

논문 2003-12-5-01

과부하 방지용 마이크로머시닝 세라믹 박막형 압력센서의 제작과 그 특성

김재민*, 정귀상*

Fabrication of a micromachined ceramic thin-film type pressure sensor for high overpressure tolerance and Its characteristics

Jae-Min Kim* and Gwi-Sang Chung*

요 약

본 논문에서는 Ta-N 스트레인게이지를 이용한 극한 환경용 세라믹 박막형 압력센서의 제작 및 특성에 관하여 연구하였다. 압력감지부로 Ta-N 스트레인게이지를 사용하였으며, SDB (Si-wafer Direct Bonding)와 전기화학적 식각정지법을 이용하여 매몰 cavity를 가지는 저가격 고수율의 Si 박막 다이어프램을 제작하였다. 또한, 실리콘 박막 다이어프램상에 박막형 스트레인게이지를 형성하여 세라믹 박막형 압력센서를 제작하였다. 제작된 세라믹 박막형 압력센서는 기존의 스트레인 게이지를 이용한 로드셀에 비해서 온도특성이 우수하고 재현성, 소형화, 집적화 및 저가격화가 가능하기 때문에 고온, 고압 등의 극한 환경에서도 사용이 가능할 것으로 기대된다.

Abstract

This paper describes on the fabrication and characteristics of a ceramic thin-film pressure sensor based on Ta-N strain-gauges for harsh environment applications. The Ta-N thin-film strain-gauges are sputter-deposited onto a micromachined Si diaphragms with buried cavity for overpressure protectors. The proposed device takes advantages of the good mechanical properties of single-crystalline Si as diaphragms fabricated by SDB and electrochemical etch-stop technology, and in order to extend the operating temperature range, it incorporates relatively the high resistance, stability and gauge factor of Ta-N thin-films. 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/cm² in the temperature range of 25 - 200°C and the maximum non-linearity is 0.43 %FS.

Key Words : ceramic pressure sensor, strain-gauge, Ta-N thin-film, buried cavity, overpressure protector

1. 서 론

* 동서대학교 정보시스템공학부 (School of Information and System Engineering, Dongseo University)

<접수일자 : 2003년 4월 23일>

압력센서는 높은 신뢰성과 동작의 안정성, 고정밀도, 저렴한 가격 및 재현성이 필수적으로 요구된다. 특히 최근에는 고온, 고압 등의 열악한 환경에서도 사용할 수 있는 소형, 경량의 압력

및 하중센서가 요구되고 있다⁽¹⁾. 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 나쁘며 소형화, 집적화 및 대량생산이 어렵다⁽²⁾.

마이크로머시닝기술로 제작된 압저항형 Si 압력센서는 고감도, 고신뢰성과 더불어 안정성이 우수하며, 소형, 경량, 집적화 그리고 대량생산이 가능하다. 그러나, 압저항의 pn접합부 누설 전류로 인하여 온도보상용 신호처리회로까지 집적화시켜도 120°C 이상의 온도에서는 사용이 불가능하다⁽³⁾. 또한, 이러한 반도체식 압력센서의 문제점을 해결하기 위하여 '90년대부터 300°C까지 사용 가능한 유전체 분리형 SOI 압력센서가 개발되었지만 가격이 비싸다⁽⁴⁾. 한편, 기계적 탄성성질이 stainless steel보다도 훨씬 우수하며 미세가공이 용이한 Si 다이어프램상에 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^(5, 6).

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, Ta-N은 다른 재료들에 비해 비교적 큰 전기저항값을 가지며 기판의 종류에 관계없이 접착성(adhesion)이 우수하고, 높은 응력감도와 4이상의 게이지율을 가지기 때문에 스트레인 게이지의 재료로써 유용하다⁽¹²⁾.

따라서, 본 연구에서는 지금까지의 반도체식 압력센서와 금속후막형 압력센서의 문제점뿐만 아니라 사용시 과부하에도 사용 가능한 세라믹 박막형 압력센서를 개발하였다. 수압부로 기존의 SUS 등의 금속 탄성체에 비해 크리프 현상이 없고, 직선성이 우수하며, 기계적 마모나 진동의 영향이 적으며, 미세가공이 용이한 Si 박막 다이어프램을 사용했다. 또한, 감지부로는 비교적 큰 전기저항값과 게이지율을 가지며 기판의 종류에 관계없이 접착성이 우수한 Ta-N 스트레인 게이지를 사용하였다.

II. 설계 및 제작

그림 1은 과부하 방지용 마이크로머시닝 박막형 압력센서의 제작공정 순서를 도식적으로 나타낸 것이다. 세라믹 박막형 압력센서의 수압부로 미세가공이 용이하며 기계적 특성이 우수한 Si 다이어프램을 사용했고 정확한 두께 제어가 가능한 SDB SOI기판을 사용하였다.

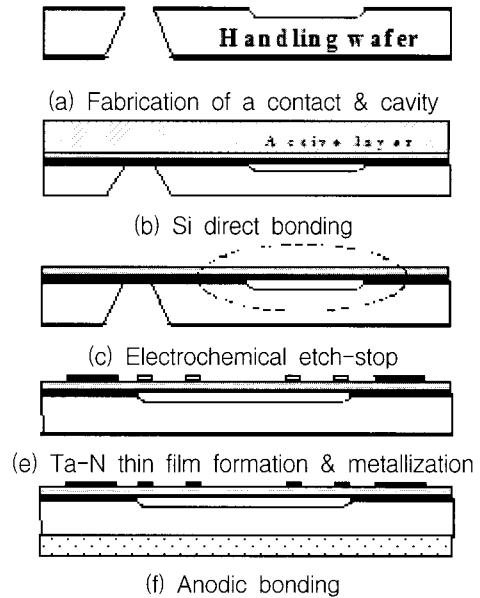


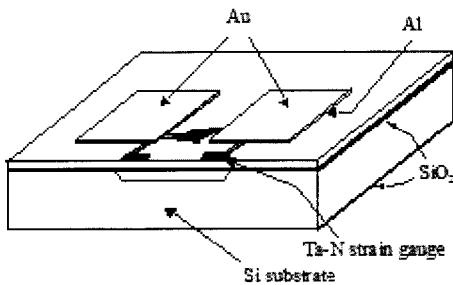
그림 1. 과부하 방지용 세라믹 박막형 압력센서의 제조 공정 순서도.

Fig. 1. Fabrication process sequences of a micro-machined ceramic thin-film type pressure sensor for high overpressure tolerance.

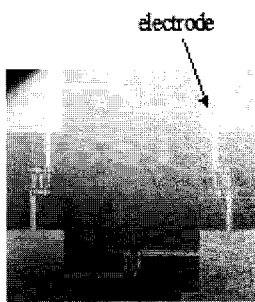
한편, SDB SOI기판 제조시 SOI 능동층의 두께가 압력센서의 다이어프램에 해당하기 때문에 SOI 박막화와 정확한 두께제어기술이 대단히 중요하다. 전기화학적 식각정지법은 두께제어 기술중 가장 안정적이며, 능동층의 두께를 정확하게 조절이 가능하다. 또 수십 Å의 최종 표면 거칠기와 표준 편차 0.2 μm 이내의 두께 제어를 할 수 있기 때문에, 본 연구에서는 크기와 깊이가 각각 850×50 μm² 및 8 μm인 매몰 cavity를 갖는 handling 기판을 먼저 준비한 다음, 25 μm의 두께를 갖는 n-epi. active기판과 직접접합한 후, 고온 열처리를 행했다. TMAH 수용액

20 wt.%, 80°C에서 전기화학적 식각정지법으로 매몰 cavity를 갖는 SDB SOI기판을 형성하여 25 μm 두께의 박막 다이어프램을 제조하였다.^[13]

그림 2(a)와 (b)는 제작된 세라믹 박막형 압력센서의 단면도와 평면도를 각각 나타낸 것이다. DC 반응성 스퍼터링법으로 3000Å의 Ta-N 박막을 증착하여 박막형 스트레인 게이지를 형성하였다. 센서 설계시 스트레인 게이지의 형태와 위치를 고려하여 높은 출력을 얻을 수 있도록 압저항 하나의 크기는 30×100 μm², 저항은 250 Ω으로 설계하여 그림 2(b)와 같이 배열하였다. 또한 알루미늄으로 스트레인 게이지를 휘스톤 브릿지와 연결하여 압력 감지부를 제조한 다음, 금으로 전극을 형성하고 압력센서를 제작하여 전기적 특성을 분석 및 평가했다.



(a)



Ta-N thin-film strain gauge

(b)

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

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

표 1은 Ta-N 스트레인 게이지 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, respectively

Deposition Condition	Range
Target	Ta 4" diameter
DC Power	310 V, 100 mA
Substrate	Si
Target-substrate distance	8 cm
Working gas	Ar : 19 sccm N2 : 1.9 sccm
N2 gas flow ratio	8 %
Substrate Temperature	Room Temp.(27°C)
Working pressure	4.3 mTorr
Annealing conditions	1000°C, 1 hr. 2?0-6 Torr

III. 결과 및 고찰

그림 3은 25~50°C의 온도범위에서 제작된 세라믹 박막형 압력센서의 압력에 대한 출력전압의 변화를 나타낸 것이다. 250°C까지의 고온에서도 인가압력에 따른 세라믹 박막형 압력센서의 출력전압값은 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 250°C의 온도범위내에서 -117~-132 ppm/°C로 측정되었다. Si 압저항형 압력센서의 경우, TCR은 약 -2000 ppm/°C이므로 16배정도 온도특성이 개선되었다[14]. 따라서, 본 연구에서 제안된 세라믹 박막형 압력센서가 Si 압저항형 압력센서에 비해서 온도특성이 우수함을 알 수 있다.

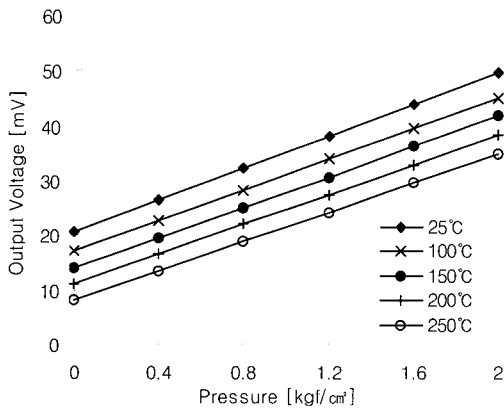


그림 3. 세라믹 박막형 압력센서의 인가압력에 따른 출력특성.

Fig. 3. Temperature characteristics of fabricated ceramic thin-film type pressure sensors as a function of applied pressure.

그림 4는 실온에서의 제작된 세라믹 박막형 압력센서의 인가압력에 따른 비선형성 및 히스테리시스 특성을 각각 나타낸 것이다. 출력전압의 비선형성은 0.1-0.19 %FS로 매우 선형적으로 나타났다. 또한, 히스테리시스는 Si 압저항형 압력센서와 거의 동등한 0.2-0.3 %FS로 스트레인 게이지를 이용한 로드셀의 1.0 %FS에 비해 대단히 우수하였다^[15].

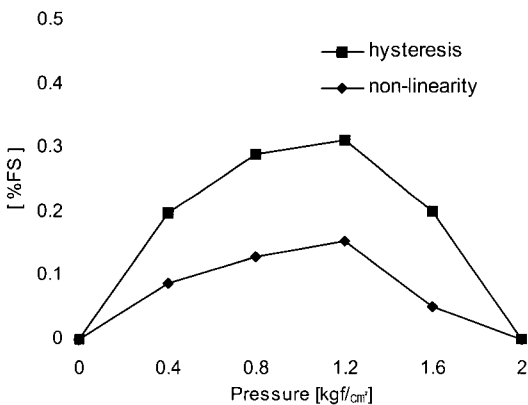


그림 4. 세라믹 박막형 압력센서의 선형성 및 히스테리시스 특성.

Fig. 4. Non-linearity and hysteresis characteristics of fabricated ceramic thin-film type Pressure sensors.

그림 5는 25×50℃의 온도범위에서 제작된 세라믹 박막형 압력센서의 온도에 따른 감도 및 감도의 온도계수(TCS : temperature coefficient of sensitivity)를 각각 나타낸 것이다. 실온에서 감도는 1.46 mV/V·kgf/cm²였으며, 온도가 증가할수록 압력감지부로 사용한 Ta-N 박막형 스트레인 게이지의 부 TCR로 인해서 약간 감소하여 250℃에서 1.35 mV/V·kgf/cm²으로 떨어졌지만, Si 압저항형 압력센서보다도 훨씬 안정적이다. 한편, TCS는 200℃까지의 온도에서 -529 ppm/℃이하로 Si 압저항형 압력센서의 -1300 ppm/℃에 비해서 온도에 대한 훨씬 안정성이 우수하였다. 또한, 250℃에서 측정된 long-term stability도 23 ppm/hr로 안정된 값을 나타내었다.

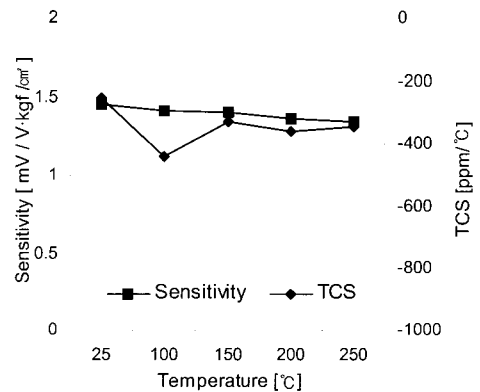


그림 5. 세라믹 박막형 압력센서의 감도 및 TCS 특성.

Fig. 5. Sensitivity and TCS characteristics of fabricated ceramic thin-film type pressure sensors as a function of temperature.

IV. 결론

본 연구에서는 지금까지의 반도체식과 금속후막형 압력센서의 문제점을 해결하기 위해, 마이크로머시닝 및 박막기술을 이용하여 Si 다이어그램상에 Ta-N 박막형 스트레인 게이지를 압력감지부로 이용한 박막형 압력센서를 제작하여 그 특성을 분석·평가하였다. 브리지 입력전압이 10 V일 때, 25~50℃의 온도범위에서 출력감

도는 $1.35 \sim 0.46 \text{ mV/V} \cdot \text{kgf/cm}^2$ 이며, 비선형성은 $0.1 \sim 0.19 \text{ FS}$ 로 고온에서도 감도 및 선형성이 매우 우수하였다. 또한, 과도한 압력에 의한 다이어프램의 손상을 방지하기 위하여 매몰 cavity를 갖는 SDB SOI 박막 다이어프램을 압력센서의 수압부로 사용할 경우 접착제를 필요로 하지 않으며 크리프 현상이 적고, 재현성이 훨씬 우수함을 확인할 수 있었다. 따라서, 본 연구에서 마이크로머시닝과 박막기술로 제작된 박막형 압력센서는 200°C 이상의 고온, 습도, 진동 등의 극한 환경에서도 사용할 수 있는 소형, 경량, 고감도, 고신뢰성, 저가격의 박막형 압력센서로 대단히 유용하게 사용 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [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. 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, "Piezo-resistive 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, S. K. Choi, H. D. Nam and G. S. Chung, "Fabrication of tantalum nitride thin-films as high temperature strain gauges", *Pro. of the KIEEME Annual Autumn Conference*, pp. 97~100, 2001.
- [13] G. S. Chung, K. D. Kang and S. K. Choi, "Fabrication of SOI structures with buried cavities for microsystems by SDB and Electrochemical Etch-stop", *J. Korean sensors society*, vol. 11, pp. 54~59, 2002.

- [14] H. Sandmaier and K. Kuhl, "Piezoresistive low-pressure sensor with high sensitivity and high accuracy", Sensors & Actuators A, vol. 23, pp. 142~145, 1990.
- [15] 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.

 著 者 紹 介

정 귀 상

1982년 2월 영남대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1985년 2월 영남대학교 전자공학과 졸업(공학석사)

1992년 2월 일본 도요하시기술과학대학 졸업(공학박사)

1993년 - 현재 동서대학교 정보시스템공학부
부교수

주관심 분야 : Si, SOI, SiC 및 SiCN-M/
NEMS, 압전 및 SMA 액츄에이터

김 재 민

2002년 2월 동서대학교 전자공학과 졸업(공학사)

2002년 - 현재 동서대학교 대학원 전자공학과
재학중

주관심 분야 : Si 및 Bio-MEMS