

고온 스트레인 게이지용 질화탄탈박막의 제작

Fabrication of Tantalum Nitride Thin-Film as High-temperature Strain Gauges

최성규*, 나경일**, 남효덕*, 정귀상**

(Sung-Kyu Choi*, Kyung-il Na**, Hoy-Duk Nam*, Gwi-y Sang Chung**)

Abstract

This paper presents the characteristics of TaN thin-film as high-temperature strain gauges, which were deposited on Si substrate by DC reactive magnetron sputtering in an argon-nitrogen atmosphere(Ar-(4~20%)N₂). The electrical and mechanical characteristics of these films investigated with the thickness range 1650~1870Å and room temperature resistivities in the range 178.3 $\mu\Omega\text{cm}$ to 3175.7 $\mu\Omega\text{cm}$. The TaN thin-film strain gauge deposited in Ar-(20%)N₂ atmosphere is obtained a temperature coefficient of resistance(TCR), 0~-1357 ppm/°C in the temperature range 25~275°C and a high temporal stability with a longitudinal gauge factor, 2.92~3.47. Because of their high resistivity, low TCR and linear gauge factor, these cermet thin-film may allow high-temperature strain gauges miniaturization.

Key Words : Strain gauge, TaN thin film, TCR(Temperature Coefficient of Resistance), Gauge factor, Non-linearity

1. 서론

최근의 산업분야에서는 고온에서도 사용 가능한 스트레인의 측정기구가 요구되어지고 있다. 항공우주산업, 재료공정, 의료 및 시스템 제어분야에서도 압력이나 진동의 측정용으로 사용되어지고 있다. 일반적으로 압력센서와 가속도계로 사용되어지는 금속 박막형 스트레인 게이지는 종래의 박 게이지(foil gauge)와는 달리 접착제를 필요로 하지 않기 때문에 크리프 현상이 적고 안정성이 우수하다. 또한, 박막 기술에 의한 고수율과 저가격화가 가능하며 열적 보상이 용이하여 고온에서도 사용가능하다[1-2]. 금속 박막형 스트레인 게이지의 재료로는 Au-Ni합금[3], Mn[4], NiCr합금[5], Bi-Sb[6], Cu-Ni계 합금[7] 등

이 사용되고 있으나, 낮은 게이지율과 비저항값을 가지므로 센서의 감도가 작고, 소형화가 어렵다. 또한, 실리콘에 기반을 둔 반도체식 스트레인 게이지의 경우 높은 게이지율과 비저항값을 가지나 150°C 이상의 온도에서는 사용할 수 없다. 현재 고온용 스트레인게이지로 Si-C나 poly-Si와 같은 다른 반도체 물질들이 연구되고 있으나 재현성과 선형이 떨어진 다[8].

한편, 금속에 비해 각종 세라믹들은 비교적 큰 전 기저항값을 가지며 높은 응력감도와 게이지율을 가지기 때문에 박막 스트레인 게이지의 재료로서 유용하다. 특히, Ta-N은 단단하며, 화학적으로 안정하며, 내부식성, 내진동 및 내열특성이 있으며, 박막으로의 제조시 화학성분의 정확한 제어가 가능하여 재현성이 우수하다는 장점이 있다. 이러한 특성으로 인해 많은 산업용분야에 사용되어지고 있다[2].

본 연구는 고온에서도 사용이 가능한 스트레인게 이저로서 Ta-N 박막의 특성을 분석하는데 그 목적이 있다. DC 반응성 마그네트론 스퍼터링법을 이용

* 영남대학교 전자공학과
** 동서대학교 정보시스템공학부 메카트로닉스전공
(부산시 주례동 동서대학교,
Fax: 051-315-1592
E-mail : gschung@dongseo.ac.kr)

하여 증착시의 질소분압에 따른 Ta-N 박막형 스트레인 게이지의 전기적, 기계적 특성을 분석, 평가하였다. 또한, 최적의 증착조건하에서 제작된 TaN 박막 스트레인 게이지의 전류/전압/온도 특성, 출력의 직선성 등을 분석, 평가하여 금속박막형 압력센서에 응용하고자 한다.

2. 실험

본 실험에서는 DC 반응성 마그네트론 스퍼터링법으로 Si기판 위에 N₂ 분압을 4~20 %까지 달리하면서 TaN 박막을 증착하였다. 실험에 사용된 타겟은 순도 99.9%의 직경 4" 인 탄탈륨이고, 기판은 비저항이 약 4~5 Ω·cm, 두께 430 μm의 p(100)으로 열산화막을 5000Å 성장된 Si기판을 사용하였다. 표 1은 TaN 박막의 증착조건을 나타낸 것이다.

표 1. TaN 박막의 증착조건

증착조건	범위
Target	Ta 4" diameter
DC Power	350 V, 100 mA
Substrate	Si
Target-substrate distance	8 cm
Working gas	Ar : 16.0 ~ 18.4 sccm N ₂ : 1.6 ~ 4.0 sccm
N ₂ /Ar gas rate ratio	4, 8, 12, 16, 20 %
Substrate Temperature	Room Temp.(27°C)
Working pressure	3.5 mTorr

TaN 박막 스트레인 게이지는 lift-off 방법으로 제작하였으며, 질소분압에 따른 박막의 전기적 특성은 면저항 및 두께를 각각 4점 탐침기와 α-step으로 측정하여 분석하였다. 또한, TaN 박막 스트레인 게이지의 온도에 따른 저항의 온도계수(TCR:temperature coefficient of resistance)는 25~275°C의 온도범위에서 측정하였으며, 게이지율(gauge factor)은 cantilever method를 사용하여 측정하였다. 또한, 게이지의 스트레인은 strain-meter를 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 TaN 박막의 질소분압 비율에 따른 비저항의 변화를 나타낸 것이다. 질소분압이 증가할수록 TaN 박막의 비저항이 178.3 μΩ·cm에서 3175.7 μΩ·cm로 증가하였는데, 이것은 질소분압이 낮을 때는 거의 질화하지 않고 금속상으로 증착되던 탄탈륨이 질소분압이 증가함에 따라 질화가 진행되어 저항율이 매우 높은 TaN 특성이 박막의 성질을 지배하기 때문이라고 생각된다[9].

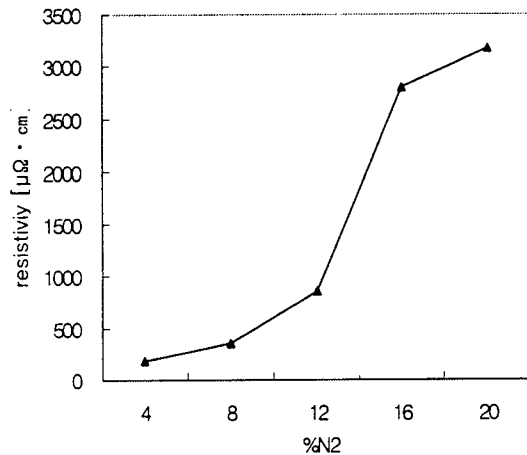


그림 1. TaN 박막의 질소분압 비율에 따른 비저항 변화.

Fig. 1. Variations of resistivity according to N₂ gas rate ratio of TaN thin-films.

그림 2는 제작된 TaN 박막 스트레인 게이지의 질소분압 비율에 따른 25~275°C의 온도범위에서의 TCR값 변화를 나타낸 것이다. 질소분압 4~20 %의 범위에서 증착된 TaN 박막 스트레인 게이지의 TCR값은 전체적으로 음의 값을 나타내었으며, 질소분압이 증가할수록 급격히 증가하였다. 또한, 온도가 올라감에 따라 저항변화율이 더 큰폭으로 변화하였다. 질소분압이 4 %일 때, 25~275°C의 온도범위에서 TCR값은 0~-50 ppm/°C로 매우 낮고, 안정된 저항 변화율을 나타내었으며, 질소분압 20 %의 경우는 200°C에서 1000 ppm/°C 이상의 값을 나타내었다.

그림 3은 TaN 박막 스트레인 게이지의 질소분압에 따른 종방향 게이지율을 나타낸 것이다. 게이지율(gauge factor)은 cantilever method를 사용하여 측정하였다. 질소분압 4~20 %의 범위에서 게이지율이 2.92에서 7.38까지 나타났는데, 질소분압이 16 %일 때 가장 큰 값을 나타내었다.

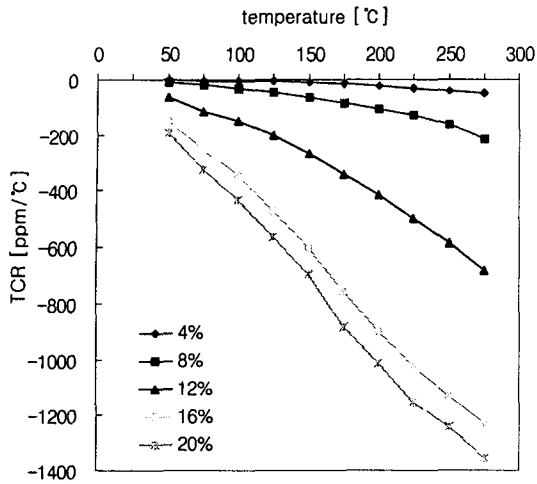


그림 2. TaN 박막형 스트레인 게이지의 온도에 따른 저항변화율 변화.

Fig. 2. Variations of TCR according to N₂ gas rate ratio of TaN thin-film strain gauge.

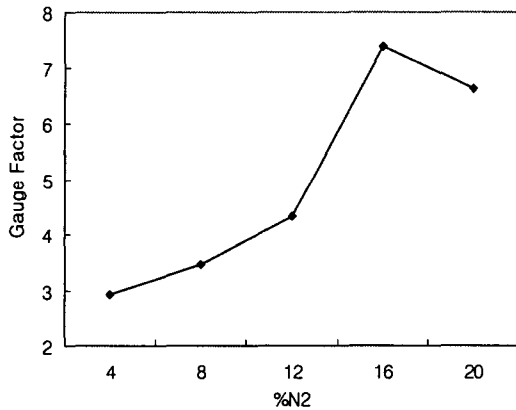


그림 3. TaN 박막 스트레인 게이지의 질소분압에 따른 게이지율.

Fig. 3. Variations of gauge factor according to N₂ gas rate ratio of TaN thin-film strain gauge.

그림 4은 질소분압 8 %에서 증착한 TaN 박막 스트레인 게이지의 스트레인에 따른 저항변화율을 나타낸 것이다. 외부의 인가 응력에 따라 저항변화율이 거의 선형적으로 변하는 것을 알 수 있으며, 2.87 %FS의 비선형성을 나타내었다.

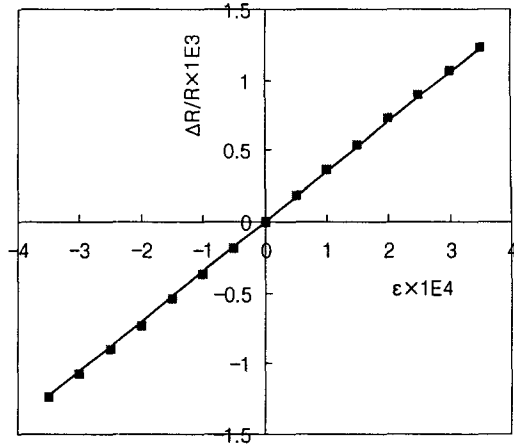


그림 4. TaN 박막형 스트레인 게이지의 응력에 따른 저항변화율.(질소분압 : 8 %)

Fig. 4. Relative resistance change of TaN thin-film strain gauge according to longitudinal strain.(N₂ gas rate ratio : 8 %)

그림 5은 질소분압 8 %에서 증착한 TaN 박막 스트레인 게이지의 전류/전압/온도 특성을 나타낸 것이다. 저항은 측정동안 일정하게 유지하였으며, 이 현상은 금속 전도 메커니즘과 일치한다. TaN 박막의 높은 비저항값과 negative TCR값은 전도전자의 평균자유행정이 매우 작기 때문이다[10].

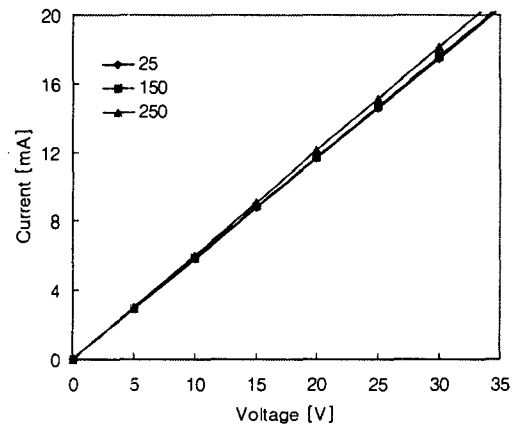


그림 5. TaN 박막 스트레인 게이지의 전류/전압/온도 특성.(질소분압 : 8 %)

Fig. 5. I/V/T Characteristics of TaN thin-film strain gauge.(N₂ gas rate ratio : 8 %)

4. 결 론

본 연구에서는 DC 반응성 마그네트론 스퍼터링법으로 4~20%의 범위의 질소분압에 따라 증착된 TaN 박막 스트레인 게이지의 여러 특성을 분석·평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 질소분압이 증가할수록 TaN 박막의 비저항이 증가하였으며, 질소분압 20% 이상에는 $3000 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 이상의 값을 가졌다.
- ② 질소분압이 증가할수록 TCR값은 증가하였으며 4%의 질소분압에서 증착된 TaN 박막 스트레인 게이지의 경우, 25~275°C의 온도범위에서 TCR값은 0~-50 ppm/°C로 매우 낮고, 안정된 저항변화율을 나타내었다.
- ③ 16%의 질소분압에서 증착된 TaN 박막 스트레인 게이지의 게이지율이 7.38로 가장 큰값을 나타내었다.
- ④ 8%의 질소분압에서 증착된 TaN 박막 스트레인 게이지의 스트레인에 따른 저항변화율의 비직선성은 2.87 %FS로 선형적인 출력특성을 나타내었다.

이상의 결과에서, TaN 박막은 고온에서도 사용이 가능한 스트레인 게이지로서 유용하게 응용할 수 있는 것으로 기대된다.

5. 참고 문헌

- [1] I. Obieta and F. J. Gracia, "Sputtered silicon thin film for piezoresistive pressure microsensors", *Sensors & Actuators A*, vol. 41, pp. 521~688, 1994.
- [2] I. Ayerdi, E. Castano, Garcia-Alonso and F. J. Gracia, "Characterization of tantalum oxynitride thin films as high-temperature strain gauges", *Sensors & Actuators A*, vol. 46-47, 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*, vol. 40, pp. 521~524, 1993.
- [4] K. Rajanna and S. Mohan, "Thin-film pressure transducer with manganese film as the strain gauge", *Sensors & 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", *Sensors & Actuators A*, 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. Dig. of the 9th Sensor Symposium*, pp. 149~152, 1990.
- [8] V. Mosser, J. Suski, and J. Goss. "Piezoresistive pressure sensors based on polycrystalline silicon", *Sensors & Actuators A*, vol. 28, pp. 113~132, 1991.
- [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).
- [10] I. Ayerdi, E. Castano, A. Gracia, F. J. Gracia, "Ceramic Pressure Sensor Based on Tantalum Thin-Film", *Sensor and Actuator A*, vol. 41-42, pp. 435-438, 1994.