

論文99-36D-7-4

빔 위치변화에 따른 4빔 압저항형 실리콘 가속도 센서의 제조 및 특성비교

(Fabrication and Characteristics Comparison of Piezoresistive Four Beam Silicon Accelerometer Based on Beam Location)

申鉉沃*, 孫承賢**, 崔時永**

(Hyun Ok Shin, Seung Hyun Son, and Sie Young Choi)

요 약

4빔 브릿지형 압저항형 실리콘 가속도 센서에서 빔의 위치가 가속도 센서의 특성에 어떤 영향을 주는지 조사하기 위해서 빔의 위치가 서로 다른 3가지 형태의 가속도 센서를 FEM(finite element method)을 사용하여 해석하고, SDB(silicon direct bonding) 웨이퍼를 사용하여 RIE(reactive ion etching)와 KOH(potassium hydroxide) 에칭 공정으로 제조하였다. 세가지 형태의 가속도 센서에 대한 FEM 해석 결과, 첫 번째 공진 주파수와 Z축 감도는 세구조 모두 같게 나타났으나, 두 번째와 세 번째의 공진 주파수 및 X, Y축의 감도는 다른 것으로 나타났다. 제조된 가속도 센서의 특성을 살펴볼 때, 세 가지 형태의 센서는 비록 첫 번째 공진 주파수와 Z축 감도가 정확하게 일치하지는 않았지만, 첫 번째 공진 주파수는 1.3 ~ 1.7 kHz, Z축 감도는 5 V 인가시 180 ~ 220 $\mu\text{V}/\text{G}$, 타측감도는 1.7 ~ 2 %를 가지는 것으로 나타났다.

Abstract

In order to examine the effect of beam location on the performance of bridge type piezoresistive silicon accelerometer, three sensors having different location of beams were simulated by FEM(finite element method) and fabricated by RIE(reactive ion etching) and KOH etching method using SDB(silicon direct bonding) wafer. Results of the FEM simulation present that the 1st resonance frequency and Z axis sensitivity of each sensor are identical but the 2nd, and the 3rd resonance frequency and X,Y axis sensitivity are different. Even though the 1st resonance frequency and Z axis sensitivity measured from fabricated sensors do not perfectly coincide with each other, all 3 type sensors present 180 ~ 220 $\mu\text{V}/\text{G}$ of Z sensitivity at 5 V supply voltage and 1.3 ~ 1.7 kHz of the 1st resonance frequency and about 2 % of lateral sensitivity.

* 正會員, 모토로라 코리아(주) 技術研究所 센서개발팀
(Advanced Technology R & D Center, Motorola Korea Limited)

** 正會員, 慶北大學校 電子·電氣工學部
(School of Electronic & Electrical Engineering, Kyoungpook National University)

接受日字:1998年9月21日, 수정완료일:1999年6月18日

I. 서 론

자동차, 기차, 항공기 및 선박 등 운송분야와 공장 자동화 관련 장비 등에서 높은 수요가 기대되는 가속도 센서는 가속도, 진동 및 충격 등의 물리량을 감지하여 전기적 신호로 변환시키는 센서이다. 이러한 가속도 센서는 특히 자동차 산업분야에서 많은 수요가 기대되고 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 센서의 대

부분은 기계식이나 압전방식이기 때문에 구조가 복잡하고 크며 고가인 단점을 가지고 있다. 이에 반해 실리콘을 이용한 모노리식 가속도 센서는 값이 싸며^[1] 소형, 경량화가 가능하며 대량 생산할 수 있는 장점을 가지고 있다. 현재 전 세계적으로 실리콘의 우수한 기계적 성질^[2]을 바탕으로 집적회로 기술을 이용한 가속도 센서를 개발하려는 연구가 광범위하게 행해지고 있다.

반도체형 가속도 센서는 미세구조에 가해지는 응력을 전기적 신호로 바꾸어주는 방식에 따라 압저항형, 압전형, 용량형^[3] 등으로 나누어진다. 이들 중 압저항형 방식은 저가격과 대량 생산용으로 가장 신뢰할 수 있는 장점을 가지고 있다.

압저항형 가속도 센서는 기본적으로 변형하는 빔에 의해 지지되는 진동하는 질량체로 구성된 기계적인 구조이다. 이 칩이 가속도를 받을 때 질량체에 의한 관성력은 빔에 응력을 야기하며 빔위에 횡스톤 브릿지로 구성되어 있는 압저항의 변화를 가져오게 된다. 현재 이 압저항형 가속도 센서에 관한 다양한 구조가 보고되고 있다. 가장 간단한 실리콘 가속도 센서의 구조는 실리콘 질량체를 지탱하기 위해 하나의 빔만을 사용하는 캔틸레버(cantilever) 구조^[4]이다. 그러나 큰 타축감도와 대량생산을 하기에는 빔이 파괴되기 쉽다는 단점이 이 구조의 문제점으로 지적되고 있다. 더 정교하고 세련된 구조는 두 개이상(네 개, 여섯 개, 여덟 개)의 빔을 사용하여 서로 다른 반대쪽 끝에서 질량체를 지탱하는 것이다.

본 연구는 4빔 브릿지형 가속도 센서에 대한 빔의 위치변화에 따른 특성의 비교를 목표로 하였다. 이를 위하여 4빔 압저항형 가속도 센서의 특성을 결정하는 요소인 빔의 두께, 길이, 길이와 질량체의 무게, 빔의 수를 고정시킨 상태에서 빔 위치만을 변화시켜 빔 위치가 다른 세 가지 형태의 가속도 센서를 설계 및 제작하였다. 소자특성의 이론적 예측을 위하여 ANSYS (SASI-Swanson Analysis System, Inc.)를 이용한 유한요소법(finite element method)^[5]을 이용하였다. 압저항형은 유한요소법으로 자세한 응력의 분포 해석이 가능하기 때문에 저항의 크기와 위치도 최적화할 수 있는 장점이 있다. 이 결과를 바탕으로 빔 위치가 서로 다른 세 가지 형태의 가속도 센서를 SDB 웨이퍼를 이용하여 제작하였다. 가속도 센서의 미세 구조를 형성하기 위하여 KOH 식각^[6]과 RIE 식각^[5]

을 행하였다. KOH 식각 수용액을 사용하여 정교한 직각 모양의 질량체 가장자리를 식각 할 때, 언더커팅으로 인해 가장자리가 뭉개지는 현상을 방지하기 위해 보상식을 이용하여 간단한 보상구조^[7]를 질량체의 가장자리에 설계하였다.

제작된 센서의 질량체 무게와 형태별 센서감도, 타축감도 및 1st, 2nd, 3rd 공진주파수를 측정하였다. 이 결과를 바탕으로 센서감도와 타축감도를 퍼센트로 비교하였다.

II. 해석 및 실험

1. FEM 해석

벌크(bulk) 마이크로머시닝을 이용한 압저항용 4빔 가속도 센서의 빔의 위치에 따른 특성을 비교하기 위하여, n형 (100) 웨이퍼를 사용하여 빔을 압저항 효과가 큰 [110] 방향으로 위치시켰다. 이 때 설계 될 수 있는 3 가지 형태의 가속도 센서를 ANSYS를 사용하여 해석하였다. 각각의 가속도 센서는 빔의 두께나 길이, 폭 및 질량체의 무게등과 같은 기계적인 구조는 모두 같고 단지 빔 위치만 다르게 설계되었다. 여기서 빔은 얇은 shell로 보아 두께 방향으로 균일한 응력과 변형을 갖는다고 가정하여 해석하였다. 해석결과 얻은 응력 분포는 빔 윗쪽 표면에서의 응력 분포가 된다.

그림 1의 [A]는 Z축으로 가속도를 받았을 때, [B]와 [C]는 타축으로 가속도를 받았을 때 각각의 형태에서의 응력 분포를 나타내고 있다. 여기서 Z축, 타축은 각각 질량체에 어떠한 힘도 가해지지 않았을 때 그 질량체 평면에 수직인 축과 평행한 축이다. 가속도를 받았을 때는 빔의 가장자리에서 응력이 양의 값으로 최대가 되는 것을 볼 수 있다.

표 1에서는 세 가지 형태의 가속도 센서가 빔의 두께나 길이, 폭, 질량체의 무게, 기계적인 구조는 모두 같고 단지 빔 위치만 다를 때의 ANSYS 해석 결과를 보여주고 있다. 여기서 빔의 방향은 압저항 효과가 큰 [110] 방향으로 위치시켰으며 길이는 560 μm , 폭은 160 μm , 두께는 20 μm 로 설계하였다. 또 설계한 매스 질량은 1.92 mg 이다. 표 1의 해석 결과를 살펴보면 [A]와 [B] 및 [C] 형태의 1st 공진주파수와 감도는 서로 같음을 알 수 있다. 그러나 2nd, 3rd 주파수 및 타축감도는 다른 것으로 나타났다. 타축감도를 살펴볼 때 [C]가 가장 작은 타축 감도를 보이는 것으로

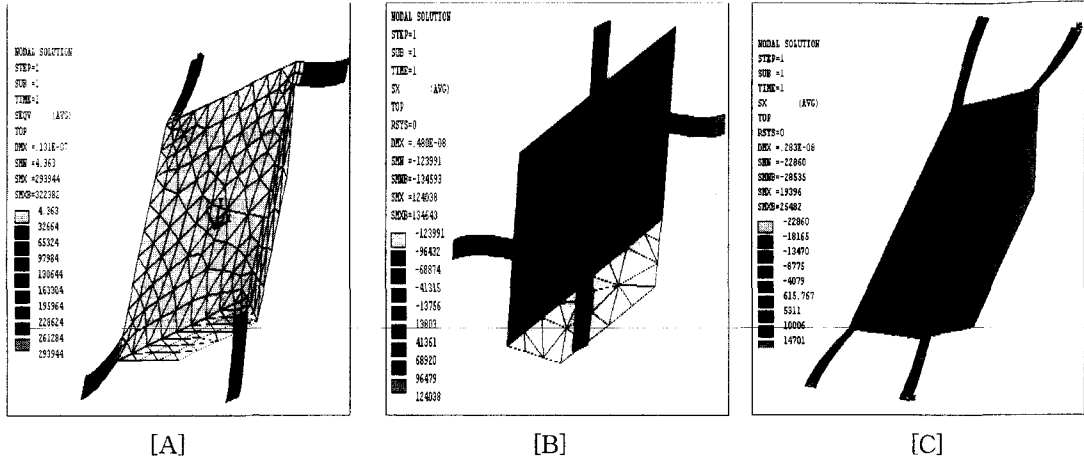


그림 1. ANSYS 해석에 의한 3 가지 형태의 가속도 센서의 응력 분포
 Fig. 1. Stress distribution of 3 type accelerometers by ANSYS simulation.

나타났다. 표 1에서 X축은 질량체에 어떠한 힘이 가해지지 않았을 때 그 질량체에 평행한 축이고 공진주파수는 Z축 방향가속도(선형 운동 모드)에 대한 공진주파수이다.

표 1. 세가지 형태의 가속도 센서에 대한 FEM 해석
 Table 1. FEM analysis for 3 types of accelerometer.

mass		[A]	[B]	[C]
resonant frequencies (Hz)	f_0	4361.2	4361.9	4361.3
	f_1	7894.49	6157.5	7768.26
	f_2	7894.51	6158.2	8007.35
maximum stress (MPa/G)	z-axis	0.294	0.294	0.294
	x-axis	0.076	0.124	0.0194
maximum displacement ($\mu\text{m}/\text{G}$)	z-axis	0.0131	0.0131	0.0131
	x-axis	0.00291	0.0048	0.00283

2. 가속도센서의 설계

벌크 마이크로머시닝을 이용한 압저항형 4빔 가속도 센서의 빔의 위치에 따른 특성을 비교하고, 적절한 단위 공정기술을 확립하기 위하여 3 가지 형태의 가속도 센서를 설계하였다. 센서는 KOH 에칭에 의해 형성된 사각뿔형 질량체와 RIE 마이크로머시닝에 의해 형성된 네 개의 빔, 각 빔 위의 가장자리에 놓여진 네 개의 압저항으로 구성되어진다.

그림 2는 설계된 소자들의 평면도이다.

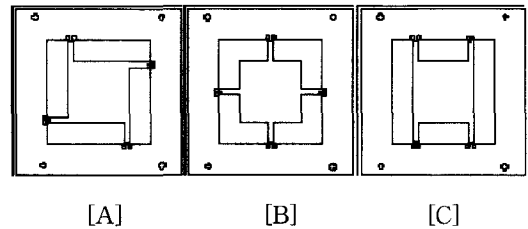


그림 2. 3 가지 형태의 가속도 센서
 Fig. 2. 3 type acceleration sensor.

빔은 압저항 효과가 큰 [110] 방향으로 위치시켰으며 길이는 560 μm , 폭은 160 μm , 두께는 20 μm 로 설계하였다. 전체 소자의 크기는 $4.4 \times 4.4 \text{ mm}^2$ 이고 표면의 압저항은 횡저항과 종저항을 각각 $15 \times 15 \mu\text{m}^2$ 로 구성된 12개의 면저항을 사용하여 $1.2\text{K}\Omega$ 로 설계하였다.

여기서 횡저항, 종저항은 각각 빔 가장자리에 평행, 수직한 저항이다. 이 압저항들은 응력이 가장 큰 빔의 가장자리에 놓이도록 설계하였다.

또한 KOH 에칭시 형성될 아래쪽 질량체는 $1 \times 1 \text{ mm}^2$, 위쪽 질량체는 $1.64 \times 1.64 \text{ mm}^2$ 이며 식각깊이는 450 μm 이다. 본 실험에서는 압저항의 접촉창에서 8개의 금속선을 뽑아내어 외부 회로적으로 횡저항, 종저항을 브릿지로 연결하여 측정하였다.

3. 제조

그림 3은 가속도 센서의 제조 공정도를 보여준다.

가속도 센서의 제작에 사용된 웨이퍼는 산화막을 5,000 Å 성장시킨 두께 450 μm의 n형실리콘 웨이퍼 두장을 접합시켜 한쪽을 20 μm로 가공한 결정 방향이 (100)인 4인치 SDB 웨이퍼이다. 이 웨이퍼의 뒷면(두꺼운 쪽)에 질화막 1,500 Å을 감압 기상 증착법(LPCVD)을 이용하여 증착한 다음, 양면 사진 식각공정을 이용하여 앞면과 뒷면에 각각 압저항체와 질량체 형태를 정의하였다.

압저항을 만들기 위하여 액체 보론(boron)을 코팅한 후 pre-deposition과 drive-in 공정을 각각 1,100 °C에서 17분, 1,100 °C에서 25분간 행하였다. 저항을 형성한 후 뒷면 KOH 식각을 행할 때 앞면을 보호하기 위하여 질화막을 증착하였다.

뒷면 450 μm를 식각하여 질량체를 형성하기 위한 공정은 83 °C, 20 %의 KOH 수용액에서 4시간 50분 동안 행하여 졌다. 이때 SDB 웨이퍼 중간의 1 μm 산화막에 의한 자동적인 식각 중지는 빔 두께의 균일한 형성을 가능하게 해주었다.

알루미늄(Al)을 증착하여 배선 공정을 수행한 다음, RIE 공정으로 전면의 실리콘 20 μm를 식각하여 빔을 형성하였다. 이 공정은 SF₆ 20 sccm, 파워 60 W에서 40분 동안 이루어 졌다.

빔을 형성한 뒤 유리(pyrex 7740)와 진공중(~10⁻⁴ torr)에서 양극접합^[8](anodic bonding)을 한 후 소자분리가 이루어 졌다. 그 결과, 유리 자체가 입력과 무관한 외부적인 응력(stress)을 흡수하여 패키지로부터의 열팽창 등에 의한 변형의 영향을 받지 않게 되는 이점을 얻을 수 있다. 그림 4는 제조된 소자의 사진을 나타내고 있다.

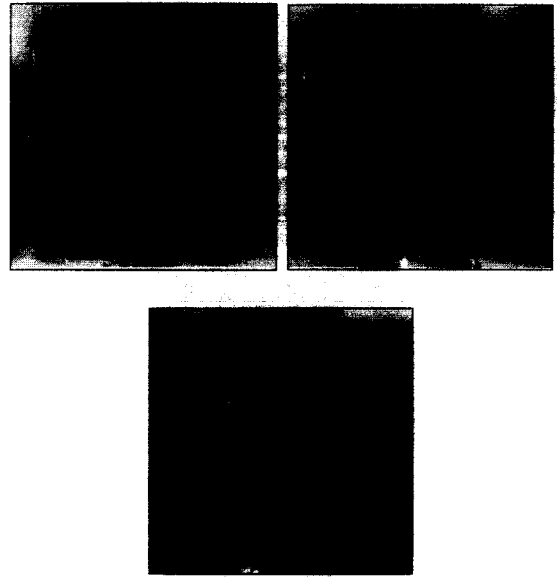


그림 4. 제조된 가속도 센서의 사진
Fig. 4. Photographs of the fabricated accelerometer.

4. 측정

제조된 소자의 특성을 조사하기 위하여 먼저 브릿지를 구성하고 있는 각각의 압저항을 HP-4145를 이용하여 측정하였다. 마스크 설계시 형성될 저항의 저항값 측정을 위하여 브릿지의 배선 연결부분을 단선시켰기 때문에 측정이 가능하였다. 측정된 저항값은 1.1 ~ 1.6 kΩ이며 실제 설계한 1.2 kΩ과는 차이가 있었다. 이는 이온 주입기를 사용함으로써 원하는 저항을 정확히 형성할 수 있을 것으로 기대한다. 질량체의 질량은 미세 질량저울로 측정하였으며 1.90 mg ± 5 %로 설계한 질량체의 질량 1.92 mg에서 크게 벗어나지 않았다.

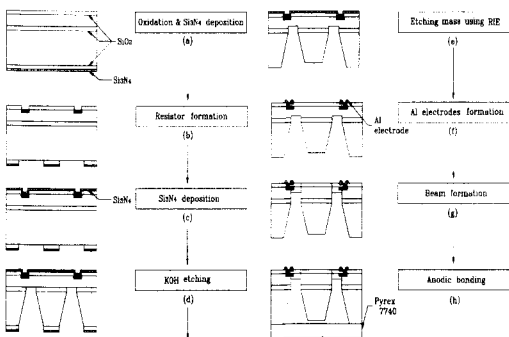


그림 3. 제조 공정 단면도
Fig. 3. Cross-sectional view of the fabrication process.

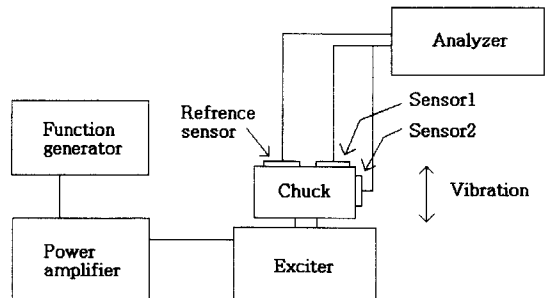


그림 5. 측정장치 개략도
Fig. 5. Schematic diagram of the measurement system.

소자의 가속도에 대한 출력전압의 변화를 측정하기 위하여서는 analysing recorder, function/arbitrary waveform generator, vibration exciter, power amplifier를 이용하여 주파수 50 Hz에서 170배 증폭하여 Z축 감도를 측정하고, 출력전압이 작은 타측감도의 측정은 50 Hz에서 1,000배 증폭하여 측정하였다. 공진 주파수를 측정하기 위하여 1 G의 일정한 진동에서 10 ~ 10 kHz까지 주파수를 변화시키면서 1st, 2nd, 3rd의 주파수를 조사하였다. 센서의 측정 개략도를 그림 5에 나타내었다. 주파수 발생기에서 임의의 파형을 발생시켜 전력 증폭기로 충분히 흔들어 줄 수 있을 만큼의 크기로 신호를 증폭시킨 후 가진기에 공급해 준다. 가진기 위의 척에 표준 센서와 측정될 센서를 동시에 장착한 후 수직 방향으로 진동시키면서 dynamic signal analyzer를 이용하여 측정을 하였다. Z축 감도의 측정시에는 Sensor1의 자리에 샘플을 장착하고 타측감도의 측정시에는 Sensor2의 자리에 샘플을 장착하여 측정하였다. 공진 주파수의 측정시에는 Sensor1의 자리에 샘플을 장착한 후 dynamic signal analyzer를 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

그림 6은 50 Hz의 사인파형 가속도에 대한 [A] 소자의 응답특성을 나타낸 것이다. 이때 브릿지 회로의 출력 전압은 약 170배 증폭하였으며, 측정시 인가 전압은 5 V이었다. 3.5 G의 가속도가 인가되었을 때 위쪽 파형은 표준센서의 출력파형이고 아래쪽 파형은 170배 증폭된 제작된 센서의 출력파형이다. 출력파형은 50 Hz의 사인파형이며 응답의 지연시간은 거의 없음을 볼 수 있다.

그림 7은 제작된 센서 [A]에 대해 1G의 일정한 가속도에서 측정한 1st, 2nd, 3rd 공진 주파수를 나타내며 이 때 각각의 공진주파수는 1.2, 2.5 및 2.6 kHz로 나타났다. 첫 번째 공진 주파수와 상당한 거리를 두고 두 번째 공진주파수와 세 번째 공진 주파수가 이어져 나오는 것을 볼 수 있다. 세 가지 타입의 첫 번째 공진 주파수는 모두 1.2 ~ 1.7 kHz 를 나타내었다.

낮은 가속도에서의 센서의 응답특성을 알아보기 위하여 [A] 형태의 0 에서 1 G 사이의 응답특성을 그림 8에 나타내었다. 인가 전압은 5V이며 250배 증폭하였다.

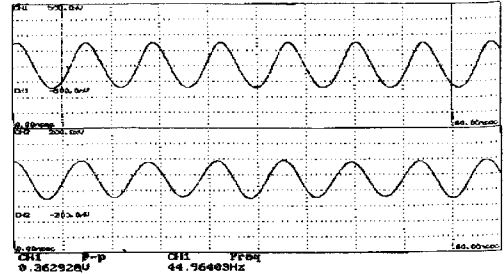


그림 6. Z축 3.5G의 사인파 가속도를 가했을 때의 표준 소자(위)와 170배 증폭된 제조된 소자(아래)의 출력파형
Fig. 6. The output waveform of reference sensor (upper) and fabricated sensor (down) amplified by 170 times in sin-acceleration of 3.5g along Z-axis.

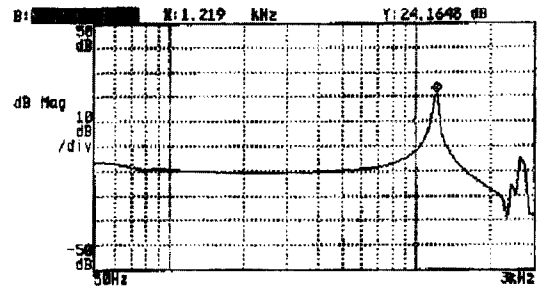


그림 7. 제조된 소자의 주파수 특성
Fig. 7. Frequency characteristics of the fabricated sensor.

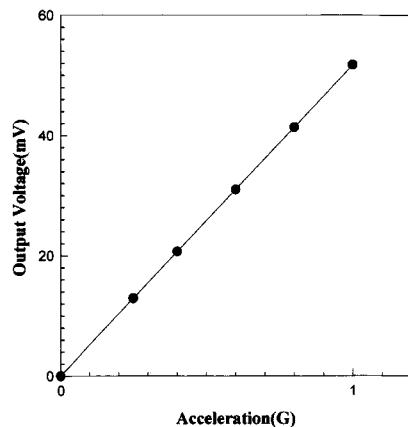


그림 8. 0 -1 G 사이의 가속도에 따른 출력특성
Fig. 8. Output characteristics in acceleration between 0 - 1 G.

사인파형 가속도에 대한 [A]소자의 응답특성에서는 0 에서 0.2 G 사이의 출력파형은 알아볼 수 없었으며

0.2 G 부근에서부터 일그러진 사인파형이 처음으로 나오는 것을 볼 수 있었다. 가속도가 0.5 G 이상으로 인가될 때 센서의 파형은 완전한 사인파형으로 관찰되었다. 제조된 센서는 0.5 G 미만의 작은 가속도를 측정하기에는 적합하지 않는 것으로 생각된다.

그림 9에서 세 가지 형태에 따른 가속도 센서의 Z축 감도를 나타내고 있다. 인가전압은 5V, 100Hz에서 증폭은 하지않고 측정하였다. 세 가지 형태의 Z축 감도가 모두 일치하지 않는 것은 제작공정 중 각각의 샘플의 질량체와 저항이 똑같이 구현되기 어렵기 때문이다. 각각의 형태에 따른 Z축 감도를 살펴보면 형태 [A]의 감도는 1에서 10 G까지가 232 $\mu\text{V}/\text{G}$, 10 에서 20 G까지가 228 $\mu\text{V}/\text{G}$ 의 감도를 나타내었다. 형태 [B]에서는 1 에서 10 G까지가 195 $\mu\text{V}/\text{G}$, 10에서 20 G까지가 185 $\mu\text{V}/\text{G}$ 의 감도를 보이며, 형태 [C]에서는 1에서 10 G까지가 193 $\mu\text{V}/\text{G}$, 10 에서 20 G까지가 187 $\mu\text{V}/\text{G}$ 의 감도로 측정되었다.

그리고 큰 가속도에 대한 소자의 응답특성을 보기 위해 형태 [B]에 대해서는 측정장비가 허락하는 38 G까지의 측정이 이루어졌다. 이때의 감도는 168 $\mu\text{V}/\text{G}$ 로 나타났으며 소자의 파괴는 나타나지 않았다.

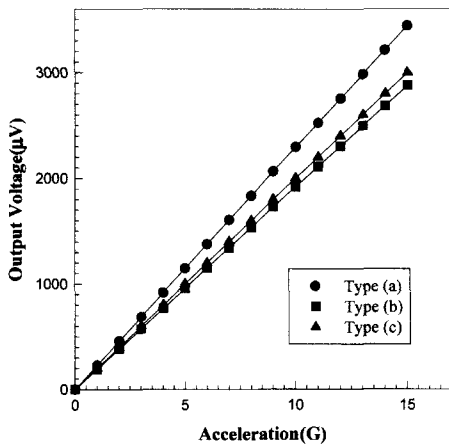


그림 9. Z축 가속도 증가에 따른 출력특성
Fig. 9. Output characteristics with an acceleration along Z-axis.

세 가지 형태의 센서 모두, 측정하고자 하는 가속도가 높아질수록 감도가 떨어지는 성향을 나타내었으며, 이는 가속도가 증가함에 따라 빔의 변위가 그 변형의 한계에 가까워지고 있기 때문으로 생각된다. 제작된 소자들은 인가된 가속도가 변화될 때 완벽한 선형성을

보이지는 않았으므로, 사용에 있어서 센서의 신호처리를 해야될 것으로 생각되며 제조된 센서는 적어도 40 G까지의 가속도 측정에서는 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

그림 10에서 세 가지 형태에 따라 100Hz의 가진 주파수에서 가속도 센서의 타측 감도를 나타내고 있다. 인가전압은 5 V이었고 증폭은 하지않았다. 각 센서의 평균적인 타측 감도는 형태 [A] : 4.6 $\mu\text{V}/\text{G}$, 형태 [B] : 3.84 $\mu\text{V}/\text{G}$, 형태 [C] : 4 $\mu\text{V}/\text{G}$ 로 각각 나타났다. 타측 감도는 Z축 감도가 큰 소자가 타측 감도도 크게 나타나는 것으로 나타났다. 또 타측 감도는 Z축 감도와 마찬가지로 가속도가 증가할수록 감소하는 현상을 나타내었다.

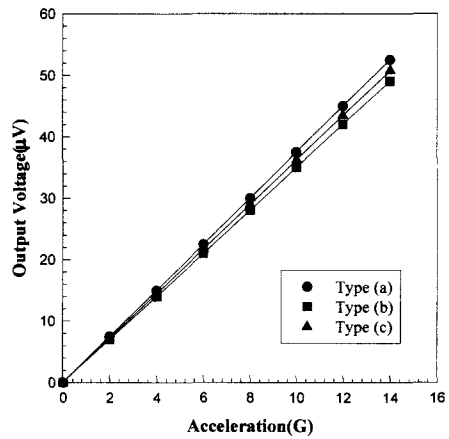


그림 10. 타측 가속도 증가에 따른 출력특성
Fig. 10. Output characteristics with an acceleration along cross-axis.

표 2. 퍼센트 타측 감도의 비교

Table 2. comparison of percentage lateral sensitivity.

	Z축 감도	타측 감도	타측 감도 %
A 형	230	4.6	2
B 형	190	3.84	2.02
C 형	190	4	2.1

타측 감도는 Z축 감도와 비례하므로 각 센서의 타측 감도를 비교하기 위하여 (타측 감도 ÷ Z축 감도 × 100)의 식을 사용하여 타측 감도를 퍼센트(%)로 표시하여 표 2에 나타내었다. 평균적인 타측 감도를 살펴보

면 [A]와 [B] 및 [C] 모두가 약 2 %의 타축감도를 가지는 것을 볼 수 있었으며 타축감도의 차이가 거의 없는 것으로 조사되었다. 이 결과는 타축특성의 차이를 보일것으로 예상된 FEM 해석결과와는 차이가 있는 것으로 나타났다.

IV. 결 론

빔 위치가 가속도 센서의 특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 4빔 압저항형 가속도 센서의 특성을 결정하는 요소인 빔의 두께, 넓이, 길이와 질량체의 무게, 빔의 수를 고정시키고 FEM 해석을 행하였으며, 실제 빔 위치가 다른 세 가지 형태의 가속도 센서를 설계 및 제작하였다.

FEM 해석 결과에서는 세가지 형태의 가속도 센서가 1st 공진주파수와 Z축 감도는 서로 같으며, 2nd와 3rd 공진주파수와 타축감도는 서로 다른 것으로 나타났다.

제작한 세가지 센서의 측정결과는 190 ~ 230 $\mu\text{V/g}$ 의 Z축 감도와 1.3 ~ 1.7kHz 부근에서 1st 공진주파수를 가지는 것으로 나타났다. 제작된 소자들의 특성은 사진 식각공정에서의 오차, 불균일한 불순물 투입에 따른 저항의 편차 및 KOH 식각공정에서 발생하는 질량체 무게의 불일치 등을 감안했을 때 비슷한 특성을 나타낸 것으로 생각된다. 타축특성을 비교하기 위하여 10 G 부근의 타축감도를 %로 나타내어 볼 때 [A]와 [B] 및 [C] 형태가 모두 약 2 %의 타축감도를 나타내었다.

FEM 해석과 제작된 소자의 측정치를 종합하여 판단할 때, 빔 위치만 다른 세가지 형태의 가속도 센서는 모두 같은 Z축 특성과 1st 공진주파수를 가지며 타축특성은 작지만 차이가 있는 것으로 생각되었다. 그러나 실제 제작에서 타축특성의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 그 이유는 이 차이가 공정상이나 측정에서 발생하는 오차보다도 작기때문으로 생각된다. 제조한 세가지 형태의 가속도 센서 모두 0.5 ~ 40 G까지의 가속도 측정에 충분히 사용가능하다.

참 고 문 헌

[1] G. A. Macdonald, "A Review of Low Cost Accelerometers for Vehicle Dyna-

mics," *Sensors and Actuators*, A21-A23, pp. 303-307, 1990.

- [2] K. E. Petersen, "Silicon as a mechanical material," *Proc. IEEE*, vol.70, no.5, pp. 420-457, 1982.
- [3] K. Okada, "Development of tri-axial accelerometers using piezoresistance, electrostatic capacitance and piezoelectric element", *Technical Digest of The 12th Sensor Symposium*, 1995.
- [4] H. Seidel, L. Csepregi, "Design optimization for cantilever-type accelerometers", *Sensors and Actuators*, 6, pp. 81-92, 1984.
- [5] 박 석홍, "실리콘 加速度 센서의 FEM 解析 과 設計", *경북대 석사 학위논문*, pp. 29-39, 1993
- [6] 손 병복, "SDB 웨이퍼를 이용한 압저항용 가속도센서의 제조", *경북대 석사 학위논문*, pp. 3-8, 1993
- [7] R. d'Agostino and D.L.Flamm, "Plasma etching of Si and SiO₂ in SF₆-O₂ mixtures", *J. Appl. Phys* 52, pp. 162-167, 1981.
- [8] H. henmi, S. Shoji et al, "Vacuum packaging for microsensors by glass-silicon anodic bonding", *The 7th international conference on solid-state sensors and actuators*, pp. 584-587.

저 자 소 개

申 鉉 沃(正會員)

1970년 4월 1일생. 1996년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1998년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1997년 ~ 현재 모토로라 코리아 주식회사 근무. 주관심 분야는 가속도 센서, 압력 센서, 실리콘 마이크로머시닝 등임

崔 時 永(正會員) 第 33卷 A編 第 12號 參照

孫 承 賢(正會員)

1974년 8월 15일생. 1996년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1998년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1998년 ~ 현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재중. 주관심 분야는 mechanical sensor, silicon micromachining 등임