

크롬박막 스트레인 게이지의 제작과 그 특성

The Fabrication of Chromium Thin-Film Strain Gauges and Its Characteristics

김 정 훈* 동서대학교 전자기계공학부

정 귀 상 동서대학교 전자기계공학부

Jung-hun Kim* Division of Electronics and Mechatronics Eng. Dongseo University

Gwi-y Sang Chung Division of Electronics and Mechatronics Eng. Dongseo University

Abstract

This paper presents the basic characteristics of Cr thin-film, which were deposited on glass by DC magnetron sputtering. The optimized deposition condition of Cr thin-film strain gauges were input power $7w/cm^2$ and the Ar working pressure was 9mtorr. GF(Gauge Factor), TCR(Temperature Coefficient of Resistance) and TCS(Temperature Coefficient of Sensitivity) of Cr thin-film strain gauges were 5.86, 400 ppm/°C and ≈ 0 ppm/°C, respectively.

1. 서 론

최근 압력 센서는 가전 제품을 비롯하여 자동차, 의료기기, 환경 제어와 산업체의 대규모 시스템 제어에 이르기까지 그 응용 분야가 광범위하다. 특히 고온, 고압, 습도, 진동 등의 환경에서도 사용할 수 있는 소형, 경량, 저가격의 압력 센서가 요구된다.

스트레인 게이지는 가해진 변형에 의해 전기저항값이 변한다는 원리를 이용하여 금속저항선 게이지가 먼저 개발되었고, 이어서 박형 게이지와 반도체 게이지가 개발되었다. 스트레인 게이지는 처음에는 단순히 응력을 측정하는 수단으로 사용되었으나 최근에는 재료 구조물의 응력, 힘, 변형, 압력, 변위 등 외력에 의한 변화를 측정할 뿐만 아니라 점점 그 용도가 넓어지고 있다.^[1]

금속 박막 스트레인 게이지는 종래의 박 게이지(foil gauge)와는 달리 접착제를 필요로 하지 않기 때문에 크리프 현상이 적고 안정성이 우수한 장점이 있다. 또한 박막기술에 의한 수율의 향상과 저가격화를 실현할 수 있으며 열적 보상이 용이하여 동작 온도 범위가 넓고 고온에서 사용 가능한 장점을 갖는다.^[2]

박막 스트레인 게이지의 저항체 선택시 고려해야할 요소로는 비저항과 게이지율이 크고, 온도저항계수(TCR : temperature coefficient of resistance)가 작으며 제조가 용이해야 한다.^[3]

크롬(Cr)은 다른 금속들 중에 비교적 큰 전기저항값을 가지며 기판의 종류에 관계없이 접착성(adhesion)이 우수하기 때문에 박막 스트레인 게이지의 재료로써 유용하다.

본 연구에서는 크롬박막 스트레인 게이지를 개발하기 위한 선형기초 연구로써 위하여 DC 마그네트론 스퍼터링법에 의한 크롬박막의 증착조건에 따르는 비저항, 게이지율(GF : gauge factor), 저항온도계수(TCR), 온도에 의한 감도계수(TCS : temperature coefficient of sensitivity)등을 분석하였으며 주사전자현미경(SEM)과 X선 회절분석기(XRD)를 사용하여 크롬박막의 결정구조를 분석하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 DC 마그네트론 스퍼터링법으로 coming glass 기판위에 크롬박막을 증착하

였다. 실험에 사용된 타겟은 순도 99.9%의 직경 2" 인 크롬이고, 기판은 길이 76mm, 폭 26mm, 두께 1mm인 corning glass 기판을 사용하였다. 표 1은 증착조건을 나타낸 것이다.

표 1. 크롬박막의 증착조건

증착조건	범위
Target	Cr 2" diameter
DC Power	7~11W/cm ²
substrate	corning glass
Target-substrate distance	5cm
Working gas	Ar 80sccm
기판온도	Room Temp.(27℃)
분위기압력	5~9mtorr

크롬박막 스트레인 게이지는 lift-off 방법으로 제작하였으며 박막의 전기적 특성은 면저항 및 두께를 각각 4점 탐침기(prometrix UP-10)와 α -step으로 측정하여 분석하였다. 또한 박막의 물리적 특성은 주사전자현미경을 이용한 박막의 표면 구조 관찰과 X선 회절분석을 이용하여 크롬박막의 결정을 통해 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 아르곤 가스 flow rate가 80sccm, 기판온도가 27℃, 분위기 압력이 7mTorr일 때 입력 power에 따른 비저항과 면저항의 변화를 나타낸 것이다. 입력 power가 증가할수록 크롬 박막의 비저항이 117.5 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 에서 28.28 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 로 감소하였으며, 면저항 역시 9.658 Ω/\square 에서 2.272 Ω/\square 로 감소하였다. 크롬박막의 비저항은 입력 power가 증가할수록 크롬의 bulk 비저항 19.0 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 에 가까워졌다. 이것은 입력 power가 증가함에 따라 기판에 증착되는 크롬 입자수가 증가하고 grain의 크기가 커져서 입자와 입자 사이의 접촉 면적의 증가로 비저항이 낮아진 것으로 생각된다.

그림 2는 아르곤 가스 flow rate가 80sccm, 기판온도가 27℃, 입력 power가 9W/cm²일 때 분위기 압력에 따른 크롬박막의 비저항 및 면저항의 변화를 나타낸 것이다. 분위기 압력이

5mTorr에서 9mTorr로 증가함에 따라 크롬박막의 비저항은 36.77 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 에서 63.80 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 로 증가하였으며, 면저항 역시 3.032 Ω/\square 에서 5.260 Ω/\square 로 증가하였다. 이는 분위기 압력이 증가함에 따라 크롬 원자가 타겟에서 떨어져 나오는 수는 증가하나 아르곤 가스 분자들에 의해 산란되어 기판까지 도달하지 못하며, 도달한 크롬 원자의 경우에도 처음 타겟에서 떨어질 때 지닌 에너지를 유지하지 못하기 때문에 증착율이 낮아져 막두께가 감소하고 또한 grain의 크기가 작아져 입자와 입자 사이의 접촉면적이 감소하여 비저항과 면저항이 감소한 것으로 생각된다.^[4]

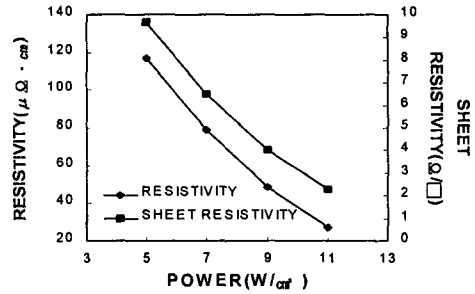


그림 1. 입력 power에 따른 크롬박막의 비저항과 면저항의 변화.

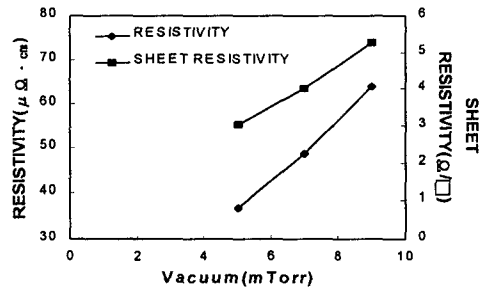
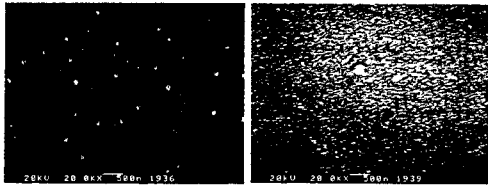


그림 2. 아르곤 가스 압력에 따른 크롬박막의 비저항과 면저항의 변화.

그림 3 (a), (b)는 아르곤 가스 압력이 7mTorr일 때 입력 power에 따른 크롬 박막의 표면 구조 변화를 20,000배 확대하여 촬영한 SEM사진이다. 입력 power가 증가함에 따라 박막의 두께가 두꺼워지며 grain의 크기가 커지고 박막의 밀도가 치밀해졌음을 알 수 있다.

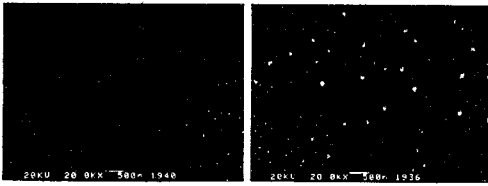


(a) 7W/cm² (b) 11W/cm²

그림 3. 입력 power에 따른 크롬 박막의 표면 SEM사진.

그림 4 (a), (b)는 입력 power가 9w/cm²일 때 아르곤 가스 압력 변화에 따른 SEM사진이다.

아르곤 가스 압력이 낮아짐에 따라 스퍼터된 크롬 입자는 아르곤 가스와의 충돌이 적어져 증착율이 증가하고 막이 두꺼워지며, 가스가 막에 함유될 확률도 줄어들어 grain의 크기가 증가하고 박막이 치밀해 진다고 생각된다.



(a) 9mTorr (a) 7mTorr

그림 4. 아르곤 가스 압력에 따른 크롬 박막의 표면 SEM사진.

그림 5, 6은 증착조건의 변화에 따른 크롬박막의 결정의 변화를 알아보기 위해서 X선 회절분석기를 이용하였다. 그림 5 (a), (b), 그리고 (c)는 입력 power가 7w/cm²일 경우, 아르곤 가스 압력이 5, 7, 9mTorr일때 크롬박막의 XRD 회절패턴을 도식적으로 나타낸 것이다. 5mTorr에서 피크치가 가장 큰 것으로 보아 결정성이 가장 우수하다고 볼 수 있다.

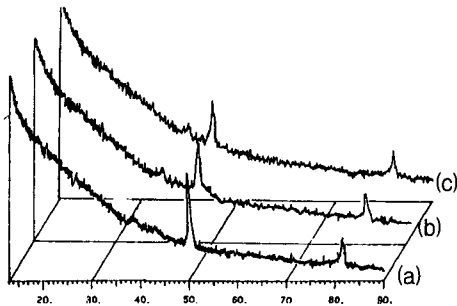


그림 5. 아르곤 가스 압력에 따른 크롬 박막의 XRD 회절패턴.

그림 6의 (a), (b), (c)는 아르곤 가스 압력이 9mTorr일때 입력 power가 5, 7, 9w/cm²일때 크롬박막의 XRD 회절패턴을 나타낸 것이다. 44.4°에서 피크치가 가장 크게 나타났으며, 그중 7w/cm²일 때 피크가 가장 큰 것으로 보아 이 조건에서 결정성이 가장 우수하다고 볼 수 있다.

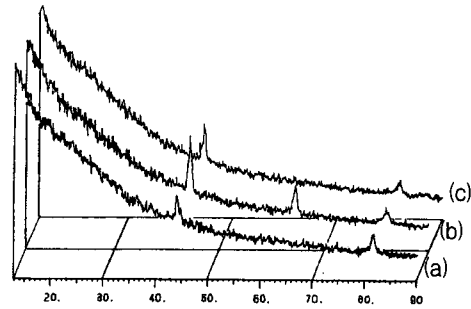


그림 6. 입력 power에 따른 크롬박막의 XRD 회절 패턴.

그림 7은 아르곤 가스 압력이 5mTorr일때 입력 power에 따른 게이지율, TCR 그리고 TCS의 변화를 스트레인에 대해서 나타낸 것이다. 아르곤 가스 압력이 일정할 때 게이지율은 7w/cm²에서 최대값 3.68을 보였으며 TCR과 TCS는 27°C ~ 150°C에서 측정한 결과, TCR은 320~870ppm/°C로 입력 power가 9w/cm²에서 갑자기 증가했음을 알 수 있었다. TCS는 13~30ppm/°C로 거의 0에 가까운 값으로 큰 변동은 없었다.

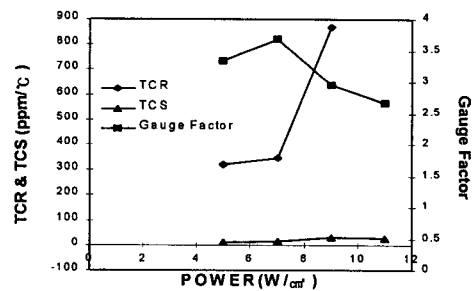


그림 7. 입력 power에 따른 크롬박막 스트레인 게이지의 GF, TCR, TCS 변화.

그림 8은 입력 power가 7w/cm²일때 아르곤 가스 압력 변화에 따른 게이지율, TCR, 그리고

TCS의 변화를 각각 나타낸 것이다. 게이지율은 9mTorr에서 최대값 5.86을 가졌으며 TCR은 7mTorr까지 증가하다가 감소하였으며 TCS는 거의 변화가 없었다.

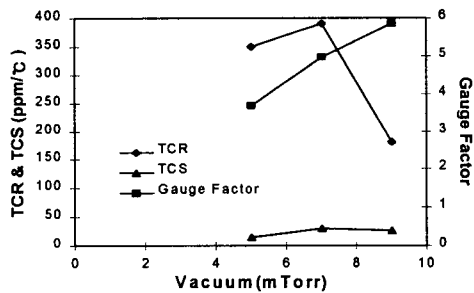


그림 8. 아르곤 가스 압력에 따른 크롬박막 스트레인 게이지의 GF, TCR, TCS 변화.

그림 9는 입력 power가 7w/cm²이고 아르곤 가스 압력이 9mTorr인 증착 조건하에서 DC 마그네트론 스퍼터링법에 의해 제작된 크롬박막 스트레인 게이지의 종방향 및 횡방향 인장(tensile) 스트레인에 대한 응답특성을 나타낸 것이다. 스트레인에 의한 응답은 게이지율과 일치하였으며 오차율은 ±0.48% 이내로 거의 선형적으로 변화하였다.

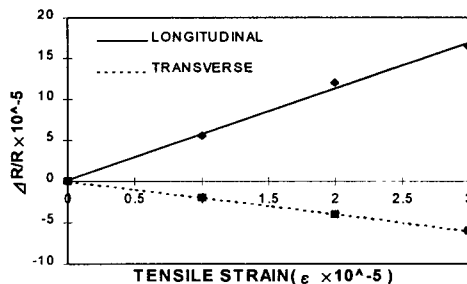


그림 9. 크롬박막 스트레인 게이지의 선형응답 특성.

4. 결 론

본 연구에서는 DC 마그네트론 스퍼터링법으로 입력 power와 아르곤 가스 압력을 변수로 하여 증착된 크롬박막을 이용하여 제작된 스트레인 게이지의 여러 특성을 분석·평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 입력 power가 증가할수록 크롬박막의 비저항과 면저항이 감소하였다.
- ② 아르곤 가스 압력이 증가할수록 크롬박막의 비저항과 면저항이 증가하였다.
- ③ 입력 power가 증가할수록, 아르곤 압력이 감소할수록 grain의 크기가 커졌다.
- ④ 입력 power가 7w/cm², 아르곤 가스 압력이 5mTorr일때 크롬박막의 X선회절패턴 피크치가 가장 크게 나타났다.
- ⑤ 입력 power가 7w/cm², 아르곤 가스 압력이 9mTorr일때 스트레인 게이지의 게이지율은 5.86의 최대값을 가졌다.
- ⑥ 입력 power가 7w/cm², 아르곤 가스 압력이 9mTorr인 최적 증착조건하에서 제작된 크롬박막 스트레인 게이지의 장력 스트레인에 대한 응답은 오차율 ±0.48% 이내로 선형적으로 변화하였다.

5. 참고 문헌

- [1] I. Obieta and F. J. Gracia, Sputtered silicon thin film for piezoresistive pressure microsensors, Sensor and actuators, 41, 685~688 (1994).
- [2] I. Ayerdi, E. Castano, A. Gracia, F. J. Gracia, Characterization of tantalum oxynitride thin films as high-temperature strain gauges, Sensor and Actuator A, 46, 218~221 (1995).
- [3] 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, 40, 521~524 (1993).
- [4] 정귀상, 노상수, 측온저항체 온도센서용 백금 박막의 형성에 관한 연구, 전기전자재료학지 9, 9, 911~916 (1996).