

논문 2000-9-1-01

## SOI 구조 가속도센서의 온도 특성 해석

손미정, 서희돈

### Analysis of Temperature Characteristics on Accelerometer using SOI Structure

Mi-Jung Son and Hee-Don Seo

#### 요약

최근, 자동차가 점점 고급화 되어감에 따라 자동차엔진과 같이 200°C 이상의 고온과 부식적인 환경 하에 사용되어 질 수 있는 고성능의 실리콘 가속도센서의 장착이 기대되고 있다. 그러나 실리콘은 본질적으로 온도의 영향이 큰 물질이고, p-n 접합으로 압저항이 형성되기 때문에 150°C 이상이 되면 누설전류가 급격하게 증가하여 센서의 성능을 떨어뜨린다. 본 연구에서는 SOI 구조를 이용한 가속도센서의 온도특성을 해석하고, 유한요소법(finite element method)을 이용하여 감도 온도계수(TCS) 및 오프셋전압 온도계수(TCO)의 열잔류응력과 관련성을 검토하였다. 그 결과, TCS는 압저항의 불순물 농도를 최적화 함으로써 줄일 수 있고, TCO는 압저항의 열잔류응력과 불균일한 공정에 관계가 있다는 것을 알았다. 그리고 센서의 중앙지지구조에 있어서 패키징 열잔류응력의 평균값은 약  $3.7 \times 10^4 \text{Nm}^{-2} \text{C}^{-1}$  정도로 주변지지구조보다 1/10정도 작게 나타났다.

#### Abstract

One of today's very critical and sensitive accurate accelerometer which can be used higher temperature than 200°C and corrosive environment, is particularly demanded for automotive engine. Because silicon is a material of large temperature dependent coefficient, and the piezoresistors are isolated with p-n junctions, and its leakage current increase with temperature, the performance of the silicon accelerometer degrades especially after 150°C. In this paper, The temperature characteristic of a accelerometer using silicon on insulator (SOI) structure is studied theoretically, and compared with experimental results. The temperature coefficients of sensitivity and offset voltage (TCS and TCO) are related to some factors such as thermal residual stress, and are expressed numerically. Thermal stress analysis of the accelerometer has also been carried out with the finite-element method(FEM) simulation program ANSYS. TCS of this accelerometer can be reduced to control the impurity concentration of piezoresistors, and TCO is related to factors such as process variation and thermal residual stress on the piezoresistors. In real packaging, The average thermal residual stress in the center support structure was estimated at around  $3.7 \times 10^4 \text{Nm}^{-2} \text{C}^{-1}$  at sensing resistor. The simulated  $\gamma_{pT}$  of the center support structure was smaller than one-tenth as compared with that of the surrounding support structure.

#### 1. 서론

영남대학교 전기전자공학부 (School of Electrical & Electrical Engineering, Yeungnam University)

<접수일자 : 1999년 8월 6일>

지난 수년에 걸쳐 실리콘 미세가공기술과 집적회로 기술의 발달로 실리콘센서에 검출회로 및 주변회로를

집적화 하는 등 실용화를 위한 연구와 개발이 활발히 진행되고 있다<sup>[1-4]</sup>. 특히 실리콘 가속도센서는 자동차 업계를 중심으로 공업계측분야 등 산업계에서 관심이 고조되고 있다. 그러나 실리콘 가속도센서가 실용화되기 위해서는 해결해야 할 문제점이 많이 있다.

그 중에서 실리콘의 캐리어(carrier) 밀도가 온도와 밀접한 관계를 갖고 있기 때문에, 실리콘 압저항형 가속도센서는 출력특성이 온도에 의한 오프셋 및 온도 드리프트와 같은 온도 의존성을 갖게 되어 안정된 측정이 어렵다는 것이다. 그리고 검출소자를 형성하는 압저항의 구조상 사용 온도의 한계가 있다. 기존의 압저항 센서의 동작온도가 pn 접합의 누설전류 때문에  $-50^{\circ}\text{C}$  ~  $150^{\circ}\text{C}$ 로 제한되는 문제를 해결하기 위하여 SOI(silicon-on-insulator) 구조의 압저항형 가속도센서가 제안되었다.<sup>[5-7]</sup>

본 논문에서는 SOI 형 가속도센서의 감도 및 오프셋 전압의 온도특성에 영향을 미치는 요소들에 대하여 검토하였다. 특히 감도의 온도계수(temperature coefficients of sensitivity: TCS)와 오프셋전압의 온도계수(temperature coefficients of offset: TCO)는 열잔류응력에 관계되므로 유한요소법(FEM)을 이용하여 열응력의 영향을 해석하고, 제작된 소자로부터 측정된 특성과 비교 분석하였다.

## 2. 센서구조와 온도특성

실리콘센서에서는 일반적으로 집적회로 공정기술을 이용하여 가속도 검출용 압저항소자를 형성하며, 그림 1(a)와 같이 pn 접합의 확산분리법이 이용되고 있다. 이 방법은 비교적 간단하게 검출회로를 동시에 집적화할 수 있기 때문에 센서의 고 기능화에는 매우 유효하나 각 소자는 pn 접합으로 분리되어 있기 때문에, 유효하게 동작하는 온도의 상한은 pn 접합의 역방향 누설전류의 크기로 결정된다. 이 pn 접합의 누설전류는 진성캐리어 열 여기에 기인하며, 진성캐리어는 열에 의해 지수 함수적으로 증가한다<sup>[8]</sup>. 압저항형 센서는 그 자체의 내부 임피던스가 비교적 낮다. 그러기 때문에 신호 처리회로를 센서와 떨어진 위치에 배치해도 잡음의 영향을 그다지 받지 않는다. 그래서 센서의 동작온도의 한계를 주변회로의 동작온도의 상한으로 정할 필요는 없다. 또 소자에서 취하는 신호의 크기에 의해 허용 가능한 누설전류의 크기가 다르기 때문에 일괄적으로 사

용온도 상한을 정할 수 없지만, 일반적으로 집적회로의 동작 보정 온도가  $150^{\circ}\text{C}$  정도이므로, 비교적 큰 전류를 구동하는 센서의 경우에는  $200^{\circ}\text{C}$  근방에서 한계가 될 것이다. 따라서 전자회로 레벨에서 신호를 취급하는 한 접합분리에 의해 형성되는 센서의 사용온도 상한을 높이는 것은 한계가 있다.

그러나 그림 1(b)와 같이 SOI 기판을 사용하여 p형 압저항체를 섬모양으로 형성시켜 산화막으로 완전히 분리하면 고온에서 누설전류가 대폭으로 감소하고 방사선에 의한 전자·정공 발생에도 영향이 작으므로 고온, 방사선 등 나쁜 환경 하에서도 사용이 가능하다.

센서 소자는 최종적으로 세라믹 등의 패키지에 고정되어 사용되기 때문에 소자와 주변온도가 변화하게 되면 센서 칩과 패키지 재료의 열 팽창 차에 의해 발생하는 열응력이 센서 소자에 가해진다. 구조적인 관점에서 보면, 그림 1(a)와 같은 주변지지구조는 열응력에 의해 생기는 왜(strain)가 압저항 소자에 직접 영향을 미친다. 그러나 그림 1(b)의 중앙지지구조는 주변의 패키지가 열에 의해 변형을 해도 그 영향은 중앙지지부가 받고, 압저항을 형성하고 있는 빔(beam)에는 그 영향을 직접 받지 않는다. 그래서 주변 온도의 변화나 고온 하에서 안정된 특성을 갖게 된다.

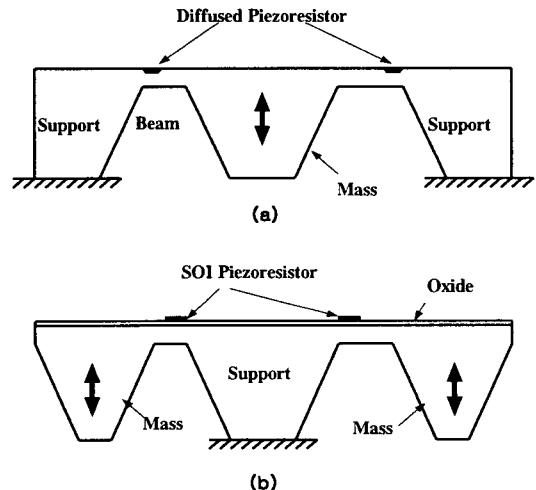


그림 1. 가속도센서 두 가지 지지구조

- (a) pn 확산 분리 압저항체를 갖는 주변지지구조
- (b) SOI 압저항체를 갖는 중앙지지구조

Fig. 1. Two kind of support structures

- (a) surrounding support with diffused piezoresistor
- (b) center support with SOI piezoresistor

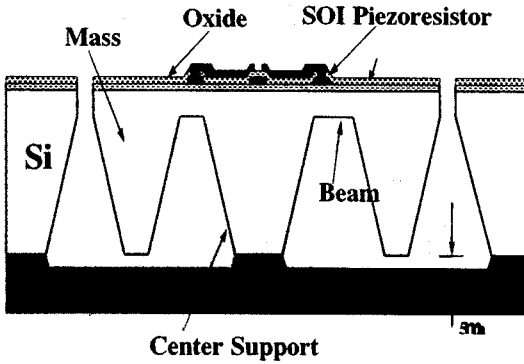


그림 2. 제작된 가속도센서의 단면도  
Fig. 2. Fabricated cross section of the accelerometer

본 연구에서는 pn 확산분리형과 SOI 형의 온도특성을 검토하기 위하여, 같은 제조 조건으로 두가지 구조의 가속도센서를 제작하였다. 그림 2는 압저항을 SDB 기술로 제작된 SOI 기판의 산화막 위에 1 $\mu$ m의 실리콘 층을 이용하여 형성하고, 센서의 중앙부가 glass 에 고정되어 주변부가 진동매스 (seismic mass)로 작동하는 중앙지지 구조로 제작된 센서의 단면도이다. 제작된 센서의 크기는 3500 $\mu$ m $\times$ 3500 $\mu$ m이며, 빔의 길이 및 두께는 각 400 $\mu$ m와 10 $\mu$ m이다. 진동매스의 높이는 240 $\mu$ m이고, 유리와의 갭(gap)은 5 $\mu$ m로 설계하였다.

### 3. 온도특성 해석

센서의 감도와 오프셋 전압이 사용온도 및 온도변화에 따라 어떤 영향을 받는가를 유한요소법을 이용하여 해석하였다. 그리고 그 결과를, 제작된 가속도센서로부터 측정된 데이터와 비교하여 분석하였다.

#### 3.1 오프셋전압의 온도 특성

오프셋전압은 검출저항의 양단 전압과 기준저항 양단 전압의 차로 나타난다. 그림 3에서 보는바와 같이 확산분리형 센서는 200 $^{\circ}$ C 이상에서 급격하게 오프셋전압이 증가하였다. 이로부터 pn 접합에 의한 누설전류가 증대하고 있는 것이 원인임을 알 수 있다. 검출저항 측은 기준저항 측과 비교해서 회로상 전기적 포텐셜이 높은 위치에 있고, 각 소자간을 분리하고 있는 pn 접합을 보다 높은 전압으로 역 bias 하고 있다. 따라서 역

방향 누설전류가 공급전류와 비교해서 무시할 수 없는 레벨이 되어, 기준저항에 비해 검출저항 측의 누설전류가 크게 나타난다.

한편 SOI 구조센서는 실온에서부터 400 $^{\circ}$ C까지 센서 소자의 온도를 변화시켜도 급격한 오프셋전압의 증가를 보이지 않았다. 이것은 압저항체가 산화막에 의해 유전체 분리되어 누설전류가 없기 때문이다. 생성된 오프셋전압은 검출저항과 기준저항 간의 열 응력의 차이, 혹은 불순물농도 차에 의한 온도계수의 차이의 영향이 대부분이다.

오프셋전압의 온도 의존성을 조사하기 위해, 저항에 대한 '차'와 '평균'에 대한 요소 ( $\delta R$ ,  $R$ )와 저항의 온도계수(temperature coefficient of resistance; TCR)에 대한 요소 ( $\delta\alpha$ ,  $\alpha$ )를 각각 다음 식들과 같이 정의한다.

$$\delta R = R_{sn} - R_{ref} \quad (1)$$

$$R = \frac{R_{sn} + R_{ref}}{2} \quad (2)$$

$$\delta\alpha = \alpha_{sn} - \alpha_{ref} \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{\alpha_{sn} + \alpha_{ref}}{2} \quad (4)$$

여기서  $R_{sn}$ 는 한 개의 검출저항이고,  $R_{ref}$ 는 기준저항이다. 그리고  $\alpha_{sn}$ 와  $\alpha_{ref}$ 는 각각 한 개의 검출저항의 온도계수와 기준저항의 온도계수이다. 응력을 받지 않을 경우에는 센서의 오프셋전압은 한 개의 검출저항과 기준저항 간의 전압 차로 정의되고, 그 전압 차는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{off} = R_{sn}I - R_{ref}I = \delta RI \quad (5)$$

그러므로 오프셋전압의 온도 의존성은 식 6으로 계산되어 진다.

$$\frac{\partial V_{off}}{\partial T} = (R_{sn}\alpha_{sn} - R_{ref}\alpha_{ref})I = (\alpha\delta R + R\delta\alpha)I \quad (6)$$

그러므로 오프셋전압의 온도계수는 식 7과 같다

$$TCO = \frac{1}{V_{off}} \frac{\partial V_{off}}{\partial T} = \alpha \left[ \frac{(\delta\alpha/\alpha)}{(\delta R/R)} + 1 \right] \quad (7)$$

위 식에서  $|\delta\alpha/\alpha| \ll |\delta R/R|$  인 경우, 오프셋전압의 온도계수는  $\alpha$ 에 의해 결정되고,  $|\delta\alpha/\alpha| \gg |\delta R/R|$  인 경우에는 오프셋전압의 온도계수는 식의 첫째 항에 의해 결정된다.  $-\delta\alpha/\alpha = \delta R/R$  과 같은 특별한 경우에는 오프셋전압의 온도계수는 영(zero) 이 된다. 그리고  $\delta\alpha$  는 열잔류응력과 같은 요소에 의해 결정되어 지고 오프셋전압의 온도계수에 영향을 준다. 그러므로  $\delta\alpha$ 는 오프셋전압의 온도계수에서의 열잔류응력의 영향을 조사함으로써 알 수 있다. 검출저항의 열잔류응력을 고려하면, 온도  $T_x$ 에서 저항은 식 8로 표현된다.

$$R_{sn}|_{T=T_x} \approx \left[ \left( 1 + \frac{1}{2} \pi_{44} \sigma_T \right) R_{s0} \right]_{T=T_x} \quad (8)$$

위 식에서  $R_{s0}$ 는  $R_{sn}$ 에 잔류응력이 존재하지 않을 때의 검출저항의 저항치이다. 그리고  $\sigma_T (= \sigma_{1T} - \sigma_{IT})$ 는 저항이 변화할 때  $T_x$ 에서의 유효잔류응력이다. 그리고 온도  $T_x$ 에서의 검출저항의 저항 온도계수는 식 9과 같다.

$$\begin{aligned} \alpha_{sn}|_{T=T_x} &= \left( \frac{1}{R_{sn}} \frac{\partial R_{sn}}{\partial T} \right) \Bigg|_{T=T_x} \\ &= \left( \alpha_{s0} + \frac{\pi_{44}\beta}{\frac{2}{\sigma_T} + \pi_{44}} + \frac{\gamma_T}{\frac{2}{\pi_{44}} + \sigma_T} \right) \Bigg|_{T=T_x} \end{aligned} \quad (9)$$

여기서  $\alpha_{s0}$ 는  $R_{s0}$ 의 저항의 온도계수이고,  $\beta$ 는  $\pi_{44}$ 의 온도계수이다. 그리고  $\gamma_T$ 는 온도  $T_x$ 에서의 열잔류응력 성분  $\sigma_T$ 의 온도 미분치이다. 그리고 기준 저항이 지지대의 중앙에 놓여짐으로서 잔류응력은 방사상으로 분포한다. 종방향 성분  $\sigma_{IT}$ 는 횡방향성분인  $\sigma_{IT}$ 와 동일하여, 기준저항은 열잔류응력 성분의 변화에 관계가 없다. 그러므로 온도  $T_x$ 에 대한 기준저항의 값은 아래식과 같다.

$$R_{ref}|_{T=T_x} \approx R_{r0}|_{T=T_x} \quad (10)$$

$R_{r0}$ 는 저항에 열잔류응력이 발생하지 않을 때의 참조저항의 저항 값이다. 그러면 기준저항의 저항 온도계수는 다음과 같다.

$$\alpha_{ref}|_{T=T_x} \approx \left( \frac{1}{R_{r0}} \frac{\partial R_{r0}}{\partial T} \right) \Bigg|_{T=T_x} = \alpha_{r0} \Bigg|_{T=T_x} \quad (11)$$

여기서  $\alpha_{r0}$ 는  $R_{r0}$ 의 저항 온도계수이고, 식 9과 식 11로부터  $T_x$ 에서의  $\alpha_{sn}$ 과  $\alpha_{ref}$ 사이의 저항 온도계수의 차  $\delta\alpha$ 는 식 12과 같다.

$$\delta\alpha|_{T=T_x} = \left( \frac{\pi_{44}\beta}{\frac{2}{\sigma_T} + \pi_{44}} + \pi_{44} + \frac{\gamma_T}{\frac{2}{\pi_{44}} + \sigma_T} + \delta\alpha_0 \right) \Bigg|_{T=T_x} \quad (12)$$

여기서  $\delta\alpha_0 = \alpha_{s0} - \alpha_{r0}$  이고, 제 1항과 2항은 열잔류응력이 오프셋전압에 미치는 영향을 표기하고 있다.

### 3.2 가속도 감도의 온도특성

센서가 정전류  $I$ 로 구동시킬 경우, 감도  $S$ 의 온도에 대한 계수는 다음 식과 같다.<sup>[9]</sup>

$$TCS = \frac{1}{\Delta R_{sn} I} \frac{\partial \Delta R_{sn} I}{\partial T} = \alpha_{sn} + \beta + \frac{1}{\alpha_{sn}} \frac{\partial \alpha_{sn}}{\partial T} \quad (13)$$

여기서  $\alpha_{sn}$ 은 검출저항의 온도계수이고,  $\beta$ 는  $\pi_{44}$  온도계수이다. 이 식에서 제 3항은 가속도에 의해 발생하는 응력의 온도계수로서 센서구조에 의해 결정되고, 크기도 작다. 그래서 감도의 온도계수는  $\alpha_{sn}$ 과  $\beta$ 에 의존하는데, 이 두 항은 저항의 불순물 농도에 따라 정해진다. 식 13의 제1항과 2항은 각각 양과 음의 값을 갖고 있기 때문에 적절한 불순물 농도로 압저항을 형성하면 감도의 온도 드리프트를 최소화 할 수 있다. 이 식은 두 번째 항에 의하여 첫 번째 항을 제거하도록 압저항의 불순물농도를 최적화하므로 낮은 감도 온도계수를 얻을 수 있음을 보여주고 있다<sup>[10]</sup>. 본 연구에서는 압저항의 표면 불순물 농도를  $10^{18} \text{cm}^{-3}$ 로 설계하여 식 13의 제 1항과 제 2항의 합이 '0'이 되도록 하였다.<sup>[11]</sup> 그림 3과 4에서 볼 수 있듯이 확산분리형이나 SOI 구조형의 경우 약 200°C까지는 온도가 상승함에 따라 오프셋 전압은 큰 변화를 가지지는 않았으나 감도는 서서히 증가를 하였다. 이것은 이 온도 영역에서는 식 13의 값이 확산분리형이나 SOI 구조형 모두 '양'의 값이 됨을 알 수 있다.

저항의 온도계수는 확산분리형의 경우 3200ppm이고, SOI 형의 경우 2600ppm이었다. 후자가 전자와 비교해서 적은 온도계수가 나타난 것은 제작시 불순물분포 차이에 의해 SOI 형 압저항의 표면 불순물농도가 높았기 때문이다.

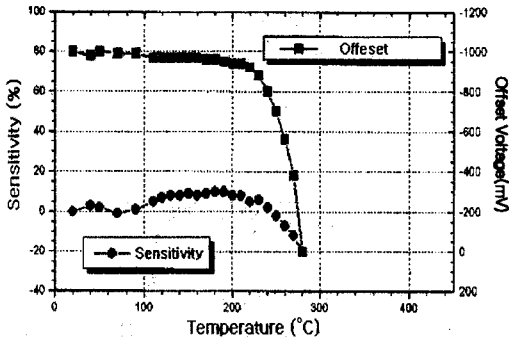


그림 3. pn 확산분리형 센서의 온도 특성  
Fig. 3. Temperature characteristic of the p-n isolation sensor

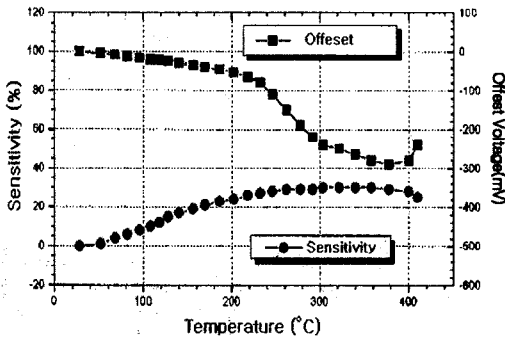


그림 4. SOI 형 센서의 온도특성  
Fig. 4. Temperature characteristic of the SOI sensor

200°C 이상의 온도에 있어서 오프셋 전압과 감도 온도특성을 살펴보면, 확산분리형 센서에 있어서는 검출 감도는 저하하고 있고, 오프셋전압의 절대치가 급속히 증가하고 있음을 알 수 있다. 이것은 pn 접합에 의한 누설전류의 증가로 저항변화에 기여하는 캐리어가 실질적으로 감소하기 때문이다. SOI형 센서의 경우는 급속한 오프셋전압의 변화는 보이지 않았고, 감도는 410°C까지 구할 수 있었다. 또한 온도 특성을 보면 25°C 부근에서 감도의 상승이 둔화되고, 350°C 이상에서

는 반대로 감도가 감소를 시작했다. 이것은 식 13의 제 2항의 값이 급격히 큰 음의 값이 되기 때문에 열 여기된 진성 캐리어의 급속한 증가에 의해, 전체 다수 캐리어 정공의 비율이 내려가고, 상대적으로 생기는 압저항 계수의 저하가 원인이 된다. 제작된 센서의 감도 온도계수는 좀 큰 편으로 보다 정확한 불순물 확산 제어를 하므로 감도 온도 특성은 보다 안정되게 할 수 있다.

SOI형 가속도 센서의 감도의 온도계수와 오프셋전압의 온도계수는 27°C에서 각각 1075.6ppm°C<sup>-1</sup>와 1928.6ppm°C<sup>-1</sup>이었다. 특히 감도의 온도계수는 220°C까지 거의 일정하지만 400°C 부근에서 음이 되었다. 이것은 250°C 이상에서 진성 캐리어가 갑자기 증가하여 β 값이 떨어지기 때문으로 생각된다. 보다 더 넓은 온도 범위에서의 소자의 동작에 대하여, 감도의 온도의존성을 최소화하는 것이 바람직하다.

#### 4 열응력 해석

$\delta\alpha$  성분을 평가하기 위하여 열잔류응력  $\sigma_T$  및 그것의 온도에 대한 미분  $\gamma_T$ 에 대해서 해석을 하였다. 이것은 재료간의 열팽창계수 차이에 의한 것이며, ANSYS 시뮬레이션을 이용하여 열 해석을 하였다. 일반적으로 물질의 열팽창계수는 온도에 따라 다르나, 해석을 간단하게 하기 위하여 모든 물질의 열팽창계수를 일정하게 하였다. 열 해석 모델에 사용된 열팽창계수는 표1과 같다.

센서 구조에 분포되어 있는 열잔류응력  $\sigma_T$ 는 실리콘과 SiO<sub>2</sub> 사이 인터페이스에 있는 박막 응력  $\sigma_{JT}$ 와 패키징에 의해 생성되는 패키지 응력  $\sigma_{PT}$ 이다. 이 두 가지 응력 성분의 원인은 두 물질 사이의 열팽창계수 차이이다. 본 논문에서는 중첩의 원리를 이용해 두 응력 성분을 각기 분리해서 해석을 한 후,  $\sigma_T$  성분을 구하였다. 그림 5는 박막응력 해석을 위해 사용된 구조물의 치수로서 소자층은 1 $\mu$ m실리콘 층과 0.5 $\mu$ m SiO<sub>2</sub> 층으로 되어 있고, 기판 부분은 패키지 응력을 받지 않는 조건으로 해석을 하였다. 그림 6은 센서의 지지부의 중심(x=0)부로부터 진동매스 방향으로의  $\gamma_T$ 성분 중에서 박막 응력에 대한 온도 영향  $\gamma_{JT}(= \partial \sigma_{JT} / \partial T)$ 의 해석 결과로서, 압저항의 종방향에 발생하는 열잔류응력  $\gamma_{JT}(\text{long})$ 와 횡방향에 발생하는 열잔류응력 성분  $\gamma_{JT}$

(trans)를 표시하였다. 그리고 두 성분의 차  $\gamma_{JT}$  를 표시하였는데, 그 차이가 압저항을 변화시킨다. 그림에서 알 수 있듯이 빔과 같은 얇은 구조에서 큰 열잔류응력이 나타나며, 검출저항 영역인  $700\mu\text{m}$ 에서  $800\mu\text{m}$  사이의 평균  $\gamma_{JT}$ 는 약  $6.1 \times 10^3 \text{ Nm}^{-2}\text{C}^{-1}$ 이다. 그리고 기준저항 영역인 센서 지지부 중앙의  $\gamma_{JT}$  및  $\sigma_{JT}$ 는 거의 “영”이다.

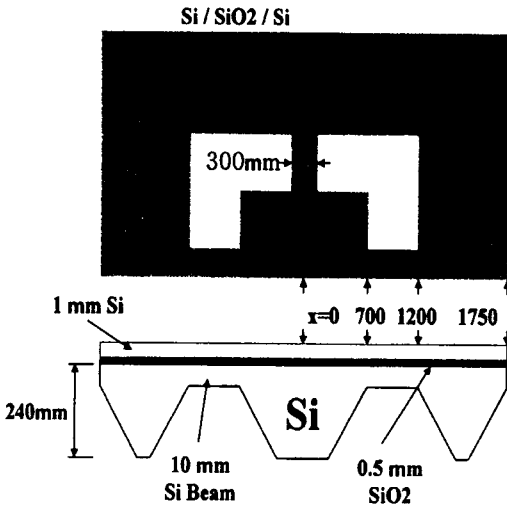


그림 5. 열응력 해석모델

Fig. 5. Analysis model of the thermal stress

표 1. 열 해석에 사용된 물질의 열팽창계수  
Table 1. Thermal expansion coefficients of each material used in analyzed models

Material	Thermal-expansion coefficient (ppm $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )
Silicon	2.23
SiO <sub>2</sub>	0.70
SD2 glass	2.23
Package	8.00

이 결과에서 볼 때, SiO<sub>2</sub> 막의 형성온도가 1000 $^{\circ}\text{C}$  일 때, 27 $^{\circ}\text{C}$ 에서 약  $-5.9 \times 10^6 \text{ Nm}^{-2}$ 의 열 잔류 응력 성분  $\sigma_{JT}$ 가 발생할 것이라 예상된다.

패키지 응력 해석모델에서는 박막 응력에 의한 영향이 나타나지 않게 하기 위해, SiO<sub>2</sub>의 열팽창계수, 영의 계수(Young's modulus) 및 포아손 비(Poisson's Ratio)의 값을 실리콘과 같게 하였다. 그림 7은  $\gamma_T$  성분 중 패키지 응력에 의한 성분  $\gamma_{pT}(= \partial \sigma_{pT} / \partial T)$ 의 해석 결과이다. 비록 FEM 모델이 실제 패키징에 존재하는 경계조건을 완전히 나타내지 못하지만 해석모델의 검출저항 영역의  $\gamma_{pT}$ 의 평균값은 약  $3.7 \times 10^4 \text{ Nm}^{-2}\text{C}^{-1}$ 이다.

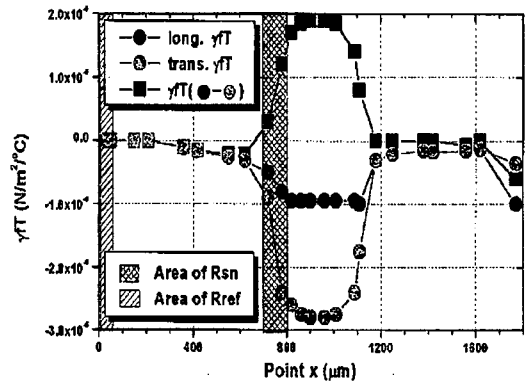


그림 6. 박막 스트레스에 의한 열잔류응력

Fig. 6. Thermal residual stress caused by SiO<sub>2</sub> films

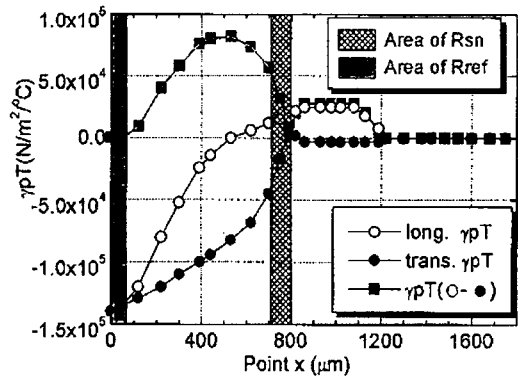


그림 7. 패키지 스트레스에 의한 열잔류응력

Fig. 7. Thermal residual stress caused by package

센서 칩이 200 $^{\circ}\text{C}$ 에서 패키징 된다면 검출저항영역의 유효 패키징 응력  $\sigma_{pT}$ 는 27 $^{\circ}\text{C}$ 에서 약  $-6.4 \times 10^6 \text{ Nm}^{-2}$ 이다. 그리고 기준저항에서의  $\gamma_{pT}$ 는 거의 “영”이었

다. 만약 검출저항이 빔과 진동매스의 연결된 부분에 놓여 있다면 패키지 스트레스는 더 작을 것이다. 중첩의 원리로부터  $\sigma_T (= \sigma_{JT} + \sigma_{pT})$ 를 통해 실온(27°C)에서의 열잔류응력  $\sigma_T$ 를 구할 수 있다. 그 결과  $\sigma_T$ 는 약  $-1.2 \times 10^7 \text{ Nm}^{-2}$ 이었다. 그리고  $\gamma_T (= \gamma_{JT} + \gamma_{pT})$ 는 대략  $4.3 \times 10^4 \text{ Nm}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 이다. 주변지지 구조도 패키지 응력의 크기를 비교하기 위해 동일 크기 모델을 사용하여 시뮬레이션을 하였다. 주변지지구조의  $\gamma_{pT}$  값은 중앙지지구조의 값에 비해 10배정도 더 크다. 그러므로 중앙지지구조의 오프셋전압의 온도계수는 패키지 스트레스의 영향을 더욱 더 크게 받는다.

## 5. 결론

본 연구에서는 실리콘 가속도센서의 고기능화와 신뢰성을 향상시키기 위하여 센서의 온도특성을 해석하고, 측정결과와 비교하였다.

감도의 온도계수는 압저항의 불순물농도를 최적화하므로 줄일 수 있고, 오프셋전압의 온도계수는 압저항의 열잔류응력과 불균일한 공정과 같은 요소에 관계됨을 알 수 있었다. 측정결과 감도의 온도계수와 오프셋전압의 온도계수는 27°C에서 각각  $1075.6 \text{ ppm}^\circ\text{C}^{-1}$ 와  $1928.6 \text{ ppm}^\circ\text{C}^{-1}$ 이었다. 그리고 구조해석 프로그램을 이용한 가속도센서의 열응력을 통하여 센서의 두가지 구조가  $\text{SiO}_2$  박막 응력에 의한 열잔류응력과 패키지 응력의 열잔류응력에 어떻게 영향을 받는지 검토하였다.

중앙지지구조의 패키징 열잔류응력  $\gamma_{pT}$ 는 약  $3.7 \times 10^4 \text{ Nm}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  정도로, 주변지지구조의  $\gamma_{pT}$  보다 1/10 정도 작기 때문에 오프셋전압의 온도계수도 패키지 응력의 영향을 적게 받음을 알 수 있다.

SOI 형 가속도센서는 종래 pn 접합 분리형 센서보다 200°C 이상 고온인 400°C 이상에서도 오프셋전압과 감도가 안정성을 보였다. 이것은 설계 단계에서 FEM 시뮬레이션 해석을 통하여 오프셋전압과 감도의 온도 영향을 최소로 하도록 고려한 성과이다.

## 감사의 글

이 논문은 1996년도 교육부 학술연구조성비에 의하여 연구되었습니다.

## 참고문헌

- [1] P. Kleinschmidt and F. Schmidt, "How many sensors does a car need," Sensor and Actuators A, 31, pp.33-45, (1992)
- [2] J. C. Greenwood, "Silicon in mechanical sensor," J.Phys. E: SCI Instrum, vol.10, pp.239-248, (1986)
- [3] K. E. Peterson, "Silicon as a mechanical material," Proc. of IEEE, vol.70 no.5, pp.420-457 (1982)
- [4] P. L. Chen, R. S. Muller, R. D. Jolly, G. L. Halac, R. M. White, A. P. Andrews, T. C. Lim, M. E. Motamedy, "Integrate Silicon Microbeam PI-FET Accelerometer," IEEE Tran. Electron Device, ED-29, 1, pp.27-33 (January 1982)
- [5] Y. T. Lee, H. D. Seo, M. Ishida and T. Nakamura, "High temperature pressure sensor using double SOI structure with  $\text{Al}_2\text{O}_3$  film," Sensors and Actuators A, pp 59-64 (1994)
- [6] H. Takao, Y. Matsumoto, H. D. Seo, M. Ishida and T. Nakamura, "Three dimensional vector accelerometer using SOI structure for high temperature," Transducers'95, Stockholm, Sweden, pp 683-686 (1995)
- [7] 서희돈, "SOI 구조를 이용한 고온용 가속도센서의 제작," 서울대학교 반도체 공동연구소 연구보고서, pp1-47 (1997)
- [8] K. Okada, K. Nuri, S. Yagawara, A. Shimomura, T. Takizawa, H. Kishi and M. Nakamura, "Temperature drift in silicon diaphragm piezoresistive pressure sensor," 電線技報 (1982)
- [9] Y. T. Lee, H. D. Seo, A. Kawamura, T. Yamada, Y. Matsumoto, M. Ishida, T. Nakamura, "Compensation method of offset and its temperature drift in silicon piezoresistive pressure sensor using double wheatstone-bridge configuration," Transducers'95, Vol 2, pp 570-573(1995)
- [10] Y. Kanda, "Piezoresistance effect of silicon," Sensors and Actuators, A, 28, pp.83-91 (1991)

- [11] F.M. d'Heurle, "Metallurgical topics in silicon device interconnection," Int. Mater.Review, Thin film stress, 34 pp53-68(1989)

---

著 者 紹 介

---



손미정 (孫美正)

1965年 11月 20日生

1985年~1992年 영남대학교 전자공학과 학사. 993年~1995年 영남대학교 전자공학과 석사, 1997年~현재 영남대학교 전자공학과 박사과정, 1997年 9月 ~1998年 영남대

학교 정보통신연구소 연구원, 1998년 8月~1999年 6月 일본토요하시 기술과학대학 단기유학

주관심 분야 : 가속도센서, 압력센서

서희돈 (徐熙敦)

『센서학회지 제5권 제1호』 논문96-5-1-07 p.43 참조  
현재 영남대학교 전기전자공학부 교수