

고온용 마이크로 세라믹 박막형 압력센서의 제작과 그 특성

김재민, 이종춘*, 정귀상,
동서대학교, 경남정보대학*

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

Jae-Min Kim, Jong-Choon Lee*, and Gwi-Sang Chung
Dongseo Univ., Kyungnam Information College*

Abstract

This paper describes on the fabrication and characteristics of micro ceramic thin-film type pressure sensors based on Ta-N strain-gauges for high-temperature applications. The Ta-N thin-film strain-gauges are deposited onto thermally oxidized Si diaphragms by RF sputtering in an argon-nitrogen atmosphere(N₂ gas ratio: 8 %, annealing condition: 900°C, 1 hr.), patterned on a wheatstone bridge configuration, and use 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°C and the maximum non-linearity is 0.43 %FS. The fabricated pressure sensor presents a lower TCR, non-linearity than existing Si piezoresistive pressure sensors. The fabricated micro ceramic thin-film type pressure sensor is expected to be usefully applied as pressure and load sensors that is operable under high-temperature environments.

Key Words : Ceramic pressure sensor, Ta-N thin-film, strain gauge, TCR, non-linearity

1. 서론

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

한편, 이러한 첨단분야에서도 히스테리시스와 같은 압력센서의 출력특성에 문제점을 주지 않기 위해서는 입력 감지부로 사용될 변환기용 소재의 선택이 매우 중요하다. 기존의 스트레인 게이지를 이용한 로드셀의 경우, 구조 및 제작이 간단하며 고온, 고압 등의 극한 환경에서도 사용이 가능하지만, 감도가 낮고 분해능력이 떨어지며 크리프 현상과 히스테리시스로 인해 신뢰성과 안정성이 나빠지며 소형화, 집적화 및 대량생산이 어렵다[1].

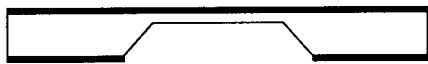
한편, 기계적 탄성성질이 stainless steel보다도

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

따라서, 본 연구에서는 온도특성이 나쁜 압저항형 압력센서와 스트레인 게이지 로드셀의 문제점을 개선하고 200°C 이상의 고온에서도 사용가능한 세라믹 박막형 압력센서를 개발하였다. 수압부로는 미세가공이 용이하고, 직선성이 우수하며 신호처리 회로의 저가격화가 가능한 Si 다이어프램을 사용했으며 압력 감지부로는 큰 전기저항값과 높은 게이지율을 가지며 기판의 종류에 관계없이 접착성이 우수한 Ta-N 스트레인 게이지를 사용하였다. 그리고 제조된 마이크로 세라믹 박막형 압력센서의 TCR, TCS 및 비선형 특성 등을 측정하여 기존의 압저항형 압력센서 및 스트레인게이지 로드셀과 출력특성을 비교·분석하였다.

2. 설계 및 제작

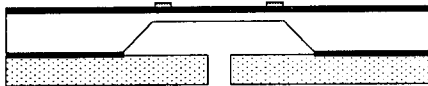
그림 1은 마이크로머시닝 및 박막기술을 이용한 마이크로 세라믹 박막형 압력센서의 제작공정 순서를 도식적으로 나타낸 것이다. 본 연구에서는 열산화막을 5000Å 성장시킨 비저항 약 4~5 Ω·cm, 두께 720 μm의 p(100)형 Si기판을 사용하였다. 먼저, Si기판위의 스트레인 게이지가 최적의 응력 감도를 가질 수 있도록 TMAH 수용액 20 wt.%, 80°C에서 이방성 습식 식각기술로 크기와 두께가 각각 1.43 × 1.43 mm², 40 μm인 Si 박막 다이아프램을 제조하였다.



(a) Si membrane fabrication



(b) Formation of Ta-N thin-film strain-gauges



(c) Anodic bonding



(d) Metalization

그림 1. 마이크로 세라믹 박막형 압력센서의 제작 공정 순서도.

Fig. 1. Fabrication process sequences of micro ceramic thin-film type pressure sensors.

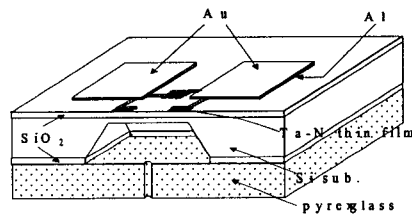
그리고 RF 스퍼터링법을 이용하여 3500Å의 Ta-N 박막을 증착하여 lift-off법으로 박막형 스트레인 게이지를 형성하고, 온도 영향의 제거, 출력 전압값의 극대화를 위하여 스트레인 게이지를 휘스톤 브릿지와 연결하여 압력 감지부를 제조한 후, Al과 Au로 전극을 형성하고 압력센서를 제작하여 전기적 특성을 분석 및 평가했다. 표 1은 Ta-N 박막의 증착 및 열처리 조건을 각각 나타낸 것이다.

그림 2(a)와 (b)는 제작된 마이크로 세라믹 박막형 압력센서의 단면도와 평면도를 각각 나타낸 것이다. 센서 설계시 압저항 하나의 크기는 30×100

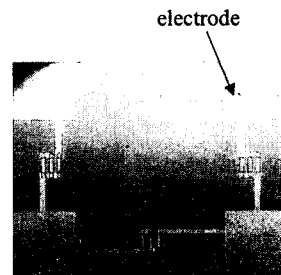
표 1. Ta-N 박막의 증착 및 열처리 조건.

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-sub. 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°C)
Working pressure	4.3 mTorr
Annealing conditions	500~1000°C, 1 hr. 2×10 ⁻⁶ Torr



(a)



Ta-N thin-film strain gauge

(b)

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

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

μm^2 , 저항은 250Ω 으로 설계하여 그림 2(b)와 같이 배열하였다[2]. Ta-N 박막의 제작을 위하여 photoresist를 사용해 $1.5 \mu\text{m}$ 의 회생층을 형성한 후, lift-off 방법을 이용하여 Ta-N박막을 증착 및 열처리하였다. 또한 압력 감지부가 형성된 Si기판과 유리기판을 450°C , 1000 V 하에서 양극접합기술로 접합했으며 NaOH 수용액에서 전기화학적 방전 가공(electrochemical discharge machining: EDM) 기술을 이용하여 파이렉스 #7740 유리기판에 압력 인가용 홀을 가공하였다[3]. 최종적으로 스트레인 게이지의 휘스톤 브릿지 형성을 위해 DC 스퍼터링을 이용하여 Al과 Au 전극을 순차적으로 증착한 후, TO-5 패키징하여 압력센서를 제작하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 Ta-N 박막형 스트레인 게이지의 질소분압 비율 및 열처리 온도에 따른 TCR값의 변화를 나타낸 것이다. 질소분압 8 %에서 증착된 Ta-N 박막형 스트레인 게이지의 TCR값은 $-115 \sim -83 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 으로서 열처리 온도가 올라가더라도 다른 질소분압비에 비하여 가장 일정한 수치를 나타내었다. 그러나 질소분압 4 %와 6 %에서 각각 증착된 Ta-N 박막형 스트레인 게이지의 경우, 600°C 까지의 열처리 온도에서는 점차 낮아졌으며, 700°C 이상에서는 오히려 양의 TCR값을 나타내면서 점차 증가하였다.

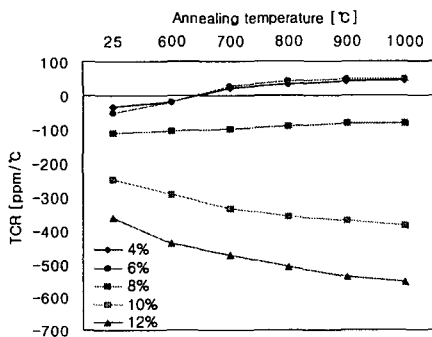


그림 3. Ta-N 박막형 스트레인 게이지의 질소분압 및 열처리 온도에 따른 TCR값의 변화.
Fig. 3. Variations of TCR according to N_2 gas flow ratio and annealing temperature of Ta-N thin-film strain gauge.

그리고, 질소분압 10 % 이상에서 증착된 Ta-N 박막형 스트레인 게이지는 열처리 온도가 올라갈수록 TCR값이 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 질소분압비 8 %를 DC 스퍼터링 최적조건으로 결정한 후 Si 다이어프램위에 휘스톤 브릿지 형태로 증착하였다.

그림 4는 실온에서 제작된 마이크로 세라믹 박막형 압력센서의 인가압력에 따른 출력전압의 변화를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 스트레인 게이지의 브릿지에 10 V 의 정격 입력전압을 인가했으며 $0 \sim 2 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ 의 압력범위에서 특성을 측정했다. 제작된 압력센서의 감도는 $1.21 \text{ mV}/\text{V} \cdot \text{kgf}/\text{cm}^2$ 였다. Ta-N 박막형 스트레인 게이지의 큰 게이지율(4.23)로 인해서 스트레인 게이지 로드셀($1.0 \text{ mV}/\text{V} \cdot \text{kgf}/\text{cm}^2$)과 비교하여 우수한 감도특성을 얻을 수 있었다[4].

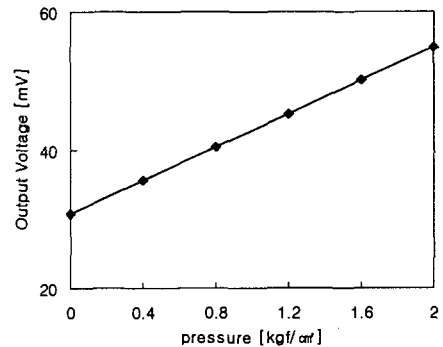


그림 4. 제작된 마이크로 세라믹 박막형 압력센서의 인가압력에 따른 출력특성.

Fig. 4. Output characteristic of fabricated micro ceramic thin-film type pressure sensors versus applied pressure.

그림 5는 $25 \sim 250^\circ\text{C}$ 의 온도범위에서 제작된 마이크로 세라믹 박막형 압력센서의 압력에 대한 출력전압의 변화를 나타낸 것이다. 250°C 까지의 고온에서도 인가압력에 따라 제작된 압력센서의 출력전압은 거의 일정했다. 한편, 본 연구에서 Ta-N 박막형 스트레인 게이지를 유전체 분리된 감지부로 사용한 휘스톤 브릿지 저항의 온도에 따른 저항의 온도계수(TCR : temperature coefficient of resistance)는 200°C 의 온도범위 내에서 $-207 \sim -222 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 로써, Si 압저항형 압력센서의 약 $-2000 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 에 비해 10배 이상 온도특성이 개선되었다[5]. 따라서, 본 연구에서 제안된 마이크로

세라믹 박막형 압력센서가 Si 압저항형 압력센서에 비해서 온도특성이 훨씬 우수함을 알 수 있다.

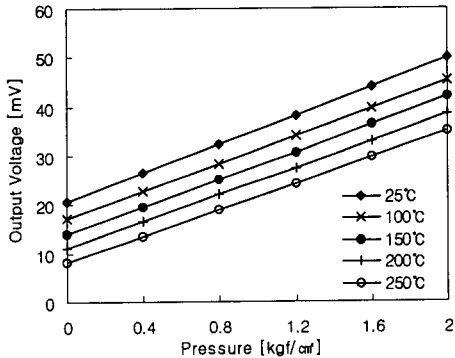


그림 5. 제작된 마이크로 세라믹 박막형 압력센서의 인가압력에 따른 온도특성.

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

그림 6은 25 ~ 200°C의 온도범위에서 제작된 마이크로 세라믹 박막형 압력센서의 비선형성 특성을 나타낸 것이다. 실온에서 125°C까지는 0.21 %FS로 대단히 우수하지만, 175°C이상에서 0.43 %FS정도로 증가했다. 그러나, Si 압저항형 압력센서의 경우처럼, 120°C이상의 온도에서 1.0 %FS 이상 급격한 증가는 보이지 않았다[5].

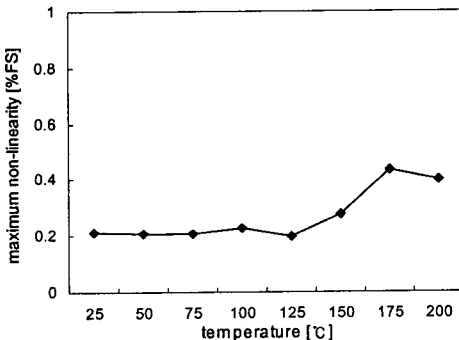


그림 6. 제작된 마이크로 세라믹 박막형 압력센서의 온도에 따른 비선형성 특성.

Fig. 6. Non-linearity characteristic of fabricated micro 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 마이크로 세라믹 박막형 압력센서를 제작하여 그 특성을 분석·평가하였다. 질소분압 8 %에서 4.23의 게이지율을 가지는 Ta-N 박막을 형성한 후 브리지 입력전압을 인가하였을때, 25~250°C의 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 마이크로 세라믹 박막형 압력센서는 기존의 금속 스트레인 게이지를 이용한 압력 및 하중센서에 비해서 소형화, 집적화가 가능하며 SUS를 이용한 스트레인 게이지 로드셀에 비하여 TCR 및 온도 특성이 대단히 우수하였다.

따라서, 개발된 Ta-N 마이크로 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] N. M. White and J. E. Brignell, "A planar thick-film load cell", *Sensors & Actuators A*, Vol. 25, p. 313, 1991.
- [2] 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.
- [3] G. S. Chung and S. W. Hong, "Study on micro-drilling of #7740 glass substrates by electrochemical discharge machining", *J. KIEEME*, Vol. 12, p. 488, 1999.
- [4] 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.
- [5] H. Sandmaier and K. Kuhl, "Piezoresistive low-pressure sensor with high sensitivity and high accuracy", *Sensors & Actuators A*, Vol. 23, p. 142, 1990.