

크롬박막 스트레인 게이지의 열처리 특성

강경두*, 김순철**, 박정도**, 정귀상*
 *동서대학교 전자기계공학부, **경남정보대 전자정보학부

Annealing Characteristics of Chromium Thin Film Strain Gauges

Kyung-Doo Kang*, Sun-Cheol Kim**, Jeong-Do Park**, Gwi-Sang Chung*
 *Dongseo University, **Kyungnam Information College

Abstract - This paper presents the deposition and annealing characteristics of Cr thin film strain gaugs, which were deposited on glass by DC magnetron sputtring. The optimized deposition conditions of Cr thin films were the input DC power, 7 W/cm² and the Ar vacuuming pressure, 9 mTorr. GF, TCR and TCS of Cr thin film strain gauges were 5.86, 400 ppm/°C and ≈0 ppm/°C respectively. The annealing conditions were investigated with the thinkness rang (1200~3500Å) of Cr thin films, annealing temperature (100~300°C) and annealing time (24~72hr). The maximum resistivity and the minimum TCR value were 1757.03 μΩcm, -194.07 ppm/°C, respectively.

1. 서 론

최근 압력센서는 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 압력센서가 요구된다. 압력센서는 측정 방법에 따라 탄성체 방식인 기계적인 방법과 금속 및 반도체 저항 재료를 이용하는 전기적인 방법이 있다. 특히, 마이크로머시닝과 반도체 제조공정기술을 이용한 압력센서에 대한 연구 개발이 활발히 진행중에 있다.

스트레인 게이지는 금속체에 외력을 가하면 전기저항 값이 변한다는 원리를 이용한 금속저항선 게이지, 박형 게이지 그리고 반도체 게이지가 있다. 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.

금속박막 스트레인 게이지는 종래의 박 게이지(foil gauge)와는 달리 접착제를 필요로 하지 않기 때문에 크리프(creep) 현상이 적고, 안정성이 우수하기 때문에 사용 가능한 압력범위가 넓다. 또한 박막제조기술의 발달에 의해 수율의 향상과 저가격화를 실현할 수 있으며, 열적 보상이 용이하여 동작 온도 범위가 넓고 고온에서 사용 가능하다. 그러나 현재 사용되고 있는 콘스탄트제(Cu-Ni)박막 스트레인 게이지는 입력에 따른 출력의 감도가 낮고, 게이지율(GF : gauge factor)이 작으며 특히, 합금을 사용하기 때문에 제조공정이 복잡하다.

박막 스트레인 게이지의 저항체 선택시 고려해야할 요소로는 비저항과 게이지율이 크고, 온도저항계수(TCR : temperature coefficient of resistance)가 작으며 제조가 용이해야 한다.¹⁾⁻³⁾

크롬(Cr)은 다른 금속들 중에 비교적 큰 전기저항값을 가지며 기판의 종류에 관계없이 접착성이 우수하고, 높은 응력 감도와 게이지율(GF)을 가지기 때문에 박막 스트레인 게이지의 재료로서 유용하다.

본 연구에서는 고감도 크롬박막 스트레인 게이지를 개발하기 위해서 증착 및 열처리 조건에 따른 크롬박막의 전기적, 물리적, 기계적 특성을 분석·평가하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 DC 마그네트론 스퍼터링법으로 세척된 corning glass 기판위에 크롬박막을 증착하였다. 실험에 사용된 타겟은 순도 99.9%의 직경 2" 인 크롬이고, 기판은 길이 76mm, 폭 26mm, 두께 1mm인 corning glass 기판을 사용하였다. 크롬박막의 두께는 α-step 을 사용하여 측정하였으며, 비저항은 four-point probe 로 측정하였다. 크롬박막의 표면구조와 결정질 변화는 각각 SEM과 XRD로 관찰하였다. 표 1은 증착 및 열처리 조건을 나타낸 것이다.

표 1. 크롬박막의 증착 및 열처리 조건.

증착조건	범위
Target	Cr 2" diameter
DC Power	7~11 W/cm ²
Substrate	corning glass
Target-substrate distance	5cm
Working gas	Ar 80 sccm
기판온도	Room Temp.(27°C)
진공도	5~9 mTorr
열처리 시간	24~72 (hr)
열처리 온도	100~300°C

Lift-off 방법으로 크롬박막 스트레인 게이지를 제작하여 증착 및 열처리 조건에 따라 GF, TCR, 그리고 TCS(Temperature Coefficient of Sensitivity)를 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 아르곤 가스 flow rate가 80 sccm, 기판온도가 27°C, 분위기 압력이 7 mTorr일때, 입력 power에 따른 비저항과 면저항의 변화를 나타낸 것이다. 입력 power가 증가할수록 크롬박막의 비저항이 117.5 μΩcm에서 28.28 μΩcm로 감소하였으며, 면저항 역시 9.658 Ω/□에서 2.272 Ω/□로 감소하였다. 크롬박막의 비저항은 입력 power가 증가할수록 크롬의 bulk 비저항 19.0 μΩcm에 가까워졌다. 즉, 크롬박막의 특성은 입력 power가 증가할수록 크롬의 비저항값이 bulk 저항값에 가까워졌다. 이것은 입력 power가 증가함에

따라 기판에 증착되는 크롬 입자수가 증가하고 grain이 커져서 입자와 입자 사이의 접촉 면적의 증가로 비저항이 낮아진 것으로 생각된다.

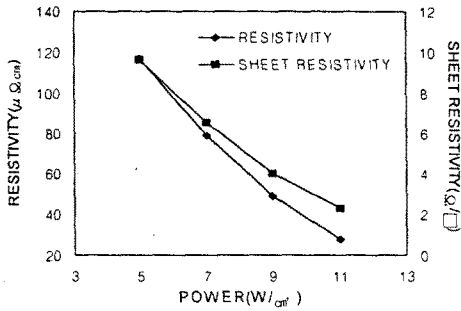


그림 1. 입력 power에 따른 크롬박막의 비저항과 면저항의 변화.

그림 2는 입력 power가 9 W/cm²일때, 분위기 압력에 따른 크롬박막의 비저항 및 면저항의 변화를 나타낸 것이다. 분위기 압력이 5 mTorr에서 9 mTorr로 증가함에 따라 크롬박막의 비저항은 36.77 μΩcm에서 63.80 μΩcm로 증가하였으며, 면저항 역시 3.032 Ω/□에서 5.260 Ω/□로 증가하였다. 이는 분위기 압력이 증가함에 따라 크롬 원자가 타겟에서 떨어져 나오는 수는 증가하나 그 원자들이 아르곤 가스 분자들에 의해 산란되어 기판에 도달하지 못하며, 도달된 원자의 경우에도 처음 타겟에서 떨어질 때 지닌 에너지를 유지하지 못하기 때문에 증착율이 낮아져 박막의 두께가 감소하고, 또한 grain의 크기가 작아져 입자와 입자 사이의 접촉면적이 감소하여 비저항과 면저항이 증가한 것으로 생각된다.

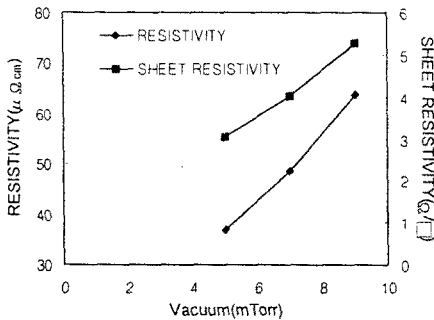
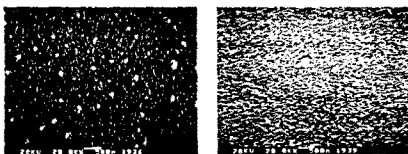


그림 2. 아르곤 가스 압력에 따른 크롬박막의 비저항과 면저항의 변화.

그림 3 (a)와 (b)는 아르곤 가스 압력이 7 mTorr일 때 입력 power의 변화에 따른 크롬박막 미세 표면의 SEM 사진이다. 입력 power가 증가함에 따라 박막의 두께가 두꺼워지며, grain의 크기가 커지고 박막의 밀도가 치밀



(a) 7W/cm² (b) 11W/cm²

그림 3. 입력 power에 따른 크롬박막의 표면 SEM사진.

해졌음을 알 수 있다.

그림 4는 증착조건의 변화에 따른 크롬박막의 결정의 변화를 알아보기 위해서 X선 회절분석기를 이용하였다. (a)와 (b) 그리고 (c)는 입력 power가 7 W/cm²일때, 아르곤 가스 압력이 5, 7, 9 mTorr일때, 크롬박막의 XRD 회절패턴을 도식적으로 나타낸 것이다. 5 mTorr에서 피크치가 가장 큰 것으로 보아 결정성이 가장 우수하다고 볼 수 있다.

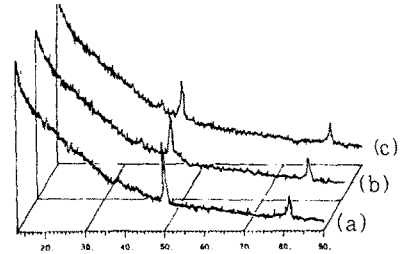


그림 4. 아르곤 가스 압력 (a) 5 mTorr, (b) 7 mTorr (c) 9 mTorr에 따른 크롬박막의 XRD 회절패턴.

그림 5는 아르곤 가스 압력이 5 mTorr일때, 입력 power에 따른 게이지율, TCR, TCS의 변화를 스트레인에 대해서 나타낸 것이다. 아르곤 가스 압력이 일정할 때 게이지율은 7 W/cm²에서 3.68의 가장 큰 값을 가졌다가 다시 감소하는 경향을 보였다. 27~150°C의 온도 범위에서 TCR과 TCS를 측정 한 결과, TCR은 320~870 ppm/°C로 입력 power가 9 W/cm²에서 갑자기 증가했음을 알 수 있었다. TCS는 13~30 ppm/°C로 거의 0에 가까운 값으로 큰 변동은 없었다.

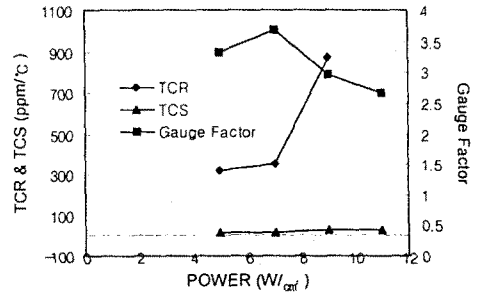


그림 5. 입력 power에 따른 크롬박막 스트레인 게이지의 GF, TCR, TCS 변화.

그림 6은 입력 power가 7 W/cm²일때, 아르곤 가스 압력의 변화에 따른 게이지율, TCR, 그리고 TCS의 변화를 스트레인에 대해 각각 나타낸 것이다.

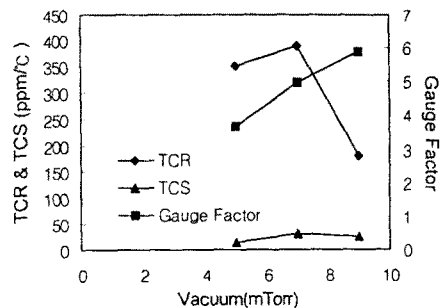
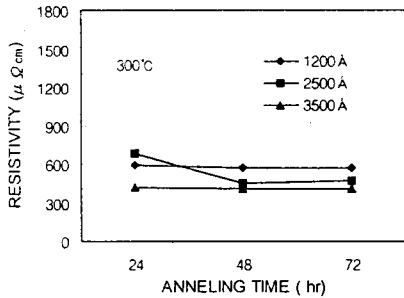


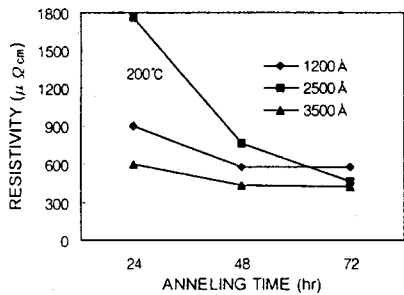
그림 6. 아르곤 가스 압력에 따른 크롬박막 스트레인 게이지의 GF, TCR, TCS 변화.

게이지율은 9 mTorr에서 최대값 5.86을 가졌으며, TCR은 7 mTorr까지 증가하다가 다시 감소하였고, TCS는 거의 변화가 없었다.

그림 7 (a)와 (b)는 최적증착조건에서 증착된 크롬박막의 열처리 온도와 시간에 따른 비저항의 변화를 나타낸 것이다. 100℃에서는 대체적으로 열처리 시간에 따라 큰 변화를 나타내지 않았고, 단지 1200Å의 두께만이 상대적으로 많은 변화를 보였다. 그리고 비교적 높은 온도인 200℃에서 열처리를 했을 경우, 최초의 비저항값은 크게 감소하였다. 특히, 2500Å의 박막두께에서는 1757.03~463.5 $\mu\Omega\text{cm}$ 까지 아주 큰 변화를 나타내었다. 열처리 온도가 300℃인 경우, 1200, 3500Å에서는 거의 변화가 없었지만, 2500Å에서는 685.25~443.5 $\mu\Omega\text{cm}$ 까지 비교적 큰 비저항 변화값을 보였다. 전체적인 열처리 온도와 시간에 따른 비저항값의 변화를 보면 48시간 이상 열처리한 경우에는 비슷했지만, 200℃에서 24시간 열처리된 크롬박막의 비저항은 각각 898.65, 1757.03, 605.15 $\mu\Omega\text{cm}$ 로 최대값을 가졌다. 입력 power 7 W/cm², 아르곤 분압 9 mTorr에서 증착된 크롬박막의 200℃, 24시간 열처리에서 보여지는 비저항값은 기존의 박막 스트레인 게이지에서 볼 수 있는 값들에 비해서 아주 높은 비저항 특성을 가지고 있으므로 스트레인 게이지의 저항체 박막으로서 매우 적합하다고 생각된다.^[3]



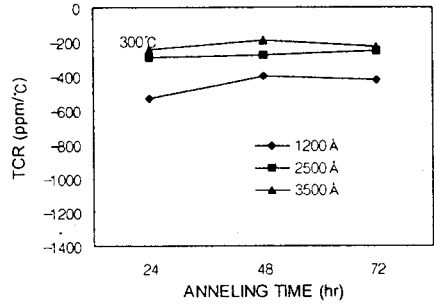
(a)



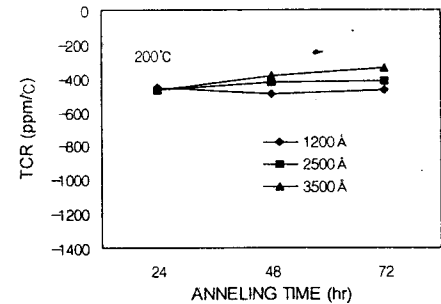
(b)

그림 7. 열처리 시간과 온도에 따른 비저항 변화.

그림 8 (a)와 (b)는 최적증착조건에서 증착된 크롬박막의 열처리 온도와 시간에 따른 TCR값의 변화를 나타낸 것이다. 100℃에서 열처리한 경우, TCR의 변화값은 박막의 두께에 대해서 독립적이고, 단지 열처리 시간이 증가함에 따라 감소하였다. 그리고 200℃의 경우에는 2500, 3500Å과 같이 박막두께가 두꺼울 수록 상대적으로 두께가 얇은 1200Å의 경우에 비해 TCR의 변화값이 시간의 증가에 따라 감소폭이 커지고 있음을 볼 수 있다. 특히, 300℃, 48시간 열처리했을 경우, 1200, 2500, 3500Å의 두께에서 각각 -402.54, -278.25, -194.07 ppm/℃으로 최소의 TCR값을 나타내었다.



(a)



(b)

그림 8. 열처리 온도와 시간에 따른 TCR 변화.

4. 결 론

본 연구에서는 고감도 박막형 스트레인 게이지를 개발하기 위해서 DC 마그네트론 스퍼터링법에 의한 크롬박막의 증착 및 열처리 조건에 대해 분석하여 다음과 같은 결론이 얻어 졌다.

- ① 입력 power가 7 W/cm²이고, 아르곤 가스 압력이 9 mTorr일때 게이지율이 5.86으로 최대값을 가졌다.
- ② 200, 300℃의 높은 온도에서 열처리했을때, 2500Å의 두께에서 급격한 비저항의 변화를 보였고, 200℃에서 24시간 열처리했을때, 최대 비저항값 1757.03 $\mu\Omega\text{cm}$ 를 나타내었다.
- ③ 200, 300℃의 높은 온도에서 열처리했을때, TCR값은 열처리 시간에 따라 감소하였으며 박막의 두께에 반비례하였다.
- ④ TCR값은 두께가 3500Å인 크롬박막을 300℃, 48시간 열처리했을 경우, 최소 -194.07 ppm/℃를 나타내었다.

(참 고 문 헌)

- [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