

지지조건이 압저항 가속도 센서의 민감도에 미치는 영향 평가

심재준*(동아대학교 일반대학원 기계공학과), 한근조(동아대학교 기계공학과), 한동섭(동아대학교 일반대학원), 이성욱(동아대학교 일반대학원), 김태형(경남정보대학 기계자동차산업학부), 이상석(부산정보대학 자동차기계계열)

The Study on Piezoresistance Change Ratio of Cantilever type Acceleration Sensor

J. J. Shim(Mech. Eng. Dept., DAU), G. J. Han(Mech. Eng. Dept., DAU), D. S. Han, S. W. Lee(Mech. Eng. Dept., DAU), T. H. Kim(Subdivision of Mech. & Automotive, KIT), S. S. Lee(School of Automobile and Machine, BIT)

ABSTRACT

In these days, the piezoresistive material has been applied to various sensors in order to measure the change of physical quantities. But the relationship between the sensitivity of a sensor and the position and size of piezoresistor has rarely been studied. Therefore, this paper was focused on the distribution of the resistance change ratio on the diaphragm and bridge surface where piezoresistor would be formed, and proposed the proper size and position of piezoresistor with which the sensitivity of sensor was increased.

As the width of mass and boss was increased, the distance between piezoresistors was closed and the maximum value of resistance change ratio was decreased by the increase of the structure stiffness. And according to the increment of seismic mass size, the value of resistance change ratio is decreased by increase of the structure stiffness. Y directional piezoresistor is formed in the position of 100 μm apart from cantilever edge and length of that is 800 μm .

Key Words : Piezoresistance(압저항), Resistance Change Ratio(저항변화율), Acceleration Sensor(가속도 센서), Seismic Mass(질량), Cantilever type(외팔보형태), Bridge type(양단고정보 형태)

1. 서론

MEMS 기술을 적용한 센서의 제작은 자동차의 MAP 센서에서 상용화되어 현재 여러 부분에 적용되고 있다. 이러한 센서는 물리적 양을 전기적 값으로 변환하는 매체에 따라 다양하게 분류되며, 특히 압저항방식은 저항의 변화가 크고, 위치 제어 및 형상이 간단하여 오래 전부터 연구가 이루어지고 있다.

압저항 방식 압력 센서의 민감도에 관련된 연구로 Elgame1¹⁾은 압저항 압력 센서에서 압력에 따른 처짐, 응력, 저항의 변화를 구할 수 있는 수학적 함수를 도입하고, 단순한 모델에서 압력의 변화에 따른 출력 전압을 계산하였다. 또한, Ciampolini²⁾ 등은 HFIELD-3D와 NASTRAN 프로그램을 사용하여 외력에 의한 응력과 압저항체의 전기적 특성을 연

계하여 시뮬레이션하였다. 하지만, 기존 연구는 압력 센서에서 정의된 형상과 크기를 가진 압저항체가 압력의 변화에 의해 발생하는 전기적 특성 변화(민감도)를 도출하는 것에 연구가 편중되었다. 그러므로 센서를 형성하는 구조물의 형상 변화가 민감도에 미치는 영향성에 관련된 분석은 거의 이루어지지 않고 있다. 그러므로 본 연구에서는 가속도 센서에서 질량(seismic mass)을 지지하는 빔의 지지조건 변화가 압저항체 크기와 위치에 미치는 영향을 분석하기 위해 질량 크기 변화에 따른 저항변화를 분포를 도출하고, 압저항체의 최적 형상을 제안하고자 하였다.

2. 압저항 특성

2.1 압저항 특성

일반적인 금속 재료는 외력에 의해 변형되고, 재료의 길이나 단면적과 같은 기하학적 형상이 변화하게 되어 발생하는 저항변화율은 스트레인 게이지와 로드셀에 응용되어, 설계된 구조물에서 발생하는 응력이나 하중을 측정하기 위한 계측장비에 많이 적용되고 있다. 반면에, 실리콘, 게르마늄과 같은 반도체 재료는 외력에 대해 변형이 거의 발생하지 않으므로 저항 변화율은 매우 낮을 것으로 예상되나, 실제 재료의 본질적인 특성 변화에 의해 금속 재료보다 저항의 변화율이 최대 100배 이상이다.

이와 같이 반도체 재료에 외력이 가해지면 내부의 결정격자가 변형되고, 원자 구조의 에너지 밴드에 변형이 발생한다. 이러한 원인으로 캐리어의 이동도와 분포에 변화가 발생되어 저항률이 변하게 되는 현상을 압저항효과(Piezo-resistive effect)라고 한다.

2.2 압저항 센서의 민감도

만약 다양한 센서에 적용되는 압저항체의 형상을 단순한 직사각형 형상으로 제작한다면, 외력에 의해 발생하는 저항의 변화율은 식(1)을 이용하여 구할 수 있다.

$$\frac{\Delta R}{R} = \pi_L \sigma_L + \pi_T \sigma_T \quad (1)$$

Table 1 Piezoresistivity coefficients along direction of piezoresistor at room temperature (units: 10^{-11}Pa^{-1})

	Direction	π_L	π_T
p-type silicon	<100>	0	0
	<110>	-66	72
n-type silicon	<100>	+53.4	-102.2
	<110>	-18	-31

여기서, 저항체에 작용하는 응력이 압저항체에 인가되는 전류방향과 일치하는 응력을 σ_L 이고, 이때 저항체의 저항변화와 응력사이의 관계는 종압 저항 계수 π_L 로 나타낼 수 있다. 한편, 전류의 방향과 저항체에 작용하는 응력 방향이 수직인 경우를 T의 아래첨자로 표현하여 식(1)과 Table 1에 나타내었다. 본 연구에서 채택한 가속도 센서는 이방성 재료인 실리콘 기판을 사용하여 제작하므로, 도핑되는 재료와 절단되는 방향에 따라 압저항 특성이 다르게 나타난다. 각 실리콘 방향에 대한 압저항 계수값은 Table 1에 나타내었다.³⁾⁻⁵⁾

3. 해석 모델

해석에 적용된 두 가지 지지 조건중 외팔보에 대한 해석 모델을 Fig. 1에 나타내었다. 일반적으로 양단 고정정보의 중심과 외팔보 끝단에 질량을 형성하였고, 실리콘의 p-type과 n-type에 따라 다른 압저항 특성을 가지므로 각각에 따라 결과를 도출하였다. 질량의 크기에 따라서 중력에 의해서 발생하는 하중이 다르나, 본 연구에서는 동일한 조건에서 결과를 도출하기 위해서 동일한 단위 압력(1N)을 질량의 표면에서 균일하게 부가하였고, 경계조건으로는 기판의 밑 부분을 완전 고정하였다. ANSYS 프로그램의 3자유도 8절점 요소를 이용하여 탄성해석을 수행하여 응력분포도를 구하기 위해 이방성 특성을 가지는 실리콘은 등방성으로 간주하였다. 하지만, 도출된 응력해석에 대해 압저항 특성을 다르게 부가하여 정확한 압저항 변화율 특성을 구하고, 이후 각 절점에 대해 분포도로 나타내었다.

외팔보와 양단고정정보의 질량보다는 형상 변화가 압저항변화율 분포도에 미치는 영향을 분석하기 위해서 기준이 되는 외팔보 및 양단 고정정보의 폭에 비례하는 세 가지 모델로 분류하였으며, 이때 각각은 외팔보 폭에 대한 질량 폭의 비로서 나타내며 그 값은 1/2(0.5), 1, 2/3(1.5)이다. 폭의 비가 1.5인 경우의 형상을 Fig. 2에 나타내었다.

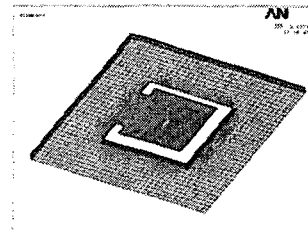


Fig. 1 The 3D meshed model of cantilever type acceleration sensor when mass's width ratio is 1.5

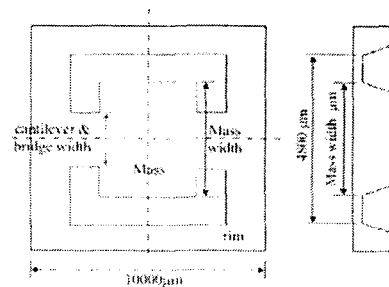


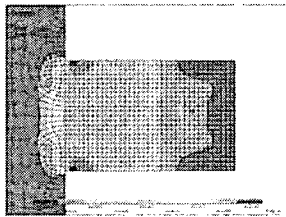
Fig. 2 The dimensions and defined parameters for finite element analysis

4. 저항 변화를 분포

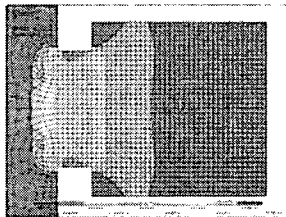
4.1 Cantilever type의 가속도 센서에서 매스 영향

4.1.1. p-type

외팔보의 폭에 대한 질량 폭의 비가 0.5인 경우에 p-type으로 도핑되는 경우 음의 값을 가지며, 특히 질량으로 인한 강성도의 감소로 질량 주위에서 매우 낮은 값을 보이고 있으며, 압저항의 변화율 분포도 완전한 변화를 가지면서 나타나고 있다. 질량의 폭이 증가함에 따라 외팔보 지지단 주위의 분포도는 거의 일정하게 나타나며, 반면에 질량 주위의 분포도는 높은 저항 변화율값을 가지는 면적이 축소되고 있음을 알 수 있다. 그리고 외팔보의 지지단에도 저항의 변화를 얻을 수 있으나 그 값은 매우 낮게 나타나고 있다. Fig. 4(a)과 (b)에는 질량 폭의 변화에 따른 저항변화율 분포를 보여주고 있다. 최대 값은 외팔보 폭의 끝단에서 국부적으로 발생하고 있으므로 압저항체를 형성하기에는 위치가 좋지 않다. Fig. 5는 x축에 따른 저항변화율을 보여주고 있다.



(a) width ratio is 0.5



(b) width ratio is 1.5

Fig. 4 The enlarged resistance change ratio distribution of piezoresistive sensor doped as p-type

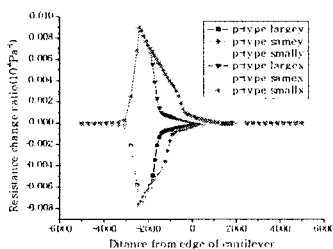


Fig. 5 The distribution of resistance change ratio along the middle position of cantilever width

4.1.2. n-type

n-type 압저항체인 경우에는 p-type와는 반대로 양의 저항변화율 값을 가지면, 그 분포는 거의 유사하게 나타나고 있다. 그리고 압저항체의 위치도 p-type의 y 방향의 경우와 동일한 위치에 생성하는 것이 높은 민감도를 얻을 수 있다. 하지만, x 방향인 경우는 높은 저항 변화율 값이 외팔보 길이 방향에 대해 최대값이 균일하게 분포하고 있으며, 질량의 폭이 작은 경우에는 상당히 넓게 분포되므로 이 경우에는 압저항체를 y 방향보다 x 방향으로 위치시키는 것이 민감도를 향상 시킬 것으로 사료된다. Fig. 6에는 n-type에 대한 저항변화율 분포를 나타내고 있다.

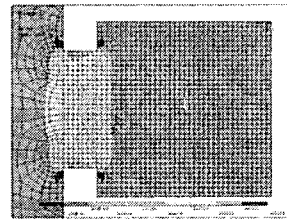


Fig. 6 The enlarged resistance change ratio distribution of piezoresistive sensor doped as y direction n-type when width ratio is 1.5

4.2 Bridge type 의 가속도 센서에서 매스 영향

4.2.1. p-type

Fig. 7에는 양단 고정형의 가속도 센서에서 매스의 크기 변화에 따른 압저항 변화율 분포도를 보여주고 있다. 전체 압저항 변화율 분포도는 세 가지 모델에 대해 유사한 경향을 보이고 있다. 양단 고정형의 폭에 대한 매스의 폭비가 증가함에 따라서 최대 또는 최소 압저항 변화율의 분포는 감소하고 있음을 알 수 있다. 또한, 발생된 최대 및 최소 압저항 변화율 값도 모두 감소하고 있어, 매스의 크기는 민감도를 감소시키고 있다.

Fig. 8에도 x축을 따라서 발생하는 압저항 변화율 값을 보여주고 있으며, 매스 폭의 비가 증가함에 따라 압저항 변화율값은 매스가 없을 때보다 낮게 나타나고 있으며, 매스의 크기가 고정형 폭이 반보다 작을 때는 압저항 변화율은 매스가 없을 때보다 높게 나타나고 있다. 하지만, 매스로 인하여 가속도 센서가 데이터를 감지할 수 있으므로, 무게와 매스 크기가 민감도에 미치는 영향에 대한 분석은 필요할 것으로 사료된다.

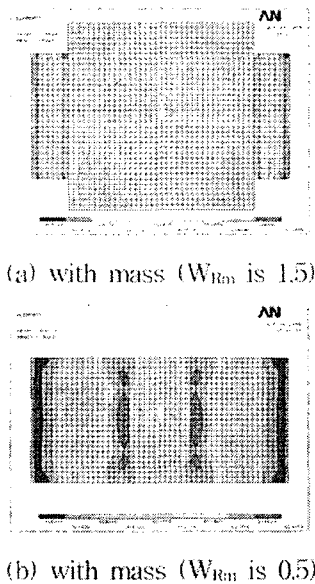


Fig. 7 The distribution of resistance change ratio on the bridge of acceleration sensor

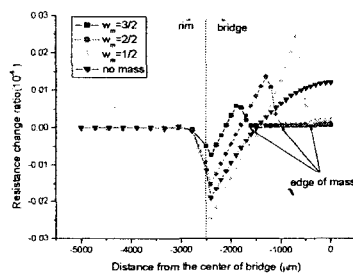


Fig. 8 The distribution of resistance change ratio along x-axis on the middle of bridge width

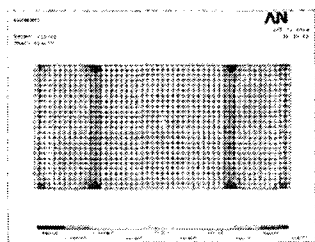


Fig. 9 The distribution of resistance change ratio about n-type silicon when W_{Rm} is 1

4.2.2. n-type

다음은 압저항 압력 센서에서 p-type <110>과 n-type <100> 재료를 비교하기 위해 Fig. 9에는 n-type <100> 재료에서 보스비가 1인 경우를 보여주고 있다. 압력 센서와 동일하게 Fig. 7(b)와 반대적인 분포 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 하지만, 압

저항 변화율 값은 낮은 경향을 보이고 있으므로, 양단 고정단 형태의 가속도 센서인 경우에 n-type <100> 재료를 이용한 압저항체 형성은 민감도를 상당히 감소시킬 것으로 사료된다.

5. 결론

외팔보 형태 압저항 가속도 센서의 저항변화율 분포를 구하여 다음의 결론을 얻었다.

1. 외팔보에서 질량으로 인한 강성도 증가로 전체 저항 변화율 값이 매우 낮게 나타나고 있다.
2. 최대 저항 변화율 값은 외팔보의 끝단에서 $100\ \mu\text{m}$ 떨어진 곳에서 나타나므로 y 방향의 압저항체의 위치가 정의되며, x 방향인 경우에는 폭의 중심에서 $800\ \mu\text{m}$ 의 길이에서 민감도가 가장 높다.
3. 외팔보 형태의 가속도 센서에서 X 방향 n-type 압저항체로 형성하는 것이 민감도를 크게 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.
4. 압저항 가속도 센서에서 매스 폭의 크기 변화는 양단 고정정보의 폭에 대한 매스의 폭비가 증가됨에 따라서 최대 또는 최소 압저항 변화율의 분포와 발생하는 최대 및 최소 압저항 변화율 값도 모두 감소하여 민감도는 감소된다.
5. 압저항 가속도 센서에서 n-type <100> 재료로 만들어진 압저항체는 전체적으로 민감도를 상당히 감소시키므로, 양단고정보 가속도 센서는 p-type으로만 제작하여야 할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

1. Elgamel, H. E., "Closed-form Expression for the Relationships Between stress, Diaphragm Deflection, and Resistance Change with Pressure in Silicon Piezoresistive Pressure Sensor," *Sensor and Actuators, A* 50, pp.17-22, 1995.
2. Ciampolini, P., Rossi, A., Pieranton, A., and Rudan, M., "Electro-elastic Simulation of a Piezoresistive Pressure Sensor," *Microelectronics Journal*, 26, pp.265-272, 1995.
3. Hsu, T. R., "MEMS& Microsystems Design and Manufacture," McGraw-Hill, pp.17-82, 2002.
4. Madou, M. J., "Fundamentals of Microfabrication," CRC Press, pp.217-274, 2000.
5. Kovacs, G. T. A., "Micromachined Transducers Sourcebook," McGraw-Hill, pp.210-260, 1998.