

크롬질화박막형 스트레인 게이지의 열처리 특성

The Annealing Characteristics of Chromium Nitride Thin-Film Strain Gauges

서정환¹, 박정도², 김인규³, 정귀상⁴

¹동서대학교 정보통신공학부, ²경남정보대 전자정보학부, ³신한기전

Jeong-hwan Seo¹, Jeong-Do Park², In-Kyu Kim³, Gwi-Sang Chung⁴

¹Dongseo University, ²Kyungnam Information College, ³Shinhan Mechatronics Co.

Abstract

This paper presents annealing characteristics of CrN thin-film strain gauges, which were deposited on glass by DC reactive magnetron sputtering in an argon-nitrogen atmosphere (Ar-(5~25%)N₂). The physical and electrical characteristics of these films investigated with the thickness range 3500Å of CrN thin films, annealing temperature (100~300°C) and annealing time (24~72hr). The optimized condition of CrN thin-film strain gauges were thickness range of 3500Å and annealing condition (300°C, 48hr) in Ar-10%N₂ deposition atmosphere. Under optimum conditions, the CrN thin-films for strain gauge is obtained a high resistivity, $\rho = 1147.65 \mu \Omega \text{cm}$, a low temperature coefficient of resistance, TCR=-186ppm/°C and a high temporal stability with a good longitudinal, 11.17. And change in resistance after annealing for the CrN thin film were quite linear and stable.

1. 서 론

최근 압력센서는 가전제품을 비롯하여 자동차, 의료기기, 환경 제어와 산업체의 대규모 시스템 제어에 이르기까지 그 응용분야가 광범위하다. 특히, 고온, 고압, 습도, 진동 등의 환경에서도 사용할 수 있는 소형, 경량, 저가격의 압력 센서가 요구된다.

압력 혹은 하중계측용 금속 박막형 스트레인 게이지는 종래의 박 게이지(foil gauge)와는 달리 접착제를 필요로 하지 않기 때문에 크리프 현상이 적고 안정성이 우수하다. 또한, 박막기술에 의한 고수율과 저가격화가 가능하며 열적 보상이 용이하여 고온에서도 사용 가능하다.^{[1]-[2]}

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

금속에 비해 각종 세라믹들은 비교적 큰 전기저항값을 가지며 높은 응력감도와 게이지율을 가지기 때문에 박막 스트레인 게이지의 재료로써 유용하다.

본 연구에서는 CrN 박막형 압력 혹은 하중 센서를 개발하기 위한 선행 연구로써 DC 반응성 마그네트론 스퍼터링법에 의한 질소분압에 따른 CrN 박막의 종착 및 열처리 조건에 따르는 CrN 박막형 스트레인 게이지의 전기적, 물리적, 기계적 특성을 분석·평가하였다. 또한, 최적의 열처리 조건하에서 제작된 CrN 박막형 스트레인 게이지의 전류/전압/온도 특성, 온도 및 저항변화에 따른 hysteresis 특성, aging effect 등을 분석·평가하여 금속박막형 압력 센서에 응용하고자 한다.

2. 실험

본 실험에서는 DC 반응성 마그네트론 스퍼터링 법으로 corning glass 기판위에 N₂ 분압을 5 ~

25%까지 달리하여 CrN 박막을 증착하였다. 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. CrN 박막의 증착조건

증착조건	범위
Target	Cr 2" diameter
DC Power	7 W/cm ²
Substrate	corning glass
Target-substrate distance	5cm
Working gas	Ar 60 ~ 76 sccm N ₂ 4 ~ 20 sccm
기판온도	Room Temp.(27°C)
진공도	9 mTorr
열처리 시간	24~72 (hr)
열처리 온도	100~300°C

CrN 박막 스트레인 게이지는 lift-off 방법으로 제작하여 증착 및 열처리 조건에 따른 박막의 전기적 특성은 면저항 및 두께를 각각 4점 탐침기와 α -step으로 측정하여 분석하였다. 또한 박막의 물리적 특성은 주사전자현미경(SEM)과 X선 회절분석(XRD)을 이용하여 CrN 박막의 미세표면구조 및 결정성을 각각 분석하였으며 조성분석기(EDS)로 CrN 박막의 조성비를 분석·평가하였다.

CrN 박막형 스트레인 게이지의 TCR값과 long-term stability는 25 ~ 150°C의 온도범위에서 측정하였으며, 전류/전압/온도 특성은 CrN 박막의 전도 메카니즘을 해석하기 위해 사용하였다. 그리고, 종방향 및 횡방향 게이지를 cantilever method를 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 CrN 박막형 스트레인 게이지의 질소분압에 대한 열처리 조건에 따른 TCR값 변화를 나타낸 것이다. 열처리 온도가 증가할수록 TCR값은 감소하였으며, 질소분압이 4 ~ 8sccm일 때 그 변화폭이 가장 크게 나타났다. 즉, 4 ~ 8sccm에서 열처리 온도 300°C, 48hr일 때 가장 낮은 TCR값을 얻을 수 있었다. 그리고, 질소분압이 16sccm 이상일 경우 300°C 이상의 열처리로 인해 그 저항율이 매우 증가

하여 측정의 의미를 가질 수 없다. 따라서, 질소분압 8sccm, 열처리 조건(300°C, 48hr)에서 비교적 큰 비저항값과 낮은 TCR값을 얻었다.

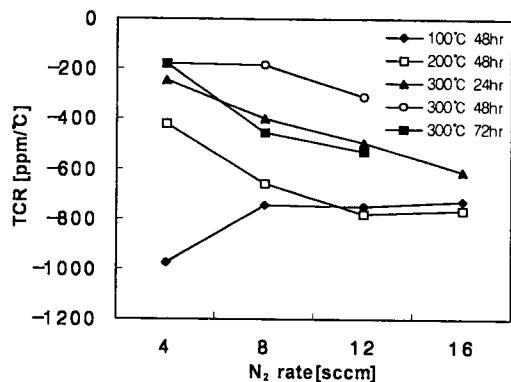


그림 1. CrN 박막의 열처리 조건에 따른 TCR값.
(온도 : 100 ~ 300°C, 시간 : 24 ~ 72hr)

그림 2는 CrN 박막형 스트레인 게이지의 질소분압 8sccm, 열처리 조건이 300°C, 48hr일 때, 25 ~ 150°C의 온도범위에서 온도에 따른 저항변화율의 hysteresis특성을 나타낸 것이다. 온도에 따른 저항변화율이 매우 선형적이며, 열처리에 의해 더욱 안정된 특성을 얻은 것으로 생각된다.

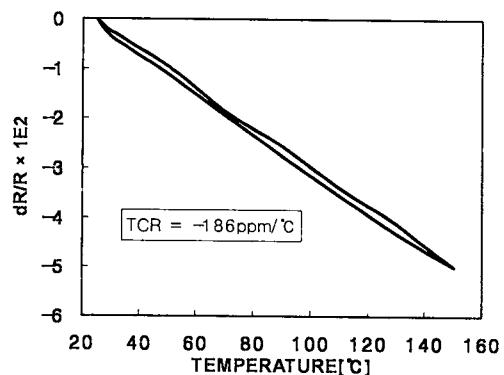


그림 2. CrN 박막형 스트레인 게이지의 온도에 따른 저항변화율. (질소분압 : 8sccm, 열처리 조건 : 300°C, 48hr)

그림 3은 질소분압 8sccm, 열처리 조건이 300°C, 48hr일 때, CrN 박막형 스트레인 게이지의 150°C에서 시간에 따른 long-term stability을 나타낸 것으로써

큰 변화 없이 일정한 저항값을 유지하였다.

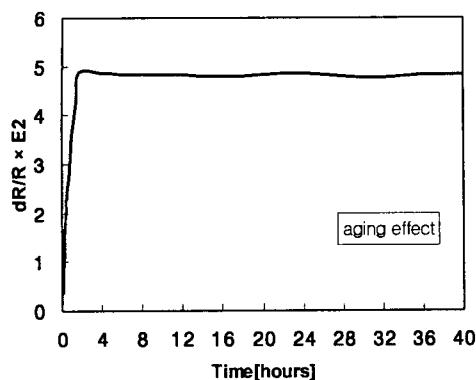


그림 3. CrN 박막형 스트레이인 게이지의 aging effect. (질소분압 : 8sccm, 열처리 조건 : 300°C, 48hr)

그림 4는 CrN 박막형 스트레이인 게이지의 질소분압 8sccm, 열처리 조건이 300°C, 48hr일 때, 전류/전압/온도 특성을 나타낸 것이다. 저항은 측정동안 일정하게 유지하였다. 이 현상은 금속 전도 메카니즘과 일치하며, CrN 박막의 높은 비저항값과 negative TCR값은 전도전자의 평균자유행정이 매우 작기 때문이다.^[5]

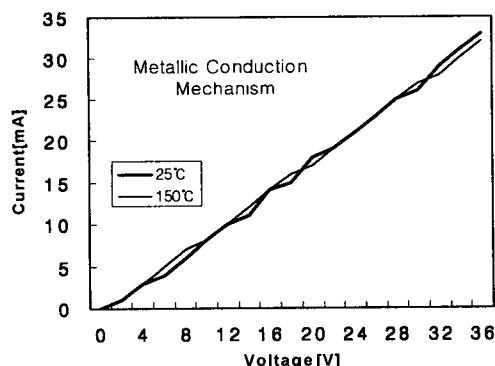


그림 4. CrN 박막의 전류/전압/온도 특성.
(질소분압 : 8sccm, 열처리 조건 : 300°C, 48hr)

그림 5는 질소분압이 8sccm일 때 열처리 온도(100~300°C)에 따른 CrN 박막의 미세표면구조를 나타낸 SEM사진이다. 100~200°C에서는 큰 변화가 나타나지 않았으며, 300°C에서는 열처리를 온도가 증가됨으로서 결정립이 형성되어 입자들의 경계가

현저하고, 전기적으로 불안한 상태나 구조적으로 갈라진 틈 사이가 밀착됨을 알 수 있다. 그러므로, CrN 박막의 비저항 및 TCR값 또한 안정될 값을 얻었으며, 열처리를 함으로써 물리적·전기적으로 박막이 개선됨을 알 수 있다.

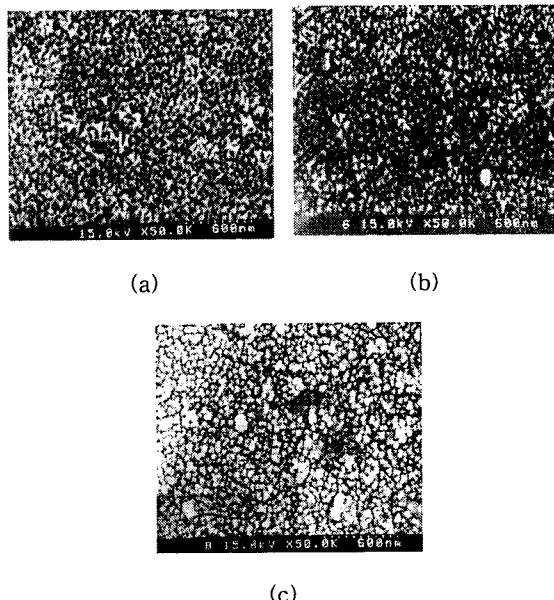


그림 5. CrN 박막의 열처리 온도 (a) 100°C (b) 200°C (c) 300°C 일 때 SEM 사진.
(질소분압 : 8sccm, 열처리 시간 : 48시간)

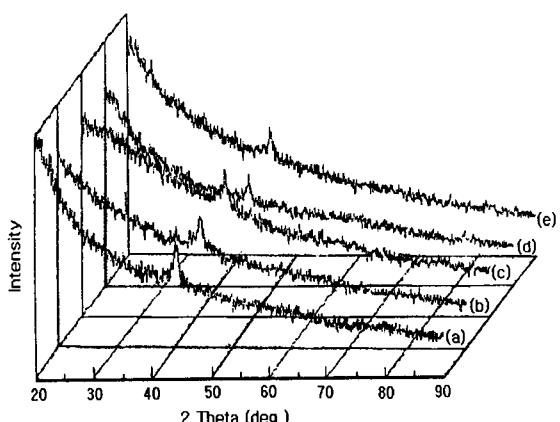


그림 6. CrN 박막의 열처리 조건 (a) 100°C, 48hr
(b) 200°C, 48hr (c) 300°C, 24hr (d) 300°C,
48hr (e) 300°C, 72hr 일 때의 XRD 회절패턴.

그림 6은 질소분압이 8sccm일 때 열처리 조건에 따른 CrN 박막의 결정의 변화를 알아보기 위해 XRD 회절패턴을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 피크치는 크롬의 결정을 나타낸 것이며, 질화에 의해 큰 피크치를 얻을 수 없었다. 열처리 온도 및 시간이 증가함에 따라 피크치는 큰 변화가 없는 것을 볼 수 있는데 이것은 크롬금속상이 작아지고 질화물을 형성하여 금속상과 혼제한 아몰퍼스상이 여전히 비정질 구조를 유지함을 보여주는 것이라 생각된다.

그림 7은 CrN 박막형 스트레인 게이지의 종방향 게이지율을 열처리 조건에 따라 나타낸 것이다. 열처리온도와 시간이 증가함에 따라 게이지율은 큰 변화가 없이 일정하였다. CrN 박막형 스트레인 게이지의 게이지율은 질소분압이 증가할수록 증가하였으며, 열처리에 의해 게이지율에는 크게 영향을 주지 않는 것으로 생각된다.

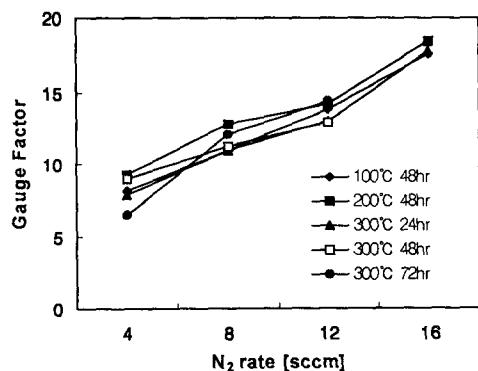


그림 7. CrN 박막의 열처리 조건에 따른 게이지율 변화. (온도 : 100~300°C, 시간 : 24~72hr)

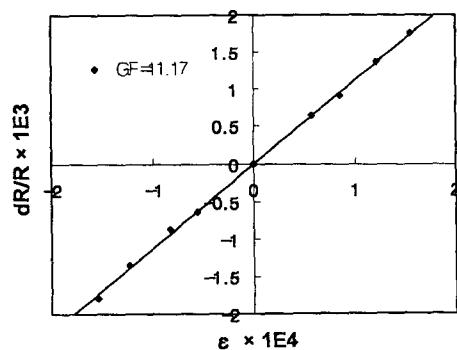


그림 8. CrN 박막형 스트레인 게이지의 응력에 따른 종방향 응답특성. (질소분압 : 8sccm, 열처리 조건 : 300°C, 48hr)

그림 10은 CrN 박막형 스트레인 게이지의 질소분압 8sccm, 열처리 조건이 300°C, 48hr일 때, 응력에 따른 종방향 응답특성을 나타낸 것이다. 이 조건에서 응력에 따른 저항변화율이 거의 선형적으로 변화하는 것을 볼 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 DC 반응성 마그네트론 스퍼터링 법으로 질소분압에 따라 증착된 CrN 박막을 이용하여 제작된 스트레인 게이지의 열처리 조건에 따른 특성을 분석·평가한 결과, CrN 박막형 스트레인 게이지의 최적조건은 두께 3500Å, 열처리 조건(300°C, 48hr), 질소분압 8sccm에서 비저항=1147.65 μΩcm, TCR=-186ppm/°C, 종방향 게이지율=11.17의 양호한 값을 얻었다. 이 조건에서 얻은 결과로 CrN 박막형 스트레인 게이지를 이용하여 금속박막형 압력센서에 응용할 수 있는 가능성을 확인하였다.

5. 참고 문헌

- [1] I. Obieta and F. J. Gracia, Sputtered silicon thin film for piezoresistive pressure microsensors, Sensor and actuators, 41, 521~688 (1994).
- [2] I. Ayerdi, E. Castano, A. Gracia, F. J. Gracia, Characterization of tantalum oxy-nitride 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] Y. Tanaka, T. Ikeda, M. Kelly, "Structure and properties of (Ti_{1-x}Al_x)N films prepared by reactive sputtering", Thin Solid Film, Vol. 240, pp. 238-241 (1991).
- [5] I. Ayerdi, E. Castano, A. Gracia, F. J. Gracia, Ceramic pressure sensor based on tantalum thin film, Sensor and Actuator A, 41-42, 435-438 (1994).