

## As-deposited TaN 박막의 열처리 온도에 따른 특성 변화

### Characteristics of As-deposited TaN Thin Films by Annealing Temperature

허정섭\*, 김인성\*\*, 송재성\*\*, 김현식\*  
(J. S. Heo\*, I. S. Kim\*\*, J. S. Song\*\*, H. S. Kim\*)

#### Abstract

반응성 스퍼터링법으로 TaN film을 증착한 후 열처리온도에 따라 TaN 박막의  $R_s$ (sheet resistance) 특성을 평가하고 미세구조 변화에 따른 전기적 특성 변화를 고찰하였다. TaN 박막을 열처리한 결과 400 °C에서 600 °C까지는 (110)의 회절피크만 보이다가 700 °C에서는 (200)의 회절 피크가 나타났고 특히 as-deposition 상태와 300 °C 열처리시에는 Ta와 TaN 상이 혼재한 상태로 나타났으며 전기저항 변화는 as-deposition 상태가 140Ω/□로 가장 높았으며 열처리 온도가 증가함에 따라 저항은 점차적으로 감소하다가 600 °C와 700 °C에서는 전기저항이 다시 증가하였다. 500 °C까지는 표면 형상이나 표면조도보다는 열처리 온도의 증가에 따른 TaN 박막의 결정구조 변화가 전기저항에 영향을 주는 주 요인으로 작용하고, 600 °C와 700 °C 열처리에 결정립의 증가에도 불구하고 전기저항이 증가하는 것은 고온 열처리에 의한 표면조도가 증가하였기 때문이라고 생각된다.

**Key Words :** TaN thin film, reactive sputtering, AFM, Root mean square

#### 1. 서 론

세계의 저항시장은 전자부품의 집적화, 사용 주파수의 고주파화에 따라 급속도로 기존의 후막에서 박막으로 전환되고 있는 상태이다. 이에 따라 고기능, 고정밀한 박막저항의 제작은 전기재료의 중요한 한 부분이 되었다.[1] 이와 같은 고품위의 박막저항소자가 갖추어야 할 조건으로는 첫째, 전극과의 기계적 접촉이나 마모없이 장시간 견뎌야 하고, 고온에서 산화되지 않아야 하며 둘째, 비저항이 높고, 저항온도계수(TCR : Temperature Coefficient of Resistance)가 zero에 가까운 재료이어야 한다. 이러한 고기능, 고정밀 저항체를 개발하기 위해서는 저

항체로 사용되는 재료의 특성이 적합하여야 하는데, 이들의 요구특성은 비저항이 크고, 저항온도계수가 작아야 하며, 사용분위기에서 화학적으로 안정해야 한다.

이러한 박막 저항체를 고정밀·고저항체화하는 방법으로 현재 가장 많이 이용되고 있는 방법은 물리 증착법 중 스퍼터링법이다. 이러한 스퍼터링법을 이용하여 가장 많이 연구되어 온 박막 저항체로는 Ni-Cr, Cu-Mn, Ni-Cr-Si과 Ni-Cr-Al 등이 있으나, 이들 저항체의 경우에는 고주파 감쇠를 위한 고저항체(sheet resistance :  $\geq 1k\Omega/\square$ ) 형성이 어렵고, 저항온도계수의 특성이  $\pm 200$  ppm/°C 이상이므로 정밀한 전자·전기제품의 회로를 제조함에 있어서는 부적합하다. [2,3]

따라서 본 연구에서는 현재 새로운 저항체의 재료로 각광을 받고 있고, 전세계적으로 많은 연구가 이루어지고 있는 TaN을 선정하였고, 또한 기존의 연

\* (주) 매트론 기술연구소  
(경남 마산시 월영동 449번지,  
Fax: 055-246-0064, E-mail:jshuh@mattrone.com)

\*\* 한국전기연구원 전자기소자연구그룹

구는 N<sub>2</sub> 유량의 변화에 따른 특성 분석에 국한되었기 때문에 본 연구에서는 반응성 스퍼터링법[4]으로 TaN film을 증착한 후 열처리 온도에 따라 TaN 박막의 R<sub>s</sub>(sheet resistance)와 TCR 특성을 평가하고 미세구조 변화에 따른 전기적 특성 변화를 고찰하고자 하였다.

## 2. 실험방법

본 연구에서는 TaN 비정질 박막을 RF 마그네트론 스퍼터링 장치를 이용하여 (100)으로 배향된 Si-wafer 위에 0.5 μm의 두께로 증착하였다. 초기 진공도는 3×10<sup>-6</sup> torr 이하이고, 플라즈마 발생기체인 Ar 유량은 10 sccm로 고정시키고 반응성 기체로 N<sub>2</sub>를 0.5 sccm으로 하여 200W, 5×10<sup>-3</sup> torr에서 증착하였다.

증착된 TaN 박막의 열처리 온도에 따른 특성 변화를 고찰하기 위하여 진공 열처리 장치를 이용하여 진공도를 10<sup>-6</sup> torr 이하로 한 후, 10 °C/min의 승온 속도로 300~700 °C의 온도 범위에서 30분 동안 열처리를 행한 후 fan을 이용하여 상온까지 냉각시켰다.

증착된 박막의 두께는 표면 단차 측정기(α-step)와 주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM)을 이용하여 측정하였고, 전기 비저항은 Promatrix Corp.사의 Versa Probe VP10을 이용하여 4 단자법으로 측정하였으며, TCR 특성을 측정하기 위해 Japan Advantest사의 모델 TR43C의 정밀 항온조를 이용하여 독일공업규격 DIN 43760의 식에 따라 계산하였다, 또한 열처리 온도에 따른 박막의 결정 구조는 X-선 회절분석기(X-ray diffraction)로 분석하였고, 증착된 TaN 박막의 표면형상을 관찰하기 위하여 AFM(Atomic Force Microscopy)를 사용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 1은 열처리 온도에 따른 TaN 박막의 결정 구조 변화를 알아보기 위해 XRD 분석을 행한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 400 °C에서 600 °C까지는 (110)의 회절피크만 보이다가 700 °C에서는 (200)의 회절 피크가 나타내고 있다. 열처리 온도가 증가함에 따라 주 회절선인 (110) 회절면의 회절 각 2θ의 변화는 거의 없었고, 600 °C 이상의 온도에서는 (200)면으로 우선 배향(preferred orientation)이

강하게 나타났다.

그림 2는 TaN 박막의 열처리 온도에 따른 전기저항의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 as-deposition 상태에서 열처리 온도가 증가함에 따라 저항은 점차적으로 감소하다가 600 °C와 700 °C에서는 전기저항이 다시 증가하였다.

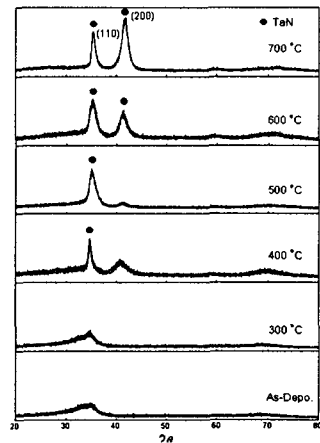


그림 1 열처리 온도에 따른 TaN 박막의 XRD 회절 패턴

Fig. 1. X-ray diffraction pattern of TaN thin films as a function of annealing temperature

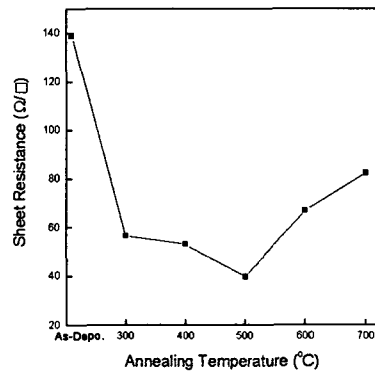


그림 2 열처리 온도에 따른 TaN 박막의 전기저항  
Fig. 2. Electric resistance of TaN thin films as a function of annealing temperature

일반적으로 박막 저항에서 열처리시 저항값을 변화시키는 중요한 요인은 막의 두께와 결정립 크기, 산화층의 두께, 그리고 표면형상 및 표면 조도이다. 하지만 본 연구에서는 Ar, N<sub>2</sub> 유량과 증착시간을

동일화하여 기체분산효과에 의한 막의 두께변화는 없는 것으로 판단되고, 또한 열처리시  $10^{-6}$ 이하의 진공상태에서 열처리를 행하였으므로 산화층의 두께에 의한 전기저항변화 역시 무시할 수 있을 것이라고 생각된다. 따라서 TaN 박막의 전기저항 변화를 고찰하기 위하여 그림 3~6에서와 같이 as-deposition 과 300 °C 열처리한 TaN 박막시료에 대하여 XRD 회절분석과 표면형상 및 표면조도를 세밀히 분석하였다.

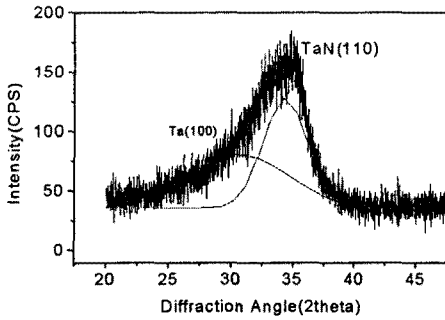


그림 3 Curve fitting에 의한 as-deposited 박막의 XRD data에서 회절피크분리  
**Fig. 3. Curve fitting and XRD data of As-deposited TaN films.**

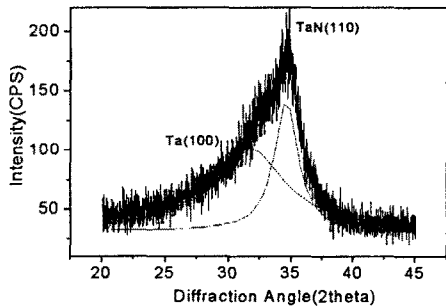


그림 4 Curve fitting에 의한 300 °C에서 열처리된 박막의 XRD data에서 회절피크분리  
**Fig 4. Curve fitting and XRD data of TaN films annealed at 300 °C .**

그림 3에서와 같이 peak가 매우 broad한 것으로 보아, as-deposition 상태의 TaN은 결정성이 떨어짐을 알 수 있다. TaN의 (110) 피크가 크게 비대칭성을

보이는 데, 이 peak를 분리해본 결과 역시 결정성이 떨어지기는 하나 Ta의 (100) 피크가 들어 있어 Ta와 TaN의 상이 혼재된 것으로 생각된다. 300 °C 열처리한 TaN 박막시료(그림 4) 역시 열처리 온도는 증가하였지만 회절강도증가의 원인이 될 만큼의 피크 강도 증가는 없었다. 하지만 300 °C 열처리한 TaN 박막시료의 X-선 회절 peak를 분리해 본 결과 Ta와 TaN 회절폭이 감소하였으므로 as-deposition 상태보다 300 °C에서 전기저항이 낮아진 이유는 TaN의 결정립의 증가에 따른 전기전도도에 미치는 전자의 산란정도가 상대적으로 낮아졌고, 박막 증착시 유기된 잔류 응력 및 결합등의 감소가 일어났기 때문이라고 추정된다. 또한, percolation 이론에 따르면, Ta( $1.67 \Omega/\square$ ) + TaN( $>100 \Omega/\square$ ) 혼재상 중 TaN의 결정성 및 내부 결합 등이 저항변화의 주된 기여 상이다.

또한, 그림 5는 열처리 온도에 따른 TaN 박막의 표면조도의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 열처리 전인 As-deposition 상태에서부터 500 °C까지는 큰 변화가 없지만 600 °C 이상에서는 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과 분석으로 보아 그림 2와 같은 전기저항의 변화는 앞서 설명한 바와 같이 500 °C까지는 표면 형상이나 표면조도보다는 열처리 온도의 증가에 따른 TaN 박막의 결정구조 변화가 전기저항에 영향을 주는 주 요인으로 작용하고, 600 °C와 700 °C 열처리시에 결정립의 증가에도 불구하고 전기저항이 증가하는 것은 고온 열처리에 의한 표면조도가 증가하였기 때문이라고 생각된다.

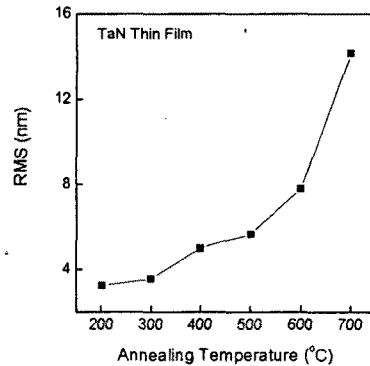


그림 5 열처리 온도에 따른 TaN 박막의 표면조도  
**Fig. 5. RMS(root mean square) of TaN thin films as a function of annealing temperature**

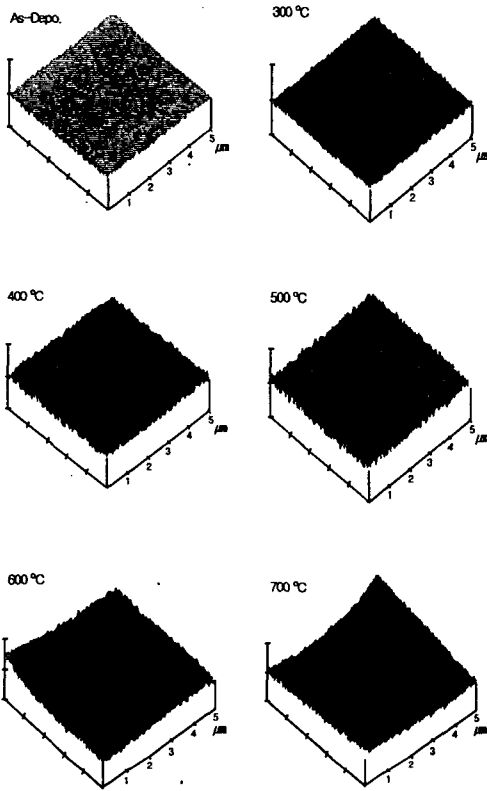


그림 6 열처리 온도에 따른 TaN 박막의 표면 형상 ( $1\mu\text{m} \times \mu\text{m}$ )

Fig. 6. Surface morphologies of TaN thin films as a function of annealing temperature ( $1\mu\text{m} \times \mu\text{m}$ )

#### 4. 결 론

반응성 스퍼터링법으로 TaN film을 증착한 후 열처리 온도에 따라 TaN 박막의  $R_s$  (sheet resistance) 특성을 평가하고 미세구조 변화에 따른 전기적 특성 변화를 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. TaN 박막을 열처리한 결과 400 °C에서 600 °C까지는 (110)의 회절 피크만 보이다가 700 °C에서는 (200)의 회절 피크가 나타났고 특히 as-deposition 상태와 300 °C 열처리시에는 Ta와 TaN 상이 혼재한 상태로 나타났다.

2. 전기저항 변화는 as-deposition 상태가  $140\Omega/\square$ 로 가장 높았으며 열처리 온도가 증가함에 따라 저항은 점차적으로 감소하다가 600 °C와 700 °C에서는

전기저항이 다시 증가하였다.

3. 500 °C까지는 표면 형상이나 표면조도보다는 열처리 온도의 증가에 따른 TaN 박막의 결정구조 변화가 전기저항에 영향을 주는 주 요인으로 작용하고, 600 °C와 700 °C 열처리시에 결정립의 증가에도 불구하고 전기저항이 증가하는 것은 고온 열처리에 의한 표면조도가 증가하였기 때문이라고 생각된다.

#### 참고 문헌

- [1]. 日本, 電波新聞, 10月 24日号, 東京(1991)
- [2]. M. A. Angadi, J. Mat. Sci. Lett. 20, 761-796(1985)
- [3]. Kenichi Kobayashi and Hirishi Fujimagari, United states Patent No. 4, 734, 709, Mar. 29 (1988)
- [4]. K.K. Yee, Int. Met. Rev., 23 (1978) 19