

스퍼터링법으로 제조된 TaN 박막의 열처리 온도에 따른 전기적 물성에 관한 연구

Electrical characteristic of RF sputtered TaN thin films with annealing temperature

김인성*, 송재성*, 김도한*, 조영란*, 허정섭**
(I S Kim, J S Song, D H Kim, Y R Cho, J S Heo)

Abstract

In recent years, The tantalum nitride(TaN) thin-film has been developed for the electronic resistor and capacitor. In this papers, The effect of thermal annealing in the temperature range of 300 ~ 700 °C on the sheet resistor properties and microstructure of tantalum nitride(TaN) thin-film deposited by RF sputtering was studied. XRD(X-ray diffractometer) and AFM were used to observe electrical properties and microstructrue of the TaN film and sheet resistance. The TCR properties of the TaN films were discussed in terms of annealing temperature, ratio of nitrogen, crystallization and thin films surface morphology due to annealing temperature. The leakage current of the TaN thin film annealed 400 °C was stabilized in the study. How its was found that the sheet resistance in the polycrystalline TaN thin film decreased with increasing the annealing temperature above 600 °C after sudden peak upen 400 °C

Key Words : TaN, TCR, Sputtering, AFM, Resistor thin-films

1. 서 론

전기저항 소자는 전기·전자·통신·자동차 등과 같이 아주 폭넓은 분야에서 인덕터, 커패시터와 함께 사용되는 매우 중요한 수동소자 부품으로써 오늘날 이동통신과 컴퓨터 등의 전자 산업이 고도화됨에 따라 고기능·고정밀·초소형 부품의 개발이 요구되고 있다. 이러한 고기능, 고정밀 저항체를 개발하기 위해서는 저항체에 사용되는 재료의 특성이 적합하여야 하는데, 이들의 요구특성은 비저항치가 안정하고, 저항온도계수(TCR)가 작아야 하며, 가혹한 사용 환경에서도 전기적, 화학적으로 안정해야한다. 이러한 요구조건에 부합하고 새로운 저항체의 재료로 각

광을 받고 있는 재료는 TaN_x, Cr-SiO₂, Cr-MgF₂ 등이며, 이러한 박막 재료중에 현재 세계적으로 많은 연구가 이루어지고 있는 재료는 TaN(Tantalum Nitride) 박막저항이다. 하지만 기존의 연구는 저항 박막의 제조 조건과 N₂ 유량의 변화에 따른 구조나 물성분석에 치중하는 재료적인 측면의 연구가 대부분을 차지하고 있다.

본 연구에서는 박막저항재료로 가장 많이 사용되고 있고 세계적으로 많은 연구가 이루어지고 있는 TaN을 선정하였고, 또한 기존의 연구는 N₂ 유량의 변화에 따른 특성 분석에 국한되었기 때문에 본 연구에서는 반응성 스퍼터링법으로 TaN 박막을 제작한 후, 열처리온도(300~700 °C)에 따라 TaN 박막의 R_s(sheet resistance)와 TCR 특성을 평가하고, X-선 회절분석(XRD)과 AFM(Atomic Force Microscopy)분석을 실시하여 미세구조 변화를 분석하였으며, 또한 이들 미세 구조의 분석

* 한국전기연구원 전자기소자연구그룹

(경남 창원시 성주동 28-1)

** (주) 메트론 기술연구소

(경남 마산시 월영동 449 번지)

과 측정된 전기적 물성의 상관 관계를 고찰하고자 하였다.

2. 실험

본 연구에서는 Tantalum Target과 반응성 가스로는 질소를 사용하였으며, 비정질상의 박막을 RF 마그네트론 스퍼터링 장치를 이용하여 (100)으로 배향된 Si-wafer 위에 0.5 μm 의 두께로 증착하였다. 초기 진공도는 3×10^{-6} torr 이하이고, 플라즈마 발생기체인 Ar 유량은 10 sccm로 고정시키고 반응성 기체로 N_2 를 0.5 sccm으로 하여 200W, 5×10^{-3} torr에서 증착하였다. 증착된 TaN 박막의 열처리 온도에 따른 특성 변화를 고찰하기 위하여 진공 열처리 장치를 이용하여 진공도를 10^{-6} torr 이하로 한 후, 10 $^\circ\text{C}/\text{min}$ 의 승온 속도로 300~700 $^\circ\text{C}$ 의 온도 범위에서 30분 동안 열처리를 행한 후 fan을 이용하여 상온까지 냉각시켰다.

증착된 박막의 두께는 표면 단차 측정기(α -step)와 주사전자현미경(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 상온에서 200 $^\circ\text{C}$ 까지 승온하였으며, 독일공업규격 DIN 43760의 식에 따라 계산하였다. 또한 열처리 온도에 따른 박막의 결정 구조는 XRD를 이용하여 분석하였고, 증착된 TaN 박막의 표면형상을 관찰하기 위하여 AFM를 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 $^\circ\text{C}$ 에서 600 $^\circ\text{C}$ 까지는 (110)회절피크와 성장하는 (200)회절피크를 보이다가 700 $^\circ\text{C}$ 에서는 (200)회절피크가 (110)회절피크보다 강하게 나타남을 알 수 있었다. 열처리 온도가 증가함에 따라 주 회절선인 (110) 회절면의 회절각 2θ 의 변화는 거의 없었고, 600 $^\circ\text{C}$ 이상의 온도에서는 (200)면으로 우선 배향(preferred orientation)이 강하게 나타났다.

일반적으로 박막 저항에서 열처리 시, 저항값을 변화시키는 중요한 요인은 막의 두께와 결정립 크기이다. 300 $^\circ\text{C}$ 에서 열처리한 박막은 저항값이 160 $^\circ\text{C}$ 까지 급격히 감소하고, 이후에는 거의 일정한 값을 유지하였다. 400 $^\circ\text{C}$, 500 $^\circ\text{C}$, 600 $^\circ\text{C}$ 에서 열처리한 박막의

저항값은 완만한 기울기를 가지나, 저항값이 계속 감소함을 알 수 있다. 이는 XRD 분석의 결과에서 볼 수 있듯이, 열처리 온도가 증가함에 따라 증가하는 (200)회절피크의 기여로 생각된다.

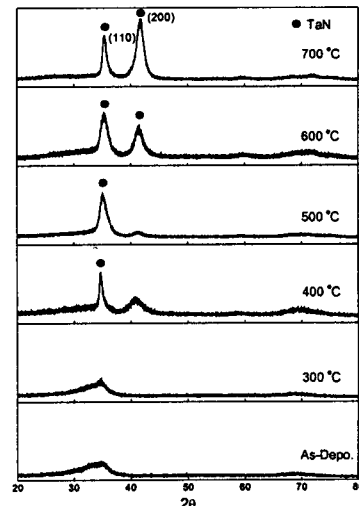


그림 1. 열처리 온도에 따른 TaN 박막의 XRD 회절 패턴

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

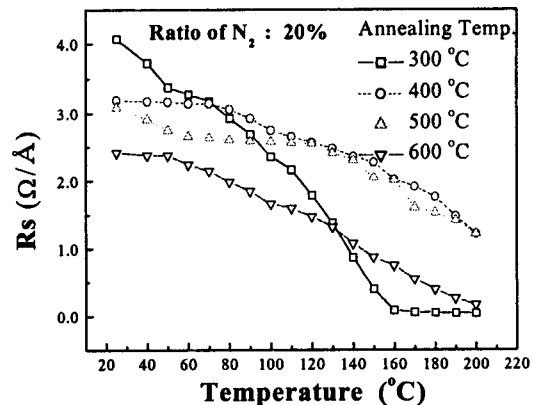


그림 2. 열처리 온도에 따른 TaN 박막의 저항

Fig. 2. Electric resistance of TaN thin films as a function of annealing temperature

산화층의 두께, 그리고 표면형상 및 표면 조도가 다. 하지만 본 연구에서는 Ar, N₂ 유량과 증착시간을 동일화하여 기체분산효과에 의한 막의 두께변화는 없는 것으로 판단되고, 또한 열처리 시, 10⁻⁶ torr 이하의 진공상태에서 열처리를 행하였으므로 산화층의 두께에 의한 전기저항변화 역시 무시할 수 있을 것이라고 생각된다. 따라서 TaN 박막의 전기저항변화를 고찰하기 위하여 그림 3~5에서와 같이 as-deposition과 300 °C 열처리한 TaN 박막시료에 대하여 XRD 회절분석과 표면형상 및 표면조도를 세밀히 분석하였다.

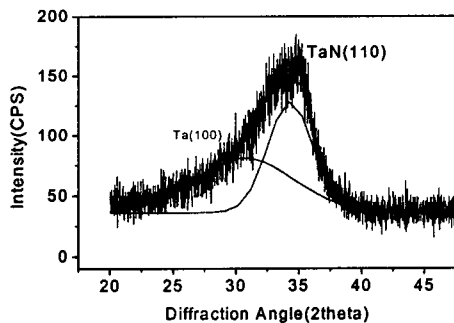


그림 3. Curve fitting에 의한 as-deposited 박막의 XRD data에서 회절피크분리

Fig. 3. Curve fitting and XRD data of As-deposited TaN films.

그림 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 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 회절 폭이 감소하였으므로, as-deposition 상태보다 300 °C에서 전기저항이 낮아진 이유는 TaN의 결정립의 증가에 따른 전기전도도에 미치는 전자의 산란정도가 상대적으로 낮아졌고, 박막 증착시 유기된 잔류 용액 및 결함등의 감소가 일어났기 때문이라고 추정된다. 또한, percolation 이론에 따르면, Ta(1.67 Ω/□) + TaN(>100 Ω/□) 혼재상 중 TaN

의 결정성 및 내부 결함 등이 저항변화의 주된 기여상이다.

그림 4는 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 열처리 시에 결정립의 증가에도 불구하고 전기저항이 증가하는 것은 고온 열처리에 의한 표면조도가 증가하였기 때문이라고 생각된다.

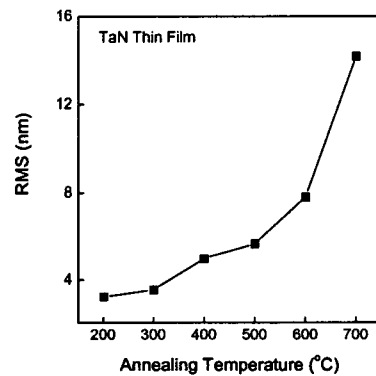


그림 4. 열처리 온도에 따른 TaN 박막의 표면조도

Fig. 4. RMS(root mean square) of TaN thin films as a function of annealing temperature

4. 결론

RF 스퍼터링법 방법으로 반응성 가스인 질소를 주입하면서 Tantalum nitride(TaN) thin film을 증착한 후 열처리온도에 따라 TaN 박막의 R_s(sheet resistance) 특성을 측정하고 미세구조 변화에 따른 전기적 특성 변화를 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. TaN 박막을 열처리한 결과, 강한 (110)의 회절피크를 보였다. 400 °C에서 700 °C까지 온도가 증가할수록 (200)피크가 성장함을 알 수 있었다. 700 °C에서는 (200)피크가 (110)피크보다 더욱 우세하

게 나타났고, 특히 as-deposition 상태와 300 °C 열처리 시에는 Ta와 TaN 상이 혼재한 상태로 나타났습니다.

변화가 주 요인으로 작용하고, 600 °C와 700 °C 열처리 시에 결정립의 증가에도 불구하고 고온 열처리에 의한 표면조도가 증가하였다.

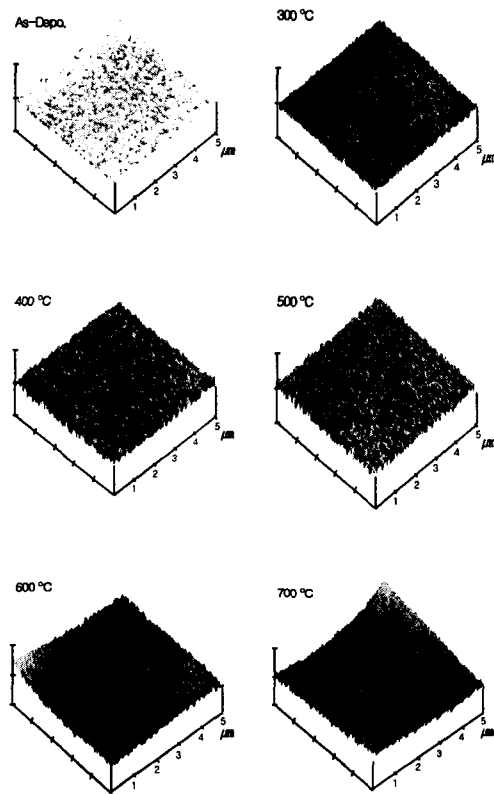


그림 5. 열처리 온도에 따른 TaN 박막의 표면 형상 (1 μ m \times 1 μ m)

Fig. 5. Surface morphologies of TaN thin films as a function of annealing temperature(1 μ m \times 1 μ m)

참고 문헌

- [1]. M. A. Angadi, J. Mat. Sci. Lett. 20, 761-796(1985)
- [2]. Kenichi Kobayashi and Hirishi Fujimagari, United states Patent No. 4, 734, 709, Mar. 29 (1988)
- [3]. K.K. Yee, Int. Met. Rev., 23 (1978) 19
- [4]. Schiller, U, Heisig, K, Steanefelder, and J. Strumpf, Thin Solid films 63, 369, (1979)
- [5] Lewis E. Hollander, and Patricia L. Castro, J. Appl. Phys., 33, 12(11962)34219

2. 전기저항 변화는 열처리온도에 따라 다소 차이가 있지만 150~160 °C 까지 비교적 안정하고 이후 급격히 감소하였다. (200)
3. 저항의 변화는 400, 500, 600 °C에서 열처리한 박막은 (200) peak의 기여에 의해 300 °C의 것보다 비교적 안정하였다.
4. 500 °C까지는 표면 형상이나 표면조도보다는 열처리 온도의 증가에 따른 TaN 박막의 결정구조