

크롬질화박막형 스트레인 게이지의 특성

서정환, 김일명, 이채봉, 김순철*, 정귀상
 동서대학교 정보통신공학부, *경남정보대

The Characteristics of Chromium Nitride Thin-Film Strain Gauges

Jeong-Hwan Seo, Il-Myung Kim, Chae-Bong Lee, *Sun-Cheol Kim, Gwily-Sang Chung
 School of Information & Communication Eng. DongSeo Univ., *Kyungnam College of Information

II. 실 험

ABSTRACT - This paper presents 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 (24~72 hr). The optimized condition of CrN thin-film strain gauges were thickness range of 3500Å and annealing condition(300°C, 48 hr) 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=-186 ppm/°C and a high temporal stability with a good longitudinal, 11.17. And change in resistance after annealing for the CrN thin-films were quite linear and stable.

본 연구에서는 DC 반응성 마그네트론 스퍼터링법으로 corning glass 기판위에 N₂ 분압(5 ~ 25 %)에 따른 CrN 박막을 증착하였다. 연구에 사용된 타겟은 순도 99.9%의 직경 2" 인 크롬이고, 기판은 길이 76 mm, 폭 26 mm, 두께 1 mm인 corning glass 기판을 사용하였다. 표 1 은 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	5 cm
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

I. 서 론

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

압력 혹은 하중 계측용 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]} 금속 박막형 스트레인 게이지의 재료로는 Au-Ni합금^[3], Mn^[4], NiCr합금^[5], Bi-Sb^[6], Cu-Ni계 합금^[7] 등이 사용되고 있으나, 낮은 게이지율과 비저항을 가지므로 센서의 감도가 작고, 소형화가 어렵다. 그리고, 전형적인 반도체 스트레인 게이지들은 높은 게이지율과 비저항값을 가지나, 150°C 이상에서는 사용할수 없다. SiC와 poly-Si과 같은 다른 반도체 물질들은 고온에서 사용될 수 있는 스트레인 게이지로서 연구개발되고 있지만, 재현성이 나쁘다.

금속에 비해 각종 세라믹들은 비교적 큰 전기저항값과 높은 응력감도와 게이지율을 가지며, 고온에서 사용 가능하기 때문에 박막 스트레인 게이지의 재료로서 유용하다.^[8]

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

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 TCR(temperature coefficient of resistance)값과 long-term stability는 25 ~ 150°C의 온도범위에서 측정하였으며, 진류/전압/온도 특성은 CrN 박막의 전도 메커니즘을 해석하기 위해 사용하였다. 그리고, 종방향 및 횡방향 게이지율은 cantilever method를 사용하여 측정하였다.

III. 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 ~ 8 sccm일 때 그 변화폭이 가장 크게 나타났다. 즉, 4 ~ 8 sccm에서 열처리 온도 300°C, 48 hr일 때 가장 낮은 TCR값을 얻었고, 질소분압이 16 sccm이상일 경우 300°C 이상의 열처리로 인해 그 저항율이 매우 증

가하여 측정의 의미를 가질 수 없었다. 또한 비저항값은 질소분압 및 열처리 온도가 증가할수록 증가하였다. 따라서, 질소분압 8 sccm, 열처리 조건이 300°C, 48 hr에서 비교적 큰 비저항값과 -186 ppm/°C 낮은 TCR값을 얻었다.

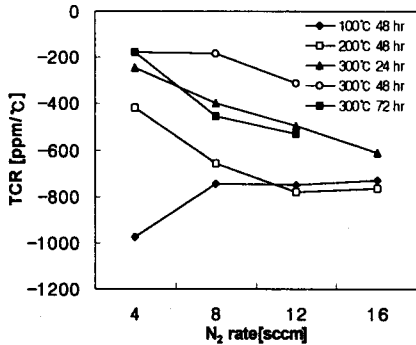


그림 1. CrN 박막형 스트레인 게이지의 열처리 조건에 따른 TCR값 변화 (온도 : 100~ 300°C, 시간 : 24~72 hr).

그림 2는 CrN 박막형 스트레인 게이지의 질소분압 8 sccm, 열처리 조건이 300°C, 48 hr일 때, 25~150°C의 온도범위에서 온도에 따른 저항변화율의 hysteresis 특성을 나타낸 것이다. 온도에 따른 저항변화율이 매우 선형적이며, 이 때 hysteresis와 nonlinearity는 각각 2.27 %FS, 1.65 %FS로 열처리에 의해 더욱 안정된 특성을 얻은 것으로 사료된다.

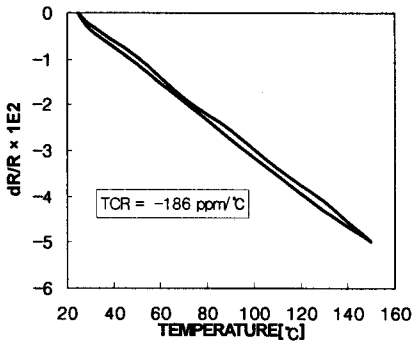


그림 2. CrN 박막형 스트레인 게이지의 온도에 따른 저항변화율 (질소분압 : 8 sccm, 열처리 조건 : 300°C, 48 hr).

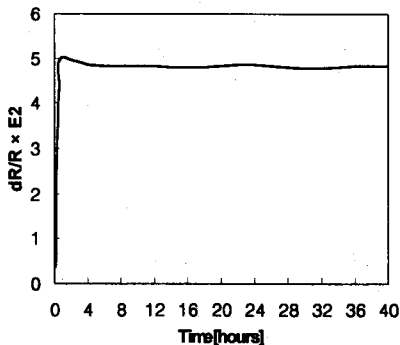


그림 3. CrN 박막형 스트레인 게이지의 aging effect (질소분압 : 8 sccm, 열처리 조건 : 300°C, 48 hr).

그림 3은 질소분압 8 sccm, 열처리 조건이 300°C, 48 hr 일 때, CrN 박막형 스트레인 게이지의 150°C에서 시간에 따른 long-term stability를 나타낸 것으로서 오랜 시간동안 일정한 저항변화율을 나타내었다.

그림 4는 CrN 박막형 스트레인 게이지의 질소분압 8 sccm, 열처리 조건이 300°C, 48 hr일 때, 전류/전압/온도 특성을 나타낸 것이다. 저항은 측정동안 일정하게 유지하였으며, 이 현상은 금속 전도 메카니즘과 일치한다. CrN 박막의 높은 비저항값과 negative TCR값은 아몰퍼스구조의 큰 무질서에 의한 산란에 기인한 전도전자의 평균자유행정이 매우 작기 때문이다.^[8]

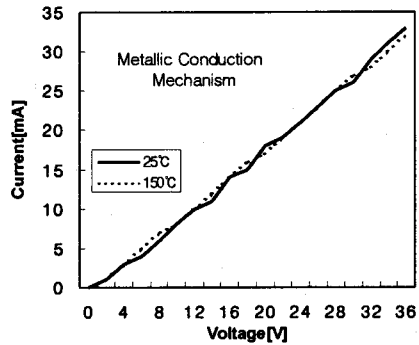


그림 4. CrN 박막의 전류/전압/온도 특성 (질소분압 : 8 sccm, 열처리 조건 : 300°C, 48 hr).

그림 5는 질소분압이 8 sccm일 때 열처리 온도(100~300°C)에 따른 CrN 박막의 미세표면구조를 나타낸 SEM 사진이다. 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 안정된 값을 얻었으며, 열처리를 함으로써 물리적·전기적으로 박막이 개선됨을 알 수 있다.

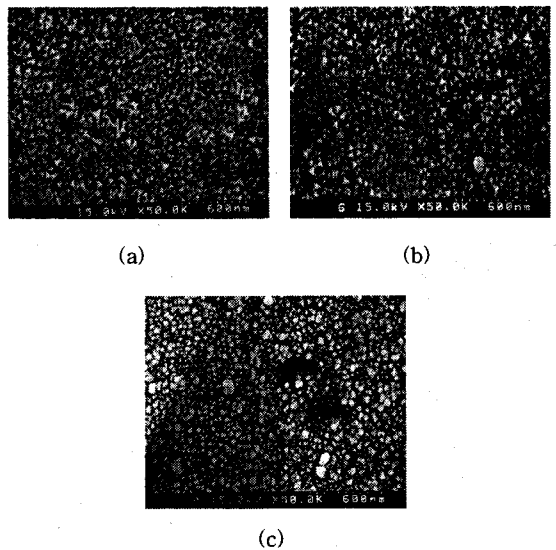


그림 5. CrN 박막의 열처리 온도 (a) 100°C (b) 200°C (c) 300°C 일 때 SEM사진 (질소분압 : 8 sccm, 열처리 시간 : 48 hr).

그림 6은 질소분압이 8 sccm일 때 열처리 조건에 따른 CrN 박막의 결정의 변화를 알아보기 위해 XRD 회절패턴을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 피크치는 44.2°에서 크롬의 결정을 나타낸 것으로, 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 혼재한 아몰퍼스상이 여전히 비정질 구조를 유지함을 보여주는 것이라 사료된다.

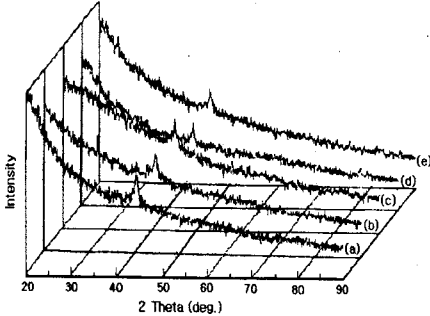


그림 6. CrN 박막의 열처리 조건 (a) 100°C, 48 hr (b) 200°C, 48 hr (c) 300°C, 24 hr (d) 300°C, 48 hr (e) 300°C, 72 hr 일때의 XRD 회절패턴.

그림 7은 CrN 박막형 스트레인 게이지의 종방향 게이지율을 열처리 조건에 따라 나타낸 것이다. 열처리 온도와 시간이 증가함에 따라 게이지율은 큰 변화가 없이 일정하였으며, 열처리에 의해 게이지율에는 영향이 없었다.

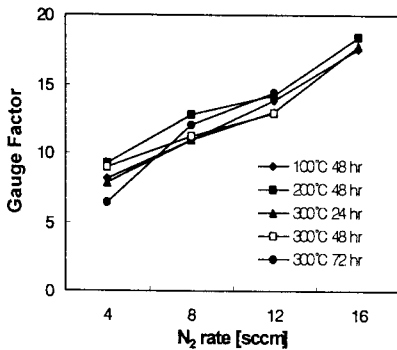


그림 7. CrN 박막형 스트레인 게이지의 열처리 조건에 따른 게이지율 변화 (온도 : 100~ 300°C, 시간 : 24~72 hr).

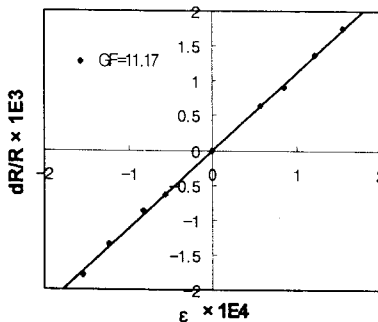


그림 8. CrN 박막형 스트레인 게이지의 응력에 따른 종방향 응답특성 (질소분압 : 8 sccm, 열처리 조건 : 300°C, 48 hr).

그림 8은 CrN 박막형 스트레인 게이지의 질소분압 8 sccm, 열처리 조건이 300°C, 48 hr일때 응력에 따른 종방향 응답특성을 나타낸 것이다. 최적의 증착 및 열처리 조건하에서 제작된 CrN 박막형 스트레인 게이지는 외부 인가 응력에 따라 저항변화율이 거의 선형적으로 변하는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 DC 반응성 마그네트론 스퍼터링법으로 질소분압에 따라 증착된 CrN 박막을 이용하여 제작된 스트레인 게이지의 증착 및 열처리 조건에 따른 특성을 분석·평가한 결과, CrN 박막형 스트레인 게이지의 최적조건은 두께 3500Å, 열처리 조건(300°C, 48 hr), 질소분압 8 sccm에서 비저항=1147.65 $\mu\Omega\text{cm}$, TCR=-186 ppm/°C, 종방향 게이지율=11.17의 양호한 값을 얻었다. 이러한 CrN 박막형 스트레인 게이지는 금속박막형 압력센서에 유용하게 응용할 수 있는 것으로 기대된다.

5. 참고문헌

- [1] I. Obieta and F. J. Gracia, "Sputtered Silicon Thin-Film for Piezoresistive Pressure Microsensors", *Sensor & Actuators*, 41, pp. 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, pp. 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, pp. 521~524, 1993.
- [4] K. Rajanna, S. Mohan, "Thin-Film Pressure Transducer with Manganese Film as The Strain Gauge", *Sensor and Actuators A Vol. 24*, pp. 35-39, 1990.
- [5] W. Hongye, L. Kun, A. Zhichou, W. Xu and H. Xun, "Ion-beam Sputtered Thin-Film Strain Gauge Pressure Transducers", *Sensor and Actuators*, Vol. 35, pp. 265-268, 1993.
- [6] S. Sampath and K.V. Ramanaiah, "Behaviour of Bi-Sb Alloy Thin-Film as Strain Gauges." *Thin Solid Films*, vol. 137, pp. 199-205, 1986.
- [7] H. Konishi, T. Suzuki and M. Utsunomiya, "Constantan Thin-Film Strain Gauge Load cell", *Tech. Digest of the 9th sensor symposium*, pp. 149-152, 1990.
- [8] I. Ayerdi, E. Castano, A. Gracia, F. J. Gracia, "Ceramic Pressure Sensor Based on Tantalum Thin-Film", *Sensor and Actuator A*, 41-42, pp. 435-438, 1994.
- [9] Y. Tanaka, T. Ikeda, M. Kelly, "Structure and Properties of $(\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x)\text{N}$ Films Prepared by Reactive Sputtering", *Thin Solid Film*, Vol. 240, pp. 238-241, 1991.