

## 금속박막형 압력센서의 제작과 그 특성

### Fabrication of Metal Thin-Film Pressure Sensor and Its Characteristics

정귀상\*, 최성규\*\*, 남효덕\*\*, 이원재\*\*\*, 송재성\*\*\*

(Gwiy-Sang Chung\*, Sung-Kyu Choi\*\*, Hoy-Duck Nam\*\*, Won-Jae Lee\*\*\*, Jae-Sung Song\*\*\*)

#### Abstract

This paper describes fabrication and characteristics of metal thin-film pressure sensor for working at high temperature. The proposed pressure sensor consists of a chrom thin-film, patterned on a Wheatstone bridge configuration, sputter-deposited onto thermally oxidized Si membranes with an aluminium interconnection layer. The fabricated pressure sensor presents a low temperature coefficient of resistance, high-sensitivity, low non-linearity and excellent temperature stability. The sensitivity is 1.097~1.21 mV/V · kgf/cm<sup>2</sup> in the temperature range of 25~200°C and the maximum non-linearity is 0.43 %FS.

**Key Words** : Metal thin-film pressure sensor, TCR, TCS, non-linearity, gauge factor

#### 1. 서 론

압력 및 하중센서는 가전제품을 비롯하여 자동차, 조선, 항공기, 의료기기, 환경설비와 산업체의 대규모 시스템 제어에 이르기까지 그 응용분야가 광범위하다. 특히, 산업분야에서는 고온, 고압, 습도 및 진동 등의 열악한 환경에서도 사용할 수 있는 소형, 경량, 저가격의 압력 및 하중센서가 요구된다[1]. 기존의 스트레인 게이지를 이용한 로드셀의 경우, 구조 및 제작이 간단하며 고온, 고압 등의 극한 환경에서도 사용이 가능하지만, 감도가 낮고 분해능력이 떨어지며 크리프(creep) 현상과 히스테리시스(hysteresis)로 인해 신뢰성 및 안정성이 나쁘다. 또한 소형화, 집적화,

다기능 그리고 대량생산이 어렵다[2].

실리콘의 압저항효과와 마이크로머시닝기술을 이용하여 제작된 압저항형 압력센서는 높은 비저항값과 큰 게이지율(gauge factor) 때문에 감도가 높고 신뢰성과 안정성이 우수하며, 소형, 경량, 집적화 그리고 대량생산이 가능하다. 그러나, 압저항형 압력센서는 압저항의 pn접합부 누설전류로 인하여 온도보상용 신호처리회로까지 집적화시켜도 120°C 이상의 온도에서는 사용이 불가능하다[3].

pn접합 분리법보다도 유전체 분리법을 이용한 고온용 반도체식 압력센서를 개발하기 위하여 SOI(Si-on-Insulator)[4] 및 SOS(Si-on-Sapphire)기판[5]을 이용하고 있지만, 기판이 고가이며 미세가공이 어렵다. 또한, poly-Si[6]을 압저항으로 사용한 압력센서도 개발하고 있지만, 재현성과 선형성이 떨어진다.

한편, 기계적 탄성성질이 스테인리스 스틸(stainless steel)보다도 훨씬 우수하며 미세가공이 용이한 실리콘 멤브레인상에 압력감지부로 금속박막형 스트레인 게이지를 이용하여 압력 및 하중센서를 개발할 경우, 히스테리시스가 거의 없고 선형성과 신뢰성이 우수하며 소형, 경량, 집적화 및 대량생산이

\* : 동서대학교 정보통신공학부  
(부산광역시 사상구 주례동 산 69-1  
FAX : 051-320-2122  
E-mail : gschung@dongseo.ac.kr)

\*\* : 영남대학교 전자공학부

\*\*\* : KERI 신소재융합그룹

2001년 1월 5일 접수, 2001년 1월 30일 1차심사완료  
2001년 3월 20일 2차심사완료

가능할 것이다. 현재, 박막형 스트레인 게이지의 재료로는 Au-Ni합금[7], Mn[8], NiCr합금[9], Bi-Sb[10] 그리고 Cu-Ni계 합금[11] 등이 사용되고 있으나, 낮은 게이지율과 비저항 때문에 감도가 작고 소형화가 어렵다. 한편, 크롬은 다른 재료들에 비해 비교적 큰 전기저항값을 가지며 기판의 종류에 관계없이 접착성(adhesion)이 우수하고, 높은 응력감도와 6이상의 게이지율을 가지기 때문에 스트레인 게이지의 재료로서 유용하다[12].

따라서, 본 연구에서는 200°C 이상의 고온 분위기에서도 사용할 수 있는 소형, 경량, 고성능, 저가격 그리고 집적화가 가능한 압력 및 하중센서를 개발하기 위하여 마이크로머시닝기술에 의해 제조된 실리콘 멤브레인상에 크롬박막을 증착했다. 그 다음, 휘스톤 브리지 박막형 스트레인 게이지를 압력감지부로 형성하여 금속박막형 압력센서를 제작하여 특성을 분석·평가하였다.

## 2. 금속박막형 압력센서의 제작

그림 1은 금속박막형 압력센서의 제작공정 순서를 도식적으로 나타낸 것이다. 본 연구에서는 비저항이 약 4~5 Ω·cm, 두께 720 μm의 p(100)으로 열산화막을 5000 Å 성장된 실리콘기판을 사용하였다. 먼저, TMAH 수용액 20 wt.%, 80°C에서 실리콘기판을 이방성 식각 기술로 크기와 두께가 각각 1.43×1.43 mm<sup>2</sup>, 40 μm인 실리콘 박막 멤브레인을 제조하였다[13]. 고주파 스퍼터링법으로 3500 Å의 크롬박막을 증착하여 박막형 스트레인 게이지를 형성한 후, 알루미늄으로 스트레인 게이지를 휘스톤 브릿지와 연결하여 압력 감지부를 제작한 후, 금으로 전극을 형성하여 압력센서를 제작하였다. 표 1은 크롬박막의 증착 및 열처리 조건을 각각 나타낸 것이다.

그림 2는 제작된 금속박막형 압력센서의 단면도와 평면도를 각각 나타낸 것이다. 센서 설계시 스트레인 게이지의 형태와 위치를 고려하여 높은 출력을 얻을 수 있도록 압저항 하나의 크기는 30×300 μm<sup>2</sup>이며 저항은 200 Ω으로 설계하여 그림 2의 (a)와 같이 배열하였다[14]. 제작된 압력센서는 quartz tube furnace를 이용하여 N<sub>2</sub> 분위기에서 300°C, 48시간 열처리하였다[15]. 한편, 전기화학적 방전가공(EDM : electrochemical discharge machining)기술[16]을 이용하여 파이렉스 #7740 유리기판에 압력 인가용 홀을 가공하였다. 마지막으로, 압력 감지부가 형성된 실리콘기판과 유리기판을 450°C, 1000 V하에서 양극접합기술로 접합했으며 TO-5 패키징하여 압력센서를 제작하였다.

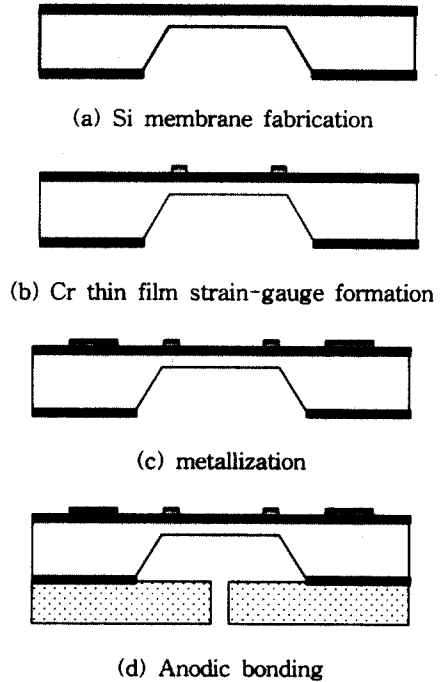
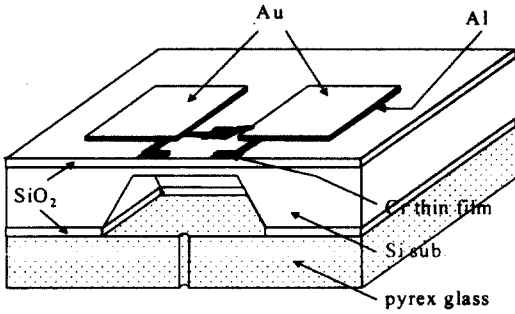


그림 1. 금속박막형 압력센서의 제작공정 순서.  
Fig. 1. Fabrication process sequences of metal thin-film type pressure sensors.

표 1. 크롬박막의 증착 및 열처리 조건.  
Table 1. Deposition and annealing conditions of Cr thin-films, respectively.

Deposition conditions	Parameter
Target	Cr 2" diameter
Power	140 W
Target-substrate distance	6 cm
Working gas	Ar 35 sccm
Substrate Temp.	Room Temp.(27°C)
Vacuum	9 mTorr
Annealing Time	48 hr
Annealing Temp.	300°C



(a)

(b)

그림 2. 제작된 금속박막형 압력센서의 (a) 단면도, (b) 평면도.

Fig. 2. (a) Cross-sectional and (b) top views of fabricated metal thin-film type pressure sensors, respectively.

### 3. 결과 및 고찰

그림 3은 실온에서 제작된 금속박막형 압력센서의 인가압력에 따른 출력전압의 변화를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 스트레인 게이지의 브리지에 10 V의 정격 입력전압을 인가했으며 0~2 kgf/cm<sup>2</sup>의 압력범위에서 특성을 측정했다. 제작된 압력센서의 감도는 1.21 mV/V · kgf/cm<sup>2</sup>였다. 이것은 실리콘 압저항형 압력센서의 1.72 mV/V · kgf/cm<sup>2</sup>에 비해 다소 감도특성은 떨어지지만[17], 크롬박막형 스트레인 게이지의 큰 게이지율로 인해서 비해 비교적 우수한 감도특성을 얻었다.

그림 4는 실온에서 측정된 금속박막형 압력센서의 인가압력에 따른 비선형성 및 히스테리시스 특성을 각각 나타낸 것이다. 출력전압의 비선형성은 0.1~0.21 %FS로 매우 선형적으로 나타났다. 또한, 히스테리시스는 압저항형 압력센서에 거의 동등한 0.17

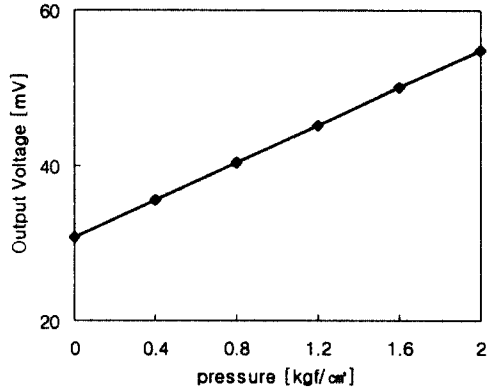


그림 3. 제작된 금속박막형 압력센서의 인가압력에 따른 출력특성.

Fig. 3. Out-put characteristic of fabricated metal thin-film type pressure sensors according to applied pressure.

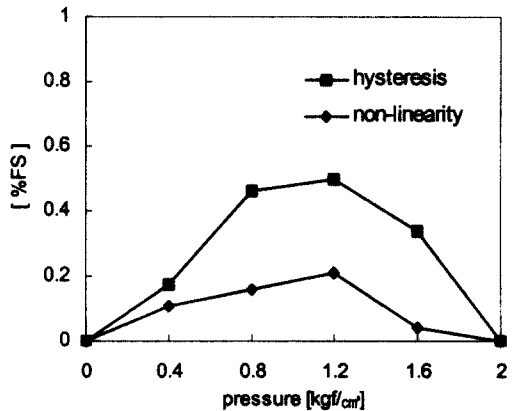


그림 4. 제작된 금속박막형 압력센서의 비선형성 및 히스테리시스 특성.

Fig. 4. Non-linearity and hysteresis characteristics of fabricated metal thin-film type pressure sensors.

~0.5 %FS로 스트레인 게이지를 이용한 로드셀의 1.0 %FS에 비해 대단히 우수하였다[11].

그림 5는 25~200℃의 온도범위에서 제작된 금속박막형 압력센서의 압력에 대한 출력전압의 변화를 나타낸 것이다. 200℃까지의 고온에서도 인가압력에 따른 제작된 금속박막형 압력센서의 출력전압은 거의 일정했다. 한편, 본 연구에서 크롬박막형 스트레인 게이지를 유전체 분리된 감지부로 사용한 휘스톤

브리지 저항의 온도에 따른 저항의 온도계수(TCR : temperature coefficient of resistance)는 200℃의 온도범위내에서 -207~-222 ppm/℃로 측정되었다. 실리콘 압저항형 압력센서의 경우, TCR은 -2000 ppm/℃정도로 10배정도 온도특성이 개선되었다[18]. 따라서, 본 연구에서 제안된 금속박막형 압력센서가 실리콘 압저항형 압력센서에 비해서 온도특성이 우수함을 알 수 있다.

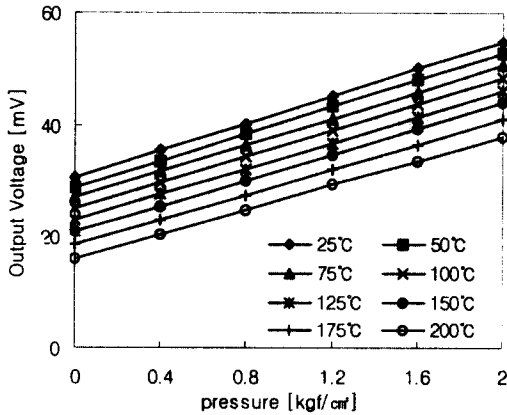


그림 5. 제작된 금속박막형 압력센서의 인가압력에 따른 온도특성.

Fig. 5. Temperature characteristics of fabricated metal thin-film type pressure sensors according to applied pressure.

그림 6은 25~200℃의 온도범위에서 제작된 금속박막형 압력센서의 비선형성 특성을 나타낸 것이다. 실온에서 125℃까지는 0.21 %FS으로 대단히 우수하지만, 175℃이상에서 0.43 %FS정도로 증가했다. 그러나, 반도체식 압저항형 압력센서의 경우처럼, 120℃이상의 온도에서 1.0 %FS이상 급격한 증가는 보이지 않았다[3].

그림 7은 25~200℃의 온도범위에서 제작된 금속박막형 압력센서의 온도에 따른 감도 및 감도의 온도계수(TCS : temperature coefficient of sensitivity)를 각각 나타낸 것이다. 실온에서 감도는 1.21 mV/V · kgf/cm²이었으며, 온도가 증가할수록 압력감로 사용한 크롬박막형 스트레인 게이지의 부TCR로 인해서 약간 감소하여 200℃에서 1.097 mV/V · kgf/cm²으로 떨어졌지만, 반도체식 압저항형 압력센서보다도 훨씬 안정적이다. 한편, TCS는 200℃까지의 온도에서 -529 ppm/℃이하로 실리콘 압저항형 압력센서의 -1300 ppm/℃에 비해서 온도에 대한 훨씬 안

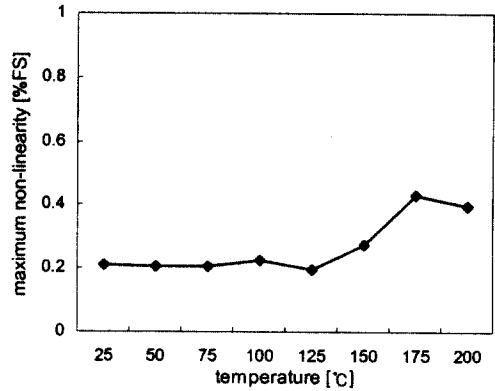


그림 6. 제작된 금속박막형 압력센서의 온도에 따른 비선형성 특성.

Fig. 6. Non-linearity characteristic of fabricated metal thin-film type pressure sensors according to temperature.

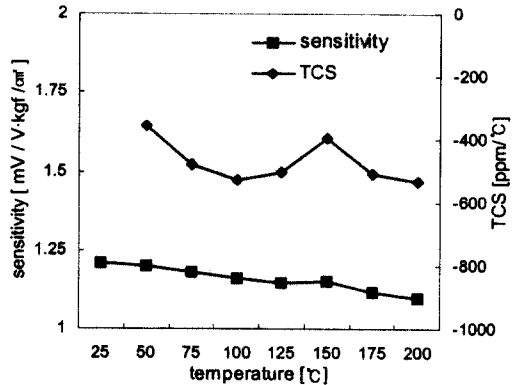


그림 7. 제작된 금속박막형 압력센서의 온도에 따른 감도 및 TCS 특성.

Fig. 7. Sensitivity and TCS characteristics of fabricated metal thin-film type pressure sensors according to temperature.

정성이 우수하였다[19]. 또한, 압력센서의 200℃에서의 long-term stability도 43 ppm/hr로 안정된 값을 나타내었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 마이크로머시닝 및 박막기술을 이용하여 실리콘 멤브레인상에 크롬박막형 스트레인 게이지를 압력감지부로 이용한 금속박막형 압력센서를 제작하여 그 특성을 분석·평가하였다. 크롬박막

의 높은 비저항값과 게이지율때문에 브리지 입력전압이 10 V일 때, 25~200°C의 온도범위내에서 출력감도는 1.097~1.21 mV/V·kgf/cm이며, 비선형성은 0.2~0.43 %FS으로 고온에서도 감도 및 선형성이 매우 우수하였다. 결론적으로, 실리콘 멤브레인상에 크롬박막을 압저항으로 이용한 금속박막형 압력센서는 기존의 스트레인 게이지를 이용한 로드셀에 비해서 재현성, 소형화, 집적화 및 저가격화가 가능하며, 반도체식 압저항형 압력센서에 비해서는 감도는 낮지만, 온도 특성이 대단히 우수하다.

따라서, 개발된 금속박막형 압력센서는 고온, 고압 등의 극한 환경에서도 사용이 가능한 소형, 경량, 고성능, 저가격 및 집적화가 가능한 압력 및 하중센서로 이용 가능할 것으로 기대된다.

### 참고 문헌

- [1] I. Obieta and F. J. Gracia, "Sputtered silicon thin-film for piezoresistive pressure micro-sensors", *Sensors & Actuators A*, Vol. 41, pp. 521-688, 1994.
- [2] N. M. White and J. E. Brignell, "A planar thick-film load cell", *Sensors & Actuators A*, Vol. 25-27, pp. 313-319, 1991.
- [3] T. Ishihara, K. Suzaki, S. Suwazono, M. Hirata and H. Tanigawa, "CMOS integrated silicon pressure sensor", *IEEE J. Solid-State Circuit*, SC-22, pp. 151-156, 1987.
- [4] G. S. Chung, "Thin SOI structures for sensing and integrated circuit applications", *Sensors & Actuators A*, Vol. 39, pp. 241-251, 1993.
- [5] Q. Chen, R. Shi, Z. Teng and H. Xu, "High reliability SOS pressure sensor", *Semiconductor Technology*, Vol. 4, pp. 33-37, 1990.
- [6] V. Mosser, J. Suski, and J. Goss. "Piezoresistive pressure sensors based on polycrystalline silicon", *Sensors & Actuators A*, Vol. 28, pp. 113-132, 1991.
- [7] K. Rajanna, S. Mohan, M. M. Nayak, N. Gunasekaran and A. E. Muthunayagam, "Pressure transducer with Au-Ni thin-film strain gauges", *IEEE Trans. Electron Devices*, Vol. 40, pp. 521-524, 1993.
- [8] K. Rajanna and S. Mohan, "Thin-film pressure transducer with manganese film as the strain gauge", *Sensors & Actuators A*, Vol. 24, pp. 35-39, 1990.
- [9] W. Hongye, L. Kun, A. Zhichou, W. Xu and H. Xun, "Ion-beam sputtered thin-film Strain gauge pressure transducers", *Sensors & Actuators A*, Vol. 35, pp. 265-268, 1993.
- [10] S. Sampath and K. V. Ramanaiah, "Behaviour of Bi-Sb alloy thin-film as strain gauges." *Thin-Solid Films*, Vol. 137, pp. 199~205, 1986.
- [11] H. Konishi, T. Suzuki and M. Utsunomiya, "Constantan thin-film strain gauge load cell", *Tech. Dig. of the 9th Sensor Symposium*, pp. 149-152, 1990.
- [12] J. H. Kim and G. S. Chung, "Fabrication and characteristics of chromium thin-film strain gauges", *Pro. of the KIEEME Annual Autumn Conference*, pp. 343-346, 1997.
- [13] G. S. Chung and C. S. Park, "Effects of pyrazine on TMAH/IPA silicon anisotropic etching characteristics", *Trans. KIEE*, Vol. 47, pp. 2265-2271, 1998.
- [14] P. Ciampolini, A. Pierantoni, and M. Rudan, "A CAD environment for the numerical simulation of integrated piezoresistive transducers", *Sensors and Actuators*, Vol. 46-47, pp. 618-622, 1995.
- [15] K. D. Kang and G. S. Chung, "Annealing characteristics of chromium thin-film strain gauges", *Pro. of the KIEEME Annual Summer Conference*, pp. 1540-1542, 1998.
- [16] G. S. Chung and S. W. Hong, "Study on micro-drilling of #7740 glass substrates by electrochemical discharge machining", *J. KIEEME*, Vol. 12, pp. 488-491, 1999.
- [17] H. L. Chau and K. D. wise, "Scaling limits in batch-fabricated silicon pressure sensors", *IEEE Trans Electron Devices*, Vol. ED-34, pp. 850-858, 1987.
- [18] H. Sandmaier and K. Kuhl, "Piezoresistive low-pressure sensor with high sensitivity and high accuracy", *Sensors & Actuators A*, Vol. 23, pp. 142-145, 1990.
- [19] K. Matsuda, Y. Kanda, K. Yamamura and K. Suzaki, "Second-order piezoresistance coefficients of the n-type silicon", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 28, pp. 1676-1677, 1989.