

크롬실리사이드를 이용한 고온용 스트레인 게이지의 제작 및 성능평가

김용대[†] · 박현철* · 권세진**

Fabrication and Performance Test of High Temperature Strain Gauge Using Chrome Silicide Strain Gauges

Yongdae Kim, Hyunchul Park and Sejin Kwon

Key Words : Chrome silicide (크롬실리사이드), High temperature strain gauge (고온용 스트레인 게이지), MEMS strain gauge (멤스 스트레인 게이지)

Abstract

The stress analysis which is for measurement of the stress distribution in materials and structures subjected to static or dynamic forces or loads relies commonly on the strain measurement techniques since stress can be calculated by using stress-strain relationships. By far the most widely used devices for measurement of strain is a metal foil strain gauge. However, a limitation of the metal foil used as strain gauges is that their resistance changes as the temperature changes. This result that the metal foil gauge cannot be used for strain measurements of structures at the high temperature environment. On the other hand, the strain gauge made with chromium silicide is suitable to measure strain at the high temperature environment because chromium silicide has relatively low TCR (Temperature Coefficient of Resistance).

1. 서 론

센서는 일반적으로 관측대상의 정보를 물리적, 화학적, 생물학적 효과를 이용해 전기적 신호로 변환하는 소자로 정의된다. 최근 각종 장치 및 시스템이 고도화, 자동화 되면서 생산 공정 자동화, 환경검사, 의료, 자동차, 우주항공, 군수 등은 물론이고 우리 일상생활에 이르는 폭넓은 곳에서 센서가 사용되고 있으며, 그 종류 또한 다양하여 지속적으로 시장이 확대되고 있다. 이와 같이 센서 수요의 증가로 선진국에서는 이미 센서 기술을 첨단기술 산업으로 분류하고, 센서의 기술 경쟁력 확보, 대량생산에 따른 저가격화, 초소형화, 고기능화, 고정밀화 등을 실현하기 위해 연구, 개발 등에 집중지

원을 하고 있다.

최근 MEMS 기술의 급속한 발전은 센서의 설계 및 생산에 혁신적인 발전을 초래했다. MEMS 기술을 센서에 적용할 경우 크기가 작으면서 감도가 우수한 센서를 제작할 수 있다. 일반적으로 MEMS 스트레인 게이지는 실리콘을 MEMS 가공하여 제작한다. 실리콘은 기존 재료에 비해 기계적 강도와 감도가 우수하고, 가공 공정이 확립되어 있기 때문에 1980년대 말 이후부터 실리콘 스트레인 게이지를 이용한 압력센서, 가속도센서, 힘센서 등의 센서 제품 군이 상용화되기 시작하였다⁽¹⁾.

하지만 실리콘 스트레인 게이지의 경우 고온환경에서 누설 전류가 발생하기 때문에 고온용 스트레인 게이지로 적합하지 않다⁽²⁾. 반면에 세라믹 소재의 재료들은 비교적 큰 전기저항 값을 가지며, 높은 응력 감도와 게이지율을 가지기 때문에 스트레인 게이지 물질로 적합하다⁽³⁾. 특히 크롬실리사이드 (CrSi₂)의 경우 TCR (Temperature Coefficient of Resistance)이 낮기 때문에 고온용 스트레인 게이지 물질로 적합하다⁽⁴⁾.

본 연구에서는 크롬실리사이드를 MEMS 기술을

[†] 회원, KAIST 항공우주공학전공

E-mail: trumpet@kaist.ac.kr

TEL: (042) 350-3721 FAX: (042) 350-3710

* 비회원, KAIST 항공우주공학전공

** 회원, KAIST 항공우주공학전공

Table 1 Geometries of CrSi₂ strain gauges

	SG201	SG202	SG401	SG402	SG801	SG302
Width (μm)	20	20	40	40	80	80
Length (mm)	1	2	1	2	1	2
Thickness (μm)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

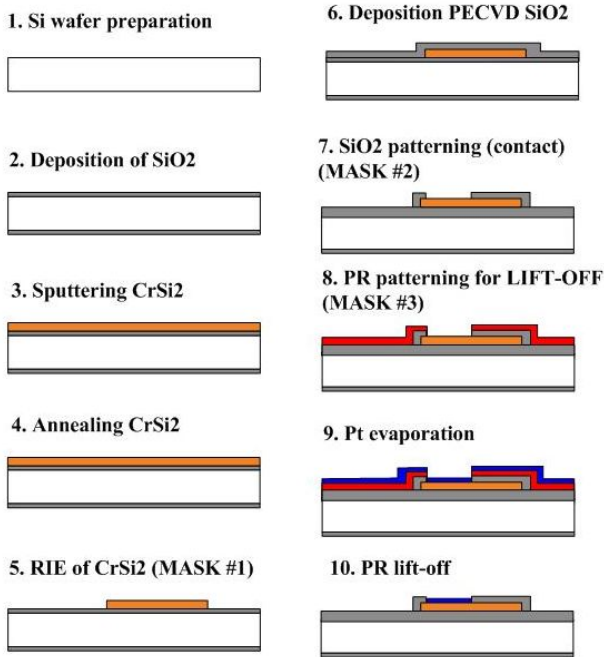


Fig. 1 Fabrication process of CrSi₂ strain gauge

이용하여 고온 환경에서 사용할 수 있는 스트레인 게이지를 제작하고 성능평가를 실시하였다. 실리콘 웨이퍼 위에 스퍼터를 이용해 증착한 크롬실리사이드 막을 패터닝한 후 백금 전극을 형성하였다.

2. 크롬실리사이드 스트레인 게이지의 제작

크롬실리사이드 스트레인 게이지의 제작 공정은 Fig. 1 과 같다. 먼저 실리콘 기판 위에 LPCVD 방식으로 2.5 μm 두께의 산화실리콘 막을 증착하고, 그 위에 2000 Å 두께의 크롬실리사이드 막을 증착한다. 크롬실리사이드 막은 스퍼터를 이용하여 증착하였으며, 8 mTorr 에서 1kW 의 파워로 증착하였다. 이후 550°C에서 30 초동안 annealing 한 후 RIE (Reactive Ion Etching)방식으로 식각하여 패터닝하였다. 다음으로 절연층을 형성하기 위해 PECVD (Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition)방식으로 SiO₂ 막을 증착하고, 건식식각을 이용해 contact hole

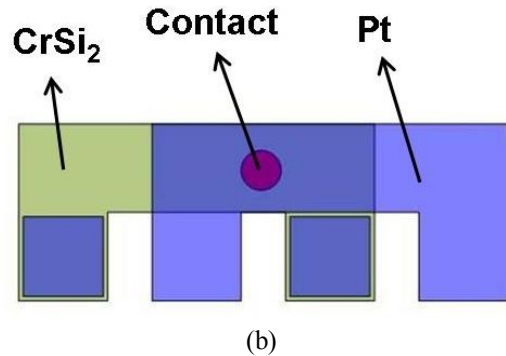
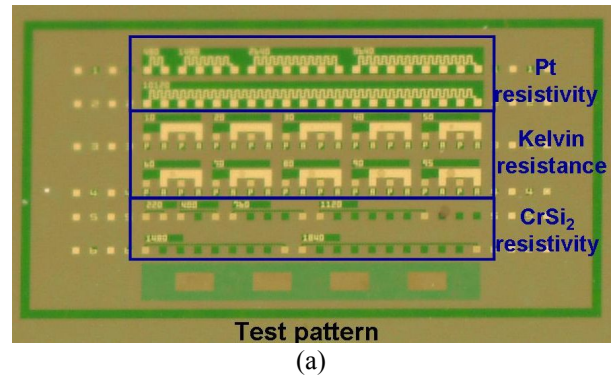


Fig. 2 (a) Test patterns for measurement of Kelvin resistance and resistivity of CrSi₂ and Pt, (b) Kelvin resistance

을 형성하였다. 이후 백금 lift-off 공정을 위해 PR (Photo Resist)을 코팅한 후 패터닝하였다. 다음으로 2000 Å 두께의 백금을 증착한 후 PR 을 lift-off 함으로써 백금 막을 패터닝할 수 있었다.

Fig. 2 는 크롬실리사이드 및 백금 박막의 비저항, 켈빈 저항을 측정하기 위해 제작한 테스트 패턴이다. 크롬실리사이드와 백금이 접촉된 부분에서는 포텐셜 차이에 의해 저항이 급격하게 증가하는데 이를 관찰하기 위해 켈빈 저항을 측정하였다. Fig. 5 는 접촉 면적에 따른 켈빈 저항을 보여주고 있다. 켈빈 저항 측정 결과 접촉 면적에 반비례하는 것을 알 수 있었다. 크롬실리사이드와 백금의 비저항을 측정한 결과 크롬실리사이드는 $2.89 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 의 값을 가졌으며, 백금 박막은 $18.65 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ 의 값을 가졌다. 백금 비저항이 $10.6 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ 인 것을 감안하면, 2000 Å 두께의 백금 박막 비저항이 약 1.8 배 높다는 것을 알 수 있다.

크롬실리사이드 스트레인 게이지는 Table 1 과 같이 총 6 가지 형상에 대해 제작되었다. Fig. 3 은 제작된 스트레인 게이지이다. 실리콘웨이퍼를 가공하여 축 방향 변형량이 일정한 constant stress beam 으로 가공하였다. 기존의 사각형 모양의 외팔보에서는 축박항에 따른 변형량이 식 (1)과 같이 결정된다.

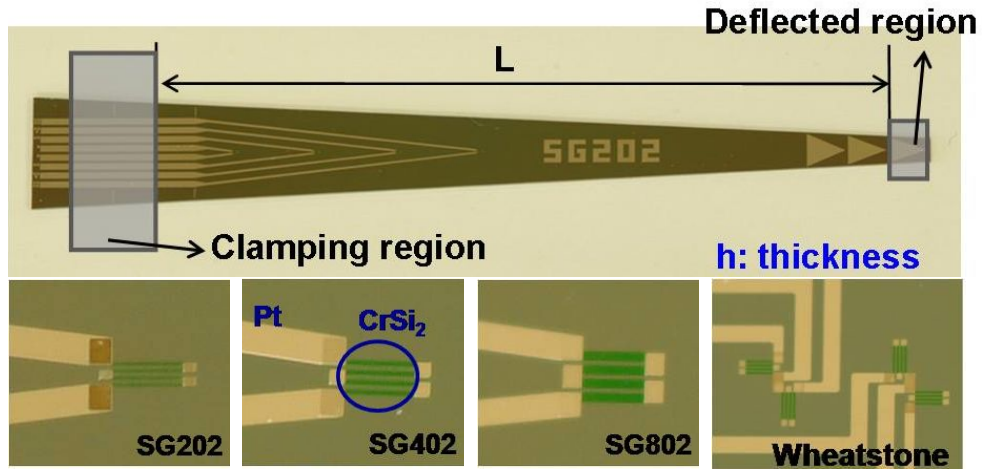


Fig. 3 CrSi₂ strain gauge fabricated on a silicon cantilever beam

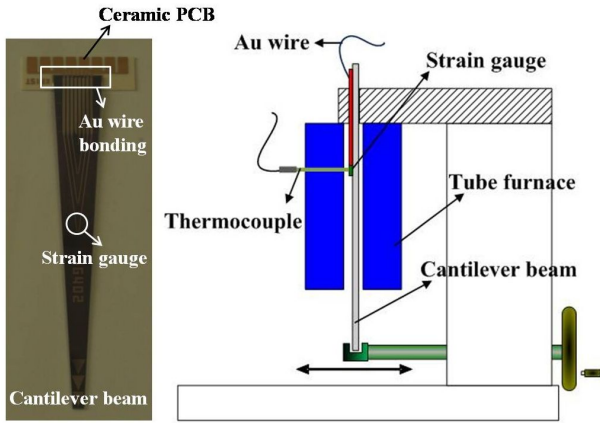


Fig. 4 Experimental setup to evaluate performance of CrSi₂ gauge

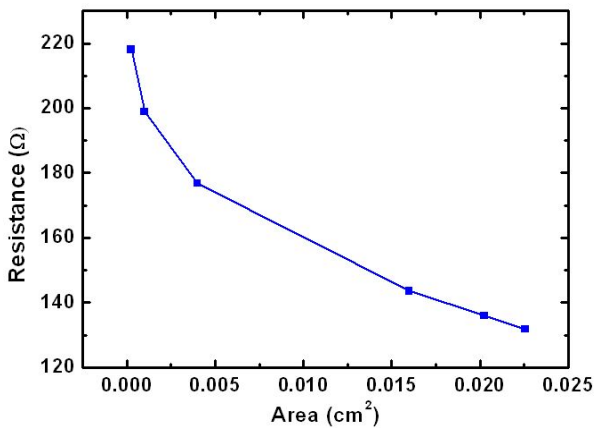


Fig. 5 Contact resistance as a function of contact area

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

식 (1)에서 x 는 축방향 위치, h 는 외팔보 두께, L 은 길이, δ 는 외팔보 끝단 처짐량을 나타낸다. 식 (1)에서 볼 수 있듯이 변형량은 외팔보 위치에 따라 달라진다. 반면에 Constant stress beam 에서는 변

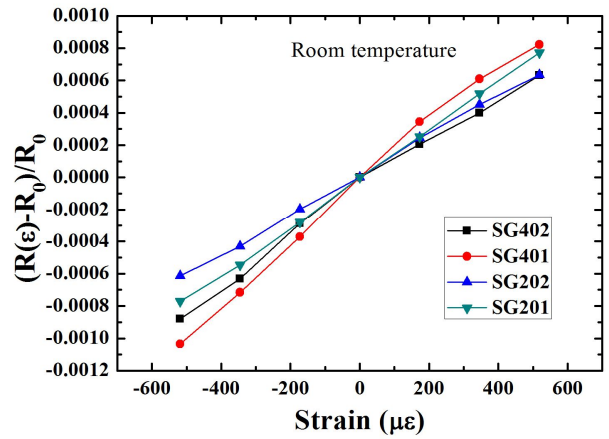


Fig. 6 Normalized resistance as a function of strain

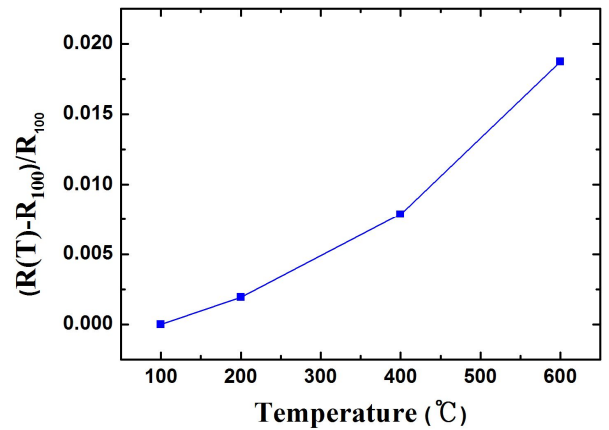


Fig. 7 Normalized resistance of SG201 as a function of temperature

형량이 식 (2)와 같이 결정된다.

$$\varepsilon_x = \frac{h}{L^2} \times \delta \quad (2)$$

식 (2)에서 축방향에 따른 변형량은 외팔보 축방향 위치와 상관없이 끝단의 처짐량에 의해서만 결정된다. 식 (2)에서 h 는 0.7 mm, L 은 90 mm 였으며,

끝단은 -5 ~ +5 mm 범위에서 변형을 가하였다. 이 때 변형량은 -432 ~ +432 $\mu\epsilon$ 의 값을 가진다.

3. 성능 평가 및 고찰

Fig. 4 는 성능 평가 장치 개략도를 보여주고 있다. 고온환경에서 시험을 해야 하기 때문에 외팔보는 세라믹 PCB 에 세라믹 접착제를 이용하여 접착하였으며, 스트레인 게이지 전극과 PCB 는 Au 와 이어 본딩을 하여 연결하였다. 스트레인 게이지 주변 온도는 터널형 퍼니스를 이용하여 조절하였으며, 외팔보 끝단 처짐량은 마이크로 미터를 이용하여 측정하였다.

스트레인 게이지의 감도는 변형량에 따른 저항 변화를 나타내며, 일반적으로 식 (3)의 게이지 팩터를 계산함으로써 평가할 수 있다.

$$GF = \frac{(R(\epsilon) - R_0) / R_0}{\epsilon} \quad (3)$$

위 식에서 ϵ 은 변형량, $R(\epsilon)$ 은 ϵ 에서의 저항 값을 나타낸다. R_0 는 게이지에 변형이 가해지지 않았을 때 저항 값을 나타낸다. Fig. 6 은 변형량에 따른 정규화된 저항을 보여주고 있다. 인장응력이 가해졌을 때 저항이 증가하는 것을 볼 수 있으며, 이 때 저항은 선형적으로 변하였다. Fig. 6 에서 기울기는 게이지 팩터를 나타내며, 실험 결과 1.4 ~ 2.0 의 게이지 팩터를 가지는 것을 알 수 있었다.

TCR 은 온도에 따른 저항 변화를 나타내며 식 (4)와 같이 계산할 수 있다.

$$TCR_{100}(T) = \frac{(R(T) - R_{100}) / R_{100}}{T - 100} \quad (4)$$

식 (4)에서 $R(T)$ 는 온도 T 에서의 저항 값을 나타내며, R_{100} 은 100 $^{\circ}\text{C}$ 에서의 저항 값을 나타낸다. 실험 결과 Fig. 7 과 같이 온도가 증가할수록 저항도 증가를 하였으며, 이 때 TCR_{100} 은 37.4 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 이었다. 이 값은 기존 실리콘 스트레인 게이지에 비해서는 약 1/10 이며, 금속 박막 스트레인 게이지의 TCR 값 100 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 과 비교하면 약 1/3 의 값이다^(4, 5). 일반적으로 온도에 따른 저항 변화는 4 개의 스트레인 게이지를 가지고 휘스톤 브리지 회로를 구성함으로써 상쇄시킬 수 있다.

4. 요약 및 향후 계획

본 연구에서는 기존 금속 박막 스트레인 게이지 및 실리콘 스트레인 게이지에 비해 TCR 이 낮고, 고온에서 안정한 크롬실리사이드를 이용하여 스트

레인 게이지를 제작하고 성능 평가를 실시하였다. 크롬실리사이드는 TCR 낮아 온도 변화에 따른 영향을 덜 받기 때문에 고온용 스트레인 게이지 재료로 적합하다. 본 연구에서 제안된 크롬실리사이드 스트레인 게이지는 기존 실리콘 스트레인 게이지를 제작할 때 사용하는 MEMS 기술을 이용하여 제작하였다. 크롬실리사이드 스트레인 게이지를 제작한 후 성능평가를 실시하였다. 성능 평가 결과 게이지 팩터는 약 1.4 ~ 2.0 의 값을 가졌으며, TCR 은 37.4 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 의 값을 가졌다. 기존 금속 박막 스트레인 게이지와 비교했을 때 게이지 팩터는 비슷한 값을 가졌으며, TCR 은 약 1/3 값을 가졌다.

향후 온도에 따른 게이지 팩터를 측정할 예정이며, 히스테리시스 및 비선형성을 측정할 예정이다.

후 기

이 논문은 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, NewYork, USA.
- (2) Beeby, S., Ensell, G., Kraft, M. and White, N., 2004, MEMS Mechanical Sensor, Artech House, Norwood, USA.
- (3) Choi, S. K, Na, K. I., Nam, H. D. and Chung, G. S., 2001, "Fabrication of Tantalum Nitride Thin-Film as High-temperature Strain Gauges," *KIEEME conference*, pp. 1022-1025.
- (4) Kim, C. G., 2005, "Electrical properties of CrSix, Cr/CrSix/Cr/CrSix, and CrSix/Si/CrSix/Si sputtered on alumina plates," *Thin Solid Films*, Vol. 479, pp. 182-187.
- (5) Window, A. L., 1992, STRAIN GAUGE TECHNOLOGY, Elsevier Applied Science, London, England.