

고정밀 저항용 질화탄탈 박막의 특성

Characteristic of Tantalum Nitride Thin-films for High Precision Resistors

최성규*, 나경일**, 남효덕*, 정귀상**

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

Abstract

This paper presents the characteristics of Ta-N thin-film for high precision resistors, which were deposited on Si substrate by DC reactive magnetron sputtering in an argon-nitrogen atmosphere(Ar-(4~16 %)N₂). Structural properties studied using X-ray diffraction(XRD) indicate the presence of TaN, Ta₃N₅ or a mixture of Ta-N phases in the films depending on the amount of nitrogen in the sputtering gas. The chemical composition are investigated by auger electro spectroscopy(AES). The optimized conditions of Ta-N thin-film resistors were deposited in 4 % N₂ gas flow ratio. Under optimum conditions, the Ta-N thin-film resistors are obtained a high resistivity, $\rho=305.7 \mu \Omega \text{cm}$, a low temperature coefficient of resistance, TCR=-36 ppm/°C.

Key Words : Thin-film resistor, Ta-N thin-film, Sputtering, TCR(Temperature Coefficient of Resistance),

1. 서 론

최근 정보통신 및 전자산업이 발전함에 따라 반도체회로의 소형화, 고집적화 및 고정밀화가 활발히 진행되고 있으며, 따라서, 고기능, 고정밀, 초소형 전자부품의 개발이 절실히 요구되고 있다. 그중 많이 사용되고 있는 박막저항소자는 회로 설계의 간소화, 회로내의 잡음 감소, 신호처리 등을 위해 고정밀, 고저항화 되어야 한다. 이러한 고정밀 박막저항소자는 제조가 용이하며, 재현성이 우수하며, 전기적, 화학적으로 안정하며, 비저항이 높고, 저항온도계수(TCR : Temperature Coefficient Resistance)가 작아야 한다.

현재 많이 연구되고 있는 박막저항체는 Ni-Cr, Cu-Mn, Ni-Cr-Si, Ta-N 등이 있다. 특히 Ta-N은 고저항체 형성이 용이하며, 화학적으로 안정하며, 내부식성, 내진동 및 내열특성이 있으며, 박막으로의

제조시 화학성분의 정확한 제어가 가능하여 재현성이 우수하다는 장점이 있다. 이러한 특성으로 인해 Ta-N은 전자 및 광소자 등 많은 산업응용분야에 사용되고 있다[1-7]. Ta-N 박막은 PVD와 CVD 기술로 증착되며, 일반적으로 스퍼터링법을 가장 많이 사용하고 있다. 이것은 증착시의 미세구조에서의 차이로 인해 스퍼터링된 Ta-N 박막이 보다 높은 열적 안정성을 가지기 때문이다[8-9].

본 연구는 고정밀 박막저항용으로서 TCR값이 거의 zero에 가까운 Ta-N 박막을 개발하는데 그 목적이 있다. DC 반응성 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 증착시의 질소분압(4~16 %)에 따른 Ta-N 박막의 전기적, 구조적 특성을 분석, 평가하였다.

2. 실험

본 실험에서는 DC 반응성 마그네트론 스퍼터링법으로 Si기판 위에 질소분압을 4~16 %까지 달리하면서 Ta-N 박막을 증착하였다. 실험에 사용된 타겟은 순도 99.9 %의 직경 4" 인 탄탈륨이고, 기판은

* : 영남대학교 전자공학과

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

비저항이 약 4~5 $\Omega \cdot \text{cm}$, 두께 430 μm 의 p(100)으로 열산화막을 5000Å 성장된 Si기판을 사용하였다. 표 1은 Ta-N 박막의 증착 조건을 각각 나타낸 것이다.

표 1. Ta-N 박막의 증착 조건.

Table 1. Deposition conditions of Ta-N thin-films.

증착조건	범위
Target	Ta 4" diameter
DC Power	310 V, 100 mA
Substrate	Si
Target-substrate distance	8 cm
Working gas	Ar : 19 sccm N ₂ : 0.8~ 3.6 sccm
N ₂ gas flow ratio	4, 6, 8, 10, 12, 16 %
Substrate Temperature	Room Temp.(27°C)
Working pressure	4.8 mTorr

Ta-N 박막 저항체는 lift-off 방법으로 제작하였으며, 질소분압에 따른 박막의 전기적 특성은 면저항 및 두께를 각각 4점 탐침기와 α -step으로 측정하여 분석하였다. Ta-N 박막 저항체의 온도에 따른 저항의 온도계수(TCR: temperature coefficient of resistance)는 25~125°C의 온도범위에서 측정하였다. 또한, Ta-N 박막의 물리적 특성은 SEM과 XRD를 이용하여 박막의 미세표면구조 및 결정성을 각각 분석하였으며, AES로 조성비를 분석·평가하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 다양한 질소분압에서 증착된 Ta-N 박막의 질소 원자 성분의 농도(N/Ta) 변화를 나타낸 것이다. 질소분압이 증가할수록 질소 농도의 증가와 탄탈륨 원소의 감소가 나타났다. AES 분석으로 Ta-N 박막 증착시 충분한 양의 질소가 함유될수 있다는 것을 알 수 있다. 그림 3의 XRD 회절패턴에서 넓은 영역의 완만한 피크를 나타낸 4%의 질소분압에서 증착된 Ta-N 박막은 약 65%의 질소를 포함하고 있다. 8% 질소분압에서는 N/Ta의 조성비가 1 정도의 값을 나타내었는데, XRD분석에서는 화학량론적인 TaN상이 나타난 영역이다[1].

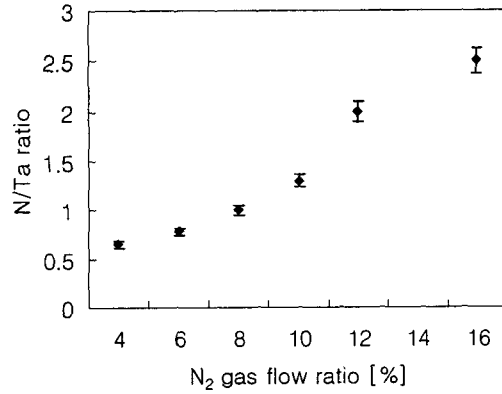


그림 1. Ta-N 박막의 질소분압비에 따른 N/Ta의 조성비 변화.

Fig. 1. Variations of N/Ta ratio patterns according to N₂ gas flow ratio of Ta-N thin-films.

그림 2는 4%의 질소분압에서 증착된 Ta-N 박막의 표면에서 내부로의 깊이에 따른 원자 성분의 농도를 구하기 위한 AES 분석 데이터를 나타낸 것이다. 산소와 카본의 5%이하로 나타났다. Si기판위에 증착된 Ta-N 박막은 탄탈륨과 질소가 내부에 고르게 분포된 것을 알 수 있다.

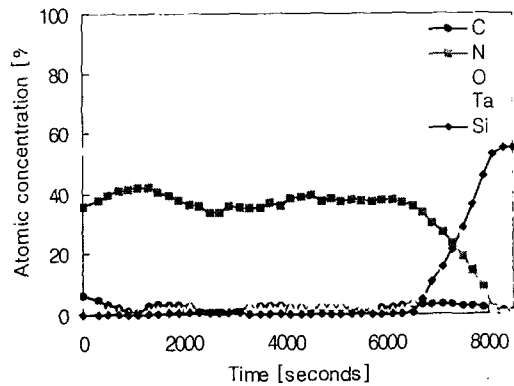


그림 2. 4%의 질소분압비에서 증착된 Ta-N 박막의 auger depth profile.

Fig. 2. Auger depth profile for a deposited Ta-N thin-film with N₂ gas flow ratio of 4%.

증착된 Ta-N 박막의 비저항과 구조적 특성의 상관성을 이해하기 위해서 XRD분석을 하였다. 그림 3은 질소분압에 따른 Ta-N 박막의 XRD 회절 패턴

을 나타내었다. 6 %이하의 낮은 질소분압에서 증착된 Ta-N 박막의 XRD 패턴에서는 넓은 비정질피크가 나타났다. 이것은 BCC-Ta(110), β -TaN_{0.04}(411), TaN_{0.1}(110) 피크들의 합이라고 사료된다. 8 %의 경우에는 35.4°의 좁은피크인 화학량론의(stoichiometric) TaN상이 나타나기 시작했다. 이러한 피크는 결정질의 FCC-TaN(111)상과 유사하다. 12 % 이상의 질소분압일 때, 비저항값은 매우 큰값을 가졌는데, 이 때의 XRD 패턴은 Ta와 N의 완전한 비정질의 관련된 피크를 가졌다.

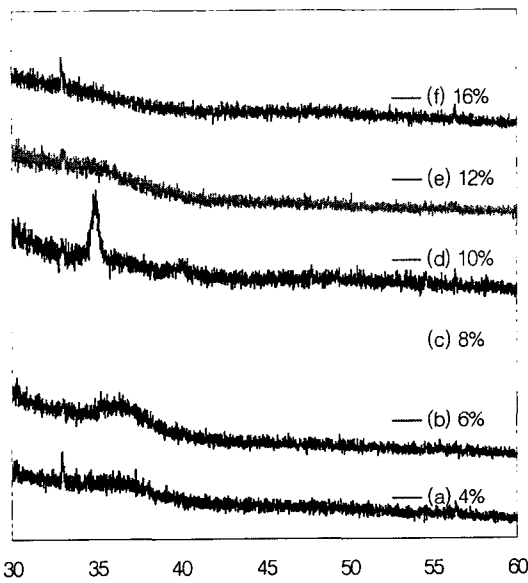


그림 3. Ta-N 박막의 질소분압비에 따른 XRD 회절 패턴.

Fig. 3. XRD patterns according to N₂ gas flow ratio of Ta-N thin-films.

그림 4는 Ta-N 박막의 질소분압 비율에 따른 증착률과 비저항값의 변화를 나타낸 것이다. 모든 박막은 1시간동안 증착되었으며, α -step과 4-point probe로 두께 및 면저항을 측정하여 증착률과 비저항을 계산하였다. 증착률은 질소분압 6 %에서 48.3 Å/min로 최대였으며, 질소분압이 증가할수록 감소하였다. 질소분압 4~16 %내에서 305.7 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 에서 3887 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 로 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 사료된다. 또한, Ta-N 박

막 저항체의 TCR값은 -36 ~ -361 ppm/°C로 모두 음의 값을 나타내었으며, 질소분압이 증가할수록 급격히 증가하였다.

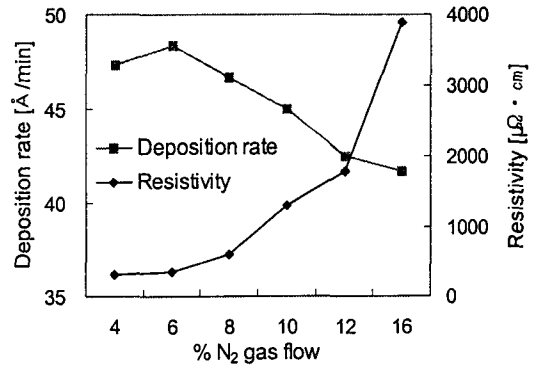


그림 4. Ta-N 박막의 질소분압비에 따른 증착률 및 비저항 변화.

Fig. 4. Variations of deposition rate and resistivity according to N₂ gas flow ratio of Ta-N thin-films, respectively.

그림 5는 Ta-N 박막 저항체의 질소분압 비율 따른 TCR값의 변화를 나타낸 것이다. Ta-N 박막의 TCR은 lift-off 방법으로 박막 저항체 패턴을 형성한 다음, 25°C와 125°C일 때의 게이지의 저항값을 측정하여 TCR값을 구하였다. 질소분압 4~16 %의 범위에서 증착된 Ta-N 박막형 스트레인 게이지의 TCR값은 -36 ~ -591 ppm/°C로 모두 음의 값을 나타내었으며, 질소분압이 증가할수록 급격히 증가하였다.

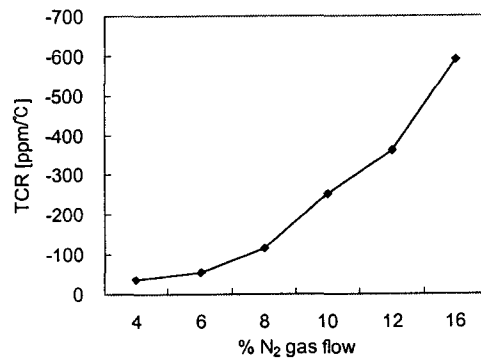


그림 5. Ta-N 박막의 질소분압에 따른 TCR 변화.

Fig. 5. Variations of TCR according to N₂ gas flow ratio of Ta-N thin-films.

4. 결 론

본 연구에서는 DC 반응성 마그네트론 스퍼터링법으로 증착시의 4~16 %의 범위의 질소분압에 따른 고정밀 박막저항용 Ta-N 박막 저항체의 여러 특성을 분석·평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 질소분압이 증가할수록 질소 농도의 증가와 탄탈륨 원소의 감소가 나타났다. 8 % 질소분압에서는 N/Ta의 조성비가 1정도의 값을 나타내었다.
- ② 질소분압이 증가할수록 Ta-N 박막의 비저항이 증가하였으며, 질소분압 16 %이상에는 $3887 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 이상의 값으로 거의 절연막을 형성하였다.
- ③ Ta-N 박막 저항체의 TCR값은 $-36 \sim -361 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 로 모두 음의 값을 나타내었으며, 질소분압이 증가할수록 급격히 증가하였다.

결과적으로 비저항값, TCR을 고려하여 4 %의 질소분압에서 증착한 Ta-N 박막 저항체가 가장 이상적이었다. 이러한 조건에서 제작한 Ta-N 박막 저항체는 비저항 $305.7 \mu\Omega \text{cm}$, TCR $-36 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 의 양호한 값을 얻었다. 따라서, Ta-N 박막 저항체는 고정밀 박막저항용으로 유용하게 응용할 수 있는 것으로 기대된다.

5. 참고 문헌

- [1] K. radhakrishnam, N. G. Ing and R. Gopalakrishnan, "Reactive sputter deposition and characterization of tantalum nitride thin films", *Materials Science and Engineering*, B57, pp. 224-227, 1999
- [2] C. L. Au, W. A. Anderson, D. A. Schmitz, J. C. Flassayer and F. M. Collins, "Stability of tantalum nitride thin film resistors", *J. Mater. Res.*, vol. 5, pp. 1224-1232, 1990
- [3] W. H. Lee, J. C. Lin and C. Lee, "Characterization of tantalum nitride films deposited by reactive sputtering of Ta in N_2/Ar gas mixtures", *Materials Chemistry and Physics*, vol. 68, pp. 266-271, 2001.
- [4] X. Sun, E. Kolawa, J. S. Chen, J. S. Reid and M. A. Nicolet, "Properties of reactively sputter-deposited Ta-N thin-films", *Thin Solid Films*, vol. 236, pp. 347- , 1993.
- [5] Milton Ohring, "The materials science of thin films", *The Matirials Science of Thin Films*, Academic Press, pp. 451-464, 1992
- [6] M. Stavrev, C. Wenzel, A. Moller and K. Drescher, "Sputtering of tantalum-based diffusion barriers in Si/Cu metallization effects of gas pressure and composition", *Appl. Surf. Sci.*, vol. 91, pp. 257-262, 1995
- [7] M. Stavrev, D. Fischer, C. Wenzel, K. Drescher and N. Mattern, "Crystallographic and morphological characterization of reactively sputtered Ta, Ta-N and Ta-N-O thin films", *Thin Solid Films*, vol. 307, pp. 79-88.
- [8] M.L. Lovejoy, G. A. Patrizi, D. J. Rieger and J. C. Barbour, "Thin-film tantalum-nitride resistor technology for phosphide-based optoelectronics", *Thin Solid Films*, vol. 290, pp. 513, 1996
- [9] M.H. Tsai, S. C. Sun, C. E. Tasi, S. H. chuang and H. T. Chiu, "Comparison of the Diffusion Barrier Properties of Chemical-Vapor-Deposited TaN and Physical-Vapor-Deposited TaN between Cu and Si", *J. Appl. Phys.*, vol. 79, pp. 6932, 1996