

TaN/Al₂O₃ 집적화 박막 저항소자 개발에 관한 연구

° 김인성, 조영란, 민복기, 송재성
한국전기연구원 전자기소자연구그룹

A study on integrated device TaN/Al₂O₃ thin film resistor development

I. S. Kim, Y. R. Cho, B. K. Min, J. S. Song
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - In recent years, the tantalum nitride(TaN) thin-film has been developed for the electronic resistor, inductor and capacitor.

In this papers, this study presents the surface profile and sheet-resistance property relationship of reactive-sputtered TaN thin film resistor processed by TaN(tantalum nitride) on alumina substrate. The TCR properties of the TaN films were discussed in terms of crystallization and thin films surface morphology due to annealing temperature.

It is clear that the TaN thin-films resistor electrical properties are low TCR related with it's annealing temperature and ambient annealing condition. Respectively, at 300~400 °C on vacuum and nitrogen annealed thin film resistor having a good thermal stability and lower TCR properties then as deposited thin films expected for the application to the dielectric material of passive component.

그리고 N₂ 분위기에서 각각 300, 400, 500 °C로 30 분씩 열처리하였다. 제조된 박막의 두께와 표면 거칠기는 α -step, AFM(atomic force microscopy)과 SEM (scanning electronic microscopy)을 이용하여, 평균 거칠기(Ra)와 RMS(root means square)값을 측정하고 표면을 분석하였으며, 열처리에 의한 결정학적 분석을 위해 XRD(x-ray diffraction) 회절분석을 하였으며, 전기적인 특성을 알아보기 위하여 High Voltage Source Measurement Unit (Keithely 237, U.S.A.)을 이용하여 항온조에서 상온에서 150 °C까지 승온 시켜가면서 4-point probe 방법으로 표면 저항을 측정한 후, 저항, TCR을 계산하였다. 표 1에 저항 박막의 제조 조건을 표 2에 열처리 조건을 나타내었다.

1. 서 론

저항 소자는 전기·전자·통신 등의 폭넓은 분야에서 인덕터, 커패시터와 함께 사용되는 매우 중요한 수동소자 부품으로써 이동 통신과 컴퓨터 등의 전자 산업이 고도화됨에 따라 고기능·고정밀·초소형 부품의 개발이 요구되고 있다. 이러한 고기능, 고정밀 저항체를 개발하기 위해서는 저항체에 사용되는 재료의 특성이 적합해야 하며, 비저항치가 안정하고, 저항온도계수(TCR : temperature coefficient of resistance)가 작아야 한다.

본 연구에서는 수동소자 집적화를 위한 재료 및 공정 기술 개발을 위하여 화학적으로 안정하고 선형적인 TCR 특성을 갖는 재료로 알려진 Ta(tantalum)을 선택하고, N₂ 반응성 고주파 스퍼터링법을 이용하여 TaN(tantalum nitride) 박막 저항체를 제조한 후, 질소와 진공 분위기에서 열처리하여 결정화 물성, 표면 거칠기, 온도저항 계수 등을 측정하여 박막 저항 소자로의 적용 가능성을 조사하였다.

2. 실 험

$2.7 \times 10^8 (\Omega/\square)$ 의 저항을 갖는 21×21mm 알루미늄 기판을 10% 불산에 cleaning 한 후 sputter 가스 Ar의 유량을 50 sccm, 반응성 가스 N₂의 유량을 2.7 sccm으로 MFC(mass flow controller)를 이용하여 일정하게 유지한 다음 TaN 박막을 제조하였다. 초기 3×10^6 torr의 진공도를 유지하였고, 스퍼터링중에는 5×10^{-3} torr이었으며, 방전 전력은 200 W로 10분으로 고정하였다. Ta (tantalum) target은 4 inch이고 기판의 온도는 상온이다. 제조된 TaN 박막은 진공분위기

표 1. TaN 박막 제조 조건.

Table 1. The fabrication condition of TaN resistor thin films

deposition parameter	condition
base pressure	less than 3×10^{-6} torr
working pressure	5×10^{-3} torr
substrate	Al ₂ O ₃
target	Ta (99.99%)
rf power	200 W
sputtering gas	Ar (99.99%)
reactive gas	N ₂ (99.99%)

표 2. TaN 박막의 annealing 조건

Table 2. The annealing condition of TaN resistor thin films.

parameter	condition
승온속도	10 °C/min
annealing 온도	300, 400, 500 °C
유지시간	30 min
분위기	N ₂ (50 sccm), vacuum

3. 결과 및 고찰

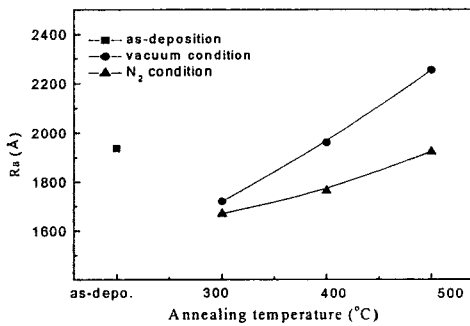
반응성 스퍼터 방법으로 제조하여 진공과 질소 분위기에서 어닐링한 TaN 박막 저항체를 α -step으로 표면 거칠기를 측정한 결과 표 3과 그림 2에 나타내었다. 그림 2의 (a) Ra는 표면 거칠기의 평균값(roughness average)이며, (b) Rq는 표면 거칠기의 RMS(root means square)값이다. (a)의 경우는 고온에서 어닐링 할수록 표면 거칠기는 증가하는 것으로 나타났으나, Rq는 크게 변화하지 않았다. 그러나 표면 상태를 측정하는 surface profile의 경우 Ra, Rq는 서로 상관 관계가 있음에도 각각 다른 경향성을 나타냄으로 부분 적인 거칠기와 측정 방법에 따라 경향은 서로 달라지는 것으로

표 3. TaN/Al₂O₃의 표면 거칠기

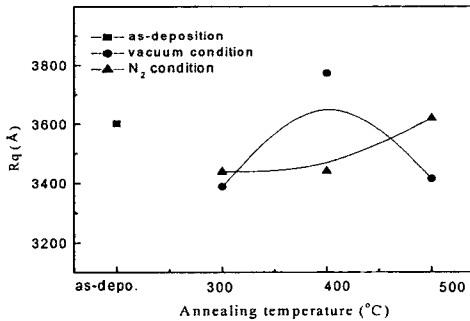
Table 3. Roughness of TaN resistor thin films

	as-depo.	진공 분위기 열처리			N ₂ 분위기 열처리		
		300℃	400℃	500℃	300℃	400℃	500℃
Ra(Å)	1937	1670	1765	1924	1721	1961	2253
Rq(Å)	3602	3438	3441	3620	3388	3772	2764

조사되어 이에 따른 연구가 보다 많이 필요하였다. 그러나 일반적인 이론으로는 어닐링 온도가 높을수록 거칠기가 증가하고 표면 저항이 증가하는 경향으로 알려져 있음으로 거칠기의 경향은 그림 2의 (a)를 따르는 것으로 사료된다. 또한 본 실험의 결과에서도 그림 3에서와 같이 그런 결론을 추론할 수가 있었다.



(a)



(b)

그림 2. TaN/Al₂O₃ 박막의 표면 거칠기

Fig. 2 The surface roughness of TaN/Al₂O₃ thin films. (a) Ra, (b) Rq.

알루미늄 기판 위에 증착된 TaN 박막은 진공 분위기와 N₂ 분위기의 열처리에 따른 표면 저항(Rs)은 각각 그림 1에서 보여지는 바와 같이 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다. 이는 열처리 온도가 증가함에 따라서, 결정화가 이루어지고 이에 따라서 표면의 거칠기도 증가하여, 표면 저항 값을 증가시키는 것으로 보여진다. 또한 진공 분위기의 어닐링이 질소 분위기에서 어닐링한 것 보다 더 큰 이유는 Ta가 질소와 결합하여 질화됨으로 저항이 더 작아지는 것으로 보아지면 반대로 진공 분위기에서 어닐링될 경우 질소분위기의 어닐링보다 저항이 다소 증가하는 결과로 나타냄으로 어닐링 온도에 의존하는 물성을 갖는 것으로 생각된다. [1].

그림 3은 Al₂O₃ 기판 위에 증착된 TaN박막을 질소와 진공분위기 중에서 열처리한 시편의 X-선 회절패턴을 보여주고 있다. 그림 3의 (a)와 (b) 모두 전체적으로 열처리 온도에 따라 유사한 경향을 보여주고 있으며,

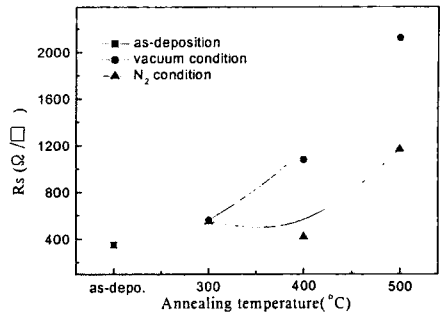
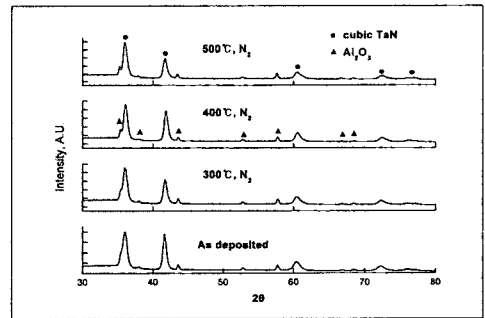
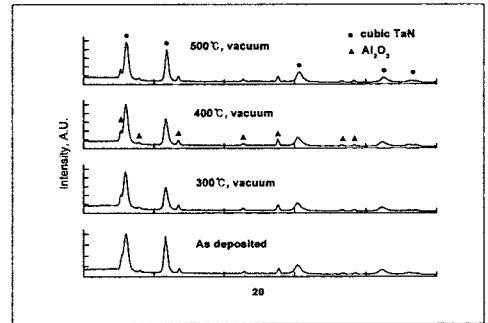


그림 3. TaN/Al₂O₃의 표면저항(Rs)

Fig. 1. sheet resistivity of TaN/Al₂O₃ thin film resistor as a function of annealing temperature



(a)



(b)

그림 3 TaN박막의 X-선 회절패턴의 변화.

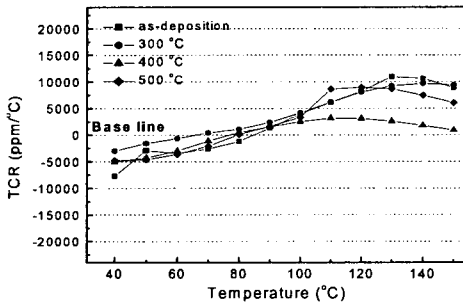
Fig 3 X-ray diffraction of TaN thin films

열처리 온도가 상승함에 따라 36° 부근의 입방정 TaN (100) peak가 보다 선명해 지며, Al₂O₃의 피크와 분리되어 감을 알 수 있다. 이는 열처리에 따라 TaN막의 결정화 정도가 커짐과 동시에 결정립이 성장해가는 것을 의미하는 것이다. 이러한 해석은 X-ray 회절 peak들로부터 TaN박막의 격자상수와 결정립자의 크기를 계산해 보면 명확해 진다. 또한 열처리온도에 따른 TaN박막의 격자상수 a의 변화를 보여주는 것으로써, 열처리 온도가 상승함에 따라 격자상수가 지속적으로 감소하는 것을 볼 수 있다. sputtering법에 의해 TaN박막을 성장시키면, 박막의 결정구조와 기판의 결정구조의 다르기 때문에, 박막은 안정한 bulk상의 결정구조와는 달리 격자상수 및 단면위 불규칙 변형이 큰 상태로 성장하게 되고, 이에 따라 큰 변형응력이 박막에 축적되게 된다. 열처리를

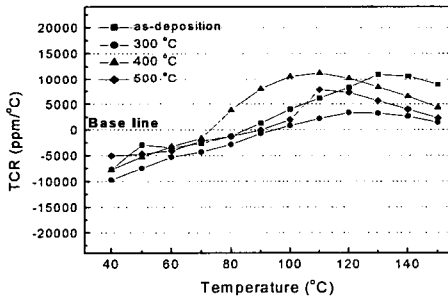
하면, 이 변형 응력이 풀리면서, 결정구조는 점차 bulk 상의 것에 접근하게 되고, 격자상수는 감소하게 된다. 열처리 분위기에 대한 효과를 보면, 진공에서 열처리한 경우가 보다 더 신속하게 격자상수가 감소하고 있으며, 이로부터 진공 중 열처리가 TaN 박막의 결정화 과정에 보다 유리함을 알 수 있다. TaN의 결정화도는 저항의 크기 및 TCR 특성과 비례하므로, 진공 중 열처리의 경우가 높은 저항 및 우수한 TCR 특성을 TaN 박막에 부여함을 알 수 있었다.

$$TCR(ppm/^{\circ}C) = \frac{(R - R_0)}{R_0} \times \frac{1}{(T - T_0)} \times 10^6$$

R : T °C에서의 저항
R₀ : T₀ °C에서의 저항
T : 초기 측정 온도
T₀ : 변화된 온도



(a)

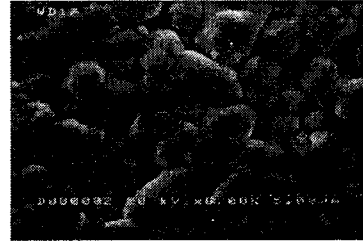


(b)

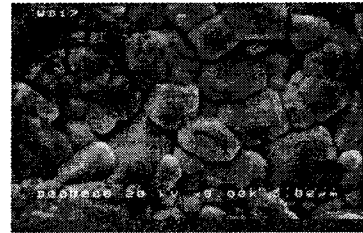
그림 4. TaN/Al₂O₃ 박막 저항체의 TCR
Fig. 4 TCR of TaN/Al₂O₃ thin film resistor. (a) vacuum, (b) N₂ condition

TaN 박막 저항체의 전기적인 특성을 알아보기 위해 항온조를 이용하여 상온에서 150 °C까지 승온했을 때, 변화되어지는 저항을 측정하여 TCR을 계산하여 4와 5에 각각 나타내었다. TCR 특성은 위의 식을 이용해 계산하였으며, 진공 분위기에서 열처리한 박막은 N₂ 분위기에서 열처리한 박막보다 안정된 TCR 특성을 나타내었다. 일반적으로 진공 분위기에서 서서히 어닐링하게 되면 near-zero에 가까운 TCR 특성을 갖는다고 보고되고 있지만 본 연구에서는 다만 질소 분위기보다 좀 낮은 TCR 특성만을 나타내었다. 그러나 그림 4의 (a)에서 300 °C 진공 분위기에서 어닐링한 경우 거의 zero에 가까운 TCR 결과를 볼 수 있었으며, 그림 3의 XRD 분석 결과에서 설명한 것과 같이 결정화에 의한 전기적인 물성이 개선된 것으로 생각되어진다[2]. 그림 5는 제조된 TaN 박막의 SEM image이다. as-deposition 상태와 진공 500 °C, N₂ 500 °C 열처리한 상태를 비교할 때, 박막 표면에서의 grain이나 굴곡 형상은 거의

변화되지 않았으며, 둥글고 길쭉한 입자들이 연속적으로 연결되어 있음을 관찰할 수 있었다.



(a)



(b)



(c)

그림 5. TaN/Al₂O₃ 박막의 SEM 이미지
Fig. 5. SEM image of TaN/Al₂O₃ thin film resistor. (a) as-deposition, (b) vacuum 500 °C, (c) N₂ 500 °C

4. 결 론

알루미늄 기판에 TaN 박막을 증착하여 진공과 질소 분위기에서 각각 300 °C, 400 °C, 500 °C로 열처리하여 구조 분석과 표면 전기저항을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

어닐링 온도의 증가와 비례하여 표면 거칠기는 증가하였고, 아울러 표면 저항도 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 TCR과 XRD를 측정 분석한 결과 결정화되면서 안정한 TCR 특성을 나타내는 것으로 조사되었으며, 더욱이 진공중에서 어닐링 할 경우 거의 zero에 가까운 TCR를 갖는 것으로 나타났다. 결정화된 SEM 이미지를 분석한 결과 박막의 표면은 크게 상이 변화되지는 않았으며, 알루미늄 기판 위에 구현된 박막 저항 소자는 R L C 수동소자 집적화의 저항소자로 기여할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- (1) H. B. Nie, structural and electrical properties of tantalum nitride thin films fabricated by using reactive radio-frequency magnetron sputtering, appl. phys. A(2000)
- (2) C.L. Au and W.A. Anderson, Stability of tantalum nitride thin film resistors, J. Mater. Res., Vol. 5, No. 6, Jun 1990