

<학술논문>

DOI:10.3795/KSME-A.2010.34.4.391

# 금속 외팔보에 접착된 박막 실리콘 스트레인 게이지의 제작 및 성능 평가

김용대\* · 김영덕\*\* · 이철섭\*\* · 권세진\*†

\* 카이스트 항공우주공학전공, \*\* Tyco Electronics

## Fabrication and Performance Evaluation of Thin Polysilicon Strain Gauge Bonded to Metal Cantilever Beam

Yongdae Kim\*, Young Deok Kim\*\*, Chul Sub Lee\*\* and Sejin Kwon\*†

\* Division of Aerospace Engineering, KAIST, \*\* Tyco Electronics

(Received January 30, 2009 ; Revised February 19, 2010; Accepted February 23, 2010)

**Key Words** : Glass Frit Bonding(글래스 프릿 접착), MEMS Sensor(MEMS 센서), Poly-Si Strain Gauge(다결정 실리콘 스트레인 게이지), Silicon Strain Gauge(실리콘 스트레인 게이지)

**초록**: 금속은 가공성이 우수하기 때문에 다양한 형태의 구조물이나 격막을 제작할 수 있다. 이런 금속 구조물이나 격막에 민감도가 월등히 우수한 실리콘 스트레인 게이지를 적용할 경우 그 응용 범위가 다양해질 수 있다. 이에 금속구조물에 다결정 실리콘 스트레인 게이지를 접착한 형태의 센서를 제안하였다. 실리콘 기판을 이용해 박막형 다결정 실리콘 스트레인 게이지를 제작하기 위한 제작공정을 확립하였으며, 제작된 실리콘 스트레인 게이지를 금속 변형부 위에 접착하기 위한 접착공정을 확립하였다. 이후 금속 외팔보에 실리콘 스트레인 게이지를 글래스 프릿 접착하여 성능평가를 실시하였다. 성능평가 결과 게이지팩터는 34.0의 값을 가졌으며, TCR (Temperature Coefficient of Resistance)은 -328 ppm/°C의 값을 가졌다.

**Abstract**: In this paper, we propose a sensor design by using a polysilicon strain gauge bonded to a metal diaphragm. The fabrication process of the thin polysilicon strain gauges having thicknesses of 50 μm was established using conventional MEMS technologies; further, the technique of glass frit bonding of the polysilicon strain gauge to the stainless steel diaphragm was established. Performance of the polysilicon strain gauge bonded to the metal cantilever beam was evaluated. The gauge factor, temperature coefficient of resistance (TCR), nonlinearity, and hysteresis of the polysilicon strain gauge were measured. The results demonstrate that the resistance increases linearly with tensile stress, while it decreases with compressive stress. The value of the gauge factor, which represents the sensitivity of strain gauges, is 34.0; this value is about 7–15 times higher than the gauge factor of a metal-foil strain gauge. The resistance of the polysilicon strain gauge decreases linearly with an increase in the temperature, and TCR is -328 ppm/°C. Further, nonlinearity and hysteresis are 0.21 % FS and 0.17 % FS, respectively.

### 1. 서 론

센서는 일반적으로 관측대상의 정보를 물리적, 화학적, 생물학적 효과를 이용해 전기적 신호로 변환하는 소자로 정의된다. 센서는 생산공정 자동화, 환경검사, 의료, 자동차, 우주항공, 군수 등은 물론이고 우리 일상생활에 이르는 폭넓은 곳에서 사용되고 있다.

이러한 센서는 1970년대부터 실리콘 가공기술을 기반으로 한 MEMS 기술이 적용되면서 성능 및

생산에 혁신적인 발전이 이루어 졌다. 초기에 연구되기 시작한 MEMS 센서는 실리콘 스트레인 게이지를 이용한 압력센서였다. 실리콘은 기존 재료에 비해 기계적 강도와 감도가 우수하고, 가공 공정이 확립되어 있기 때문에 스트레인 게이지 재료로 적합하다. 이후 MEMS 센서의 수요 확대에 힘입어 실리콘 스트레인 게이지를 이용한 압력센서, 가속도센서, 힘센서 등의 센서 제품이 상용화되기 시작하였다.<sup>(1)</sup>

일반적으로 압력센서나 힘센서는 외부에서 압력이나 힘이 가해지면 변형을 일으키는 변형부 위에 스트레인 게이지가 형성된 형태를 가진다. 스트레인 게이지는 모양이 변하면 저항 값이 변하는데

† Corresponding Author, trumpet@kaist.ac.kr

이 저항을 측정함으로써 외부에서 가해진 압력이나 힘을 측정할 수 있다. 스트레인 게이지의 종류에는 금속 박막 스트레인 게이지와 실리콘 스트레인 게이지가 있다.

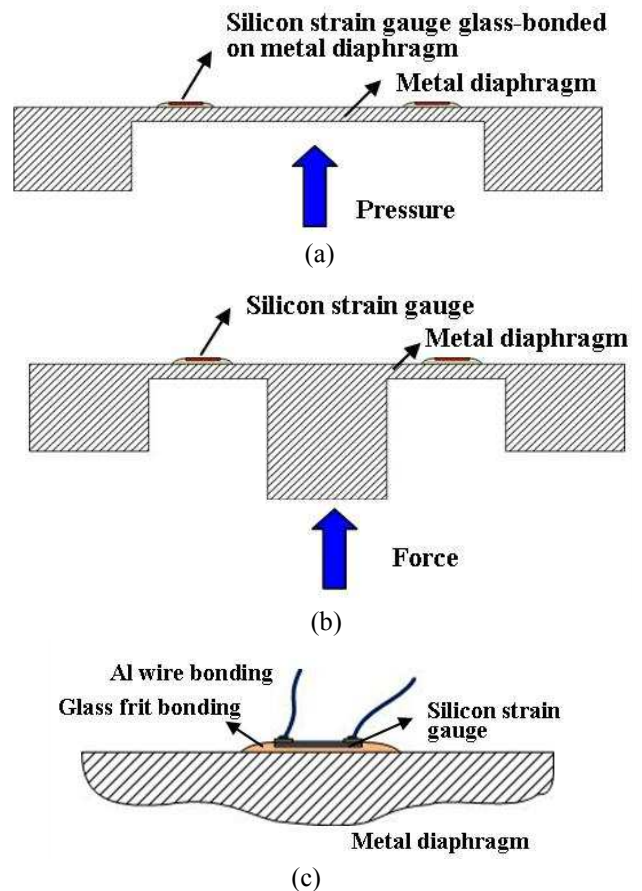
실리콘 스트레인 게이지가 금속 박막 스트레인 게이지보다 5 ~ 40 배 큰 민감도를 가짐에도 불구하고,<sup>(1)</sup> 금속 구조물이나 금속 격막의 변형을 측정하기 위해 주로 금속 박막 스트레인 게이지가 사용된다. 이것은 실리콘 스트레인 게이지가 실리콘 웨이퍼를 화학적으로 식각하여 제작한 격막 위에 형성되기 때문이다. 즉 실리콘 스트레인 게이지가 실리콘 웨이퍼를 가공하여 제작한 변형부 위에 통합 제작이 되기 때문에 실리콘 스트레인 게이지를 따로 분리할 수 없다.<sup>(2-8)</sup> 이 경우 실리콘 스트레인 게이지를 금속 구조물이나 변형부에 적용하기 어렵다.

금속은 실리콘에 비해 가공성이 우수하기 때문에 다양한 형태의 구조물이나 격막을 제작할 수 있다. 이런 금속 구조물이나 격막에 민감도가 월등히 우수한 실리콘 스트레인 게이지를 적용할 경우 그 응용 범위가 다양해질 수 있다. 이에 본 연구에서는 기계가공을 이용하여 다양한 형상과 크기를 가지는 금속 변형부를 제작한 후 그 위에 금속 박막 스트레인 게이지보다 민감도가 우수한 실리콘 스트레인 게이지를 접착한 형태의 센서를 제안하고자 한다. 이를 위해 실리콘 기판 위에 실리콘 스트레인 게이지를 집적하여 제작하기 위한 제작공정을 확립하였으며, 제작된 실리콘 스트레인 게이지를 금속 변형부 위에 접착하기 위한 접착공정을 확립하였다. 이후 금속 외팔보에 실리콘 스트레인 게이지를 글래스 프릿 접착하여 성능평가를 실시하였다.

## 2. 실리콘 스트레인 게이지의 제작

실리콘 스트레인 게이지를 약 50  $\mu\text{m}$  두께의 박막 형태로 제작한 후 글래스 프릿을 이용하여 금속 변형부에 접착하였다. Fig. 1 (a), (b)와 같이 변형부에 압력이나 힘이 가해지면 변형부가 휘어지게 되고, 그에 따라 실리콘 스트레인 게이지가 변형을 한다. 스트레인 게이지가 변형되면 저항 값이 변하는데 이를 측정함으로써 가해진 압력이나 힘을 계산할 수 있다. Fig. 1(c)는 박막 실리콘 스트레인 게이지가 금속 변형부에 글래스 프릿 접착된 부분의 상세도를 보여주고 있다.

실리콘 스트레인 게이지는 두 가지 방법으로 제



**Fig. 1** Schematic of silicon strain gauge sensor (a) pressure sensor, (b) force sensor, (c) detailed view of silicon strain gauge bonded on metal diaphragm

작할 수 있다. 첫 번째 방법은 P-N 접합방식<sup>(2-4)</sup>이고, 두 번째 방식은 SOI (Silicon on Insulator) 방식<sup>(5-8)</sup>이다. P-N 접합방식은 P형 웨이퍼에 인을 주입하거나 N형 웨이퍼에 붕소를 주입하여 실리콘 웨이퍼 내부에 압저항 부를 형성하는 방식이다. 이 방식은 제작 공정이 간단하지만 100  $^{\circ}\text{C}$  이상의 고온에서 P-N 접합부에 누설전류가 발생할 수 있다는 단점이 있다. SOI 방식은 실리콘 웨이퍼와 압저항부 사이에 절연층을 형성하는 방식이다. 이 방식의 경우 절연층에 의해 압저항 부와 실리콘 기판이 절연되어 있으므로 100  $^{\circ}\text{C}$  이상의 고온에서도 누설전류가 발생하지 않는다는 장점이 있다.<sup>(8)</sup>

SOI 방식의 경우 단결정 실리콘 또는 다결정 실리콘을 이용하여 스트레인 게이지를 제작할 수 있다. 단결정 실리콘은 게이지 팩터가 다결정 실리콘에 비해 2 ~ 4 배 높지만 온도에 따른 저항 변화가 매우 크게 나타난다. 반면에 다결정 실리콘은 단결정 실리콘에 비해 게이지 팩터는 낮지만 온도에 따른 저항 변화가 심하지 않다는 장점이

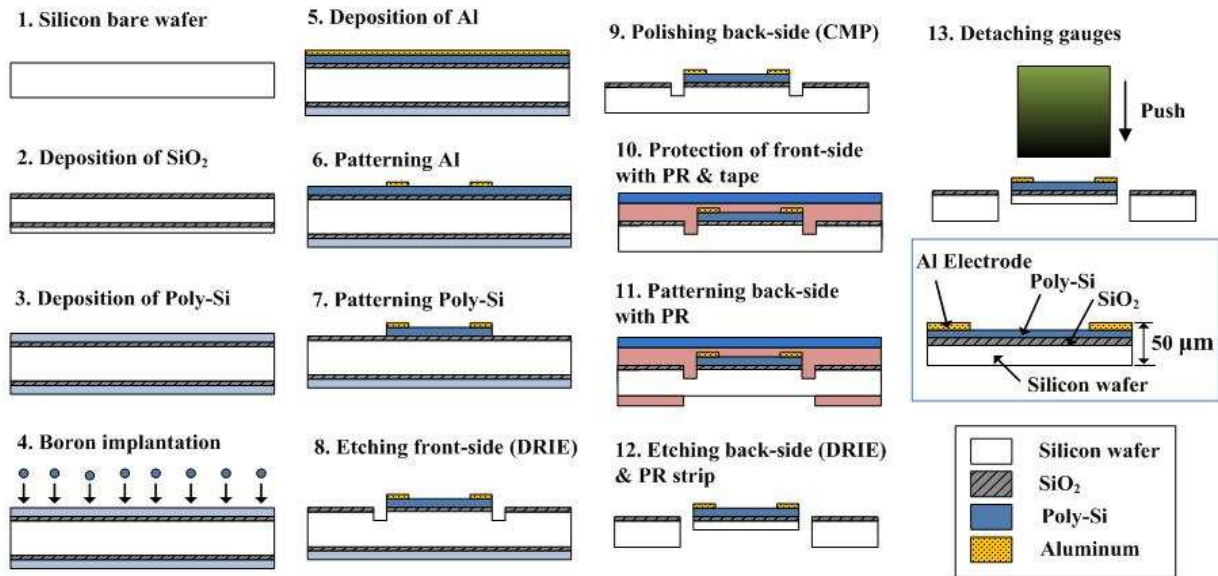


Fig. 2 Fabrication process of thin poly-silicon strain gauge

있다.<sup>(9)</sup> 따라서 온도변화에 따른 저항 변화가 작고, 100 °C 이상에서도 누설전류가 발생하지 않는 실리콘 스트레인 게이지를 제작하기 위해 SOI 방식 다결정 실리콘 스트레인 게이지를 제작하였다.

박막 게이지 제작 공정은 Fig. 2 와 같다. 먼저 실리콘 기판 위에 LPCVD(Low Pressure Chemical Vapor Deposition) 방식으로 2.5 μm 두께의 산화 실리콘 막을 증착하고, 그 위에 1 μm 두께의 다결정 실리콘 막을 증착한다. 이후 증착된 다결정 실리콘 막에  $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  농도의 붕소이온을 주입한다. 다음으로 스퍼터를 이용해 알루미늄 막을 증착하고 습식식각 방식으로 패터닝한다. RIE (Reactive Ion Etching) 방식으로 다결정 실리콘과 산화 실리콘을 패터닝 하고, 웨이퍼 윗 면을 스트레인 게이지 모양으로 50 μm 깊이를 DRIE(Deep Reactive Ion Etching) 한다. 다음으로 웨이퍼 뒷 면을 200 μm 까지 폴리싱한다. 이후 앞 면을 보호하기 위해 PR 을 코팅을 하고, DRIE 과정에서 웨이퍼를 관통하는 etch-through 형성 시 냉각 기체가 누설되는 것을 방지하기 위해 내화학성 테이프를 앞면에 접착한다. 다음으로 웨이퍼 뒷 면을 PR 패터닝 한 후 DRIE 방식으로 식각을 한다.

Fig. 3(a), (b)는 제작된 실리콘 스트레인 게이지를 보여주고 있다. Fig. 3(a)에서 하얀 색으로 보이는 부분은 다결정 실리콘 위에 알루미늄이 증착된 부분이며, 검은색으로 보이는 부분이 다결정 실리콘으로 압저항 효과에 의해 저항이 변하는 부분이다. 실리콘 스트레인 게이지는 브리지에 의해 실리콘 웨이

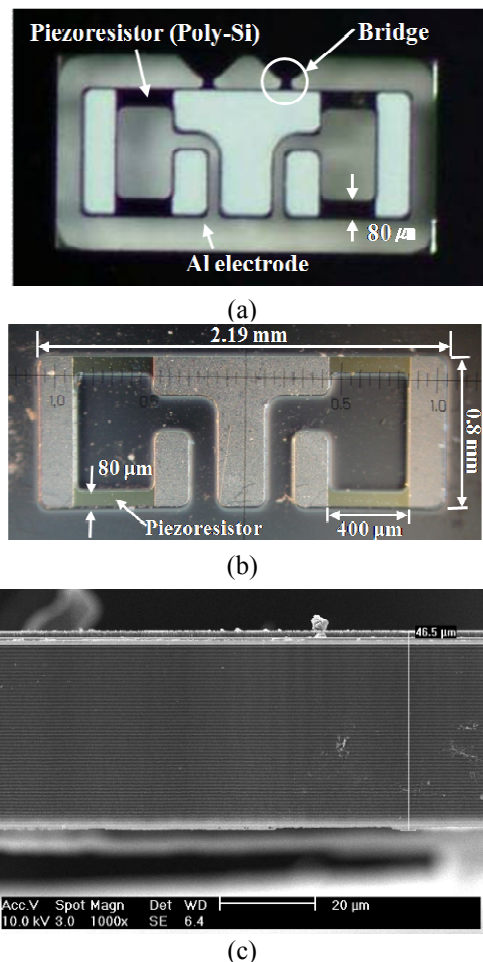


Fig. 3 Fabricated thin poly-silicon strain gauge; (a) strain gauge connected to silicon wafer (b) thin poly-silicon strain gauge detached from silicon wafer (c) side view of strain gauge

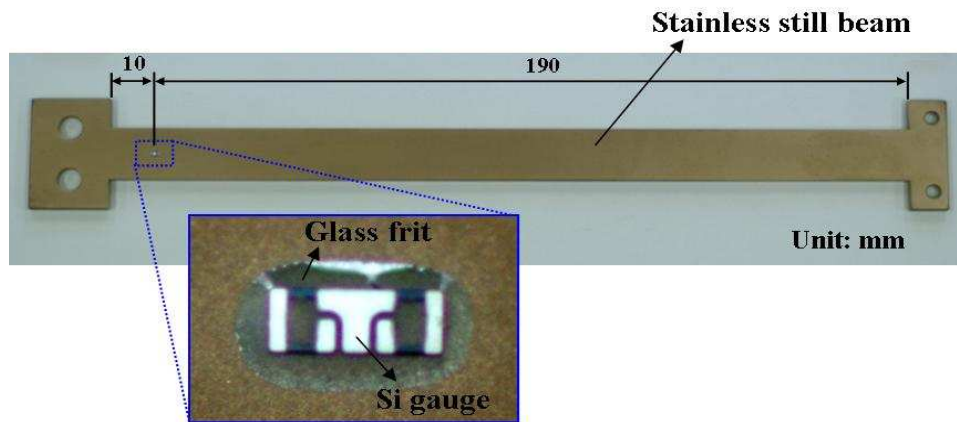


Fig. 4 Poly-silicon gauge bonded on stainless still cantilever beam

피에 연결된 형태로 제작이 되었으며, 브리지 에 힘을 가함으로써 실리콘 스트레인 게이지를 떼어낼 수 있다(Fig. 3(b)). 실리콘 스트레인 게이지에서 브리지와 연결된 가운데 부분은 게이지를 떼어낼 때 힘을 가할 부분이기 때문에 큰 면적을 가지도록 설계하였다. 제작된 실리콘 스트레인 게이지의 두께는 Fig. 3(c)에서 보는 바와 같이 약  $50 \mu\text{m}$  이며, 가로 및 세로는 각각  $2.19 \text{ mm}$ ,  $0.86 \text{ mm}$  이다. 압저항부는 총 4개로 구성이 되어 있으며 각각 길이  $400 \mu\text{m}$ , 너비  $80 \mu\text{m}$  이다. 공정 변수 연구가 수행되지 않았기 때문에 실리콘 스트레인 게이지의 치수 및 공정 조건은 Berre 등의 연구<sup>(13)</sup>에서 비저항 값 및 게이지 팩터 등을 참고하여 결정하였다.

### 3. 금속 격막에 접착

실리콘 스트레인 게이지는 일반적으로 유기접착제를 이용해 변형량을 측정하고자 하는 면에 접착된다. 유기접착제의 경우 경화 온도가 낮기 때문에 다양한 물질 간 접착이 가능하다는 장점이 있으나 내구성 및 신뢰성이 낮고, 고온에서 소성거동 (Plastic behavior)에 의해 히스테리시스가 발생한다는 단점이 있다. 반면에 글래스 프릿은 고온에서 경화가 되기 때문에 열팽창계수 차이가 매우 큰 실리콘과 금속 변형부에 적용하기 어렵고, 접착 후 잔류응력이 나타날 수 있다는 단점이 있으나 내구성 및 신뢰성이 우수하고 고온에서 히스테리시스가 나타나지 않는다는 장점이 있다.<sup>(11)</sup>

이 논문에서는 일반 스테인리스강에 비해 항복점이 높고 피로한도가 높으며, 열팽창계수가 작은 SUS630 스테인리스강을 이용해 금속 외팔보를 제작하였다. 글래스 프릿을 이용한 접착 방법은 다음과 같다. 먼저 유기물을 제거하기 위해 5% 염산용액에 금속 외팔보를 세척한다. 금속 외팔보

위에 스크린 프린팅 방법을 이용해 글래스 프릿을 도포한 후 실리콘 스트레인 게이지를 원하는 부분에 위치시킨다. 이때 도포된 글래스 프릿의 두께는  $150 \mu\text{m}$  로 하였다. 글래스 프릿은 보통 유기결합체에 의해 글래스 프릿이 묶여있고, 이 물질이 다시 솔벤트에 녹아 있는 페이스트 형태로 제작이 된다. 따라서 솔벤트 및 유기결합체를 제거하는 과정을 거쳐야 한다. 솔벤트는  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 제거가 되며, 유기결합체는  $350 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 제거된다. 이후  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 열처리를 하면 글래스 프릿이 녹으면서 접착이 이루어진다. 이와 같은 과정을 거치면 솔벤트 및 유기결합체가 제거됐기 때문에 글래스 프릿 접착층의 두께는 약  $100 \mu\text{m}$ 가 된다.

글래스 프릿 접착이 고온에서 이루어지고, 금속과 실리콘 사이의 열팽창계수 차이가 크기 때문에 접착과정에서 실리콘 스트레인 게이지가 깨지거나 글래스 프릿 접착층이 파단되는 현상이 나타났다. 이를 해결하기 위해 약  $50 \mu\text{m}$  두께의 박막 실리콘 스트레인 게이지를 제작한 후 글래스 프릿 접착하였다. 실리콘 스트레인 게이지의 두께가 얇을수록 같은 힘이 작용했을 때 변형이 쉽게 일어나기 때문에 접착면에 응력이 적게 걸린다. Fig. 4는 금속 외팔보에 접착된 실리콘 스트레인 게이지를 보여주고 있다.

### 4. 성능 평가 및 고찰

Fig. 5는 실리콘 스트레인 게이지 성능평가 장치의 개략도를 보여 주고 있다. 먼저 외팔보에 변형을 가한 후 적외선 위치 센서 (Z4M-W40, OMRON Co.)를 이용해 외팔보 끝단의 변형량을 측정한다. 이후 외팔보의 처짐에 관한 식 (1)을 이용해 실리콘 스트레인 게이지의 변형량  $\epsilon_x$ 를

계산할 수 있다.

$$\epsilon_x = \frac{3(L-x)h}{2L^3} \times \delta \quad (1)$$

위 식에서  $L$  은 외팔보의 길이,  $h$  는 외팔보의 두께,  $\delta$  는 끝단의 변형량을 나타낸다. 이때 외팔보의 길이는 200 mm, 두께는 3 mm 이었다. 실리콘 스트레인 게이지의 성능을 평가하기 위해 감도, 비선형성, 히스테리시스, TCR 을 측정하였다. 스트레인 게이지의 감도는 변형량에 따른 저항 변화를 나타내며, 일반적으로 식 (2)의 게이지 팩터를 계산함으로써 평가할 수 있다.

$$GF = \frac{R(\epsilon) - R_0}{\epsilon} \quad (2)$$

위 식에서  $\epsilon$  은 변형량,  $R(\epsilon)$  은  $\epsilon$ 에서의 저항 값

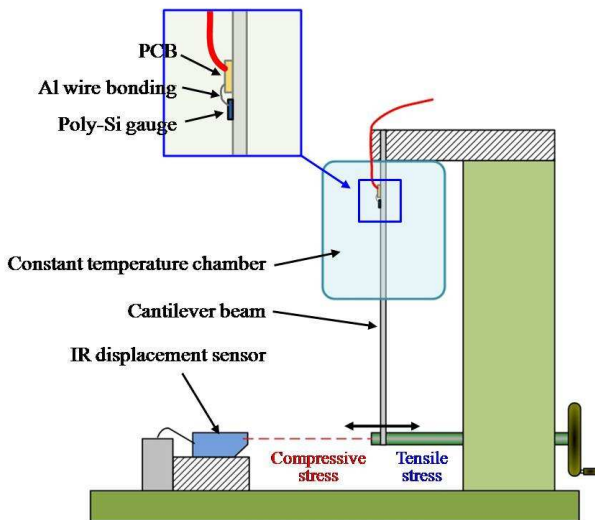


Fig. 5 Experimental setup to evaluate performance of poly-silicon gauge

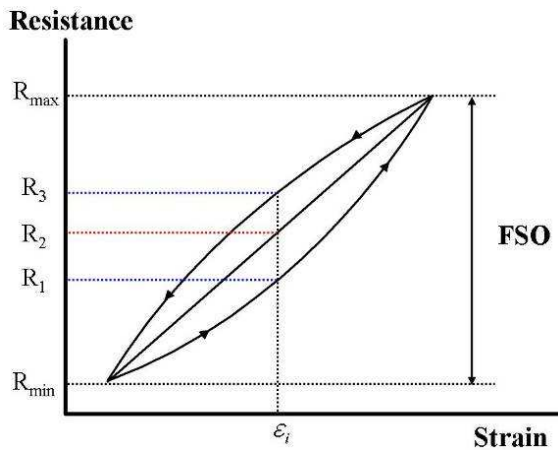


Fig. 6 Resistance as a function of strain

을 나타낸다.  $R_0$  는 게이지에 변형이 가해지지 않았을 때 저항 값을 나타낸다.

비선형성은 실리콘 스트레인 게이지의 저항이 선형적으로 변하는지를 판단하는 수치이며, 식 (3) 과 같이 계산할 수 있다.

$$Nonlinearity = \frac{R_1 - R_2}{R_{max} - R_{min}} \times 100 \% \quad (3)$$

식 (3)에서  $R_1, R_2$  은 각각 Fig. 6에서 변형량  $\epsilon_i$  에서 실제 저항 값 및 선형 보간하여 계산한 저항 값을 나타낸다.

히스테리시스는 변형량을 증가시키면서 측정된 저항 값과 변형량을 감소시키면서 측정된 저항 값의 차이를 나타내며, 식 (4)와 같이 계산할 수 있다.

$$Hysteresis = \frac{R_3 - R_1}{R_{max} - R_{min}} \times 100 \% \quad (4)$$

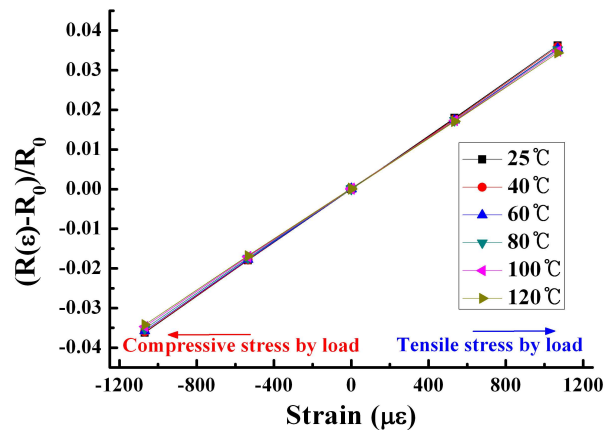


Fig. 7 Normalized resistance as a function of strain and temperature

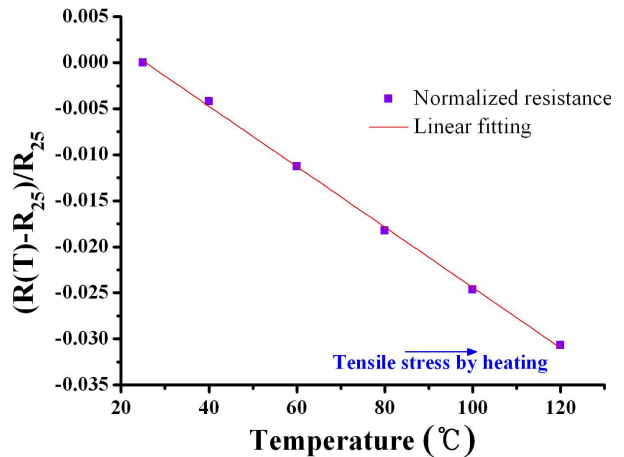


Fig. 8 Normalized resistance as a function of temperature at zero strain

식 (4)에서  $R_1, R_3$  는 각각 Fig. 6 에서 변형량을 증가시키면서 측정한 저항 값과 변형량을 감소시키면서 측정한 저항 값을 나타낸다.

TCR 은 온도에 따른 저항 변화를 나타내며 식 (5)와 같이 계산할 수 있다.

$$TCR(T) = \frac{(R(T) - R_{25}) / R_{25}}{T - 25} \quad (5)$$

식 (5)에서  $R(T)$  는 온도 T 에서의 저항 값을 나타내며,  $R_{25}$  는 25 °C 에서의 저항 값을 나타낸다.

Fig. 7 은 25 °C 에서 120 °C 까지 온도를 변화시켰을 때 변형량에 따른 저항 값 변화를 나타내고 있다. 이때 저항 값은 각 온도에서 변형이 가해지지 않았을 때의 저항 값으로 정규화되었다. 실험 결과 실리콘 스트레인 게이지의 변형량에 따라 저항이 선형적으로 변하는 것을 알 수 있었으며, 실리콘 스트레인 게이지에 인장응력이 작용하면 저항이 증가하고, 압축응력이 작용하면 저항이 감소하는 것을 알 수 있었다. 온도에 따른 저항 변화를 측정하기 위해 실리콘 스트레인 게이지 주변에 항온 챔버를 설치한 후 온도를 25 °C 에서 120 °C 까지 변화시키면서 실리콘 스트레인 게이지의 변형량에 따른 저항 변화를 측정하였다. 그 결과 온도가 변하여도 변형량에 따라 실리콘 스트레인 게이지의 저항이 선형적으로 변하는 특성은 바뀌지 않았다. Fig. 7 에서 기울기가 게이지 팩터의 의미이며 온도가 변하여도 게이지 팩터는 거의 같은 값을 가지는 것을 알 수 있다. 이때 게이지 팩터를 계산해보면 약 34.0 의 값을 가졌으며, 이 값은 금속 박막 스트레인 게이지의 게이지 팩터에 비해 약 7~15 배 큰 값이다.<sup>(9)</sup>

Fig. 8 은 실리콘 스트레인 게이지에 변형이 가

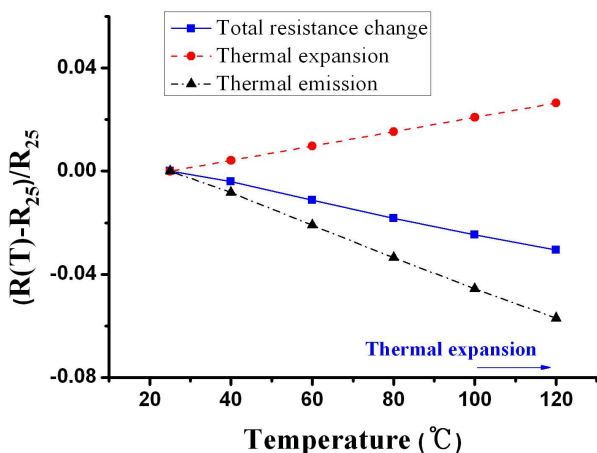


Fig. 9 Resistance change by thermal emission and thermal expansion

해지지 않았을 때 온도에 따른 저항의 변화를 보여주는 그래프이다. 온도에 따라 실리콘 스트레인 게이지의 저항이 선형적으로 변했으며, 이때 TCR 은 약 -328 ppm/°C 의 값을 가졌다.

온도가 변할 경우 식 (6)과 같이 열전자 방출에 의해 실리콘 스트레인 게이지의 비저항 값이 달라질 뿐만 아니라 변형부의 열팽창에 의해서도 실리콘 스트레인 게이지의 저항이 변한다.<sup>(12)</sup>

$$\Delta R(T) = \Delta R_{thermal\ emission} + \Delta R_{thermal\ expansion} \quad (6)$$

실리콘 스트레인 게이지가 금속 외팔보에 글래스 프릿에 의해 완전히 구속되어 있다고 가정하면, 열팽창에 의한 실리콘 스트레인 게이지의 변형량은 식 (7)과 같이 계산된다.<sup>(13,14)</sup>

$$\epsilon_{thermal\ expansion} = (\alpha_{cb} - \alpha_s) \times \Delta T \quad (7)$$

식 (7)에서  $\alpha_{cb}$  는 금속 외팔보의 열팽창 계수,  $\alpha_s$  는 실리콘 스트레인 게이지의 열팽창 계수이다. 실리콘의 열팽창 계수가 2.6  $\mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$  이고, 외팔보로 사용된 SUS630 의 열팽창 계수가 10.8  $\mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$  이다. 제작된 실리콘 스트레인 게이지의 게이지

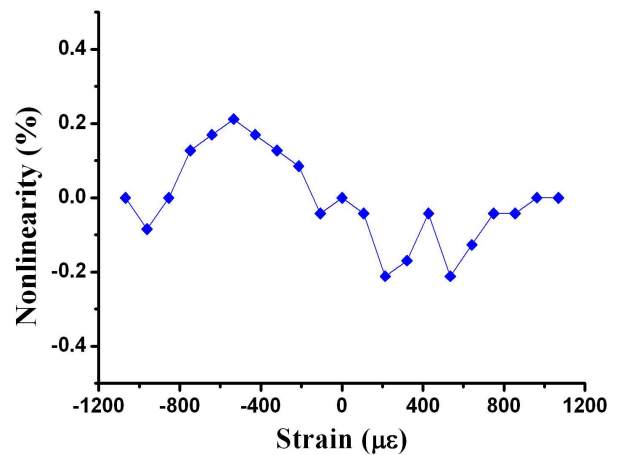


Fig. 10 Nonlinearity as a function of strain

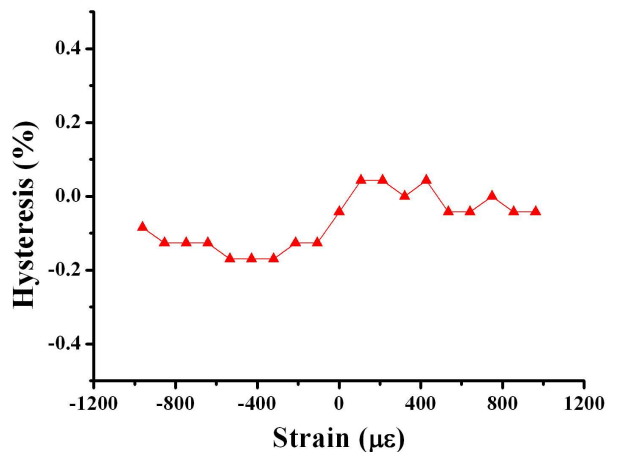


Fig. 11 Hysteresis as a function of strain

팩터가 34.0 이었으므로 식 (2)과 식 (7)을 이용하면 열팽창에 따른 실리콘 스트레인 게이지의 저항 변화( $\Delta R_{thermal\ expansion}$ )를 계산할 수 있다. Fig. 9 에서 원형 심볼은 식 (2)과 식 (7)을 이용해 계산한 열팽창에 의한 저항 변화를 보여주고 있다. Fig. 9 에서 온도가 증가함에 따라 외팔보가 열팽창하면서 실리콘 스트레인 게이지의 저항이 증가를 한다. 하지만 실제 측정된 저항은 온도가 증가함에 따라 감소하였다. 이것은 열전자 방출에 의한 저항 감소 폭이 열팽창에 의한 저항 증가 폭보다 크다는 것을 의미한다. 일반적으로 온도에 따른 저항 변화는 4 개의 스트레인 게이지를 가지고 휘스톤 브리지 회로를 구성함으로써 상쇄시킬 수 있다.<sup>(15)</sup>

열전자 방출에 의한 저항 변화는 다결정 실리콘에 주입된 불순물의 농도를 조절함으로써 최소화시킬 수 있다. 즉 불순물 농도가 높으면 열전자 방출에 의한 영향이 감소하지만 불순물 농도가 작으면 열전자 방출에 의한 효과가 크게 나타난다.<sup>(16)</sup> 향후 이에 대한 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

Fig. 10 은 25 °C 에서 저항의 비선형성을 나타내는 그래프이며, 최대 비선형성은 약 0.21 % FS 로 측정되었다. Fig. 11 은 25 °C 에서 히스테리시스를 나타내며, 최대 히스테리시스는 약 0.17 % FS 로 측정되었다. 비선형성, 히스테리시스 모두 Cu-Ni 박막 스트레인 게이지와 비슷한 값을 가졌다.<sup>(17)</sup>

## 5. 결 론

이 연구에서는 금속 변형부에 실리콘 스트레인 게이지가 접착된 형태의 센서를 제안하였다. 실리콘 기판을 이용해 박막 실리콘 스트레인 게이지를 제작하기 위한 제작공정을 확립하였으며, 제작된 실리콘 스트레인 게이지를 금속 변형부 위에 접착하기 위한 접착공정을 확립하였다. 이 후 금속 외팔보에 실리콘 스트레인 게이지를 글래스 프릿 접착하여 성능평가를 실시하였다. 글래스 프릿 접착은 500 °C 이상의 고온에서 이루어지기 때문에 접착과정에서 금속과 실리콘의 열팽창계수 차이에 의해 접착부가 파단되는 현상이 나타났다. 이를 해결하기 위해 약 50  $\mu\text{m}$  두께의 박막 형태로 실리콘 스트레인 게이지를 가공한 후 글래스 프릿 접착하였다. 박막 형태의 실리콘 스트레인 게이지는 두꺼운 실리콘 스트레인 게이지보다 쉽게 늘어나거나 휘어질 수 있으므로 열팽창 계수가 다르더라도 접착이 이루어진다.

금속 외팔보에 실리콘 스트레인 게이지를 접착한 후 성능 평가를 실시하였다. 성능 평가 결과 스트레인 게이지의 민감도를 나타내는 게이지 팩터는 기존 금속 박막 스트레인 게이지보다 7~15 배 큰 34.0 의 값을 가졌으며, 온도에 따른 영향을 나타내는 TCR 은 -328 ppm/°C 의 값을 가졌다. 일반적으로 온도에 따른 저항 변화는 4 개의 스트레인 게이지를 가지고 휘스톤 브리지 회로를 구성함으로써 상쇄시킬 수 있다. 비선형성 및 히스테리시스는 기존 금속 박막 스트레인 게이지와 비슷한 값을 가졌다.

향후 실리콘 스트레인 게이지의 성능을 향상시키기 위해 불순물의 주입 농도에 따른 민감도 및 TCR, 다결정 실리콘 증착 조건 및 annealing 조건에 따른 성능 변화 등의 최적화 연구를 수행하여야 한다.

## 후 기

이 논문은 2009 년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R0A\_2007\_000\_20065\_0)

## 참고문헌

- (1) Kovacs, G. T., 1998, *Micromachined Transducers Sourcebook*, McGraw-Hill, New York, p. 179.
- (2) Berns, A., Buder, U., Obermeier, E., Wolter, A. and Leder, A., 2006, "AeroMEMS Sensor Array for High-Resolution Wall Pressure Measurements," *Sensors and Actuators A*, Vol. 132, pp. 104~111.
- (3) Kim, S. C. and Wise, K. D., 1983, "Temperature Sensitivity in Silicon Piezoresistive Pressure Transducer," *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol. 30, No. 7, pp. 802~810.
- (4) Yun, E. J., Kim, J. Y. and Lee, S. T., 2005, "Optimization on the Fabrication Process of Si Pressure Sensors Utilizing Piezoresistive Effect," *Journal of IEEK*, Vol. 42, No. 1, pp. 19~24.
- (5) Malhaire, C. and Barbier, D., "Design of a Polysilicon-on-Insulator Pressure Sensor with Original Polysilicon Layout for Harsh Environment," *Thin Solid Films*, Vol. 427, pp. 362~366.
- (6) Ho, J. J., 2002, "The Design and Fabrication of a Micro-Thermal/Pressure-Sensor for Medical Electro-Skin Application," *Solid-State Electronics*, Vol. 46, No. 8, pp.1205~1209.
- (7) Schafer, H., Graeger, V. and Kobs, R., 1989, "Temperature-independent Pressure Sensors Using Polycrystalline Silicon Strain Gauges," *Sensors and Actuators*, Vol. 17, pp. 521~527.
- (8) Suski, J., Mosser, V. and Goss, J., 1989,

- “Polysilicon SOI Pressure Sensor,” *Sensors and Actuators*, Vol. 17, pp. 405~414.
- (9) Beeby, S., Ensell, G., Kraft, M. and White, N., 2004, MEMS Mechanical Sensor, Artech House, Norwood, USA, pp. 85~89.
- (10) Le Berre, M., Kleimann, P. and Semmache, B., 1996, “Electrical and Piezoresistive Characterization of Boron-Doped LPCVD Polycrystalline Silicon Under Rapid Thermal Annealing,” *Sensors and Actuators A*, Vol. 54, pp. 700~703.
- (11) Leasure, W. A., Woodruff, N. and Gravel, C., 1970, “Glass-Bonding Techniques for Semiconductor Strain Gauge,” *SESA Spring Meeting*, pp. 235~240.
- (12) Lu, N.C., Gerzberg, L. and Lu, C. Y., 1981, “Modeling and Optimization of Monolithic Polycrystalline Silicon Resistor,” *IEEE transactions on electron devices*, Vol. 28, No. 7, pp. 818~830.
- (13) Khan, A. S., Wang, X., 2001, Strain Measurements and Stress Analysis, Prentice Hall, Upper Saddle River, pp. 30~55.
- (14) Kovacs, G. T., 1998, Micromachined Transducers Sourcebook, McGraw-Hill, New York, pp. 213~215.
- (15) Suzuki, K., Ishihara, T. and Hirata, M., 1985, “Nonlinear Analysis on CMOS Integrated Silicon Pressure Sensor,” *Electron Devices Meeting*, pp.137~140.
- (16) Min, N. K., Chun, J. H. and Park, C. W., 1997, “Diaphragm-Type Pressure Sensor with Cu-Ni Thin Film Strain Gauges-II: Design, Fabrication, and Characteristics of a Pressure Sensor,” *The Journal of the Korea Institute of Electrical and Electronic Material Engineering*, Vol. 10, No. 10, pp. 1022~1028.