

고온용 세라믹 박막형 압력센서의 제작과 그 특성

Fabrication of Ceramic Thin Film Type Pressure Sensors for High-Temperature Applications and Their Characteristics

정귀상

(Gwiy-Sang Chung)

Abstract

This paper describes the fabrication and characteristics of ceramic thin film type pressure sensors based on Ta-N strain gauges for high temperature applications. Ta-N thin-film strain gauges are deposited onto a thermally oxidized Si diaphragm by RF sputtering in an argon-nitrogen atmosphere(N₂ gas ratio: 8 %, annealing condition: 900℃, 1 hr.), patterned on a wheatstone bridge configuration, and used as pressure sensing elements with a high stability and a high gauge factor. The sensitivity is 1.097 ~ 1.21 mV/V · kgf/cm² in the temperature range of 25 ~ 200℃ and the maximum non-linearity is 0.43 %FS. The fabricated pressure sensor presents a lower TCR(temperature coefficient of resistance), non-linearity than existing Si piezoresistive pressure sensors. The fabricated ceramic thin-film type pressure sensor is expected to be usefully applied as pressure and load sensors that is operable under high-temperature.

Key Words : Ceramic thin-film pressure sensor, Ta-N, Strain-gauge, TCR, Non-linearity

1. 서론

최근 압력센서는 Si 마이크로머시닝기술을 이용하여 초소형·경량화는 물론 고정도, 고신뢰성, 고성능화를 동시에 실현하게 되었다. 그리고 그 응용 분야는 기존의 자동차, 군수 및 항공우주 분야에서 차세대 통신 및 고정밀 제어 시스템, 의료, 신소재 산업 등이 포함된 이른바 4T(IT, BT, NT, ET) 분야로 확대되고 있는 추세이다.

위와 같은 첨단 분야에 압력센서를 사용하기 위하여 일상생활이나 일반제어산업 이외에 사용환경 예측이 불가능한 특수 상태에서도 성능의 저하가 일어나지 않는 설계 및 제조에 대한 기술력이 뒷

받침되어야 한다. 따라서, 최근에는 고온, 고압, 고습 및 격진동 등의 열악한 환경에서도 사용할 수 있는 소형, 경량, 저가격의 압력 및 하중센서가 필수적으로 요구되고 있다[1-3].

한편, 이러한 극한 환경에서도 히스테리시스와 같은 출력특성에 문제점을 주지 않기 위해서는 입력 감지부로 사용될 변환기용 소재의 선택이 매우 중요하다. 기존의 스트레인 게이지를 이용한 로드 셀의 경우, 구조 및 제작이 간단하며 고온, 고압 등의 극한 환경에서도 사용이 가능하지만, 감도가 낮고 분해능력이 떨어지며 크리프 현상과 히스테리시스로 인해 신뢰성과 안정성이 나빠져 소형화, 집적화 및 대량생산이 어렵다[4]. 마이크로머시닝 기술로 제작된 Si 압저항형 압력센서는 고감도, 고신뢰성과 더불어 안정성이 우수하며, 소형, 경량, 집적화 그리고 대량생산이 가능하다. 그러나, 압저항의 pn접합부 누설전류로 인하여 온도보상용 신호처리회로까지 집적화시켜도 120℃ 이상의 온도

동서대학교 정보시스템공학부 메카트로닉스공학전공
(부산시 사상구 주례동 산69-1번지,
Fax: 051-328-1569

Corresponding Author : gschung@dongseo.ac.kr
2003년 2월 4일 접수, 2003 3월 24일 1차 심사완료,
2003년 5월 15일 최종 심사완료.

에서는 사용이 불가능하다[5]. 또한, 이러한 반도체식 압력센서의 문제점을 해결하기 위하여 '90년대부터 300℃까지 사용 가능한 고온용 반도체식 압력센서를 개발하기 위하여 유전체 분리형 SOI(Si-on-Insulator) 및 SOS(Si-on-Sapphire)기판이 사용되고 있지만, 기판이 고가이며 미세가공이 어렵다[6]. 또한, poly-Si[7]을 압저항으로 사용한 압력센서도 개발하고 있지만, 재현성과 선형성이 떨어지는 단점을 가지고 있다.

한편, 기계적 탄성성질이 stainless steel보다도 훨씬 우수하며 미세가공이 용이한 Si 다이어프램 위에 압력 감지부로 세라믹 박막형 스트레인 게이지를 이용하여 압력 및 하중센서를 제작할 경우, 히스테리시스가 거의 없고 선형성과 신뢰성이 우수하며 소형, 경량, 집적화 및 대량생산이 가능할 것이다.

현재, 박막형 스트레인 게이지의 재료로는 Au-Ni합금[8], Mn[9], NiCr합금[10], Bi-Sb[11] 그리고 Cu-Ni(constantan)계 합금[12] 등의 금속 재료들이 사용되고 있으나, 대부분 2.5 이하의 낮은 게이지율과 비저항때문에 감도가 떨어지고 소형화가 어렵다. 한편, Ta-N은 금속 재료들에 비해 비교적 큰 전기저항값을 가지며 기판의 종류에 관계없이 접착성이 우수하고, 높은 응력 감도와 4 이상의 게이지율을 가지기 때문에 스트레인 게이지의 재료로서 큰 이점을 가지고 있다[13].

따라서, 본 연구에서는 지금까지의 Si 압저항형 압력센서의 문제점을 개선하고 200℃ 이상의 고온에서도 사용 가능한 세라믹 박막형 압력센서를 개발하였다. 수압부로는 미세가공이 용이하고, 직선성이 우수하며 신호처리회로의 저가격화가 가능한 Si 박막 다이어프램을 사용했으며 압력 감지부로는 큰 전기저항값과 높은 게이지율을 가지며 기판의 종류에 관계없이 접착성이 우수한 Ta-N 스트레인 게이지를 사용하였다. 그리고 제조된 세라믹 박막형 압력센서의 TCR, TCS 및 비선형 특성을 측정하여 기존의 Si 압저항형 압력센서 및 스트레인게이지 로드셀과 출력특성을 비교·분석하였다.

2. 설계 및 제작

그림 1은 마이크로머시닝 및 박막기술을 이용한 세라믹 박막형 압력센서의 제작공정 순서를 도식적으로 나타낸 것이다. 본 연구에서는 열산화막을 5000Å 성장시킨 비저항 약 4~5 Ω·cm, 두께 720

μm의 p(100)형 Si기판을 사용하였다 먼저, 박막 다이어프램으로 사용할 Si기판에 존재하는 표면의 유기오염물을 제거하기 위하여 표준 반도체 세정공정을 행하였다. 한편, Si 박막 다이어프램은 압력센서의 수압부로서, 기판의 박막화시 다이어프램의 크기 및 두께의 설계조건과 제조공정이 인가 압력에 대한 스트레인 게이지의 전기적 신호 변환에 적합하여야 한다. 따라서, Si기판위의 스트레인 게이지가 최적의 응력감도를 가질 수 있도록 TMAH 수용액 20 wt.%, 80℃에서 이방성 습식 식각기술로 크기와 두께가 각각 1.43 × 1.43 mm², 40 μm인 Si 박막 다이어프램을 제조하였다.

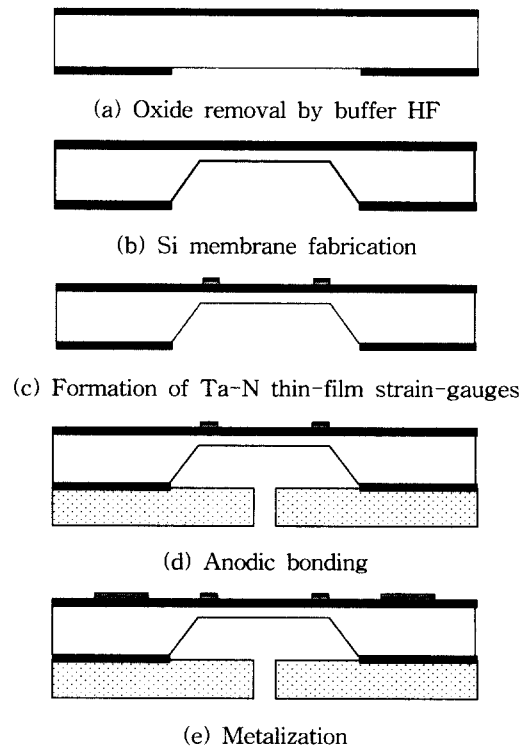


그림 1. 세라믹 박막형 압력센서의 제작공정 순서도.
 Fig. 1. Fabrication process sequences of ceramic thin film type pressure sensors.

또한, RF 스퍼터링법을 이용하여 3500Å의 Ta-N 박막을 증착하여 lift-off법으로 박막형 스트레인 게이지를 형성하고, 온도 영향의 제거, 출력 전압값의 극대화를 위하여 스트레인 게이지를 휘스톤 브릿지와 연결하여 압력 감지부를 제조한 후, Al과 Au로 전극을 형성하고 압력센서를 제작하여

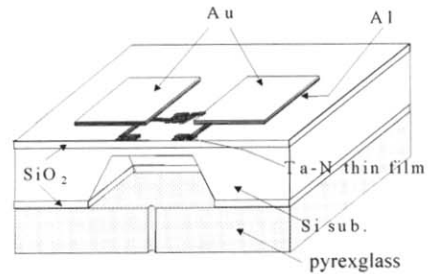
전기적 특성을 분석 및 평가했다. 표 1은 Ta-N 박막의 증착 및 열처리 조건을 각각 나타낸 것이다.

표 1. Ta-N 박막의 증착 및 열처리 조건.

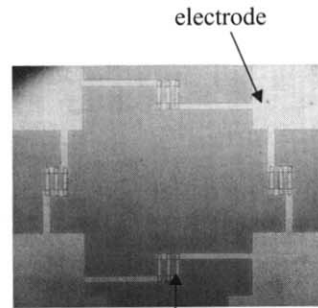
Table 1. Deposition and annealing conditions of Ta-N thin films.

증착조건	범위
Target	Ta 4" diameter
DC Power	310 V, 100 mA
Substrate	Si
Target-substrate distance	8 cm
Working gas	Ar : 19 sccm N ₂ : 0.8~ 3.6 sccm
N ₂ gas flow ratio	4, 6, 8, 10, 12, 16 %
Substrate Temperature	Room Temp.(27℃)
Working pressure	4.3 mTorr
Annealing conditions	500~1000℃, 1 hr. 2×10 ⁻⁶ Torr

그림 2(a)와 (b)는 제작된 세라믹 박막형 압력센서의 단면도와 평면도를 각각 나타낸 것이다. 센서 설계시 스트레인 게이지의 형태와 위치를 고려하여 높은 출력을 얻을 수 있도록 압저항 하나의 크기는 $30 \times 100 \mu\text{m}^2$, 저항은 250Ω 으로 설계하여 그림 2(b)와 같이 배열하였다[14]. Ta-N 박막의 제작을 위하여 photoresist를 사용해 $1.5 \mu\text{m}$ 의 회생층을 형성한 후, lift-off법을 이용하여 최적의 RF 스퍼터링조건(N₂ gas ratio: 8%, annealing condition: 900℃, 1 hr.)에서 Ta-N박막을 증착 및 열처리하였다. 제작된 Ta-N박막의 비저항값은 $766.9 \mu\Omega\text{cm}$, 게이지율은 4.12로 측정되었다. 또한 압력 감지부가 형성된 Si기판과 유리기판을 450℃, 1000 V하에서 양극접합기술로 접합했으며 NaOH 수용액에서 전기화학적 방전가공(electrochemical discharge machining: EDM) 기술을 이용하여 파이렉스 #7740 유리기판에 압력 인가용 홀을 가공하였다. 최종적으로 스트레인 게이지의 휘스톤 브릿지 형성을 위해 DC 스퍼터링을 이용하여 Al과 Au 전극을 순차적으로 증착한 후, TO-5 패키징하여 압력센서를 제작하였다.



(a)



Ta-N thin-film strain gauge

(b)

그림 2. 제작된 세라믹 박막형 압력센서의 (a) 단면도와 (b) 평면도.

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

그림 3은 제작후 To-5 패키징한 Ta-N 세라믹 박막형 압력센서의 사진이다.

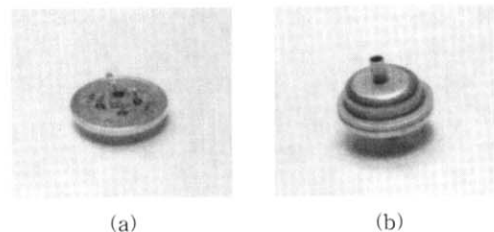


그림 3. To-5 패키징한 Ta-N 세라믹 박막형 압력센서의 (a) 내부 및 (b) 외부사진.

Fig. 3. Photographs of (a) inside and (b) outside view of To-5 packaged ceramic thin film type pressure sensors, respectively.

3. 결과 및 고찰

그림 4는 실온에서 제작된 세라믹 박막형 압력 센서의 인가압력에 따른 출력전압의 변화를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 스트레인 게이지의 브리지에 10 V의 정격 입력전압을 인가했으며 0 ~ 2 kgf/cm²의 압력범위에서 특성을 측정했다. 제작된 압력센서의 감도는 1.21 mV/V · kgf/cm²였다. 이것은 Si 압저항형 압력센서의 1.72 mV/V · kgf/cm²에 비해 다소 감도특성은 떨어지지만, Ta-N 박막형 스트레인 게이지의 큰 게이지율로 인해서 스트레인 게이지 로드셀(1.0 mV/V · kgf/cm²)과 비교하여 우수한 감도특성을 얻을 수 있었다[13].

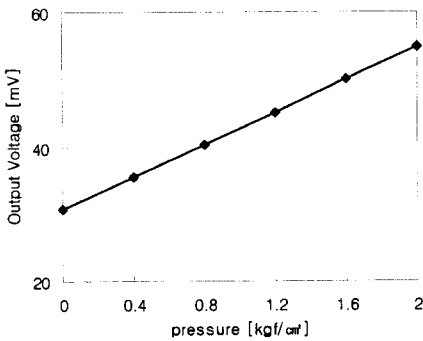


그림 4. 제작된 세라믹 박막형 압력센서의 인가압력에 따른 출력특성(인가전압: 10 V).

Fig. 4. Out put characteristic of fabricated ceramic thin-film type pressure sensors versus applied pressure(supplied voltage: 10 V).

그림 5는 25 ~ 250℃의 온도범위에서 제작된 세라믹 박막형 압력센서의 압력에 대한 출력전압의 변화를 나타낸 것이다. 250℃까지의 고온에서도 인가압력에 따라 제작된 세라믹 박막형 압력센서의 출력전압은 거의 일정했다. 한편, 본 연구에서 Ta-N 박막형 스트레인 게이지를 유전체 분리된 감지부로 사용한 휘스톤 브리지 저항의 온도에 따른 저항의 온도계수(TCR : temperature coefficient of resistance)는 200℃의 온도범위 내에서 -207 ~ -222 ppm/℃로써, Si 압저항형 압력센서의 약 -2000 ppm/℃에 비해 10배 이상 온도특성이 개선되었다[15]. 따라서, 본 연구에서 제안된 세라믹 박막형 압력센서가 Si 압저항형 압력센서에 비해서 온도특성이 훨씬 우수함을 알 수 있다.

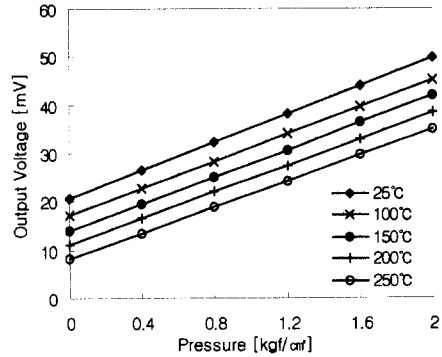


그림 5. 제작된 세라믹 박막형 압력센서의 인가압력에 따른 온도특성.

Fig. 5. Temperature characteristics of fabricated ceramic thin film type pressure sensors versus applied pressure, respectively.

그림 6은 25 ~ 200℃의 온도범위에서 제작된 세라믹 박막형 압력센서의 비선형성 특성을 나타낸 것이다. 실온에서 125℃까지는 0.21 %FS로 대단히 우수하지만, 175℃이상에서 0.43 %FS 정도로 증가했다. 그러나, Si 압저항형 압력센서의 경우처럼, 120℃이상의 온도에서 1.0 %FS 이상 급격한 증가는 보이지 않았다[3].

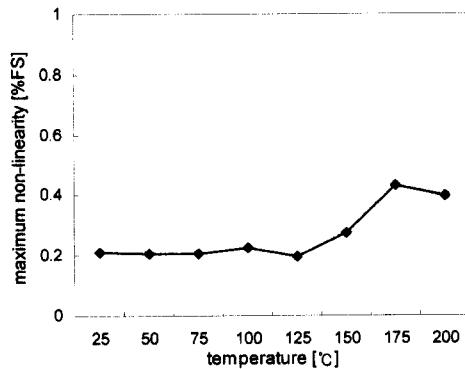


그림 6. 제작된 세라믹 박막형 압력센서의 온도에 따른 비선형성 특성.

Fig. 6. Non-linearity characteristic of fabricated ceramic thin film type pressure sensors versus temperature.

4. 결 론

본 연구에서는 마이크로머시닝 및 박막기술을 이용하여 Si 다이어프램위에 Ta-N 박막형 스트레인 게이지를 압력 감지부로 이용한 세라믹 박막형 압력센서를 제작하여 그 특성을 분석·평가하였다. 높은 비저항값과 큰 게이지율을 가지는 Ta-N 박막을 형성한 후 브리지 입력전압을 인가하였을때, 25~250℃의 온도범위내에서 출력 감도는 1.097~1.21 mV/V·kgf/cm²이며, 비선형성은 0.2~0.43 %FS으로 고온에서도 감도 및 선형성이 매우 우수하였다. 결론적으로, Si 다이어프램위에 Ta-N 박막을 압저항으로 이용한 세라믹 박막형 압력센서는 기존의 금속 스트레인 게이지를 이용한 압력 및 하중센서에 비해서 소형화, 집적화가 가능하며 반도체식 Si 압저항형 압력센서에 비해 감도는 낮지만, TCR 및 온도 특성이 대단히 우수하였다.

따라서, 개발된 Ta-N 세라믹 박막형 압력센서는 고온 등의 극한 환경에서도 사용이 가능한 소형, 경량, 고성능 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, p. 521, 1994.
- [2] G. S. Chung, J. H. Seo, and C. S. Park, "The characteristics of chromium nitride thin-film strain gauges", J. of KIEEME(in Korea), Vol. 12, No. 7, p. 618, 1999.
- [3] J. M. Kim, S. K. Choi, and G. S. Chung, "The Fabrication of ceramic thin-film type pressure sensors for high-temperature applications", Proc. of the KIEEME Annual Autumn Conf., p. 456, 2002.
- [4] N. M. White and J. E. Brignell, "A planar thick-film load cell", Sensors & Actuators A, Vol. 25, p. 313, 1991.
- [5] T. Ishihara, K. Suzuki, S. Suwazono, M. Hirata, and H. Tanigawa, "CMOS integrated silicon pressure sensor", IEEE J. Solid-State Circuit, Vol. SC-22, p. 151, 1987.
- [6] G. S. Chung, S. Kawahito, M. Ishida, and T. Nakamura, "Novel pressure sensors with multilayer SOI structures", Electronics Letters, Vol. 26, No. 12, p. 775, 1990.
- [7] V. Mosser, J. Suski, and J. Goss. "Piezoresistive pressure sensors based on polycrystalline silicon", Sensors & Actuators A, Vol. 28, p. 113, 1991.
- [8] 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, p. 521, 1993.
- [9] K. Rajanna and S. Mohan, "Thin film pressure transducer with manganese film as the strain gauge", Sensors & Actuators A, Vol. 24, p. 35, 1990.
- [10] 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, p. 265, 1993.
- [11] S. Sampath and K. V. Ramanaiah, "Behaviour of Bi-Sb alloy thin-film as strain gauges." Thin-Solid Films, Vol. 137, p. 199, 1986.
- [12] K. Matsuda, Y. Kanda, K. Yamamura, and K. Suzuki, "Second order piezoresistance coefficients of the n-type silicon", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 28, p. 1676, 1989.
- [13] P. Ciampolini, A. Pierantoni, and M. Rudan, "A CAD environment for the numerical simulation of integrated piezoresistive transducers", Sensors & Actuators, Vol. 46, p. 618, 1995.
- [14] H. L. Chau and K. D. Wise, "Scaling limits in batch-fabricated silicon pressure sensors", IEEE Trans Electron Devices, Vol. ED-34, p. 850, 1987.
- [15] H. Sandmaier and K. Kuhl, "Piezoresistive low pressure sensor with high sensitivity and high accuracy", Sensors & Actuators A, Vol. 23, p. 142, 1990.