

## 고압용 박막형 압력센서의 특성

### Characteristics of thin-film type pressure sensors for high pressure

서정환\*, 최성규\*\*, 정찬익\*\*\*, 류지구\*, 남효덕\*\*, 정귀삼\*\*\*

(Jeong-Hwan Seo\*, Sung-Kyu Choi\*\*, Chan-Ik Chung\*\*\*, Ji-Goo Ryu\*, Hyo-Duk Nam\*\*, Gwi-Sang Chung\*\*\*)

#### 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%)N<sub>2</sub>). The optimized condition of CrN thin-film sensing elements was thickness range of 3500Å and annealing condition(300°C, 3 hr) in Ar-10 %N<sub>2</sub> 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** : CrN thin-film, Pressure sensor, Sputtering, TCR (Temperature Coefficient of Resistance),

Gauge factor

#### 1. 서 론

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 응력감도와 게이지율을 가지며, 고온에서도 사용가능하기 때문에 박막 스트레인 게이지의 재료로써 유용하다[5].

본 연구에서는 수압부로 금속 다이어프램을 사용하여 크롬질화박막형 스트레인 게이지를 특성을 분석하였으며, SUS.630 다이어프램상에 SiO<sub>2</sub>절연막을 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.

\* 부경대학교 전자공학과  
\*\* 영남대학교 전자공학과  
\*\*\* 동서대학교 정보시스템공학부 메카트로닉스전공  
(부산광역시 주례2동 동서대학교,  
Fax: 051-315-1592  
E-mail : gschung@dongseo.ac.kr )

## 2. 압력센서의 설계 및 제작

본 연구에서는 스테인레스강(SUS.630)을 CNC 가공하여 수압부를 형성하였으며, 표면을 그라인딩한 후 다이아몬드 현탁액을 사용하여 랩핑 및 폴리싱을 하여 조도  $R_m \leq 0.1 \mu\text{m}$ , 평탄도  $F_m \leq 1 \mu\text{m}$ 로 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, 스트레인은 근사적으로 다음과 같이 주어진다[6].

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

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

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

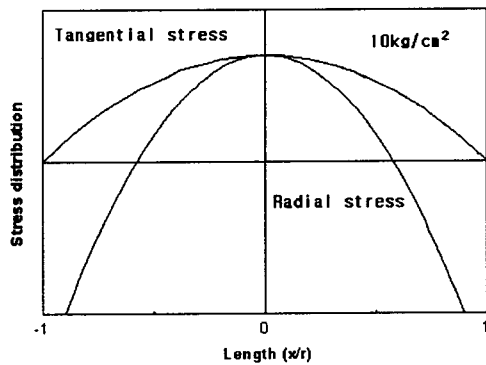


그림 1. 판상 다이어프램의 스트레인 분포곡선.  
Fig. 1. Strain distribution in a flat diaphragm.

그림 1은 변형에 따른 다이어프램의 변형률을 나타낸 것이다. 정격압력  $10\text{kgf/cm}^2$  상에 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 2는 고압용 CrN 박막형 압력센서의 제작순서를 도식적으로 나타낸 것이다. 먼저, 다이어프램과 CrN 박막형 스트레인 게이지의 절연을 위해  $\text{Ar} + \text{O}_2$  : 100 sccm,  $\text{O}_2$  혼입량 : 10 %에서  $\text{SiO}_2$  (순도 99.995 %)를 r.f. 마그네트론 스퍼터링법으로  $1 \mu\text{m}$ 의 두께로 증착했으며 이때 절연막의 비저항은  $10^9 \sim 10^{10} \Omega$ 이었다. 그 위에 DC 반응성 마그네트론 스퍼터링법으로  $\text{N}_2$  분압(10 %), 두께 3500Å, 열처리온도  $300^\circ\text{C}$ , 48 hr에서 CrN 박막 스트레인 게이지를 lift-off 법으로 형성하였다. 본 연구에서 압력 감지부로 이용한 CrN 박막형 스트레인 게이지의 비저항은  $1147.65 \mu\Omega\text{cm}$ 이며 TCR은  $-186 \text{ppm}/^\circ\text{C}$ 이고 게이지율은 11.17이었다[7]. 제작된 CrN 박막형 스트레인

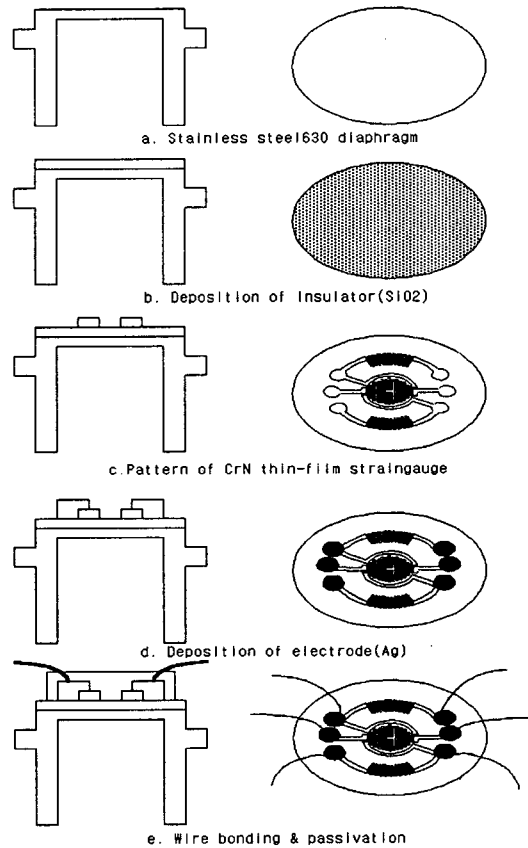


그림 2. CrN 박막형 압력센서의 제작순서.  
Fig. 2. Fabrication process sequence of CrN thin-film pressure sensor.

게이지상에 전극용으로 Ag를 1  $\mu\text{m}$ 의 두께로 세도우 마스크를 사용하여 증착했으며, 그 위에 보호막으로  $\text{SiO}_2$ 를 2  $\mu\text{m}$ 로 증착하여 contact를 만든 후, 초음파 wire bonding을 하였다. 압력센서를 제작한 뒤에 압력을 인가할 수 있는 수압부를 가공하여 압력센서의 출력특성을 분석·평가하였다.

### 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 3는 제작된 압력센서의 표면사진이다.

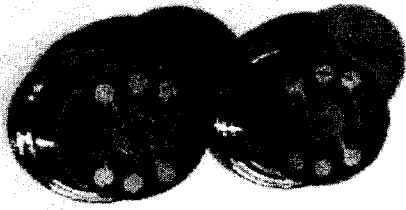


그림 3. 제작된 CrN 박막형 압력센서 표면사진.  
Fig. 3. Surface photographic of fabricated CrN thin-film pressure sensor.

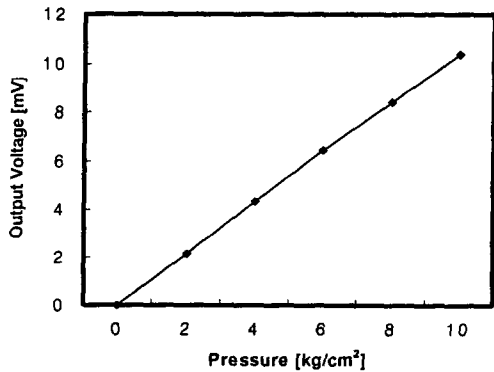


그림 4. CrN 박막형 압력센서의 출력특성.  
Fig. 4. Output characteristics of CrN thin-film pressure sensor.

그림 4는 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  $1.5 \times 10^{-3}$ 으로 우수한 선형성을 보였다. 제작된 압력센서의 감도는 2.35 mV/V이고 히스테리시스 출력전압의 0.2% 이내로 나타났다.

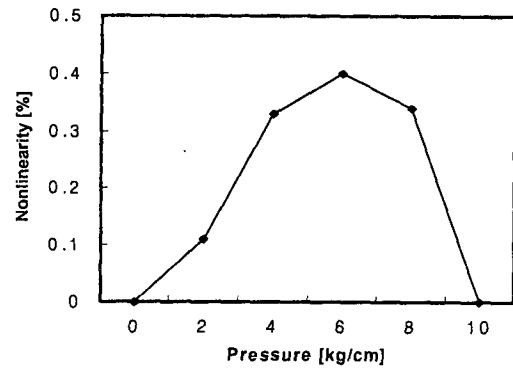


그림 5. CrN 박막형 압력센서의 비선형성.  
Fig. 5. Nonlinearity in output characteristics of CrN thin-film pressure sensor.

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

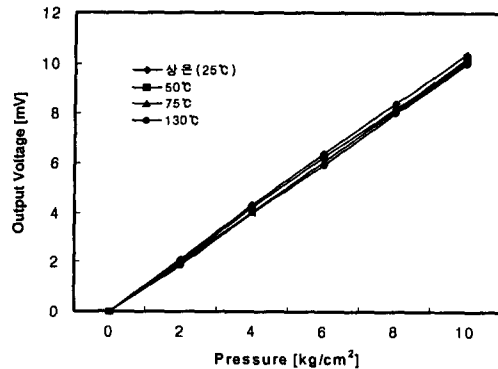


그림 6. CrN 박막형 압력센서의 온도에 따른 출력특성 변화.  
Fig. 6. Variation of Output characteristics of CrN thin-film pressure sensor according to temperature

그림 6은 온도에 따른 CrN 박막형 압력센서의 출력감도를 나타낸 것이다. 항온항습조 내에서 온도를 상온에서 130°C까지 변화시키면서 압력은 0~10 Kg/cm<sup>2</sup>까지 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 스트레인이메이지의 온도특성에 따른 영향이라 사료되어지며 온도보상회로를 제작하면 이 영향을 줄일 수 있을 것이다.

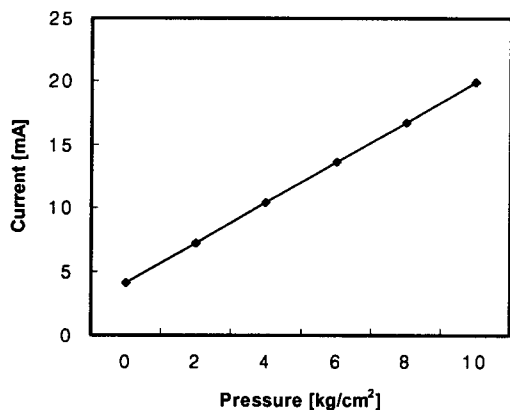


그림 7. CrN 박막형 압력센서의 인가 압력에 따른 출력 전류특성.

Fig. 7. Output characteristics of CrN thin-film pressure sensor according to applied pressure.

그림 7는 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.

#### 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 히스테리시스 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 Microsensors", *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", *Technical Digest of The 12th Sensor Symposium 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 and Actuator A*, vol. 46, pp. 218~221, 1995.
- [4] K. Rajanna, S. Mohan, "Thin-Film Pressure Transducer with Manganese Film as The Strain Gauge", *Sensors and 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 and Actuators A*, 41~42, pp. 435~438, 1994.
- [6] E. O. Doebelin. "Measurement systems", 4th ed., *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.