

## 크롬 박막 스트레인 게이지의 제작

# The Fabrication of Chromium Thin-Film Strain Gauges

양 지 영\*, °정 현 석, °°장 영 석, 정 귀 상

동서대학교 전자기계공학부, °동서대학교 응용공학부, °°경남전문대학 기계설계과

Jee-Young Yang\*, Hyun-Seok Chung, °°Young-Seok Chang, Gwi-Sang Chung

Division of Electronics and Mechanical Engineering, Dongseo University

°Division of System Engineering, Dongseo University

°°Department of Mechanical Design, Kyungnam Junior College

### Abstract

This paper presents the basic characteristics of thin-film strain gauges using Cr thin-films, in which the Cr thin-films were deposited by DC magnetron sputtering. The optimized deposition conditions as a strain gauge were the input DC power was  $7 \text{ W/cm}^2$  and the Ar vacuuming pressure was 9 mTorr. The characteristics of fabricated Cr thin-film strain gauge were the gauge factor(GF) was 5.86 in longitudinal strain and -2.04 in transverse one, the TCR was under 400 ppm/°C and the TCS was around 0 ppm/°C.

**Keywords** : Strain, Strain Gauge, Longitudinal, Transverse, GF, TCR, TCS.

### I. 서 론

최근 압력 센서는 가전 제품을 비롯하여 자동차, 의료 기기, 환경 제어와 산업체의 대규모 시스템 제어에 이르기까지 그 응용 분야가 광범위하다. 특히 고온, 고압, 습도, 진동의 환경에서도 사용할 수 있는 소형, 경량, 저가격의 압력 센서가 요구된다. 압력 센서는 측정 방법에 따라 탄성체 방식인 기계적인 방법과 금속 및 반도체 저항 재료를 이용하는 전기적인 방법이 있다. 특히 마이크로머시닝과 반도체 제조 공정 기술을

이용한 압력 센서에 대한 연구 개발이 활발히 진행중에 있다.

박막 스트레인 게이지는 접착제를 필요로 하지 않기 때문에 크리프(Creep)현상이 적고, 안정성이 우수하기 때문에 사용 가능한 압력 범위가 넓고, 고온에서도 사용이 가능하며, 반도체 제조 공정에 의한 대량 생산으로 저가격화가 가능하다.

현재 일반적으로 널리 사용되고 있는 박막 스트레인 게이지는 감도가 낮고, 온도 특성이 나빠서 합금을 사용하기 때문에 제조 공정이 복잡하다[1, 2].

본 연구에서는 크롬(Cr) 박막 스트레인 게이지를 제작하기 위하여 DC 마그네트론 스퍼터링법에 의한 크롬 박막의 증착조건에 따르는 비저항, 게이지율(GF; Gauge Factor), 저항 온도 계수(TCR ; Temperature Coefficient of Resistance), 온도에 의한 감도 계수(TCS ; Temperature Coefficient of Sensitivity) 등을 분석하였다.

### II. 실험 방법

본 연구에서는 DC 마그네트론 스퍼터링법으로 corning glass기판에 크롬 박막을 증착하였다. 실험에 사용된 타겟은 순도 99.9 %의 직경 2"인 크롬이고, 기판은 길이 76 mm × 폭 26 mm × 두께 1 mm인 corning glass를 사용하였다.

표 1은 크롬 박막의 증착 조건을 요약한 것이다.

표 1. 크롬 박막의 증착 조건

증착조건	범위
Target	Cr 2" diameter
DC power	7~11 W/cm <sup>2</sup>
Substrate	Corning Glass
Target-Substrate Distance	5 cm
Working Gas	Ar 80 sccm
기판온도	27 °C
분위기 압력	5~9 mTorr

박막의 면저항 및 두께는 각각 4점 탐침기 (Prometrix UP-10)와  $\alpha$ -step으로 측정하여 전기적 특성을 분석하였다. 크롬 박막 스트레인 게이지는 Lift-off 방법으로 제작하였다. 그림 1과 같은 cantilever법으로 스트레인 게이지의 스트레인과 전류의 방향이 동일한 종방향(longitudinal) 및 스트레인과 전류의 방향이 수직인 횡방향(transverse)스트레인의 기계적 특성을 분석하였다[3]. 이때 스트레인은 TOYO BAL DW Z/O MS-1120 strain meter로 측정하였으며 스트레인에 의한 저항의 변화( $\Delta R/R$ )를 측정하였다. 일반적으로 게이지율은 다음과 같이 정의된다.

$$GF = \frac{(\Delta R/R)}{\epsilon} \quad (1)$$

또한 분위기 온도에 따른 박막 스트레인 게이지의 저항 온도 계수는 다음과 같이 정의된다.

$$TCR = \frac{\Delta R/R_0}{\Delta T} \quad (2)$$

여기서  $\Delta T$ 는 온도의 변화량이며,  $R_0$ 는 0 °C에서 스트레인 게이지 저항체의 저항값이다.

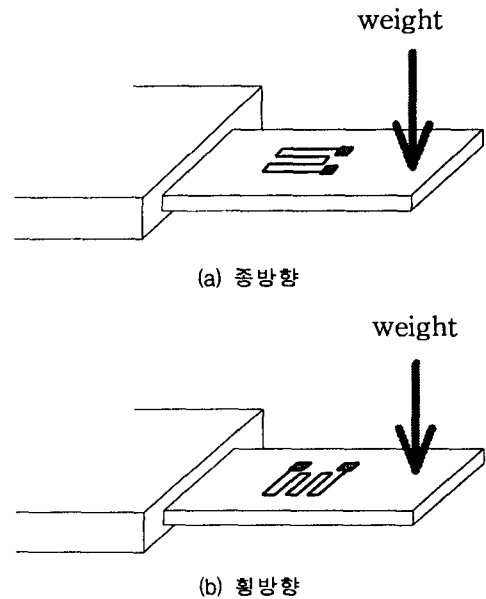


그림 1. Cantilever법에 의한 크롬 박막 스트레인 게이지의 종방향 및 횡방향 스트레인 효과 측정방법

### III. 실험 결과

#### 1. 전기적 특성

그림 2는 아르곤 가스 flow rate가 80 sccm, 기판 온도가 27 °C, 분위기 압력이 7 mTorr일 때 입력 power가 7~13 W/cm<sup>2</sup>까지 변화할 경우, 크롬 박막의 비저항과 면저항의 변화를 나타낸 것이다. 입력 power가 증가할수록 크롬 박막의 비저항이 117.15  $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 에서 28.28  $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 로 감소했고, 면저항 역시 9.658  $\Omega/\square$ 에서 2.272  $\Omega/\square$ 로 감소하였다. 일반적인 bulk 크롬의 비저항은 19.0  $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 이다. 즉 크롬 박막의 특성은 입력 power가 증가할수록 비저항이 bulk 크롬 비저항값에 가까워졌다. 이것은 입력 power가 증가할 때 기판에 증착되는 크롬의 입자수가 증가하고 grain의 크기가 커져서 입자와 입자사이의 접촉 면적 증가로 비저항이 낮아지는 것으로 생각된다.

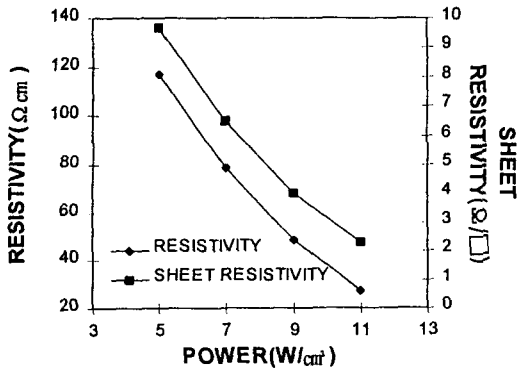


그림 2. 입력 DC power에 따른 크롬 박막의 비저항과 면저항 변화

그림 3은 아르곤 가스 flow rate가 80 sccm, 기판 온도가 27 °C, 입력 power가 9 W/cm<sup>2</sup> 일 때 분위기 압력이 5~9 mTorr까지에서 변화할 경우, 크롬 박막의 비저항과 면저항의 변화를 나타낸 것이다. 분위기 압력의 증가에 따라 크롬 박막의 비저항은 5 mTorr에서 36.77 μΩ·cm, 9 mTorr에서 63.80 μΩ·cm로 증가했으며 면저항도 3.032 Ω/□에서 5.260 Ω/□로 증가하였다. 이 때 분위기 압력이 증가하면 증착율이 낮아져 막 두께가 감소하고 또한 grain의 크기가 작아져 입자와 입자 사이의 접촉 면적이 감소하여 면저항과 비저항이 증가하는 것으로 생각된다.

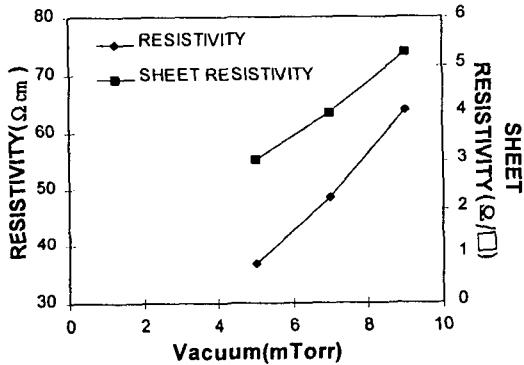
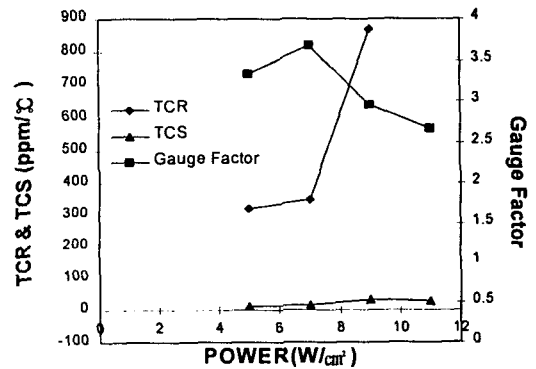


그림 3. 분위기 압력에 따른 크롬 박막의 비저항과 면저항 변화

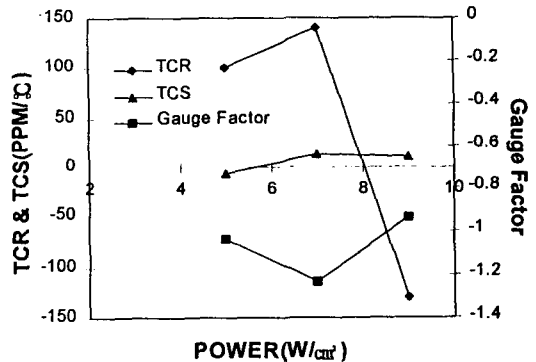
## 2. 기계적 특성

그림 4의 (a)와 (b)는 아르곤 가스 압력이 5 mTorr일 때 입력 power에 따른 게이지율, TCR

그리고 TCS의 변화를 각각 종방향과 횡방향 스트레인에 대해 나타낸 것이다. 아르곤 가스 압력이 일정할 때 종방향에서의 게이지율은 7 W/cm<sup>2</sup>에서 3.68의 가장 큰 값을 가졌다가 다시 감소하는 경향을 보였다. 27~150 °C의 온도 범위에서 TCR과 TCS를 측정 한 결과, TCR은 320~870 ppm/°C였고 입력 power가 9 W/cm<sup>2</sup>에서 갑자기 TCR값이 크게 증가했음을 알 수 있었다. 그러나 7 W/cm<sup>2</sup>까지는 기존의 다른 스트레인 게이지용 저항 재료에 비해 비교적 작은 값을 가졌고 TCS는 13~30 ppm/°C로 거의 0에 가까운 값으로 큰 변동이 없었다[4]. 한편 횡방향에서도 게이지율은 입력 power가 7 W/cm<sup>2</sup>에서 -1.23의 최대 값을 가진 후 감소하였다. TCR과 TCS는 각각 -130~140 ppm/°C, -7~13 ppm/°C의 범위에서 변화했다. 따라서 입력 power가 7 W/cm<sup>2</sup>일 때 게이지율이 가장 큰 것을 알 수 있었다.



(a) 종방향 스트레인

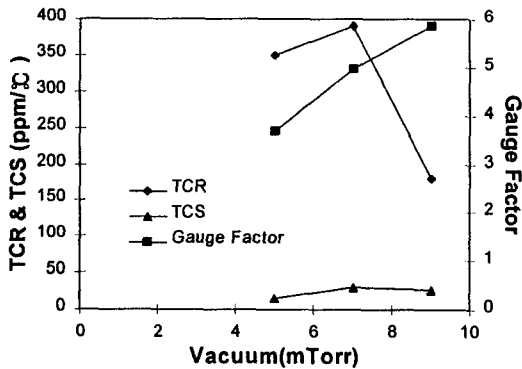


(b) 횡방향 스트레인

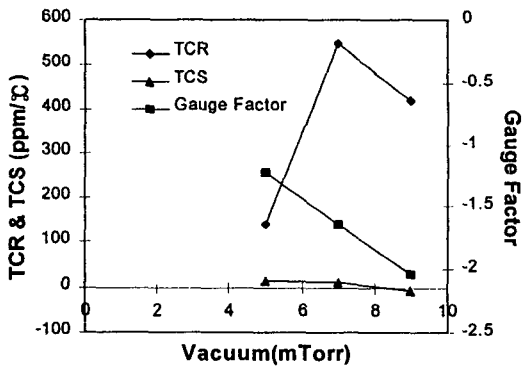
그림 4. 입력 power에 따른 박막 스트레인 게이지의 GF, TCR, TCS 변화

그림 5의 (a)와 (b)는 입력 power가 7 W/cm<sup>2</sup>로 일정할 때 아르곤 가스 압력의 변화에

따르는 게이지율, TCR 그리고 TCS의 변화를 각각 종방향과 횡방향 스트레인에 대해 나타낸 것이다. 입력 power가 일정할 때 종방향에서 게이지율은 9 mTorr에서 최대값인 5.86을 가졌다. TCR은 7 mTorr까지는 증가하다가 다시 감소했으며 TCS는 거의 변화가 없었다. 또한 횡방향에서도 9 mTorr에서 게이지율이 -2.04로 가장 컸고 TCR 및 TCS의 변화도 140~550 ppm/°C, -7~14 ppm/°C 정도로 작은 값을 나타내었다.



(a) 종방향 스트레인



(b) 횡방향 스트레인

그림 5. Ar 가스 압력의 변화에 따른 박막 스트레인 게이지의 GF, TCR, TCS 변화

입력 power가 7 W/cm<sup>2</sup>이고 아르곤 가스 압력이 9 mTorr의 증착조건 하에서 DC 마그네트론 스퍼터링에 의해 제작된 크롬 박막 스트레인 게이지의 종방향 및 횡방향 장력(tensile) 스트레인에 대한 응답을 그림 6에 나타내었다. 제작된 크롬 박막 스트레인 게이지의 스트레인에 대한 응답은 게이지율과 일치했으며 오차율은 ±0.48% 이내로 거의 선형적으로 변화하였다.

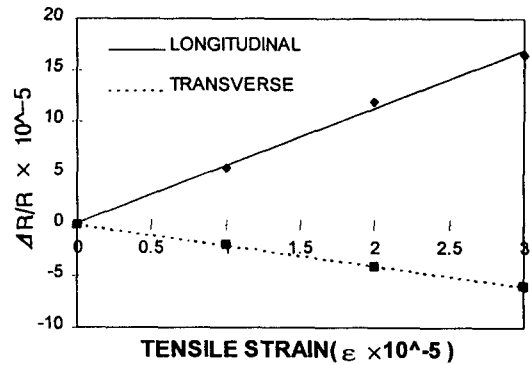


그림 6. 크롬 박막 스트레인 게이지의 선형 응답 특성

#### IV. 결론

본 연구에서는 DC 마그네트론 스퍼터링법으로 증착된 크롬 박막 스트레인 게이지를 제작한 후 증착조건과, 최적 증착조건하에서 증착된 스트레인 게이지의 응답 특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 입력 power가 증가할수록 크롬 박막의 비저항과 면저항이 감소하였다.
- ② 아르곤 가스압력이 증가할수록 크롬 박막의 비저항과 면저항이 증가하였다.
- ③ 입력 power가 7 W/cm<sup>2</sup>, 아르곤 가스 압력이 9 mTorr일 때 스트레인 게이지의 게이지율은 종방향에서 5.86, 횡방향에서 -2.04의 최대값을 가졌다.
- ④ 입력 power가 7 W/cm<sup>2</sup>, 아르곤 가스 압력이 9 mTorr인 최적 증착조건하에서 제작된 크롬 박막 스트레인 게이지의 장력 스트레인에 대한 응답은 오차율은 ±0.48% 이내로 선형적으로 변화하였다.

#### V. 참고 문헌

- [1] K. Rajanna, et. al, IEEE Trans. Electron Devices, 40, (1993) 521
- [2] P. Kayser, et. al, Sensors & Actuators, A37 (1993) 328
- [3] K. Rajanna, et. al, Sensors & Actuators, 15, (1986) 297
- [4] A.Garcia-Alonso, et. al, Sensor & Actuators A37,(1993) 784