

論文 98-35D-2-5

합산회로를 통하여 타축감도가 자체상쇄된 6빔 가속도센서의 제조

(Fabrication of Six-Beam Accelerometer with Self-Eliminated Off-Axis Sensitivity by Summing Circuit)

沈俊煥*, 金東權*, 李鍾玄*

(Jun-Hwan Sim, Dong-Kwon Kim, and Jong-Hyun Lee)

요 약

선택 형성이 우수하고 양극반응시 자체정지 특성을 가지는 다공질 실리콘 마이크로머시닝기술로서 (111)면 n 실리콘 웨이퍼에 n⁺ 영역이 선택적으로 확산된 n/n⁺/n 3층 구조를 사용하여 타축감도가 자체상쇄된 6빔 압저항형 실리콘 가속도센서를 제조하고, 그 특성을 조사하였다. 3개의 브리지 출력을 가산회로로 합한 센서의 감도는 0.68 mV/g이며, 비선형특성은 full scale 출력에서 2% 이하로 나타났다. 측정된 공진주파수는 4.236 kHz이었다. 3개의 브리지 출력과 가산회로를 통한 브리지의 합산된 출력을 비교했을 때, Z축 가속도에 대한 정상출력은 3개의 브리지 출력이 감도손실이 없이 그대로 더해져 나타남으로써 빔의 증가에 따른 감도손실이 보상되었다. 또한 하나의 브리지에서 나타나는 타축감도는 정상감도에서 최대 17%를 나타내지만, 3개의 브리지를 합친 후 나타난 타축감도는 1.0%로 감소하였다. 그러므로 단순히 가산회로를 통하여 센서출력을 얻음으로써 타축감도의 자체상쇄를 쉽게 이룰 수 있다.

Abstract

A six-beam accelerometer with self-compensated off-axis sensitivity was fabricated on the selectively diffused (111)-oriented n/n⁺/n silicon substrates by a unique porous silicon micromachining technique, which has self-stop characteristics and highly selective formation of porous silicon layer during anodic reaction. Also, the characteristics of the fabricated accelerometer were investigated. The sensitivity of the accelerometer added up outputs of three bridges through a summing circuit was 0.68 mV/g and the nonlinearity was less than 2% of the full scale output. The measured first resonant frequency was 4.236 kHz. When the outputs of three bridges were compared to summing output of bridges obtained through summing circuit, the normal output for Z-axis acceleration exhibited the same value as summing outputs of three bridges without reduction of sensitivity and thus the sensitivity decrease due to additional beam was compensated. Although a maximum off-axis sensitivity in one bridge of the accelerometer showed 17% of normal sensitivity, the off-axis sensitivity obtained from summing output of three bridges decreased to 1.0%. Therefore, the self-elimination of off-axis sensitivity can be simply realized by obtaining the output of the sensor through summing circuit.

I. 서 론

최근에 실리콘 가속도센서는 실리콘 마이크로머시닝

기술과 반도체 집적회로 공정기술을 이용하여 소형화, 경량화, 양산화, 저가격화 및 고성능화가 가능하기 때문에 자동차의 에어백, ABS, 능동현가 및 전자 조향 장치와 같은 전장 시스템과 로봇과 같은 정밀제어 시스템 등의 응용분야에 사용하기 위하여 활발한 연구가 이루어지고 있다^[1-5]. 이러한 실리콘 가속도센서는 가속도를 받아들이는 미세 기계구조부, 이 가속도를

* 正會員, 慶北大學校 電子·電氣工學部

(School of Electronic & Electrical Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)

接受日: 1997年10月24日, 수정완료일: 1998年2月5日

전기적 신호로 바꾸어 주는 변환 소자부, 정격출력을 만들어 주는 신호 처리부로 크게 세 가지 부분으로 나누어진다. 미세 기계구조부의 형태로는 캔틸레버(cantilever)형 구조^[6]와 브리지(bridge)형 구조^[7] 등이 있으며, 변환 소자부는 감지원리에 따라 압저항형^[3], 용량형^[8], 그리고 압전형^[9]으로 크게 나눌 수 있다. 그 중 압저항형 실리콘 가속도센서는 구조 및 신호처리가 단순하며, 요구되는 성능을 만족시키면서 저렴한 가격으로 제조할 수 있는 장점이 있다.

최초로 개발된 압저항형 가속도센서는 Roylance가 개발한 캔틸레버형 가속도센서^[10]로서, 이것은 감도(sensitivity)는 우수하나, 하나의 캔틸레버로 관성질량(seismic mass)을 지지하기 때문에 깨지기 쉽고, 또한 질량이 하부에 형성되어 있어 상·하로의 비대칭 구조로 인하여 타축감도(off-axis sensitivity)가 크게 나타난다는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 캔틸레버형 구조대신 2개 또는 4개의 빔을 가지는 브리지형 구조를 설계하여 4개 또는 8개의 압저항을 빔의 최대 스트레스가 분포되는 영역에 위치시켜 타축감도를 상쇄시키거나^[7,11,12], twin mass 구조를 사용하여 두 개의 질량체를 연결하는 가운데 빔에 압저항을 대칭적으로 형성하여 타축에 대한 압저항 응력을 제거하는 방법을 고안하였다^[13]. 그러나 위의 방법은 압저항을 연결하는 금속배선이 빔위에 형성됨으로서 장시간의 센서 구동에 대하여 빔위의 금속배선이 응력(stress)을 받아 단선이 되는 문제점이 있다. 또다른 방법으로써 빔의 상·하로 대칭적인 진동질량을 형성하여 질량의 무게중심이 빔의 축상에 놓이도록 설계하여 타축감도를 최소화하는 방법도 개발되었다^[14]. 그러나 이 구조 역시 상·하의 진동질량을 대칭적으로 제조하는 공정상의 어려움이 따른다.

본 논문에서는 (100)면 웨이퍼에 비하여 기계적 강도가 큰 (111)면 웨이퍼를 사용하여 기판의 결정면에 관계없이 임의 형상을 정확하고 쉽게 제조할 수 있는 다공질 실리콘 마이크로머시닝^[15]으로 매스를 중심으로 대칭적인 6개의 빔을 갖는 미세 기계구조를 제조하였다. 이 구조는 2빔 또는 4빔에 비하여 외부충격에 대해 큰 저항력을 가지며, 측면방향의 원하지 않는 타축감도는 마주보는 두 개의 빔으로 이루어진 3개의 half-bridge를 가산회로(summing circuit)를 통하여 합산하여 출력신호를 얻음으로써 각 브리지에서 나타나는 타축신호가 서로 위상차를 일으켜 자체적으로 상

쇄된다. 이때, 6빔 구조의 가속도센서는 2빔 구조에 비해 그 감도가 1/3로 감소되지만, 3개의 브리지 출력을 가산회로를 거쳐 더해 줌으로써 센서의 감도는 쉽게 보상이 된다. 따라서 단순히 회로적으로 3개의 브리지 출력을 가산회로를 통해 최종출력을 얻음으로써, 빔 개수의 증가에 따른 정상감도의 손실이 보상되며 타축감도는 서로 상쇄되어 하나의 브리지에서 나타나는 출력보다 작은 타축감도를 쉽게 구현할 수 있다.

본 연구에서는 다공질 실리콘의 선택 형성이 뛰어나고 양극반응시 자체정지(self-stop)^[16] 특성을 가지는 (111)면 n 실리콘 웨이퍼에 n⁺ 영역이 선택적으로 확산된 n/n⁺/n 3층 구조를 사용하여 6빔 압저항형 실리콘 가속도센서를 제조하고, 그 특성을 조사하였다. 이에 앞서 유한요소법(finite element method : FEM)^[17]을 이용하여 6빔 가속도센서의 임의 방향의 가속도에 대한 빔의 스트레스 분포를 예측하여 6빔 구조에서 나타나는 정상출력의 감도보상과 타축감도의 상쇄효과를 분석하였다.

II. 설계 및 제조

그림 1은 다공질 실리콘 에칭법을 이용하여 제조한 6빔 미세구조의 SEM 사진이고, 그림 2는 진동질량이 올라간 압저항형 실리콘 가속도센서의 SEM 사진이다. 설계된 센서는 중심에 하나의 진동질량, 이것을 지지하는 6개의 빔, 그리고 각 빔 위에 하나의 압저항과 빔 바깥에 하나의 고정저항으로 구성되어 있다. 따라서 마주보는 브리지에서 각 빔 위의 두 개의 압저항과 바깥의 두 개의 고정저항을 하나의 half-bridge로 구성하여 총 3개의 브리지 출력신호가 나오도록 설계하였다. 설계된 가속도센서의 매스 패드(mass pad)의 반경 및 빔 길이, 빔 폭, 빔 두께의 각 파라미터 값은 500 μm , 350 μm , 100 μm , 5 μm 이다. 미세구조와 기판 사이의 공극은 20 μm 이며, 칩의 면적은 3.7 mm \times 3.7 mm 이다. 그리고 센서의 진동질량을 부가하는 방법은 현재 IC(Integrated Circuit)의 패키징(packaging) 분야에 넓게 이용되고 있는 Pb/Sn/Ag 솔더 페이스트를 매스 패드에 디스펜싱(dispensing)^[18]하여 3-zone reflow 장치를 사용하여 열처리하는 것이다. 이때, 제조된 센서의 진동질량은 0.4 mg이었다.

압저항형 가속도센서의 제조 공정은 크게 n/n⁺/n 3층 구조의 시편 형성, 압저항 형성, 미세구조 형성, 금

속화 및 관성질량 제조 공정으로 되어있다. 이때 사용한 웨이퍼는 4", 결정면이 (111)이고 저항율이 5~10 Ω·cm인 n형 실리콘 기판을 사용하였다. 미세구조 제조를 위한 마이크로머시닝은 그림 1의 결과에 나타난 것처럼 정확한 식각정지(etch-stop)특성으로 미세구조의 형성이 용이한 다공질 실리콘 에칭법을 이용하였으며, 가속도센서의 세부적인 공정조건은 참고문헌 [19]에 잘 나타나 있다.

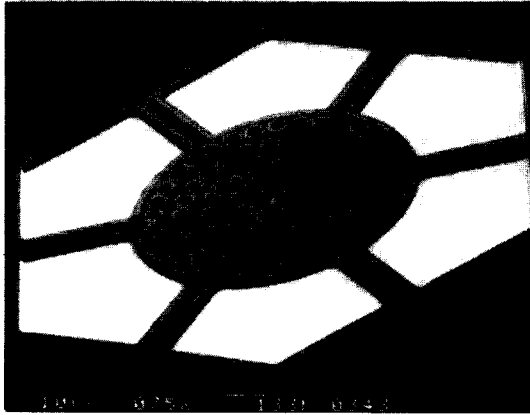


그림 1. 6빔 미세구조의 SEM 사진
Fig. 1. SEM photograph of the 6-beam micro-structure.

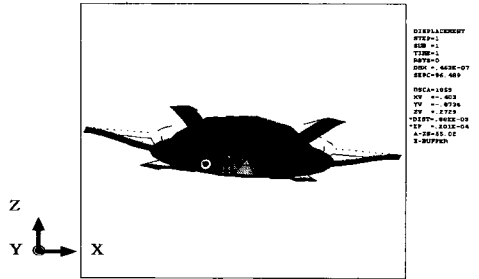


그림 2. 관성질량이 올라간 소자의 SEM 사진
Fig. 2. SEM photograph of the accelerometer with a loaded mass.

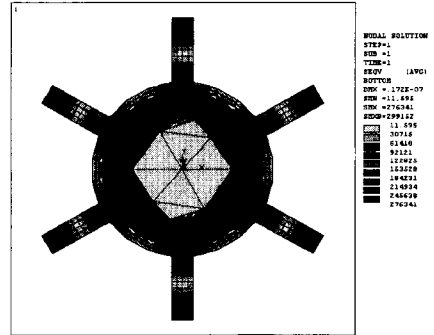
III. FEM 시뮬레이션을 이용한 타축감도 상쇄의 해석

빔 개수의 증가로 인한 정상출력의 감도보상과 타축 감도의 상쇄 효과를 확인하기 위하여 범용 유한요소

프로그램인 ANSYS^[20]로 시뮬레이션을 하였다. 그림 3은 Z축 방향으로 1g 가속도를 받았을 때, 구조물의 변형된 모양과 6개의 빔이 받는 응력분포를 나타낸 그림이다.



(a)

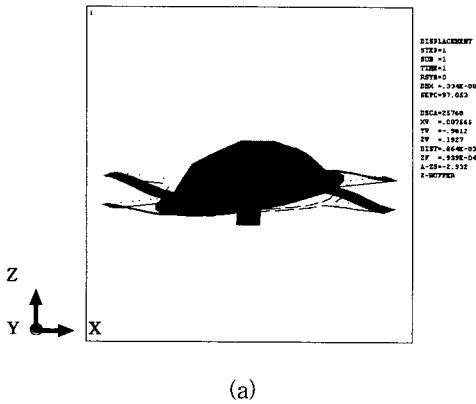


(b)

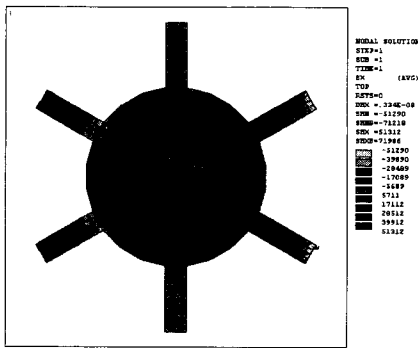
그림 3. Z축 방향으로 1g 가속도를 인가했을 때의 가속도센서의 변형모양과 스트레스분포
Fig. 3. Deformed shape and stress distribution of the accelerometer under an acceleration of 1g in the direction of Z-axis.

그림 4는 X축 방향으로 1g 가속도를 받았을 때, 센서 구조물의 변형된 모양과 타축으로의 각 빔의 응력분포를 나타낸 그림이다. 그림 3(b)에서와 같이 6개의 빔은 하나의 진동질량을 공유함으로써, 동일한 입력(Z축 가속도)에 대하여 같은 응력분포를 나타낸다. 따라서 (111)면 웨이퍼를 사용하면 압저항계수가 모든 방향에서 일정한 값을 가지기 때문에^[21] 그림 5와 같이 최대 스트레스가 걸리는 빔과 기판이 연결되는 부분에 하나의 압저항과 인접한 바깥부분에 하나의 고정저항을 형성하여 마주보는 두 개의 빔으로 하나의 브리지를 구성하여 출력력을 얻을 수 있다. 이와 같은 브리지 구성을 하면 그림 4(b)의 결과로부터 X축 가속도에 대한 브리지 B2, B3의 출력 B_x, C_x의 크기는

서로 같고 위상은 서로 반전되어 나타나기 때문에 가산회로를 통하여 합하여 주면 단지 브리지 B1의 출력 A_x 만 얻어지게 된다. 따라서 그림 5와 같이 브리지를 형성한 후, 가산회로를 통하여 3개의 출력을 더해 주면 Z축 방향의 센서의 출력은 동위상의 3개의 브리지 출력이 합산되어 빔의 증가에 의한 감도의 손실은 보상이 되어 나타나고, X축 방향의 타축응답은 하나의 빔에서 나타나는 타축응답만 나타나기 때문에 전체적인 Z축 감도에 대한 타축감도의 비는 작아지게 된다.



(a)



(b)

그림 4. X축 방향으로 1g 가속도를 인가했을 때의 가속도센서의 변형모양과 스트레스분포
Fig. 4. Deformed shape and stress distribution of the accelerometer under an acceleration of 1g in the direction of X-axis.

가산회로를 통하여 나타나는 3개의 브리지의 정상출력과 타축응답을 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

$$S_z = 3 \times A_z \tag{1}$$

$$S_x = A_x - B_x + C_x \tag{2}$$

여기서 S_z 는 Z축 가속도에 대한 브리지 3개의 출력의 합, S_x 는 X축 가속도에 대한 브리지 3개의 출력의 합, A_z 는 Z축의 가속도에 대한 브리지 B1의 출력, 그리고 A_x , B_x , 그리고 C_x 는 X축 가속도에 대한 브리지 B1, B2, 그리고 B3의 출력이다. 이때 Z축 가속도에 대한 각 브리지의 출력응답은 크기와 위상이 같이 나타나고, X축 가속도에 대한 타축출력의 상대적인 크기는 $|A_x| > |B_x| \approx |C_x|$ 와 같이 나타나며, A_x , B_x 그리고 C_x 는 서로 위상이 다르게 나온다. 따라서 6빔 가속도센서의 X축 또는 Y축의 타축감도는 각 브리지의 출력을 가산회로로 합산하면 3개의 브리지 출력이 서로 상쇄되어 하나의 브리지 A_x 의 출력보다 작은 타축감도를 쉽게 얻을 수 있다.

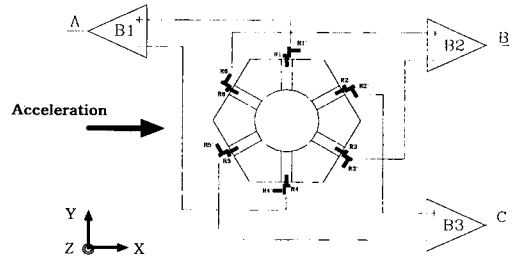
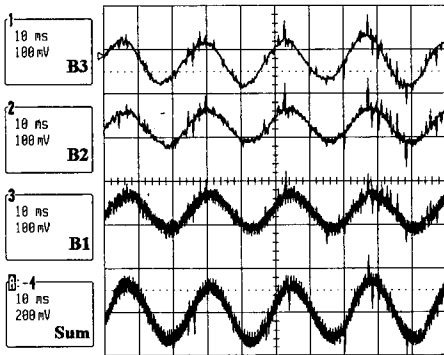


그림 5. 가속도센서의 브리지 연결도
Fig. 5. Connection diagram of half-bridges to the accelerometer.

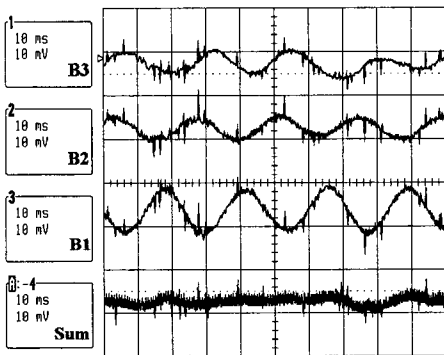
IV. 결과 및 고찰

그림 6은 진동질량이 0.4mg인 가속도센서에 Z축과 X축으로 40Hz, 2g의 사인파형 가속도를 인가하였을 때, 200배의 증폭회로를 거친 3개의 브리지 출력과 unity gain을 가지는 가산회로를 거친 출력을 나타낸 것이다. 파형 1, 2, 3번은 각 브리지에서 나오는 출력이고 4번은 3개의 브리지 신호를 가산회로를 거쳐 합산한 출력이다. (a)의 결과로부터 Z축 가속도에 대한 3개의 브리지 출력을 가산회로를 통하여 얻으면 3개의 브리지 출력의 합산된 결과가 나온다는 것을 알 수 있으며, (b)의 결과에서 X축 가속도에 대한 각 브리지의 타축응답은 서로 위상이 다르게 나타남으로써, 가산회로를 거쳐 합산된 타축감도는 서로 상쇄되어 한 개의 브리지에서 나타나는 타축감도보다 훨씬 작게 나타남을 알 수 있다. 이때, 측정된 타축응답의 위상차가 시뮬레이션된 결과와 일치하지 않는 것은 측정시 1차, 2

차, 3차 모드의 응답이 동시에 섞여서 나타나기 때문이다. 여기서 1, 2, 3번의 브리지의 감도가 서로 다른 것은 외부에서 부가된 진동질량의 중심이 매스팩드의 중심에 정확하게 일치하지 않고 약간 벗어나 각 빔의 스트레스의 분포가 달라지는 공정상의 에러와 각 브리지에 구성된 증폭회로의 증폭도가 약간씩 차이가 나기 때문이며, 또한 출력 파형에 노이즈가 많이 실려 나오는 것은 센서에 가속도를 인가하는 진동시스템과 신호 처리회로의 문제인 것으로 판명된다.



(a)



(b)

그림 6. Z축과 X축 방향으로 2g 가속도를 가진 사인파 구동했을 때의 출력신호

Fig. 6. Output signal to sine excitation with an amplitude of 2g in the direction of Z- and X-axis.

표 1은 각 브리지의 Z축과 X축의 출력감도와 가산 회로를 거쳐 합산된 출력감도를 비교하여 정상출력대 타측출력의 비를 나타낸 것이다. 여기서 Z축 가속도에 대한 정상출력의 합산된 결과를 보면 3개의 브리지 출력이 감도손실이 없이 그대로 더해져 나타남으로써 빔

의 증가에 따른 감도손실의 보상이 이루어짐을 알 수 있고, 또한 B1 브리지에서 나타나는 타측감도는 정상 출력에서 최대 17%를 나타내지만, 3개의 브리지를 합친 후 나타난 타측감도는 1.0%를 나타내어 단순히 가산회로를 통하여 출력을 얻음으로써 타측감도의 상쇄 효과를 쉽게 얻을 수 있음을 알 수 있다.

표 1. 각 브리지와 브리지의 합산에 대한 Z축과 X축 감도의 비교

Table 1. Comparison of Z- and X-axis sensitivities for each bridge and sum of bridges.

Bridge \ Sensitivity	B1	B2	B3	SUM
ΔS_x ($\mu N/g$)	33.3	22.2	15.5	6.7
ΔS_z ($\mu N/g$)	195.6	244.4	257.8	680.0
$\Delta S_x/\Delta S_z$ (%)	17%	9.0%	6.0%	1.0%

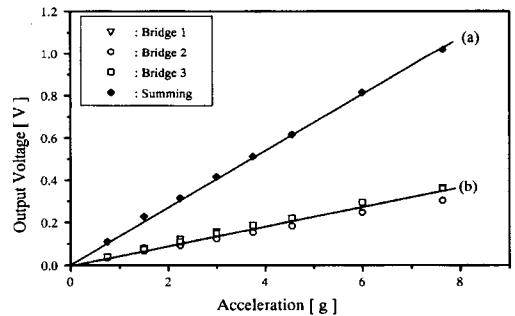


그림 7. 가속도에 따른 센서의 출력특성

Fig. 7. Output characteristic of the accelerometer as a function of acceleration.

그림 7은 가속도에 따른 선형특성을 보기 위하여 0 ~ 7.6g의 가속도에 대한 응답특성을 나타낸 것이다. (a)는 3개의 각 브리지에서 나오는 출력특성을 비교한 것이며, (b)는 3개의 브리지 출력을 가산회로로 합한 출력특성이다. 각 브리지의 출력 응답은 비교적 선형성이 좋았으며, 각 브리지의 편차가 크게 나타나는 것은 각 브리지의 증폭회로의 증폭도가 다르기 때문에 나타난 것이다. 또한 가산회로를 거친 응답의 측정된 감도는 0.68 mV/g이며, 비선형특성은 full scale 출력에서 2% 이하로 나타났다. 그림 8은 1g의 일정한 진동으로 40 Hz ~ 8 kHz 범위의 주파수를 인가하여 센서의 주파수 특성을 측정한 그림이다. 이때 측정된 공진주파수는 4.236 kHz이었으며, 약 2 kHz까지 대체로

flat한 진폭특성을 나타내었다.

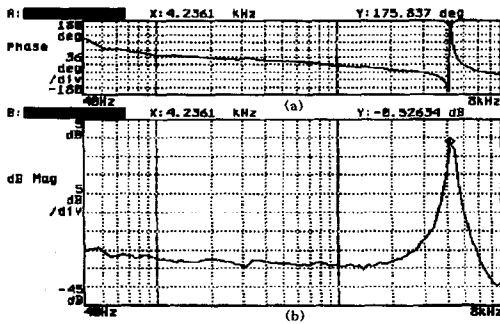


그림 8. 1g 가속도하에서 인가 주파수에 따른 센서의 위상(a) 및 진폭응답(b)

Fig. 8. Frequency-dependent phase(a) and amplitude response(b) as a function of the excitation frequency as measured at a constant excitation of 1g.

V. 결 론

본 논문에서는 다공질 실리콘의 선택 형성이 뛰어나고 양극반응시 자체정지(self-stop) 특성을 가지는 (111)면 n 실리콘 웨이퍼에 n^+ 영역이 선택적으로 확산된 $n/n^+/n$ 3층 구조를 사용하여 6빔 압저항형 실리콘 가속도센서를 제조하고, 그 특성을 조사하였다.

이에 앞서 ANSYS 유한요소법을 이용하여 6빔 가속도센서에서 임의 방향의 가속도에 대한 빔의 스트레스 분포를 예측하여 6빔 구조에서 나타나는 정상출력의 감도보상과 타축감도의 상쇄효과를 비교 분석하였다.

제조된 가속도센서의 3개의 브리지를 가산회로로 합한 출력의 감도는 0.68 mV/g이며, 비선형특성은 full scale 출력에서 2% 이하로 나타났다. 이때, 측정된 공진주파수는 4.236 kHz이었다. 또한 3개의 브리지 출력과 가산회로를 통한 브리지의 합산된 출력을 비교했을 때, Z축 가속도에 대한 정상출력은 3개의 브리지 출력이 감도손실이 없이 그대로 더해져 나타남으로써 빔의 증가에 따른 감도손실이 보상되었고 또한 하나의 브리지에서 나타나는 타축감도는 정상출력에서 최대 17%를 나타내지만, 3개의 브리지를 합친 후 나타난 타축감도는 1.0%를 나타내어 단순히 가산회로를 통하여 출력을 얻음으로써 타축감도의 상쇄효과를 쉽게 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] M. Tsugai, and M. Bessho, "Semiconductor accelerometer for automotive controls," *Transducers '87, Dig. of Tech. Papers*, pp. 403-405, 1987.
- [2] G. A. Macdonald, "A review of low cost accelerometers for vehicle dynamics," *Sensors and Actuators*, vol. A21-A23, pp. 303-307, 1990.
- [3] J. T. Suminto, "A simple, high performance piezoresistive accelerometer," *Transducers '91, Dig. of Tech. Papers*, pp. 104-107, 1991.
- [4] S. J. Sherman, W. K. Tsang, T. A. Core, R. S. Payne, D. E. Quinn, K. H. -L. Chau, J. A. Farash, S. K. Baum, "A low cost monolithic accelerometer; product/technology update," '92 IEDM Tech. Dig., pp. 501-504, 1992.
- [5] L. Zimmermann et al., "Airbag application: a microsystem including a silicon capacitive accelerometer, CMOS switched capacitor electronics and true self-test capability," *Sensors and Actuators*, vol. A46-A47, pp. 190-195, 1995.
- [6] H. Seidel and L. Csepregi, "Design optimization for cantilever-type accelerometers," *Sensors and Actuators*, vol. 6, pp. 81-92, 1984.
- [7] H. Sandmaier, K. Köhl, E. Obermeier, "A Silicon Based Micromechanical Accelerometer with Cross Acceleration sensitivity compensation," *Transducers '87, Dig. of Tech. Papers*, pp. 399-402, 1987.
- [8] H. Seidel, H. Riedel, R. Kolbeck, G. Mück, W. Kupke, and M. Königer, "Capacitive silicon accelerometer with highly symmetrical design," *Sensors and Actuators*, vol. A21-A23, pp. 308-311, 1990.
- [9] M. E. Motamedi, "Acoustic accelerometers," *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Contr.*, vol. UFFC-34, no. 2, pp. 237-242, 1987.
- [10] L. M. Roylance and J. B. Angell, "A batch-fabricated silicon accelerometer,"

- IEEE Trans. Elec. Devices*, vol. ED-26, no. 12, pp. 1911-1917, 1979.
- [11] H. Crazzolaro, G. Flach and W. von Münch, "Piezoresistive accelerometer with overload protection and low cross-sensitivity," *Sensors and Actuators*, vol. A39, pp. 201-207, 1993.
- [12] Young-Tae Lee, Hee-Don Seo, Yoshinori Matsumoto, Makoto Ishida and Tetsuro Nakamura, "Low Off-Axis Sensitivity Accelerometer Using Eight Piezoresistors," *Tech. Digest of the 12th Sensor Symposium*, pp. 233-236, 1994.
- [13] Shaoqun Shen, Jian Chen and Minhang Bao, "Analysis on twin-mass structure for a piezoresistive accelerometer," *Sensors and Actuators A*, 34 p 101-107, 1992.
- [14] Kyu Hyun Kim, Jong Soo Ko, Young-Ho Cho, Kwyro Lee, Byung Man Kwak, Kwanwhum Park, "A skew-symmetric cantilever accelerometer for automotive airbag applications," *Sensors and Actuators*, vol. A50, pp. 121-126, 1995.
- [15] 조찬섭, 심준환, 이종현, "다공질 실리콘 식각법을 이용한 실리콘 미세가공기술", *대한전자공학회 논문지*, 제 31권, A편, 11호, pp. 116-123, 1994
- [16] R. P. Holmstrom and J. Y. Chi, "Complete dielectric isolation by highly selective and self-stopping formation of oxidized porous silicon," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 42, no. 2, pp. 386-388, 1983.
- [17] T. Tschan, N. de Rooij, and A. Bezinge, "Analytical and FEM modeling of piezoresistive silicon accelerometers: predictions and limitations compared to experiments," *Sensors and Materials*, vol. 3, no. 4, pp. 189-203, 1992.
- [18] N. Peteron, "A solder paste dispenser for SMD Assembly," *Proceedings of NEPCON/West '86*, pp. 619-621, Feb. 1986.
- [19] 심준환, 이상호, 이종현, "범프 본딩된 압저항 실리콘 가속도센서의 제조", *대한전자공학회 논문지*, 제 34권, D편, 7호, pp. 30-36, 1997
- [20] "ANSYS engineering analysis system user's manual for ANSYS revision 5.3," Swanson Analysis System Inc., Houston, PA., 1996.
- [21] D. R. Kerr and A. G. Milnes, "Piezoresistance of diffused layers in cubic semiconductors," *J. Appl. Phys.*, vol. 34, pp. 727-731, 1963.

 저 자 소 개

沈 俊 煥(正會員) 第 31 卷 A編 11號 參照
 현재 경북대학교 대학원 전자공학과
 졸업예정(공학박사)

李 鍾 玄(正會員) 第 27 卷 10號 參照
 현재 경북대학교 전자전기공학부 교
 수

金 東 權(正會員)
 1974年 7月 22日生 1996년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1998年 2月 경북대학교 대학원 전자전기공학부 졸업(공학석사). 1998年 2月 현재 (주)대우전자 근무. 주관심분야는 반도체센서, 회로설계 등임