

실리콘 박막 멤브레인상에 제작된 금속박막형 압력센서의 특성

최성규, 남호덕, 정귀상
 영남대학교 전자공학과, 동서대학교 정보시스템공학부**

Characteristics of metal thin-film pressure sensors by on silicon thin-film me

Sung-Kyu Choi, Hyo-Duk Nam, Gwi-yang Chung
 Electronic Eng. Yungnam univ, school of information and system Eng. Dongseo univ**

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 1.09 7~1.21 mV/V · kgf/cm² in the temperature range of 2 5~200°C and the maximum non-linearity is 0.43 %FS.

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-Saphire)[5]기판을 이용하고 있지만, 기판이 고가이며 미세가공이 어렵다. 또한, poly-Si[6]을 압저항으로 사용한 압력센서도 개발하고 있지만, 재현성과 선형성이 떨어진다.

한편, 기계적 탄성성질이 스테인리스 스틸(stain-less 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 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 용력

감도와 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 720μm의 p(100)으로 열산화막을 5000Å 성장된 실리콘기판을 사용하였다. 먼저, TMAH 수용액 20 wt.%, 80°C에서 실리콘기판을 이방성 식각기술로 크기와 두께가 각각 1.43×1.43mm², 40μm인 실리콘 박막 멤브레인을 제조하였다[13]. 고주파 스퍼터링법으로 3500Å의 크롬박막을 증착하여 박막형 스트레인 게이지를 형성한 후, 알루미늄으로 스트레인 게이지를 휘스톤 브릿지와 연결하여 압력 감지부를 제작한 후, 금으로 전극을 형성하여 압력센서를 제작하였다.

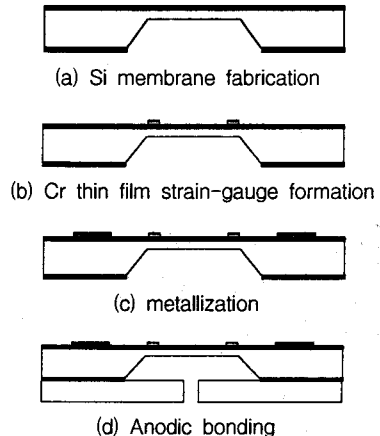


그림 1. 금속박막형 압력센서의 제작공정 순서.
 Fig. 1. Fabrication process sequences of metal thin-film type pressure sensors.

그림 2는 제작된 금속박막형 압력센서의 단면도와 평면도를 각각 나타낸 것이다. 센서 설계시 스트레인 게이지의 형태와 위치를 고려하여 높은 출력력을 얻을 수 있도록 압저항 하나의 크기는 30×300μm²이며 저항은 200Ω으로 설계하여 그림 2의 (a)와 같이 배열하였다[14]. 제작된 압력센

를 이용하여 N_2 분위기에서 $300^\circ C$, 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 $450^\circ C$, $1000V$ 에서 양극접합기술로 접합했으며 TO-5 패키징하여 압력센서를 제작하였다.

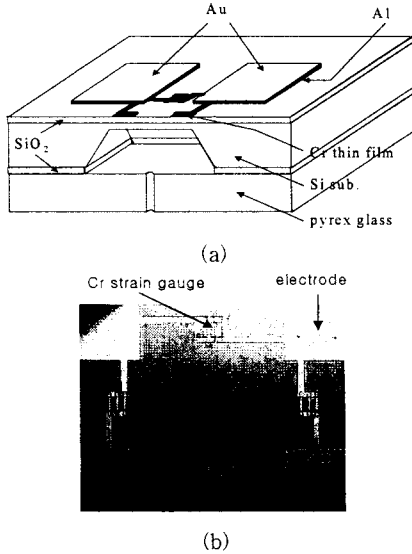


그림 2. 제작된 금속박막형 압력센서의 (a) 단면도, (b) 평면도.
Fig. 2. (a) Cross-sectional and (b) top views of fabricated metal thin-film type pressure sensors, respectively.

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 $0 \sim 2 \text{ kgf/cm}^2$ 의 압력범위에서 특성을 측정했다. 제작된 압력센서의 감도는 $1.21 \text{ mV/V} \cdot \text{kgf/cm}^2$ 였다.

이것은 실리콘 압저항형 압력센서의 $1.72 \text{ mV/V} \cdot \text{kgf/cm}^2$ 에 비해 다소 감도특성은 떨어지지만[17], 크롬박막형 스트레인 게이지의 큰 게이지율로 인해서 비해 비교적 우수한 감도특성을 얻었다.

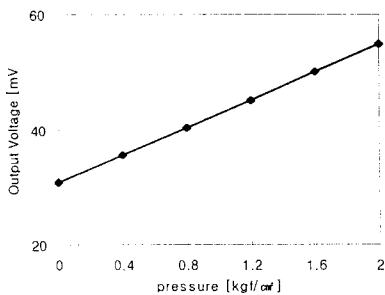


그림 3. 제작된 금속박막형 압력센서의 인가압력에 따른 출력특성.
Fig. 3. Out-put characteristic of fabricated metal thin-film type pressure sensors according to applied pressure.

그림 4는 실온에서 측정된 금속박막형 압력센서의 인가압력에 따른 비선형성 및 히스테리시스 특성을 각각 나타낸 것이다. 출력전압의 비선형성은 $0.1 \sim 0.21 \%FS$ 로 매우 선형적으로 나타났다. 또한, 히스테리시스는 압저항형 압력센서에 거의 동등한 $0.17 \sim 0.5 \%FS$ 로 스트레인 게이지를 이용한 로드셀의 $1.0 \%FS$ 에 비해 대단히 우수하였다[18].

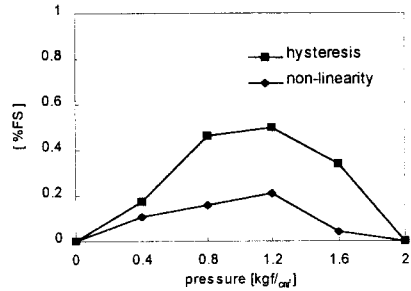


그림 4. 제작된 금속박막형 압력센서의 비선형성 및 히스테리시스 특성.
Fig. 4. Non-linearity and hysteresis characteristics of fabricated metal thin-film type pressure sensors.

그림 5는 $25 \sim 200^\circ C$ 의 온도범위에서 제작된 금속박막형 압력센서의 압력에 대한 출력전압의 변화를 나타낸 것이다. $200^\circ C$ 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 $200^\circ C$ 의 온도범위내에서 $-207 \sim -222 \text{ ppm}/^\circ C$ 로 측정되었다. 실리콘 압저항형 압력센서의 경우, TCR은 $-2000 \text{ ppm}/^\circ C$ 정도로 10배정도 온도특성이 개선되었다[18]. 따라서, 본 연구에서 제안된 금속박막형 압력센서가 실리콘 압저항형 압력센서에 비해서 온도특성이 우수함을 알 수 있다.

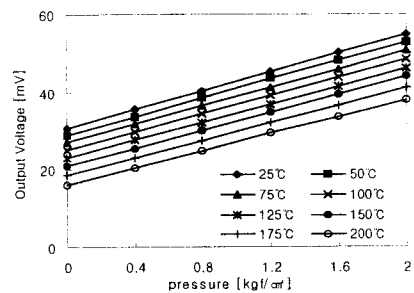


그림 5. 제작된 금속박막형 압력센서의 인가압력에 따른 온도특성.
Fig. 5. Temperature characteristics of fabricated metal thin-film type pressure sensors according to applied pressure.

그림 6은 $25 \sim 200^\circ C$ 의 온도범위에서 제작된 금속박막형 압력센서의 비선형성 특성을 나타낸 것이다. 실온에서 $125^\circ C$ 까지는 $0.21 \%FS$ 로 대단히 우수하지만, $175^\circ C$ 이상에서 $0.43 \%FS$ 정도로 증가했다. 그러나, 반도체식 압저항형 압력센서의 경우처럼, $120^\circ C$ 이상의 온도에서 $1.0 \%FS$ 이상 급격한 증가는 보이지 않았다[19].

그림 7는 $25 \sim 200^\circ C$ 의 온도범위에서 제작된 금속박막형 압력센서의 온도에 따른 감도 및 감도의 온도계수

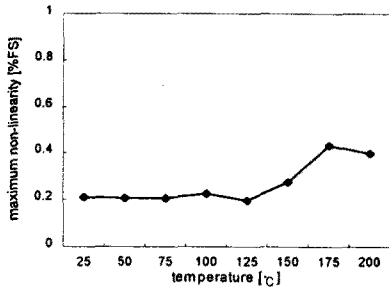


그림 6. 제작된 금속박막형 압력센서의 온도에 따른 비선형성 특성.

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

(TCS : temperature coefficient of sensitivity)를 각각 나타낸 것이다. 실온에서 감도는 $1.21 \text{ mV/V} \cdot \text{kgf/cm}^2$ 이었으며, 온도가 증가할수록 압력감지부로 사용한 크롬박막형 스트레인 게이지의 부TCR로 인해서 약간 감소하여 200°C 에서 $1.097 \text{ mV/V} \cdot \text{kgf/cm}^2$ 으로 떨어졌지만, 반도체식 압저항형 압력센서보다도 훨씬 안정적이다.

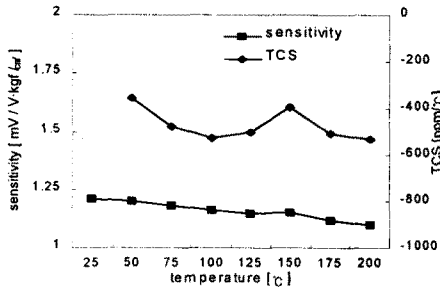


그림 7. 제작된 금속박막형 압력센서의 온도에 따른 감도 및 TCS 특성.

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

한편, TCS는 200°C 까지의 온도에서 $-529 \text{ ppm/}^\circ\text{C}$ 이하로 실리콘 압저항형 압력센서의 $-1300 \text{ ppm/}^\circ\text{C}$ 에 비해서 온도에 대한 훨씬 안정성이 우수하였다[20]. 또한, 압력센서의 200°C 에서의 long-term stability도 43 ppm/hr 로 안정된 값을 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 마이크로머시닝 및 박막기술을 이용하여 실리콘 멤브레인상에 크롬박막형 스트레인 게이지를 압력감지부로 이용한 금속박막형 압력센서를 제작하여 그 특성을 분석·평가하였다. 크롬박막의 높은 비저항값과 게이지율때문에 브리지 입력전압이 10 V 일 때, $25 \sim 200^\circ\text{C}$ 의 온도범위내에서 출력 감도는 $1.097 \sim 1.21 \text{ mV/V} \cdot \text{kgf/cm}^2$ 이며, 비선형성은 $0.2 \sim 0.43 \text{ \%FS}$ 으로 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 등

의 극한 환경에서도 사용이 가능한 소형, 경량, 고성능, 저가격 및 집적화가 가능한 압력 및 하중센서로 이용 가능할 것으로 기대된다.

(참 고 문 헌)

- [1] I. Obieta and F. J. Gracia, "Sputtered silicon thin-film for piezoresistive pressure microsensors", *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. Suzuki, 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. and K. Suzuki, "Non-linearity of piezoresistance effect in p- and n-type silicon", *Sensors & Actuators A*, vol. 21, pp. 45~48, 1990.
- [20] K. Matsuda, Y. Kanda, K. Yamamura and K. Suzuki, "Second-order piezoresistance coefficients of the n-type silicon", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 28, pp. 1676~1677, 1989.