

압저항 가속도 센서의 압저항 변화를 분포도에 관한 연구

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

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(Mech. Eng. Dept., DAU), S. W. Lee(Mech. Eng. Dept., DAU), T. H. Kim(Subdivision of Mech. & Automotive, KIT)

ABSTRACT

Sensor used by semiconductor process produced an MAP sensor and applied to several industry. Among those sensors divided as transducer which convert physical quantity into electrical value, piezoresistive type sensor has been studied for the properties and sensitivity of piezoresistor. In this paper, the variation of seismic mass which have been functioned as actuator moving the cantilever beam analyzed the effect on distribution of resistance change ratio and supposed the optimal shape and position of piezoresistor. The resulting are following;

According to the increment of seismic mass size, the value of resistance change ratio decreased caused by improve the stiffness. Y directional piezoresistor is formed in spot of $100\ \mu\text{m}$ apart from cantilever edge and length of that is $800\ \mu\text{m}$. To increase the sensitivity, piezoresistor is made as n-type and x-direction.

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

1. 서론

반도체 공정을 이용한 센서의 제작은 MAP 센서에서 상용화되어 현재 여러 부분에 적용되고 있다. 이러한 센서는 물리적 양을 전기적 값으로 변환하는 매체에 따라 압저항방식, 축전용량방식, 압전방식, 광학방식 등으로 분류되며, 특히 압저항방식은 저항의 변화가 크고, 위치 제어 및 형상이 간단하여 오래 전부터 연구가 이루어지고 있다.

압저항 방식 압력 센서의 민감도에 관련된 연구로 Elgamel¹⁾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 HFIELDS-3D와 NASTRAN 프로그램을 사용하여 외력에 의한 응력과 압저항체의 전기적 특성을 연계하여 시뮬레이션하고, 외력에 의해서 발생하는 일정한 형상과 크기를 가진 압저항체의 민감도를 계산하였다.

하지만, 기존 연구는 압력의 변화에 의해 정의된 형상과 크기를 가진 압저항체의 전기적 특성 변화에 의해 민감도를 도출하는 것에 연구가 편중되어 압저항체의 위치나 크기가 민감도에 미치는 영향을 도출하지 못하였다. 그러므로 본 연구에서는 외팔보 타입의 가속도 센서에서 질량(seismic mass)의 크기 변화가 압저항체의 크기와 위치에 미치는 영향을 분석하기 위해 저항변화율 분포를 도출하고, 압저항체의 형상을 제안하고자 하였다.

2. 압저항 특성

2.1 압저항 특성

일반적인 금속 재료는 외력에 의해 변형되고, 재료의 길이나 단면적과 같은 기하학적 형상이 변화하게 되는 데, 이와같이 기하학적인 형상변화에 의해서 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 낮은 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. 응력과 저항의 관계는 식(1)에 의해서 도입된다.

$$\{\Delta R\} = [\pi]\{\sigma\} \quad (1)$$

2.2 압저항센서의 민감도

만약 다양한 센서에 적용되는 압저항체의 형상을 Fig. 1에서처럼 단순한 직사각형 형상으로 제작한다면, 외력에 의해서 발생하는 저항의 변화율은 식(2)을 이용하여 구할 수 있다.

$$\frac{\Delta R}{R} = \pi_L \sigma_L + \pi_T \sigma_T \quad (2)$$

여기서, 저항체에 작용하는 응력이 압저항체에 인가되는 전류방향과 일치하는 응력을 σ_L , 종방향응력이라 하고, 이때 저항체의 저항변화와 응력 사이의 관계는 종압저항 계수 π_L 로 나타낼 수 있다. 한편, 전류의 방향과 저항체에 작용하는 응력 방향이 수직으로 작용하는 응력을 σ_T , 횡방향응력이라 하고 이때 저항체의 저항변화와 응력 사이의 관계는 횡압저항계수 π_T 로 나타낸다. Fig.6에는 X축 방향을 종방향으로, Y축 방향은 횡방향으로 나타내었다. 본 연구에서 채택한 다이아프램 형 압력 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⁾⁴⁾

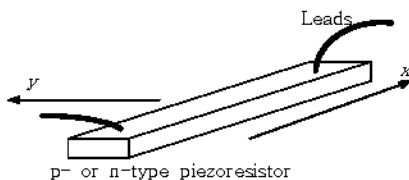


Fig. 1 Silicon strain gauge of hexagonal shape

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

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

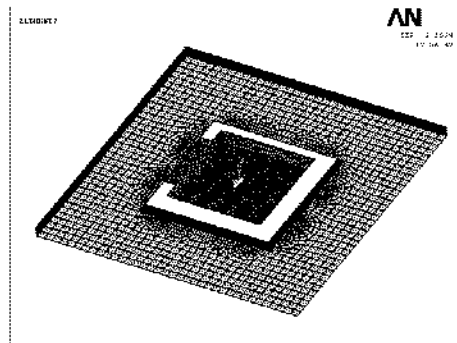


Fig. 2 The 3D meshed shape of cantilever type acceleration sensor when width ratio is 1.5

3. 해석 모델

외팔보의 질량보다는 형상 변화가 압저항변화를 분포도에 미치는 영향을 분석하기 위해서 기준이 되는 외팔보의 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. 해석에 적용된 모델 중, 폭의 비가 1.5인 경우의 형상을 Fig. 2에 나타내었다. 외팔보 중심에 질량이 있으며, 일반적으로 외팔보의 끝단에 압저항체를 형성한다. 본 연구에서는 도핑하는 재료에 따라 다른 압저항 특성을 가지므로 실리콘 각 종류에 따라 결과를 도출하였다. 우선 동일한 단위 압력(1N)을 질량에 균일하게 부가하였으며, 기판의 밑부분을 고정하였다. 또한, 실리콘은 이방성 재료로 각 방향에 따라 다른 특성을 나타내나 본 연구에서는 이방성재료로 해석을 수행하였다. ANSYS 프로그램의 3자유도 8절점 요소를 이용하여 탄성해석을 수행하여 응력분포도를 구하고, 이후에 압저항 특성을 도입하여 압저항 변화율을 구한다. 이후 각 절점에 대해 분포도로 나타내었다.

4. 저항 변화율 분포

가속도 센서에서 질량의 형상 변화에 따른 압저항변화율에 미치는 영향을 도핑되는 재료에 대해 분

석하여 다음의 결과를 얻었다.

4.1 P-type 압저항체

외팔보의 폭에 대한 질량 폭의 비가 0.5인 경우에 p-type으로 도핑되는 경우 음의 값을 가지며, 특히 질량으로 인한 강성도 증가로 질량 주위에서 매우 낮은 값을 보이고 있으며, 압저항의 변화율 분포도 완만한 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. 3(a)와 (b)에는 질량 폭의 변화에 따른 저항 변화율 분포를 보여주고 있다. 최대 값은 외팔보 폭의 끝단에서 극부적으로 발생하고 있으므로 압저항체를 형성하기에는 위치가 좋지 않다. 또한 Fig. 4에는 폭이 큰 경우에 압저항체를 x 방향으로 위치시킬 때 발생하는 압저항분포도이다.

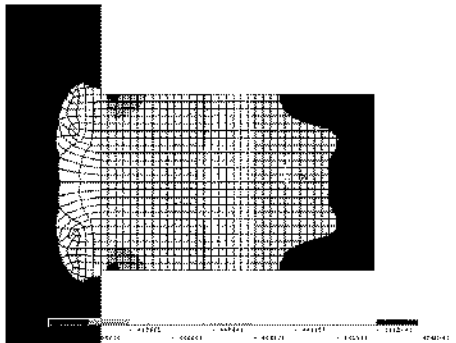


Fig. 3(a) The enlarged resistance change ratio distribution of piezoresistive sensor doped as p-type when width ratio is 0.5

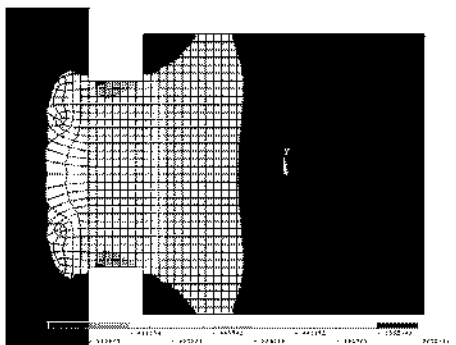


Fig. 3(b) The enlarged resistance change ratio distribution of piezoresistive sensor doped as p-type when width ratio is 1.5

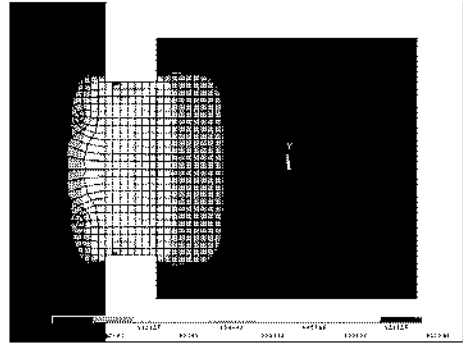


Fig. 4 The enlarged resistance change ratio distribution of piezoresistive sensor doped as p-type when width ratio is 1.5

Fig. 4에는 외팔보 폭의 중심에서 길이방향에 따른 압저항변화율 값을 나타내고 있다. 외팔보를 주위의 지지단에서 저항변화율이 보이지 않으며, 최소 저항 변화율 값은 외팔보의 끝단에서 $100\mu\text{m}$ 떨어진 곳에서 나타난다. 그러므로 압저항체는 이곳에 위치하는 것이 가장 유리할 것으로 사료된다. 또한, 길이는 $800\mu\text{m}$ 로 하는 것이 가장 적절할 것으로 사료된다. y 방향 압저항체인 경우에 질량의 폭이 증가함에 따라 외팔보의 강성도가 증가함에 따라서 최소 저항 변화율값은 폭의 비가 0.5인 경우에 7.88×10^{-8} 로 가장 높고, 1.5인 경우에는 7.66×10^{-8} 로 가장 낮았다. 질량의 증가로 저항변화율 분포도가 좁아짐을 알 수 있다. x 방향인 경우는 y 방향보다 값은 조금 증가하였으나, 그 경향은 유사하기 발생하고 있다.

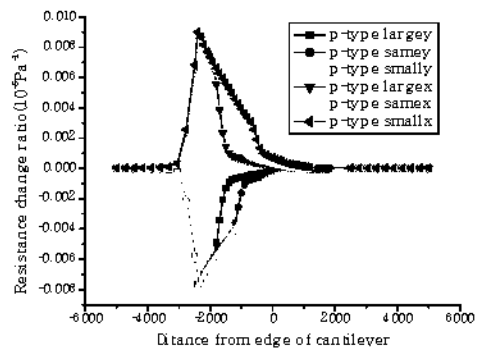


Fig. 5 The distribution of resistance change ratio along the middle position of cantilever width

4.2 N-type 압저항체

n-type 압저항체인 경우에는 p-type와는 반대로 양의 저항변화율 값을 가지며, 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. 6(a)과 (b)는 각 방향에 대한 저항변화율 분포를 나타내고 있다. Fig. 7에는 외팔보 폭의 중심에서 길이방향에 따른 압저항변화율 값을 나타내고 있으며, x 방향과 y 방향에 대해 그 값의 차이가 2.5배 정도 발생하고 있음을 알 수 있으며, 최대 값은 p-type보다 높게 발생하고 있으므로 외팔보 형태의 가속도 센서의 경우 민감도 향상을 위해서는 x 방향의 n-type 압저항체로 형성하는 것이 민감도를 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다. 저항 변화율값은 폭의 비가 0.5인 경우에 14.1×10^{-8} 로 가장 높고, 1.5인 경우에는 13.7×10^{-8} 로 가장 낮았다.

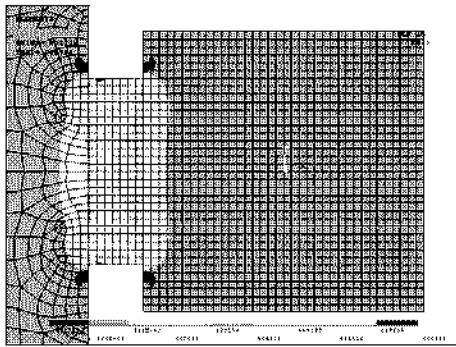


Fig. 6(a) The enlarged resistance change ratio distribution of piezoresistive sensor doped as y direction n-type when width ratio is 1.5

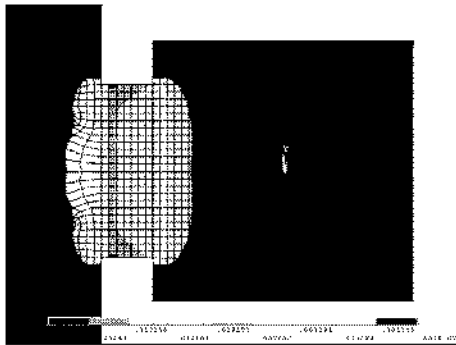


Fig. 6(b) The enlarged resistance change ratio distribution of piezoresistive sensor doped as x direction n-type when width ratio is 1.5

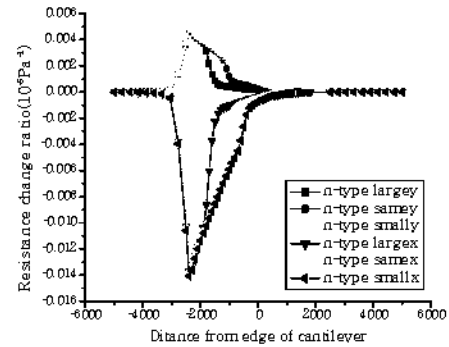


Fig. 7 The distribution of resistance change ratio along the middle position of cantilever width

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. X 방향 n-type 압저항체로 형성하는 것이 민감도를 크게 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

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.