

고압용 크롬질화박막형 압력센서의 제작과 그 특성

The Fabrication of Chromium Nitride Thin-Film Type Pressure Sensors for High Pressure Application and Its Characteristics

정귀상*, 최성규*, 서정환**, 류지구**

(Gwiy-Sang Chung*, Sung-Kyu, Choi*, Jeong-Hwan Seo**, Gi-Kyu Ryu**)

Abstract

This paper describes the fabrication and characteristics of CrN thin-film type pressure sensors, in which the sensing elements were deposited on SUS. 630 diaphragm by DC reactive magnetron sputtering in an argon-nitride atmosphere(Ar-(10%)N₂). The optimized condition of CrN thin-film sensing elements was thickness range of 3500Å and annealing condition(300°C, 3 hr) in Ar-10 %N₂ deposition atmosphere. Under optimum conditions, the CrN thin-films for strain gauges is obtained a high resistivity, $\rho = 1147.65 \mu\Omega \text{cm}$, a low temperature coefficient of resistance, TCR=-186 ppm/°C and a high temporal stability with a good longitudinal, 11.17. The output sensitivity of fabricated CrN thin-film type pressure sensors is 2.36 mV/V, 4~20 mA and the maximum non-linearity is 0.4 %FS and hysteresis is less than 0.2 %FS.

Key Words : High pressure, CrN thin-film, Pressure sensor, Sputtering, Hysteresis, TCR (Temperature Coefficient of Resistance), Gauge factor

1. 서론

압력 및 하중센서는 가전제품을 비롯하여 자동차, 의료기기, 환경 관련 설비와 산업체의 대규모 시스템 제어에 이르기까지 그 응용분야가 광범위하다. 최근에는 고온, 고압, 습도, 진동 등의 환경에서도 사용할 수 있는 소형, 경량, 저가격의 압력센서가 요구된다. 반도체식 압력센서는 우수한 감도와 선형성을

가지지만 조선, 항공, 화학플랜트 등의 열악한 환경에서는 사용할 수 없으며 온도 드리프트가 커 반드시 온도보상을 해야 한다. 스트레인 게이지형 압력센서는 스테인레스강 다이어프램을 수압부로 사용하여 구조가 단순하며, 반도체식 압력센서의 패키징시 스테인레스강 홀드와 Si사이의 압력 인가시 접촉 불량문제를 해결할 수 있다. 그리고 스트레인 게이지형 압력센서는 감도가 반도체식 압력센서에 비해 떨어지나 열악한 환경에서도 성능이 우수하므로 고온·고압에서도 사용할 수 있다[1-4].

크롬 금속은 게이지율이 높고 비교적 온도에 안정적이다. 금속에 비해 각종 반도체성 물질들은 비교적 큰 전기저항값과 높은 용력감도와 게이지율을 가지며, 고온에서도 사용가능하기 때문에 박막 스트레인 게이지의 재료로써 유용하다[5].

* : 동서대학교 정보시스템공학부 메카트로닉스전공
(부산광역시 사상구 주례동 산 69-1)

Fax : 051-315-1592

E-mail : gschung@kowon.dongseo.ac.kr

** : 부경대학교 전자공학과

2001년 2월 27일 접수, 2001년 3월 26일 1차심사완료

2001년 4월 11일 2차심사완료

본 연구에서는 수압부로 금속 다이어프램을 사용하여 크롬질화박막형 스트레인 게이지를 특성을 분석하였으며, SUS.630 다이어프램상에 SiO₂절연막을 증착한 다음, 최적조건의 CrN 박막형 스트레인 게이지를 휘스톤 브릿지로 형성하고 고온용 압력센서를 제작하여 그 출력특성을 분석하였다. 그리고 Burr-Brown사의 XTR106 4~20 mA 전류 트랜스미터를 사용하여 출력특성을 분석하였다.

2. 압력센서의 설계 및 제작

본 연구에서는 스테인레스강(SUS.630)을 CNC 가공하여 수압부를 형성하였으며, 표면을 그라인딩한 후 다이아몬드 현탄액을 사용하여 랩핑 및 폴리싱을 하여 조도 Rm≤0.1μm, 평탄도 Fm≤1μm로 표면을 형성하였다. 다이어프램에 균일한 압력이 작용하면, 그 표면에 변형이 발생하여 평면 응력상태로 되기 때문에 반경 방향 및 접선방향응력이 모두 변형에 기여한다. 변형은 반경방향과 원주방향에서 다른 분포를 나타내며, 이때 중앙부의 변위량이 다이어프램 두께에 비해 무시할 정도로 미소하다면, 스트레인인은 근사적으로 다음과 같이 주어진다[6].

$$\text{반경방향} : \epsilon_t = \frac{3P}{8Et^2} (1-\nu^2)(r^2-x^2) \quad (1)$$

$$\text{접선방향} : \epsilon_r = -\frac{3P}{8Et^2} (1-\nu^2)(r^2-3x^2) \quad (2)$$

여기서, P는 인가압력, t는 다이어프램의 두께 (=0.2mm), ν는 다이어프램 재료의 포아송비(=0.25) E는 영율, r은 반경 그리고 x는 중심으로부터의 거리이다.

그림 1은 변형에 따른 다이어프램의 변형률을 나타낸 것이다. 정격압력 10kgf/cm²상에 접선방향 변형은 항상 양이고, 반경방향 변형은 위치에 따라 양과 음의 값을 가진다. 이와같이 다이어프램 표면에 인장응력과 압축응력이 동시에 존재하기 때문에 4개의 스트레인 게이지로 휘스톤 브릿지를 구성하여 높은 감도를 얻을 수 있도록 설계하였다. 또한, 다이어프램의 두께에 따른 최적 스트레인 게이지 위치는 아래 식(3)으로 결정하였다.

$$\text{다이어프램 두께} : \sqrt{\frac{3P}{8Et^2} \epsilon_r (1-\nu^2)(r^2-3x^2)} \quad (3)$$

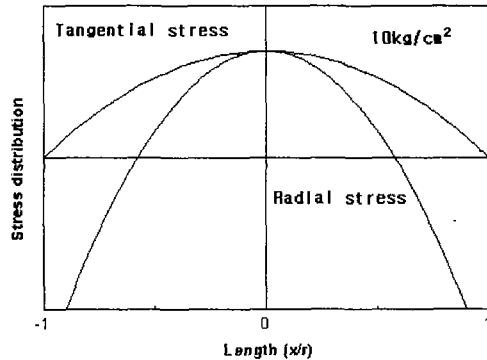


그림 1. 판상 다이어프램의 스트레인 분포곡선.
Fig. 1. Strain distribution in a flat diaphragm.

그림 2는 고압용 CrN 박막형 압력센서의 제작순서를 도식적으로 나타낸 것이다. 먼저, 다이어프램과 CrN 박막형 스트레인 게이지의 절연을 위해 Ar+O₂ : 100 sccm, O₂ 혼입량 : 10 %에서 SiO₂ (순도 99.995 %)를 r.f. 마그네트론 스퍼터링법으로 1 μm의 두께로 증착했으며 이때 절연막의 비저항은 10⁹~10¹⁰ Ω이었다. 그 위에 DC 반응성 마그네트론 스퍼터링법으로 N₂ 분압(10 %), 두께 3500Å, 열처리온도 300℃, 48 hr에서 CrN 박막 스트레인 게이지를 lift-off법으로 형성하였다. 본 연구에서 압력 감지부로 이용한 CrN 박막형 스트레인 게이지의 비저항은 1147.65 μΩ cm이며 TCR은 -186 ppm/℃ 이고 게이지율은 11.17이었다[7]. 제작된 CrN 박막형 스트레인 게이지상에 전극용으로 Ag를 1 μm의 두께로 세도우 마스크를 사용하여 증착했으며, 그 위에 보호막으로 SiO₂를 2 μm로 증착하여 contact를 만든 후, 초음파 wire bonding을 하였다. 압력센서를 제작한 뒤에 압력을 인가할 수 있는 수압부를 가공하여 압력센서의 출력특성을 분석·평가하였다.

그림 3은 제작된 압력센서의 검출회로를 나타낸 것으로 게이지를 이용하여 압력을 측정하는 경우, 측정하는 압력에 대한 저항 변화율은 매우 적다. 스트레인 게이지로 브릿지를 구성하는 경우, 높은 출력을 얻기 위해 4게이지법을 사용함으로써 출력의 증대뿐만 아니라 온도 영향의 제거, 기계적 오차의 소거를 동시에 행할 수 있다. 스트레인 게이지의 각 저항부가 R1, R2, R3, R4로 구성되며, 접점 a, c에 전원을 인가하고, 접점 b, d에서 출력을 얻을 수 있다. 그림 3은 휘스톤 브릿지 회로에서 결과적인 출력전압은 아래의 식(4)과 같이 R1과 R3는 인가압력

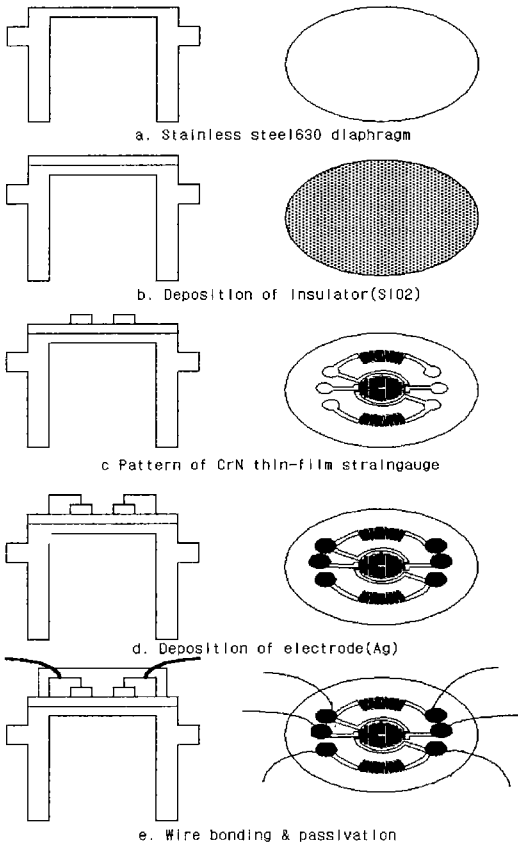


그림 2. CrN 박막형 압력센서의 제작공정 순서.
 Fig. 2. Fabrication process sequence of CrN thin-film pressure sensor.

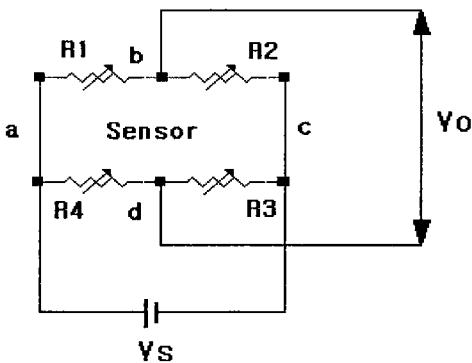


그림 3. CrN 박막형 압력센서용 휘스톤 브릿지 회로.
 Fig. 3. Wheatstone bridge circuit for CrN thin-film pressure sensor.

에 의해 정의 변형을 일으켜 저항은 증가하고 외주 부근에 배치된 R2와 R4는 인가압력에 의해 압축변형을 일으켜 저항이 감소하여 각 게이지의 스트레인이 합쳐져 출력이 나타남으로 출력감도를 증가시킬 수 있다.

$$V_o = \left[\frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} (\epsilon_1 G_f + \epsilon_2 G_f) + \frac{R_3 R_4}{(R_3 + R_4)^2} (\epsilon_3 G_f + \epsilon_4 G_f) \right] V_s \quad (4)$$

여기서, G_f 은 게이지율이며, ϵ_x 은 스트레인이다.

3. 결과 및 고찰

제작된 압력센서의 특성은 압력을 제어하기 위하여 DPI 520 Pressure Controller를 사용하여 압력을 단계적으로 증감하면서 게이지 저항의 변화와 브릿지 출력전압 및 4~20 mA의 출력전류를 FLUKE 8940A 멀티미터로 측정하였다. 그림 4는 제작된 압력셀의 표면사진이다.

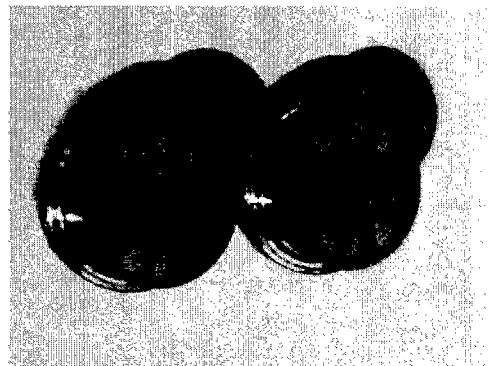


그림 4. 제작된 CrN 박막형 압력센서 표면사진.
 Fig. 4. Surface photographic of fabricated CrN thin-film pressure sensor.

그림 5는 인가압력에 따른 압력센서의 출력특성을 나타낸 것으로서 압력센서의 감도는 압력 P와 출력전압 V의 비(V/P)로 정의되며 출력을 스트레인으로 나타내거나 또는 브릿지 입력전압 1 V에 대한 출력전압을 표시할 수 있다. 모든 게이지의 저항변화율($\Delta R/R$)은 평균적으로 1.5×10^{-3} 으로 우수한 선형성을 보였다. 제작된 압력센서의 감도는 2.35

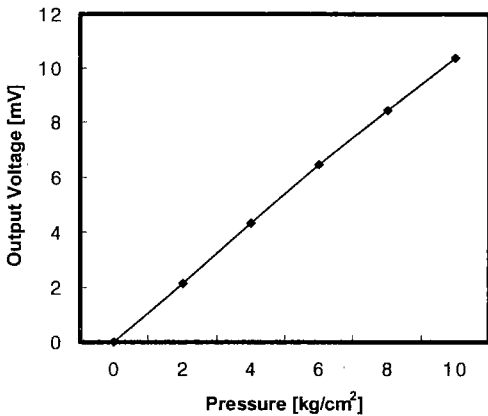


그림 5. CrN 박막형 압력센서의 출력특성.
Fig. 5. Output characteristics of CrN thin-film pressure sensor.

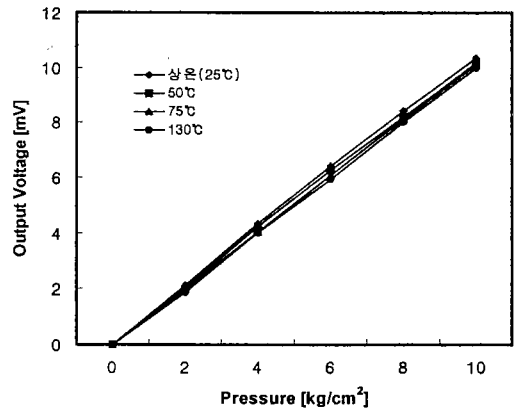


그림 7. CrN 박막형 압력센서의 온도에 따른 출력 특성 변화.
Fig. 7. Variation of Output characteristics of CrN thin-film pressure sensor according to temperature.

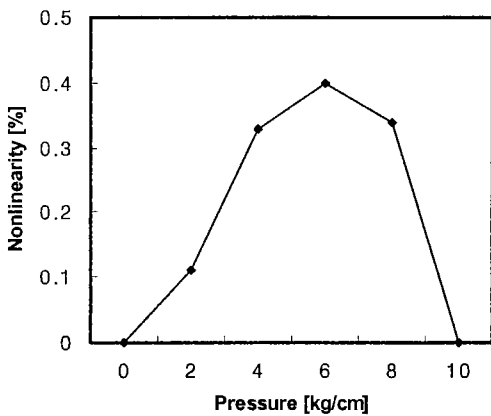


그림 6. CrN 박막형 압력센서의 비선형성.
Fig. 6. Nonlinearity in output characteristics of CrN thin-film pressure sensor.

mV/V이고 히스테리시스는 출력전압의 0.2 % 이내로 나타났다.

그림 6은 출력특성에 대한 CrN 박막형 압력센서의 입력전압이 5 V일때 비선형성을 나타낸 것이다. 최대 비선형성은 0.4 %FS로 측정되었다.

그림 7은 온도에 따른 CrN 박막형 압력센서의 출력감도를 나타낸 것이다. 항온항습조 내에서 온도를 상온에서 130°C까지 변화시키면서 압력은 0 ~ 10 Kg/cm²까지 단계적으로 인가해 가면서 출력특성을 분석하였다. 압력이 증가할수록 온도에 따른

감도의 변화가 감소하였으며, 온도가 올라갈수록 전체적인 감도의 변화는 2.35 mV~2.15 mV로 감소한 것을 볼 수 있었다. 또한, 선형성도 0.2 %FS~0.3 %FS로 감소하였으며 이것은 온도에 따른 CrN 박막형 스트레인게이지의 온도특성에 따른 영향이라 사료되어지며 온도보상회로를 제작하여 이 영향을 줄일수 있을 것이다.

그림 8은 압력센서의 출력 전류를 검출하기 위한 회로도를 나타낸 것으로 온도보상회로를 추가적으로 형성하여 출력특성을 측정하였다.

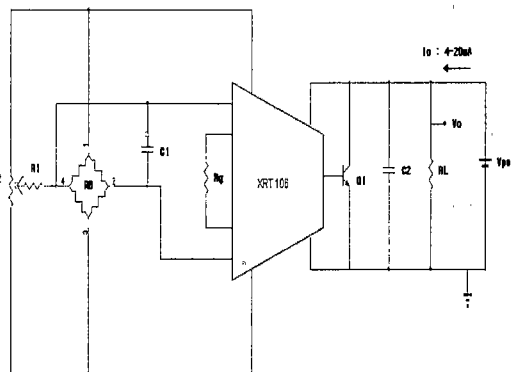


그림 8. CrN 박막형 압력센서의 출력 검출회로.
Fig. 8. Output transmitter circuit of CrN thin-film pressure sensor.

그림 9는 CrN 박막형 압력센서의 휘스톤 브릿지로 구성된 압력셀에 Burr-Brown사의 XRD106 전류 4~20 mA 트랜스미터를 사용하여 측정된 출력특성으로서 최대 비선형성은 0.1 5%FS로 측정되었다.

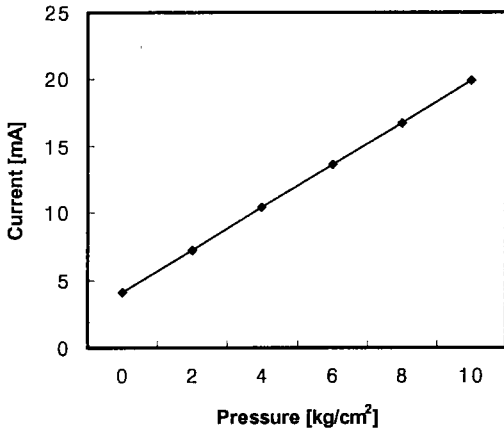


그림 9. CrN 박막형 압력센서의 인가 압력에 따른 출력 전류특성.

Fig. 9. Output characteristics of CrN thin-film pressure sensor according to applied pressure.

4. 결 론

본 연구에서는 스테인레스강 다이어프램상에 CrN 박막형 스트레인 게이지를 형성하여 고압용 압력센서를 설계·제작하여 특성을 분석하였다. 제작된 압력센서의 출력감도는 2.36 mV/V이고 비직선성과 히스테리시스는 각각 최대 0.4 %FS 및 0.2 %FS였다. 온도에 따른 압력센서의 출력특성은 온도가 증가함에 따라 전체적인 감도와 선형성이 감소한 것을 알 수 있다. 그리고, 전류 4~20 mA 트랜스미터를 사용하여 출력특성을 측정된 결과 매우 선형적인 값을 얻을 수 있었으며, 비선형성은 0.15 %FS 이내이다.

참고 문헌

[1] Obieta and F. J. Gracia, "Sputtered Silicon Thin-Film for Piezoresistive Pressure Micro-

sensors", *Sensors & Actuators A*, Vol 41, pp. 521-688, 1994.

- [2] Y. Suzuki, H. Takenaka, T. Nasaka, and S. Ogawa, "CrOx Thin Film Pressure Sensor Prepared Directly on The Stainless Steel Diaphragm", *Tech. Dig. of 12th Sensor Sympo.*, A3-5, pp. 151-154, 1994.
- [3] I. Ayerdi, E. Castano, A. Gracia, and F. J. Gracia, "Characterization of Tantalum Oxynitride Thin-Films as High-temperature Strain Gauges", *Sensors & Actuators A*, Vol. 46, pp. 218-221, 1995.
- [4] K. Rajanna, S. Mohan, "Thin-Film Pressure Transducer with Manganese Film as The Strain Gauge", *Sensors & Actuators A*, Vol. 24, pp. 35-39, 1990.
- [5] I. Ayerdi, E. Castano, A. Gracia and F. J. Gracia, "Ceramic Pressure Sensor Based on Tantalum Thin-Film", *Sensors & Actuators A*, 41-42, pp. 435-438, 1994.
- [6] E. O. Doebelin. "Measurement systems", *Mcgraw-hill, New York*, pp. 461-463, 1990.
- [7] G. S. Chung, J. H. Seo and C. S. Park, "The characteristics of chromium nitride thin-film strain gauges", *J. KIEEME*, Vol. 12, pp. 618-623, 1999.