

<연구논문>

## TaN<sub>x</sub>/Cr Cermet 적층 박막의 비저항 및 저항온도계수에 관한 연구

허명수 · 천희곤 · 이건환\* · 권식철\* · 조동울

울산대학교 자연과학대학 재료공학과, \*한국기계연구원 박막기술실  
(1994년 2월 7일 접수)

### A Study on the Resistivity and Temperature Coefficient of Resistivity of Stacked TaN<sub>x</sub>/Cr Cermet Thin Film

M. S. Huh, H. G. Chun, G. H. Lee\*, S. C. Kwon\* and T. Y. Cho

Department of Materials Science and Engineering, University of Ulsan

\*Thin Film Lab., Korea Instituted Metal and Mechinary

(Received February 7, 1994)

**요 약** - 본 연구에서는 DC magnetron 스퍼터링법을 이용하여 고정밀, 고저항 저항체 박막으로 TaN<sub>x</sub> film을 제조하였을 때 형성될 수 있는 화합물 중 TaN<sub>0.1</sub>, TaN<sub>0.8</sub>과 TaN 박막의 Rs와 TCR 특성을 평가하고, film층의 우선방향성을 XRD를 이용하여 판명한 뒤 저항체의 Rs와 TCR에 미치는 영향을 조사하였다. TaN<sub>0.1</sub> 박막이 35 Ω/□의 면저항값과 안정된 TCR값을 나타내는 것을 알 수 있었다. 두께 50~200 nm의 TaN<sub>0.1</sub>과 Alumina 기판 사이에 정(+)의 TCR을 갖는 약 50 nm의 Cr층을 증착하였을 때 Rs는 180 Ω/□과 TCR은 20 ppm/°C 인 적층박막을 제조할 수 있었다. TaN<sub>0.1</sub>, TaN<sub>0.8</sub>과 TaN 시편에서 화합물 형성에 따른 Ta의 결합에너지를 ESCA를 이용하여 조사하였다. 이상의 연구결과로부터 TaN<sub>0.1</sub> film이 TaN film 보다 고정밀, 고저항 박막 저항체 제조에 있어 우수한 전기저항 특성을 가지며, Cr중간층 형성으로 TCR이 ± 20 ppm/°C 정도로 안정된 고정밀 다층 저항체 박막을 형성할 수 있었다.

**Abstract** - Tantalum nitride film was deposited by reactive sputtering using argon gas mixed with controlled amount of nitrogen gas. The amount of mixed nitrogen gas as well as other sputtering parameters were controlled to make a highly stable tantalum nitride film. In the deposition of TaN<sub>0.1</sub> by reactive sputtering there exists the so-called plateau region of deposition which is flat section of the resistivity and TCR curves for the change of nitrogen content in film. In this region the resistor is extremely stable and the film resistance ranges from 200 Ω/□ with TCR ranging from ± 20 ppm/°C. In this region the film sheet resistance range from 40 to 60 Ω/□ with TCR ranging from -100 to -20 ppm/°C. The film resistivity of TaN<sub>0.1</sub>/Cr ranges from 180 Ω/□ to 320 Ω/□ and its TCR is about ± 20 ppm/°C.

## 1. 서 론

최근 전자제품 제조기술의 향상으로 제품이 고정밀, 고품격화됨에 따라 소자들의 다기능, 고품격화가 요구되고 있다. 특히 이들 소자 중 가장 많이 쓰이고 있는 저항기(resistor) 소자의 고정밀, 고저항화가 중요한 과제로 대두되고 있다[1].

수동 저항기 소자의 저항체를 박·후막(thin/thick film)화하여 고정밀, 고저항체화하는 방법으로 현재 가장 많이 이용되고 있는 박막제조 방법은 물리 증착법 중 스퍼터링법(sputtering)이다[2]. 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 이하  $R_s: \geq 1 \text{ k}\Omega/\square$ ) 형성이 어렵고, 저항값의 안정성을 나타내는 저항온도계수(temperature coefficient of resistivity: 이하 TCR)의 특성이  $\pm 200 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$  이상이므로 정밀한 전자·전기제품의 회로를 제조함에 있어서는 부적합하다[4-6]. 따라서 우수한 TCR 특성을 나타내는 고정밀, 고저항체를 제조하기 위해서는 기존의 저항체보다 높은 비저항 값과 우수한 TCR 특성을 갖는 고융점 전이 금속화합물 등이 주목되고 있다.

TCR이 거의 0에 가까운 초정밀급 저항기를 제조하기 위해서는 어떠한 화합물 박막으로도 TCR을 제어할 수 없으므로 저항기용 모재에 반대의 TCR 특성을 갖는 film층을 형성하여 서로 보완케 하여야 한다[10]. 이런 다층 박막의 형성은 하지 film층의 정(positive 이하 +)의 TCR 특성을 갖는 도체의 금속을 저항기용 모재와 부(-)의 TCR을 갖는 부도체 저항체 film 사이에 증착하여 TCR 특성을 안정화시키는 방법이다[11].

본 연구에서는 DC magnetron 스퍼터링법을 이용하여 고정밀, 고저항 저항체 박막으로 TaN<sub>x</sub> film을 제조하였을 때 형성될 수 있는 화합물 중 TaN<sub>0.1</sub>, TaN<sub>0.8</sub>과 TaN 박막의 R<sub>s</sub>와 TCR 특성을 평가하고, film층의 우선방향성을 XRD(X-ray diffraction)를 이용하여 판명한 뒤 저항체의 R<sub>s</sub>와 TCR에 미치는 영향을 조사하고자 한다. 제조된 TaN<sub>x</sub> 박막의 음의 TCR을 보정하기 위하여 정(+)의 TCR을 갖는 Cr 막을 TaN<sub>x</sub>와 모재인 alumina 사이에 증착하였을 때 이 적층박막의 R<sub>s</sub>와 TCR의 관계를 조사하고자 한다. TaN<sub>0.1</sub>, TaN<sub>0.8</sub>과 TaN을 ESCA를 이용하여 여러 조건에서 형성된 film에서 Ta의 에너지 shift를 조사하고, R<sub>s</sub>와 TCR에 미치는 영향을 조사하고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1. Ta<sub>N<sub>x</sub></sub>/Cr/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Substrate) 다층박막 시편 제작

본 실험에 사용한 스퍼터링 장비는 LEYBOLD-HERAEUS사의 Z-400 모델이며 그 개략도는 그림 1에 나타내었다. 본 실험 장치는 2개의 DC와 1개의 RF 전원을 공급할 수 있고, 타겟의 회전이 가능하다. 본 실험에서는 CERAC사의 Tantalum(99.99%)과 Chromium(99.99%) 타겟을 장착하여 DC 스퍼터링을 하였다. 본 실험에 사용된 기관은 지름이 4 mm이고 길

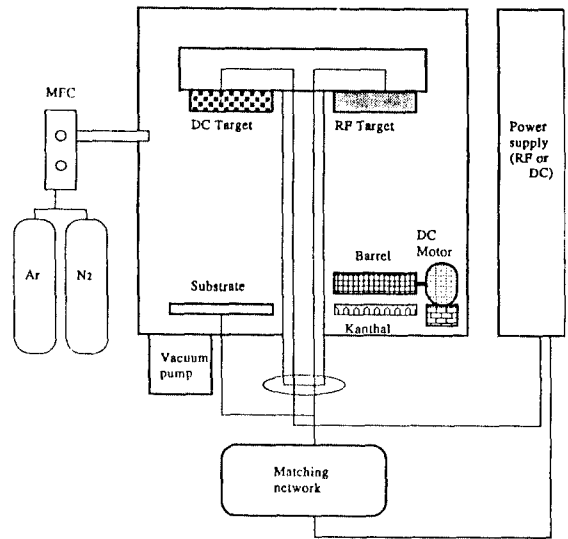


그림 1. 스퍼터링 장비의 개략도.

이가 13 mm인 원기둥형 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>며, 원기둥 전체에 균일한 박막을 형성하기 위해 스퍼터링 장비내에 barrel 장치를 고안하여 장착하였다. 시편의 전처리에는 초음파 세척기내에서 10%HF 용액으로 15 min간 세척한 다음 DI water로 수세한 뒤 고압의 N<sub>2</sub>(g)를 이용하여 시편을 건조하였다. 전처리된 시편을 스퍼터링 장비내에 설치된 barrel 장치에 장입시킨 뒤 rotary vane pump와 turbo molecular pump를 사용하여  $3 \times 10^{-5}$  torr까지 진공배기한 후 Ar 방전기체를 60 sccm을 흘려 작업 진공도를  $2 \sim 3 \times 10^{-2}$  torr로 유지한 다음 DC 출력을 타겟에 200 W 인가하여 2분간 타겟 표면을 pre-sputtering하였다.

TaN<sub>x</sub> film을 제조하기 위해 스퍼터링 장비내에 설치된 kanthal선에 전압을 인가하여 기관온도를 200 °C로 예열한 뒤 Ar 방전기체를 20 sccm으로 고정하고, 반응성 가스 N<sub>2</sub>(g)를 1~20 sccm으로 변화를 주면서 TaN<sub>x</sub> 박막을 기관에 증착하였다.

Cr Film의 증착조건은 모재의 온도를 200°C로 예열한 뒤 Ar 방전기체를 60 sccm로 한 뒤 DC 출력을 타겟에 200 W 인가하여 Cr film을 증착하였다.

TaN<sub>x</sub>/Cr film의 증착조건은 상기의 두 film 증착 조건을 기준으로 하여 두 film의 두께비를 조합하는 방향으로 증착을 하였다. 자세한 증착조건을 표 1에 나타내었으며, 전체 실험의 공정도는 그림 2에 나타내었다.

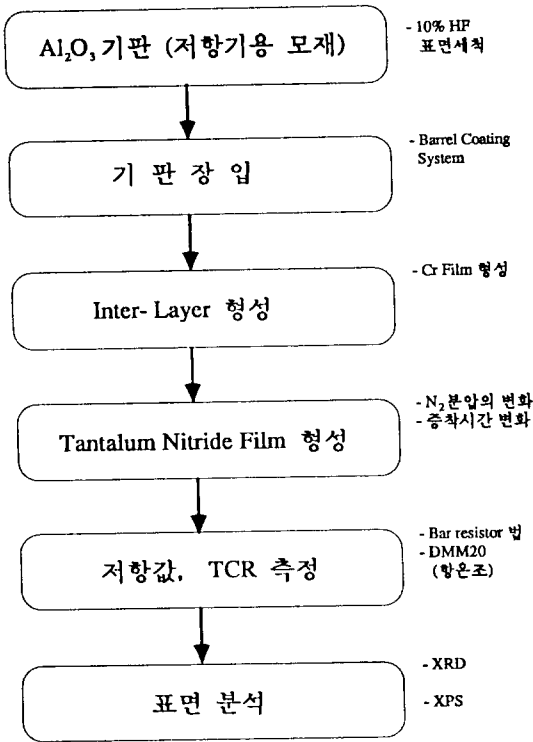


그림 2. 전체 실험의 공정도.

2.2. 박막의 전기적 특성(Rs 및 TCR) 측정

본 실험에서는 박막의 전기저항 특성 평가를 그림 3에 나타난 것과 같은 bar-resistor법을 이용하여 측정하였다[8]. 시편은 다음과 같이 제작하였다. 박막이 증착된 저항기용 모재인 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 양단에 Ni/Cu로 도금된 캔을 씌운 후 Ni/Cu로 제작된 리드 선(lead wire)으로 양단의 캔에 연결하였고, 그 후 박막의 전기저항특성 평가를 위해 다음의 장비들을 이용하였다.

Rs는 Datron Instruments의 모델 EIS-47E를 이용하여 제작된 시편의 양단에 12 V의 전압을 인가하여 그에 따른 Rs값을 측정하였으며, TCR 특성을 측정하기 위해 온도오차의 범위가 ±1°C 인 Japan Electron Co. Ltd.의 모델 DMM-20의 정밀 항온조를 Rs값을 측정하는 장비와 연결한 후 0°C 에서 125°C까지의 Rs값 변화량을 측정한 후 독일공업규격 DIN 43760의 식 (1)에 따라 TCR값을 계산하였다[8].

$$TCR = \frac{R_{100} - R_0}{R_0} \times \frac{1}{100} \times 10^6 (\text{ppm}/^\circ\text{C}) \quad (1)$$

표 1. 스퍼터링 조건

DC Magnetron sputtering Chamber volume	10.5 liter
Target	Tantalum, Chromium (99.99%, dia : 67.5 mm, t : 6 mm)
Distance between target and substrate	5 cm
Sputtering gas	Ar (99.999%)
Reactive gas	N <sub>2</sub> (99.999%)
Temp. of substrate	200°C
DC Power	5.67 W/cm <sup>2</sup>
Substrate	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (dia : 4 mm, l1 : 3 mm)

Deposition condition for tantalum nitride & chromium

Gas flow rate ratio N <sub>2</sub> (sccm) Q = $\frac{N_2(\text{sccm})}{N_2(\text{sccm}) + \text{Ar}(\text{sccm})}$	Ar Gas flow rate (f <sub>Ar</sub> )	N <sub>2</sub> Gas flow rate (f <sub>N<sub>2</sub></sub> )
0.0476	20	1
0.0625	20	8
0.0909	20	20
1.0000	20	×
1.0000	60	×

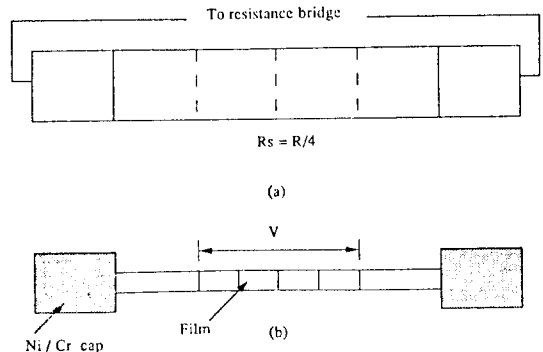


그림 3. Bar-resistor 측정법.

3. 결과 및 고찰

3.1. TaN<sub>x</sub> 박막의 전기적 특성

스퍼터링 시 Ar의 유량을 20 sccm으로 일정하게 유지하고 N<sub>2</sub> 분압비인 N<sub>2</sub>/Ar을 0부터 1까지 변화를 시키면서 증착시간을 각각 10 min으로 하였을 때 N<sub>2</sub> 함량의 증가가 모재인 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 위에 증착되는 TaN<sub>x</sub>층의 Rs와 TCR 변화에 미치는 영향을 보면 그림 4와 같다. 그림 4(a)의 A, B는 25°C 와 125°C에서의 Rs값을 나타내고, (b)는 TCR의 변화량을 나타낸다.

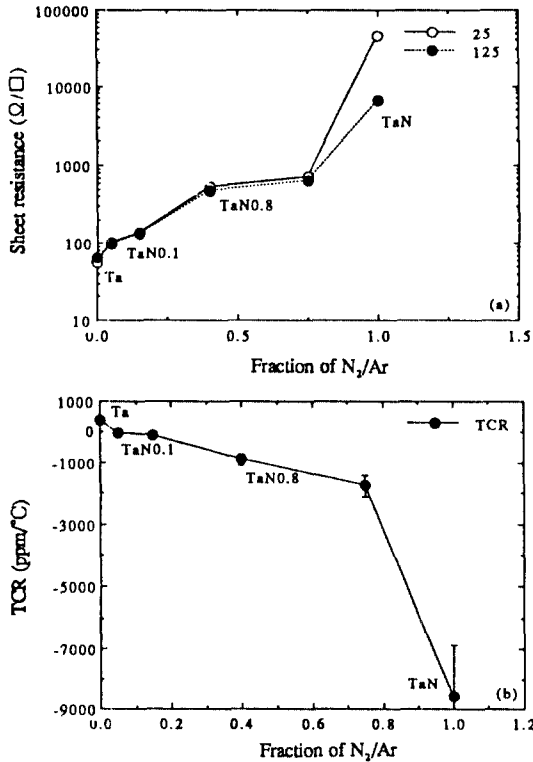


그림 4. N<sub>2</sub>/Ar의 비와 전기적 특성과의 관계. (a) Rs와 N<sub>2</sub>/Ar, (b) TCR과 N<sub>2</sub>/Ar.

25°C에서 N<sub>2</sub>/Ar비가 0, 0.4와 1.0으로 증가함에 따라 Rs값은 35 Ω/□, 530 Ω/□과 약 4.5×10<sup>3</sup> Ω/□값을 나타내었으며, 오차범위는 약 6.5%이다. Rs값의 안정성을 평가하기 위해 항온조의 온도를 125°C로 올렸을 때는 Rs값이 45 Ω/□, 470 Ω/□와 약 6.5×10<sup>3</sup> Ω/□의 변화를 보였으며, 이 값들의 오차범위는 약 6.5% 정도였다. 상기의 결과를 검토하여 보면 다음과 같다. N<sub>2</sub>/Ar의 비가 0일 때는 Rs값이 온도가 25°C에서 125°C로 증가함에 따라 약 28.6% 증가하였다. 이는 N<sub>2</sub>/Ar비가 0일 때는 스퍼터링 시 순수한 Ta가 모재 위에 증착되었으며 Ta film은 금속박막으로써의 Rs 특성을 나타내었기 때문이다.

그림 4(b)는 0°C에서 125°C까지의 평균 TCR 변화를 나타낸 것으로 그림 4(a)의 결과를 확인할 수 있다. TCR의 변화에서도 N<sub>2</sub>/Ar비가 0에서 1로 변화됨에 따라 +478±30 ppm/°C에서 -8760±1850 ppm/°C로 떨어졌다. 이는 N<sub>2</sub>/Ar비가 증가함에 따라 도체 금속인 Ta film에서 부도체인 TaN<sub>x</sub>의 화합물 형성으로 증착층의 조성이 변화됨에 따라 금속성 Ta film이 부도체인 TaN<sub>x</sub>로 변화되기 때문이다.

그림 5는 그림 4의 실험조건으로 증착한 시편의 XRD 자료이다. N<sub>2</sub>/Ar비가 0, 0.05, 0.4와 1의 조건에 해당하는 시편의 X-선 회절 피크로서 JCPDS 카드로

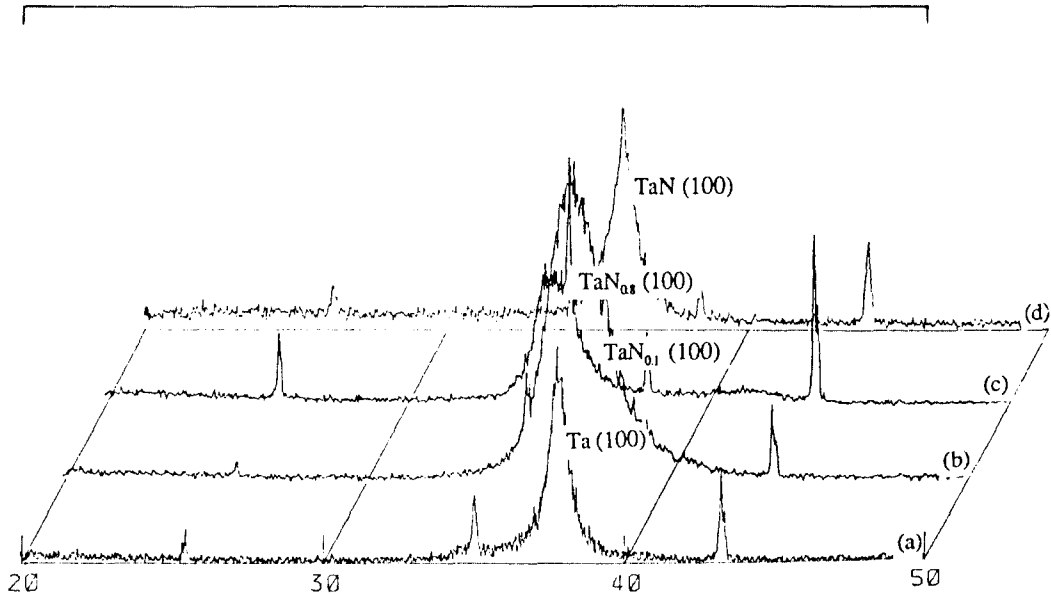


그림 5. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 위에 증착된 TaN<sub>x</sub> films의 X-선 회절 무늬(Ar의 유량: 20 sccm). (a) N<sub>2</sub>: 0 sccm, (b) N<sub>2</sub>: 1 sccm, (c) N<sub>2</sub>: 8 sccm, (d) N<sub>2</sub>: 20 sccm.

검색하였을 때 Ta(100), TaN<sub>0.1</sub>(100), TaN<sub>0.8</sub>(100)과 TaN(100)의 회절 피크를 보였으며, 각각의 조건에서 우선방향(Preferred Orientation)을 갖고 있다는 것을 확인할 수 있었다. N<sub>2</sub>/Ar비가 증가함에 따라 TaN<sub>0.1</sub>(100), TaN<sub>0.8</sub>(100)과 TaN(100)의 우선방향을 가졌으나, TaN<sub>0.1</sub>에서 TaN으로 변할수록 우선방향의 크기가 감소하였다. 그림 5(d)는 질소유량 20 sccm로 제작한 TaN 박막의 X-선 회절피크로서 우선방향성의 크기가 타 시편에 비하여 작은 것으로 보아 다음과 같은 내용을 알 수 있다. 첫째 200°C 의 온도범위에서는 TaN을 결정화시키기에는 부적합하여 비정질의 TaN 박막을 형성하였을 것으로 사료되며, 둘째 질소분압이 높은 경우에는 TaN의 결정 격자 사이에 있는 질소원자들이 고용된 상태로 나타나기 때문으로 사료된다[2].

**3.2. 전체압력(Ar+N<sub>2</sub>)의 증가에 따른 TCR 변화**

그림 4에서 N<sub>2</sub>/Ar비가 0.5에서 1로 증가될 경우 film내 N 함량증가로 인하여 film은 큰 부(-)의 TCR값을 갖는다. 이를 증명하기 위해 다음과 같은 조건에서 실험을 실시하였다. 그림 6은 N<sub>2</sub>/Ar비를 1로 고정하고 flow rate(Ar+N<sub>2</sub>)를 20, 40, 60 그리고 80 sccm으로 증가하여 N<sub>2</sub> 분압이 증가함에 따라 film층에 N원자 침입에 의한 전도전자의 산란에 미치는 영향을 Rs와 TCR을 기준으로 하여 나타낸 것이다.

그림 6(a)은 표 1의 증착조건에서 증착시간을 10 min하였을 때 Rs값의 변화량을 나타낸 것이다. 전체 flow rate를 20, 40, 60 그리고 80 sccm으로 증가시키에 따라 25°C 에서 Rs값을 측정하였을 때 약 409 Ω/□, 1991 Ω/□, 1580 Ω/□ 그리고 6585 Ω/□으로 증가하였다. 반면 125°C 에서 Rs를 측정하였을 때는 약 302 Ω/□, 1251 Ω/□, 922 Ω/□ 그리고 3275 Ω/□로 떨어졌다. 이때 각 시편에서의 Rs값의 오차범위는 약 10% 정도 되었다.

그림 6(b)는 0°C 에서 125°C 구간에서의 TCR 변화량을 나타낸 것으로 유량증가에 따라 TCR값은 약 -2001에서 -4867 ppm/°C 로 증가하였다.

위와 같이 Rs값과 TCR이 크게 차이가 나타나는 현상은 다음과 같이 두가지 이유로 생각되어질 수 있다. 첫째, Ar+N<sub>2</sub>의 증가로 인한 스퍼터링된 Ta 원자의 기체분산효과로 인해 TaN의 증착율이 떨어져 film층의 두께가 상대적으로 차이가 나는 상황이다.

10 min간 증착한 위의 시편을 α-step으로 두께를

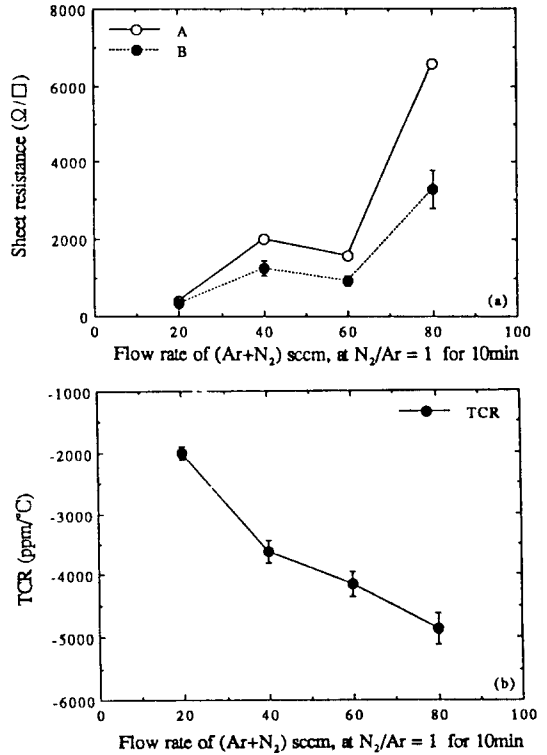


그림 6. (Ar+N<sub>2</sub>)의 전체 유량 증가가 전기적 특성에 미치는 영향(N<sub>2</sub>/Ar=1). (a) Rs와 Ar+N<sub>2</sub> 전체 유량, (b) TCR과 Ar+N<sub>2</sub> 전체유량.

표 2. 전체 유량과 film 두께와의 관계(증착시간: 10분)

Flow rate (sccm)	20	40	60	80
Thickness (nm)	263	494	455	430

측정하여 본 결과 flow rate가 20, 40, 60 그리고 80 sccm인 경우 두께는 기체분산효과로 인하여 약 263, 455, 494 그리고 430 nm이었다(표 2). 실험을 통하여 알고 있는 두께와 Rs값을 식 (2)에 대입하여 보면 flow rate 증가에 따른 film의 비저항값은 약 107, 718, 984 그리고 2831 μΩ·cm이었다.

$$Rs = \rho \frac{l}{wd} = \frac{\rho}{d} \tag{2}$$

여기서 ρ는 film의 비저항, l은 길이, w는 넓이, 그리고 d는 박막의 두께이다. 즉 면저항은 박막의 두께에 반비례 한다. 따라서 film 형성시 전체압력의 증가에 따른 두께의 변화에 의한 영향도 있지만 ρ값의 차이가

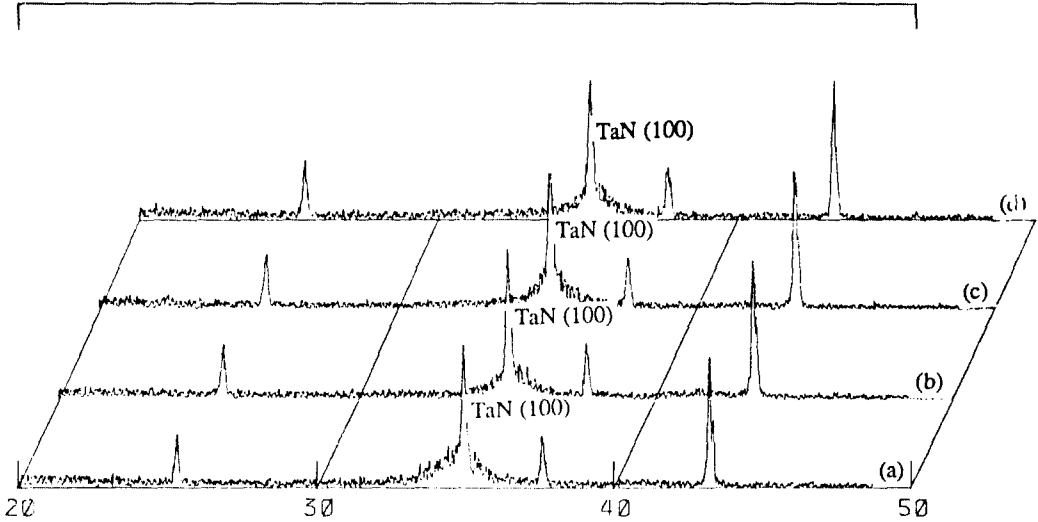


그림 7. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 기판 위에 증착된 TaN<sub>x</sub> films의 X-선 회절무늬. (a) 20 sccm, (b) 40 sccm, (c) 60 sccm, (d) 80 sccm.

생기는 것으로 보아 두께변화 이외의 다른 인자 즉 film의 구성성분의 영향이 있는 것으로 사료된다.

둘째, N<sub>2</sub>+Ar의 flow rate가 증가함에 따라 P<sub>N<sub>2</sub></sub>가 증가하므로 Sieverts law에 의하여 TaN<sub>x</sub> film내에 고용화된 N원자가 증가하여 전도전자의 움직임을 방해하는 산란인자로 작용하고 자유전자 수를 줄이는 역할을 하기 때문으로 사료된다.

그림 7은 전제압력의 증가에 따른 XRD 회절 피크로 모든 상기의 조건에서 TaN(100)을 형성하였으나 상대적인 피크 세기와 크기로 보았을 때 전제압력이 증가함에 따라 film층의 두께와 film층내에 결정립보다는 비결정립을 형성한 것으로 사료되며, 이는 N의 침입에 의한 영향과 P<sub>N<sub>2</sub></sub>가 증가하므로써 film의 결정성이 퇴화되어 결정입계에 의한 산란이 크게 증가한다. 이로 인하여 ρ<sub>GB</sub>가 증가하기 때문으로 사료된다. 따라서, 격자에 침투한 N원자는 TCR을 저하시키는 주요 인자로 작용한 것으로 사료된다.

### 3.3. Cr 중간층이 TaN<sub>x</sub> Film의 TCR과 Rs에 미치는 영향

TaN<sub>x</sub> 박막의 TCR 특성을 안정화시키기 위해 multi-layer 효과를 이용하였다[2]. TCR을 안정화시키는 방법 중 TaN<sub>x</sub> 박막의 부(-)의 TCR을 정(+ )의 TCR 특성을 갖는 금속(Cr)으로 보완하였다[2].

그림 8의 (a)와 (b)는 Cr과 TaN<sub>x</sub> 박막의 두께 변화에

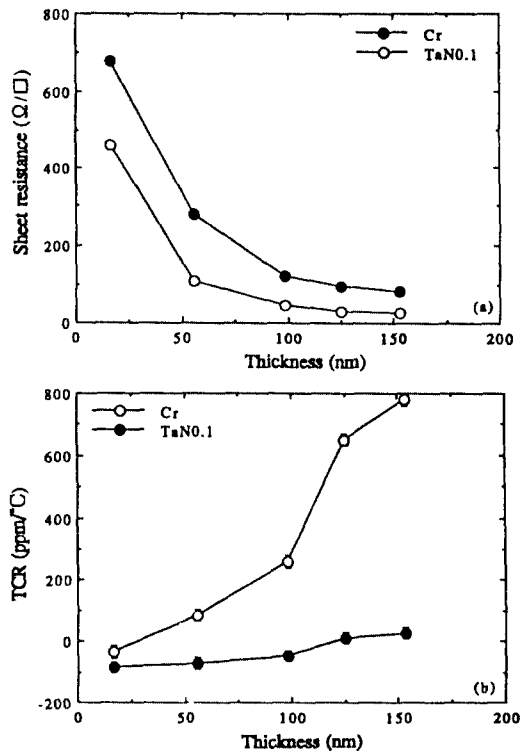


그림 8. Ar과 TaN<sub>0.1</sub>의 두께 증가와 저기적 특성의 관계. (a) Rs와 두께의 관계, (b) TCR과 두께의 관계.

따른 Rs와 TCR값의 변화량을 나타낸다. Cr film이 금속임에도 불구하고 20 nm 이하의 두께에서 부의

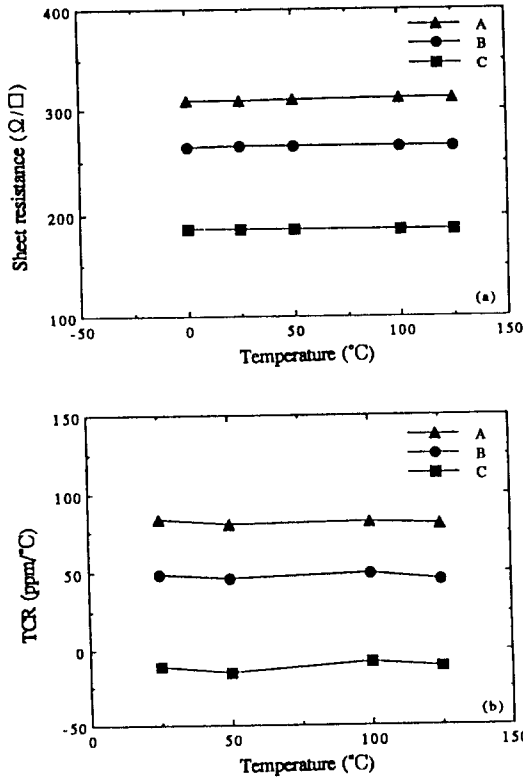


그림 9. TaN<sub>0.1</sub>/Cr의 두께비가 전기적 특성에 미치는 영향. (a) 20 nm/50 nm, (b) 60 nm/50 nm, (c) 100 nm/50 nm.

TCR 특성을 갖는 것은 불연속 박막인, 아일랜드(Islands)의 형태로 되어 있기 때문이며, 이는 M. A. Angadi가 실험한 내용과 일치하고 있다[4]. TaN<sub>0.1</sub>의 경우에는 약 120 nm의 두께까지 부(-)의 TCR 특성을 나타내었는데, 두께가 150 nm로 증가하였을 때는 약 45 ppm/°C의 정(+)의 TCR 특성을 나타내었다. 그림 8(a)에서 Cr박막의 두께가 50 nm일 때 TCR값은 약 +300 ppm/°C 이었으며, 이는 연결된 film을 형성하였다는 것을 의미한다. 그림 9의 (a)와 (b)는 0~150°C 사이에서 50 nm의 일정한 Cr 중간층 상에 TaN<sub>0.1</sub> 박막의 두께 변화에 따른 Rs와 TCR 변화를 나타내었다. 50 nm 두께의 Cr 박막 위에 TaN<sub>0.1</sub>을 200, 300 그리고 400 nm의 두께로 증착하였을 때를 살펴보면 Rs값은 0°C에서 각각 300 Ω/□, 270 Ω/□과 180 Ω/□의 값을 갖으며, Rs값의 오차범위는 약 7%이다. 이때 TaN<sub>0.1</sub>보다 50 nm의 Cr 중간층을 형성하였을 때 Rs값이 증가한 것은 Cr박막이 50 nm일 때의 Rs값은 약 350

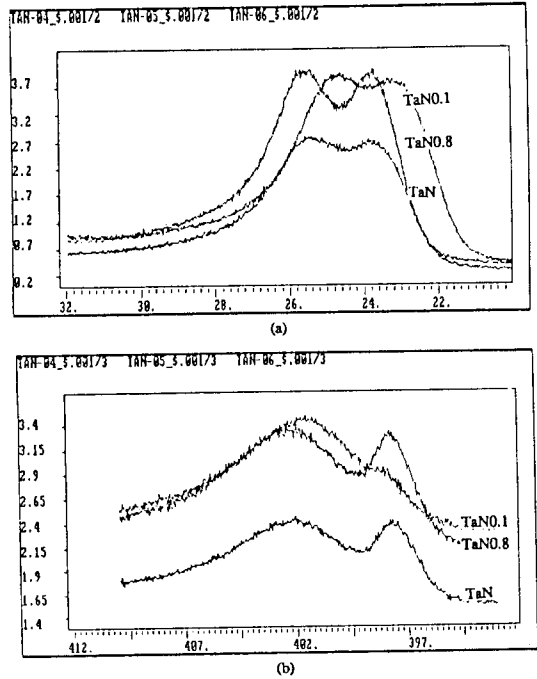


그림 10. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 위에 증착된 TaN<sub>x</sub> film의 XPS spectra. (a) Ta 4f<sub>5/2</sub>, 4f<sub>7/2</sub> electronic spectra of TaN<sub>x</sub>, (b) N 1s electronic spectra of TaN<sub>x</sub>.

Ω/□이었으며, TaN<sub>0.1</sub> 박막은 Rs값이 450 Ω/□, 270 Ω/□와 180 Ω/□이었다. Film층의 두께가 70, 110 그리고 150 nm로 증가함으로 Rs값이 감소되었다. 그림 9(b)는 TCR 특성을 나타낸 것으로 Cr 위에 TaN<sub>0.1</sub>층이 200, 300, 그리고 400 nm로 적층됨에 따라 약 75 ppm/°C, 47 ppm/°C와 -20 ppm/°C로 TCR 특성이 안정화되는 것은 정(+)의 TCR 특성인 Cr층이 부(-)의 TCR 특성을 갖는 TaN<sub>0.1</sub>층의 두께 증가로 인하여 부(-)의 TCR이 증가하기 때문이다. 증착된 Cr층의 TCR이 +300 ppm/°C이고 상부에 증착된 TaN<sub>0.1</sub>층의 TCR의 두께가 200, 300, 그리고 400 nm에서 각각 약 -80, -60과 -40 ppm/°C이었다. 상부층의 TaN<sub>0.1</sub>의 두께가 증가함에 따라 TCR을 약 20 ppm/°C까지 제어되었다. 이 현상으로 상부 층의 TCR이 하부 층의 TCR보다 전체의 TCR에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 0~100°C의 온도범위에서 Cr 중간층이 TaN<sub>0.1</sub>의 TCR에 미치는 영향을 보면 다음과 같다. 구간 온도변화에 따른 TCR의 특성이 거의 일정하였으며 각 조건에서의 그래프 기울기는 약 75×10<sup>-6</sup>, 47×10<sup>-6</sup>와 18×10<sup>-6</sup>이다.

### 3.4. TaN<sub>x</sub> Film의 XPS 분석

그림 10은 XRD 조사에서 TaN<sub>0.1</sub>(100), TaN<sub>0.8</sub>(100), 그리고 TaN(100)을 나타내는 시편의 XPS결과를 나타낸다. (a), (b), (c) 모두 표면에서 O의 성분이 검출됨으로 Ar으로 스퍼터링을 하여 표면에 형성된 산화물을 제거한 뒤 N 피크의 N(E)/N을 검색하였다. TaN<sub>0.1</sub>의 제조 조건인 (a) 경우에는 Binding energy가 401.5 eV인 Ta 피크를 나타내었다. 이 조건에서는 N의 검출이 약하게 나타났다. TaN<sub>0.8</sub>과 TaN을 제조한 (b)와 (c)의 시편에서는 406.5 eV의 Ta 피크와 308 eV의 N 피크를 나타내었다. (a), (b)와 (c)에서 검출된 N 피크의 상대적인 N(E)/N를 비교해 보면 다음과 같다. TaN<sub>0.1</sub>을 나타내는 (a)의 시편에서의 Ta/N의 N(E)/N비를 보면 약 0.82이고, TaN<sub>0.8</sub>과 TaN을 나타내는 (b)와 (c)의 경우에는 약 0.98의 비를 나타낸다. (a), (b)와 (c)의 경우에서 Ta 피크가 약 3.5 eV 정도의 shift가 일어났다. 질소유량을 변화시키면서 TaN<sub>0.1</sub>, TaN<sub>0.8</sub>과 TaN film을 형성하였는데 그 중 TaN<sub>0.1</sub>의 TCR 특성이 가장 우수하였다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 고정밀, 고저항 박막 저항체를 DC Magnetron Sputtering법으로 제조한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

첫째, 증착한 Tantalum Nitride 박막에는 화합물 TaN<sub>0.1</sub>, TaN<sub>0.8</sub>, TaN 등이 형성되었다. 이들 화합물 중 X-선 회절분석으로 보아 TaN<sub>0.1</sub>(100)의 우선방향이 매우 큼을 알 수 있었다.

둘째, Ar 유량을 20 sccm으로 일정하게 유지한 후 질소유량의 변화에 따른 TaN<sub>x</sub>의 형성영역을 조사해 본 결과 질소유량이 1 sccm에서 4 sccm의 영역까지는 약 -40 ppm/°C 범위의 TCR 특성을 갖는 TaN<sub>0.1</sub>이

형성되었다.

셋째, TCR 안정화를 위해 전이금속 중 Cr을 기판과 TaN<sub>x</sub>의 중간층으로 두께 약 50 nm의 박막을 형성하였을 때 TaN<sub>0.1</sub>과의 보완 효과에 의해 TCR을 -20 ppm/°C 이내로 안정화시킬 수 있었다.

이상의 연구결과로부터 TaN<sub>0.1</sub>이 TaN 보다 고정밀, 고저항 박막 저항체로써 우수한 전기적 특성을 가지며, Cr 중간층 형성으로 TCR을 안정화시켜 고정밀 다층 저항체 박막을 형성할 수 있었다.

## 참고문헌

1. 日本, 電波新聞, 10月 24日字, 東京 (1991).
2. Leon Maissel and Reinhard Glang, Handbook of Thin Film Technology, McGraw-Hill, pp. 18-1~18-25 (1970).
3. K. D. Leaver and B. N. Chapman, Thin Films, Whkeham Publication, London, pp. 29-38 (1971).
4. M. A. Angadi, J. Mat. Sci. Lett. **20**, 761-796 (1985).
5. Kenichi Kobayashi and Hirishi Fujimagari, United States Patent No. 4, 734, 709, Mar. 29 (1988).
6. Hisoyuki Yoehara, Yoshihiro Fukuda, and Tatsuo Shirakawa, ISHM'87 Proceedings, pp. 147-150 (1987).
7. Milton Ohring, The Materials Science of Thin Films, Academic Press, pp. 451-464 (1992).
8. Yoichi Murayama, J. Vac. Sci. Technol., Vol. 12, No. 4, July/Aug (1975).
9. J. S. Dugdale, "The Electrical Properties of Metals and Alloys", Arnold, London (1977).
10. P. Ettmayer and A. Vendl, Transition Metal Nitrides, McGraw-Hill, pp. 49-55 (1972).
11. Milton Ohring, The Materials Science of Thin Films, Academic Press, pp. 254-255 (1992).
12. Leon Maissel and Reinhard Glang, Handbook of Thin Film Technology, McGraw-Hill, pp. 13-1~13-12 (1970).