 가속도에 따른 출력 전압 특성  
Fig. 8. Output voltage characteristics by acceleration.

제조되어진 가속도센서에 가속도를 가함에 따른 출력 전압특성을 그림 8에 나타내었다. 1~8g의 낮은 g

에서는 선형적으로 감소하는 특성을 보여주었다. 여기서 감도는 약 0.8 mV/V·g 이었다.

#### IV. 결 론

KOH 이방성 식각용액을 사용하여 사각뿔 형태의 실리콘 mass를 제조하고자 할때, 언더컷팅에 의해 가장자리가 뭉개어지는 현상은 소자의 감도및 특성을 위해 바람직하지 않는 것이다. 그래서 뿔형태와 정사각형태의 보상구조에 관해 실험을 하였다. 가속도센서 소자공간을 고려할경우 무엇보다 정사각형의 보상구조로 사각뿔 형태의 mass를 보상하는 것이 적당하다는 결과를 얻고, 실험과 연구를 통해 최적의 보상조건을 찾았다. 즉 원하는 식각깊이의 대각선 가장자리를 중점으로 하는 경우가 완전한 사각뿔 형태의 mass를 제조하는데 최적의 정사각형 보상구조임을 알아내었다.

위의 결과를 토대로, SDB 웨이퍼를 이용하여 실리콘 압저항형 가속도센서의 완전한 사각뿔 형태의 mass가 실현된 소자를 제조할 수 있었다. 가속도센서에서 형성되어진 저항의 표면농도, 접합깊이 그리고 저항은 각각  $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ , 1 $\mu\text{m}$ , 1.5k $\Omega$  였다. 1~8g의 낮은 g에서는 선형적으로 감소하는 특성을 보여주었으며, 감도는 약 0.8mV/V·g 이었다. 앞으로 mass의 정량화와 가속도에 따른 저항변화의 측정 등에 대한 연구가 보완된다면 보다 특성이 우수한 압저항형 가속도센서를 제조할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

[1] O. N. Tufte, P. W. Chapman, and D. Long, "Silicon diffused element piezoresistive diaphragms," *J. Appl. Phys.*, vol. 33, no. 11, pp. 3322-3327, 1962.

[2] E. Bassous, "Fabrication of novel three-dimensional microstructures by the anisotropic etching of (100) and (110) silicon," *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol. ED-25, no. 10,

pp. 1178-1184, 1978.

[3] E. Bassous and E. F. Baran, "Nozzles by the anisotropic etching of (100) Si," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 130, no. 6, pp. 1413-1420, 1983.

[4] H. A. Waggener, R. C. Kragness, and A. L. Taylor, "Two-way etch", *Electronics*, vol. 40, no. 23, pp. 274-278, 1967.

[5] K. E. Bean, "Anisotropic etching of silicon," *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol. ED-25, no. 10, pp. 1185-1193, 1978.

[6] B. Puers and W. Sansen, "Compensation structures for convex corner micromachining in silicon," *Sensors and Actuators*, A21-23, pp. 1036-1041, 1990.

[7] H. L. Offereins, H. Sandmaier, K. Marusczyk, and A. Pettner, "Compensating corner undercutting of (100) silicon in KOH," *Sensors and Materials*, vol. 3, no. 3, pp. 127-144, 1992.

[8] Xian Ping Wu and Wen H. Ko, "A study on compensating corner undercutting in anisotropic etching of (100) silicon," *Transducers' 87*, pp. 126-129, 1991.

[9] E. D. Palik, V. M. Bermudez, and O.J. Glembocki, "Ellipsometric study of orientation-dependent etching of silicon in aqueous KOH," *J. Electrochem. Soc. : Solid-State Science and Technology*, vol. 132, no. 4, pp. 871-884, 1985.

[10] Xian-Ping Wu, Quing-Hai Wu, and Wen H. Ko, "A study on deep etching of silicon using ethylene-diamine-pyrocatechol-water," *Sensors and Actuators*, vol. 9, pp. 333-343, 1986.

[11] M. Mehregany et al., "Anisotropic etching of silicon in hydrazine," *Sensors and Actuators*, vol. 13, pp. 375-390, 1988.

[12] R. T. Howe, "Surface micromachining for microsensors and microactuators," *J. Vac. Sci. Technol. B*, vol. 6, no. 6, pp. 1809-1813, 1988.

---

 著 者 紹 介
 

---


**손 병 복**

1967년 1월 22일생. 1992년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1994년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1994년~현재 현대전자 반도체 연구소 근무 중. 주관심 분야 : 반도체 가

속도센서 및 압력센서.


**이 재 근**

1966년 9월 5일생. 1989년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1993년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1993년~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 주관심 분야 : 반

도체 적외선 센서, 반도체 물리센서 등.

**최 시 영**

『센서학회지 제1권 제1호』 논문 92-11, p. 100 참조.

현재 경북대학교 전자공학과 교수.