

공정변수에 의한 Ni/Cr/Al/Cu계 박막의 전기적 특성

The effect of the process parameters on the electrical properties of Ni/Cr/Al/Cu alloy thin film

이봉주*, 박상무*, 박구범**, 박종관**, 이덕출*

(Boong-Joo Lee*, Sang-Moo Park*, Gu-Bum Park**, Jong-Kwan Park** Duck-Chool Lee*)

Abstract

We have fabricated thin films using the DC/RF magnetron sputtering of 74wt%Ni-18wt%Cr-4wt%Al-4wt%Cu alloy target and studied the effect of the process parameters on the electrical properties for low TCR(Temperature Coefficient of Resistance) films

In sputtering process, pressure, power and substrate temperature, are varied as controllable parameter. The films are annealed to 400°C in air and nitrogen atmosphere.

The sheet resistance, TCR of the films increases with increasing annealing temperature. It abruptly increased as annealing temperature increased over 300°C in air atmosphere. From XRD, it is found that these results are due to the existence of NiO on film surface formed by annealing.

As a results of them, TCR can be controlled by variation of sputter process parameter and annealing of thin film

Key Words : DC/RF sputtering, annealing, NiO, TCR: Temperature Coefficient of Resistance

1. 서론

첨단전자산업의 발전으로 정보통신, 우주항공 및 정밀계측분야에서 급격한 기술적인 진보를 보이고 있으며, 이에 따라 적용되고 있는 핵심 전자부품들도 고정밀화, 복합화 그리고 고효율성 및 미세조정 기능에 대한 요구의 증가로 계속적으로 발전되어오고 있다. 이중에서도 저항은 주로 전류의 흐름을 제한하여 회로의 각 소자에 목적인 전류를 공급하거나 또는 전압을 분할하는데 사용되는 대표적인 회로의 기초 부품으로 최근 저항온도계수가 낮은 고정밀 저항에 대한 요구가 대두되고 있다.

일반적으로 고정밀급 박막형 저항으로 사용되어지

고 있는 NiCr계 합금 박막은 낮은 저항온도계수(TCR), 높은 안정성 및 신뢰성의 특성을 가지므로 정밀급 저항관련 전자부품에 많이 응용되고 있으며, 최근까지 박막 제조 공정, 재료 조성 등에 따른 전기·물리적 특성에 관한 많은 연구가 행하여져 왔다, NiCr계 합금 박막에 대한 초기의 연구는 주로 증발(evaporation)방법으로 박막을 제작하였으나 이 방법의 경우 Ni과 Cr의 증기압 차이 때문에 제조된 박막의 조성 재현성이 어려운 단점이 있으므로, 최근에는 주로 스퍼터(sputter)방법으로 제조된 NiCr계 박막에 대한 연구가 발표되고 있다. 또한, NiCr의 2원계 합금에 Al, Cu, Si, Mn, Mo 등의 원소를 첨가함으로써 박막의 TCR 및 비저항 특성 등 전기적 특성의 변화를 유도하기 위한 연구가 수행되었으며, 고온에서 열처리에 의한 박막의 특성 변화에 대한 연구가 발표되었다.

따라서 본 연구에서는 74wt%Ni-18wt%Cr-4wt%Al-4wt%Cu 타겟으로 스퍼터를 사용하여 박막을 제

* : 인하대학교 전기공학과 기능성박막연구실
(인천시 남구 용현동 253)

Fax: 032-863-5822

E-mail : aprilb@daum.net)

** : 유한대학교

조하였으며, 스퍼터공정 및 열처리조건에 따른 저항 온도계수 및 저항 등 전기적 특성을 연구하였다.

2. 실험 방법

박막형성을 위해 DC/RF 마그네트론 스퍼터장치 (EOS-310, APEX)를 이용하였고, 스퍼터 공정조건 및 박막저항 시편을 제조하였다. 실험에 사용된 타겟의 경우 74wt%Ni-18wt%Cr-4wt%Al-4wt%Cu 합금을 이용하였고 기판의 경우는 일반적으로 박막용 알루미늄(Al₂O₃) 기판을 사용하였으며, 박막의 두께, 면저항, 결정상 및 재료성분 특성 등을 분석하기 위해 glass기판을 사용하였다. 알루미늄 기판은 3" × 3" 크기로 레이저 스크라이빙(laser scribing)을 하여 사용하였다.

열처리에 따른 박막의 조성변화를 알아보기 위하여 XRD(X-ray Diffraction, Phillips X'PERT-MPD)를 사용하였다. 이때 XRD측정은 Cu target을 사용하여 2θ = 20° ~ 100°의 범위로 시편을 scanning하였고 스퍼터에 의해 증착된 박막의 면저항 및 두께를 측정하기 위해 면저항측정기(4-Point Probe, ChangMin Tech), 두께측정기(Dektak³, α-step)을 사용하여 측정하였다.

제조된 저항박막의 저항온도계수(TCR)를 측정하기 위해 TCR chamber(4220A, S&A)을 사용하였다. 이때의 측정조건은 설정온도에서 10분을 유지하여 측정하였으며, 일반적으로 25℃에서의 저항(R₂₅)을 기준으로 하여 85℃에서의 저항(R₈₅)을 측정한 후 그 값을 아래식(1)로부터 계산하였다. 여기에서 TCR은 저항온도계수, ΔR은 특정한 온도구간(25℃~85℃)에서의 저항변화량이고, ΔT는 온도구간차이다.

$$TCR[ppm/°C] = \frac{1}{R_{25}[\Omega]} \cdot \frac{\Delta R[\Omega]}{\Delta T[°C]} \quad \text{---(1)}$$

TCR 측정을 위한 저항막 설계는 다음의 사항을 고려하여 저항부분으로 설계되었다. 일반적인 저항은 아래 식(2)과 같이 계산할 수 있다.

$$R = \rho \cdot \frac{L}{tW} \quad \text{---(2)}$$

여기서 ρ는 비저항(Ω·cm), L은 B부분의 저항의 길이(cm), t는 저항막의 두께(cm), W는 저항막의 폭(cm)이다. 일반적으로 비저항은 면저항(R_s, Ω/□)과 막두께의 곱과 같으므로 위의 식(2)은 아래의 식(3)과 같이 쓸 수 있다.

$$R = \frac{R_s L}{W} \quad \text{---(3)}$$

식(3)에서 저항의 길이와 너비를 L=N×W로 생각하면, 식(4)와 같이 쓸 수 있다.

$$R = R_s \times N \quad \text{---(4)}$$

이상의 설계사항을 고려하여 저항값은 막증착후 저항막의 면저항과 두께는 각각 27Ω/□와 2000Å인 경우, 총면저항이 0.5, 1, 1.5 kΩ이 되도록 3종류로 설계를 하였으며, 저항막은 일자형으로 선폭 114μm, 55μm, 37μm설계하였다.

3. 실험 결과

그림 1은 250W, 25mTorr, 50sccm의 공정조건으로 알루미늄 기판과 glass기판을 이용하여 제작한 박막의 두께에 따른 면저항 변화를 나타낸다. 그림에서 보면 박막의 면저항 값은 박막의 두께증가에 따라 매우 민감하게 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 박막두께가 2000Å까지 급격하게 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 glass기판의 경우보다 알루미늄 기판에 증착한 박막의 경우 면저항 값이 크게 나타났으며, 알루미늄 기판이 glass 기판에 비해 표면조도(roughness)가 크기 때문인 것으로 생각된다.

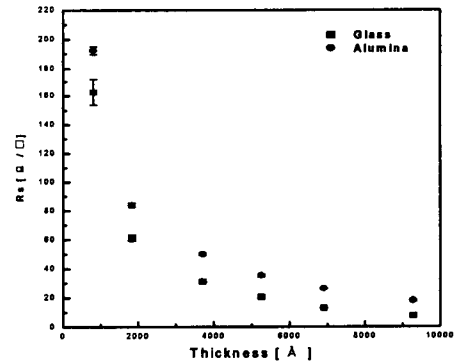


그림 1. 기판종류에 따른 면저항 특성.

Fig. 1. Sheet resistance about substrate.

압력 25mTorr, Ar 50sccm, 10min의 조건으로 power변화에 따른 면저항 특성은 그림 2에 나타내었다. 그림에서 보면 박막의 두께는 power의 증가에 따라 면저항 특성은 그림 2과 같이 지수함수적으로 감소하는 경향을 보이고 있고 power가 250W까지는 급격히 감소하다가 변화폭이 적어지는 현상을 나타내고 있다. 이는 power의 증가에 따른 증착율의 증가에 따른 두께의 증가로 인해 면저항값이 감소되고

일정두께이상에서는 재료 자체의 고유저항값이 나타나고 있다고 생각된다.

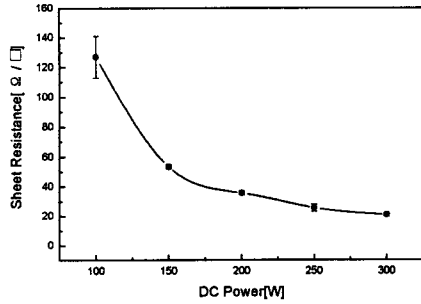


그림 2. Power에 따른 막두께 및 면저항 특성.

Fig. 2. Thickness and Rs with power.

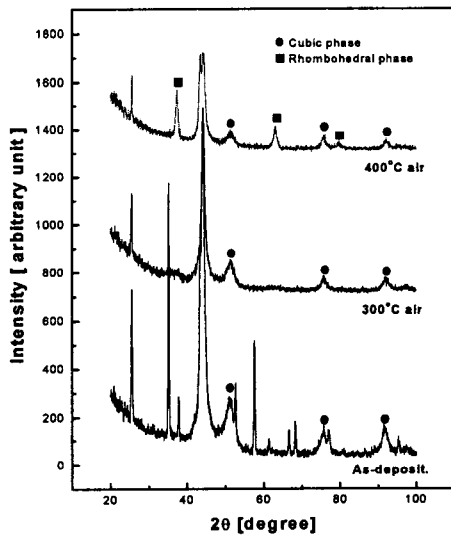


그림 3. 열처리에 의한 박막의 결정성 변화.

Fig. 3. Thin film's XRD with annealing.

제조된 박막의 열적 안정성 및 후처리공정을 고려하면 열처리 공정은 필수적이기 때문에, 열처리에 따른 특성분석을 위해 그림 3은 열처리를 하지 않은 박막과 300°C와 400°C에서 공기분위기로 1시간 열처리 한 박막의 X선 회절 패턴들을 나타낸다. 이 패턴들의 피크(peak) 중에서 표시되지 않은 날카로운 회절 피크들은 사용된 알루미늄 기판으로부터 얻어진

것이다. 이 패턴들에서 볼 수 있는 것처럼 열처리를 하지 않은 박막의 결정상은 입방정(cubic) 구조를 나타내며, 공기 중 400°C에서 열처리 할 경우에 사방정(rhombohedral) 구조의 NiO상이 생긴 것을 알 수 있었다. 이는 열처리에 의한 제조된 박막의 산화현상인 것으로 판단된다.

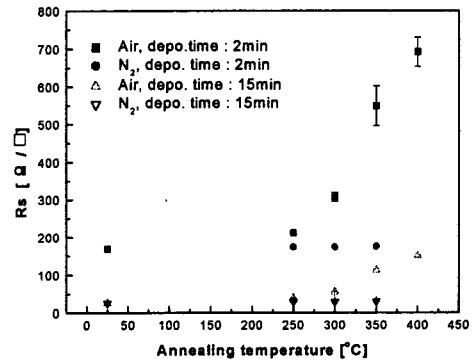


그림 4. 열처리 온도 및 분위기에 따른 면저항 특성

Fig. 4. Sheet resistance with annealing conditions.

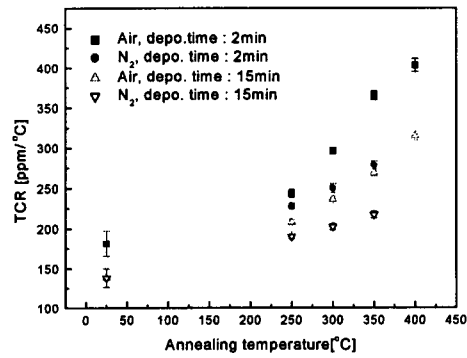


그림 5. 열처리 온도 및 분위기에 따른 TCR 특성.

Fig. 5. TCR with annealing conditions.

그림 4과 5는 압력 25mTorr, Ar 50sccm, DC 250W의 조건에서 증착시간과 공기중과 N₂ 분위기에 1시간 열처리하였을 때의 면저항 및 TCR 특성 변화를 각각 나타낸 것이다. 면저항 측정결과를 보면, 저항 박막의 면저항 특성은 증착시간이 증가됨에 따라 면저항값은 감소함을 알 수 있으며, 질소 분위기 중에서 열처리에 의해 350°C까지 비교적 일

정한 값을 유지하고 있으나, 공기 중에서 열처리한 경우에는 300°C 이상에서 크게 증가하는 것을 알 수 있었다. 이러한 현상은 공기 중에서 열처리 할 경우 300°C 이상의 온도에서 일어날 수 있는 저항 박막의 산화현상과 밀접한 관계가 있을 것으로 생각된다. 그림 5의 TCR 결과를 보면, 증착시간이 증가됨에 따라 TCR값은 감소하였고, 열처리 온도 증가에 따라 일반적으로 TCR이 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나, 질소 분위기에서 열처리 한 경우에는 온도 증가에 따라 TCR 값이 선형적으로 증가하지만, 공기 중에서 열처리 한 경우에는 300°C보다 높은 온도에서 TCR 값이 급격히 증가하는 현상을 나타내었다^[1,2]. 이는, 먼저 저항 특성결과와 같이 공기 중에서 열처리 한 경우 300°C보다 높은 온도에서는 산화현상에 따른 먼저 저항 값의 급격한 증가 현상과 밀접한 관계가 있을 것으로 추정된다. 또한, 먼저 저항 및 TCR특성에서 보면 증착시간에 증가할수록 두께는 증가되며, 두께의 증가로 인해 먼저 저항은 낮아지고 TCR값도 낮아지는 현상을 보였다. 이와같이 같은 공정으로 제조된 박막저항의 경우 먼저 저항이 낮으면 TCR값도 낮아짐을 알 수 있다.

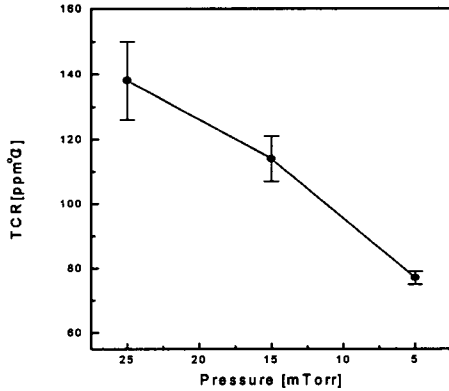


그림 6. 스퍼터 압력에 따른 TCR 특성 .
Fig. 6. TCR with sputtering pressure.

그림 6은 DC 250W, Ar 50sccm 조건에서 스퍼터 압력의 변화에 따른 TCR(온도저항계수)값의 변화를 본 것이다. 그림에서 보면 진공도가 25mTorr, 15mTorr, 5mTorr일 때, 138, 114, 77ppm/°C로 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 박막증착시 산소함량의 감소때문인 것으로 판단된다. 이와 같은 결과로 TCR값의 최소화를 위한 진공도는 낮을수록 좋을 것을 알 수 있다.

그림 7은 250W, 5mTorr에서 기판온도의 증가에 따른 TCR특성을 본 것이다. 그림에서 보면 기판온도가 증가함에 따라 TCR값은 감소하다가 200°C 이상의 온도에서 증가하는 것을 알 수 있다. 일반적으로 기판온도가 증가함에 따라 박막미세구조가 조밀해져서 TCR값이 감소된다고 생각되며, 200°C 이상의 온도에서는 박막의 미세한 구조에 의한 TCR영향에 비해 온도에 따른 TCR값의 상승 때문인 것으로 생각된다.

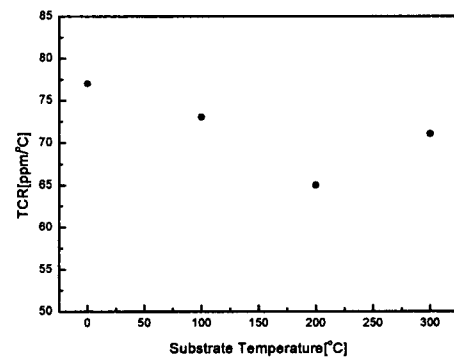


그림 7. 기판온도변화에 따른 TCR.
Fig. 7. TCR with substrate temperature.

4. 결론

- 1) 박막형성시 박막내의 산소함량이 적을수록 TCR값이 낮아진다.
- 2) 열처리에 따라 TCR값은 상승하는데, 이는 박막표면의 NiO산화층의 형성으로 인한 먼저 저항 및 TCR값이 증가되는 것으로 판단된다.
- 3) 저항박막 형성시 기판의 온도가 증가함에 따라 박막의 미세구조가 조밀해져서 TCR값은 낮아지나, 200°C 온도 이상에서는 온도 영향에 의해 TCR값이 증가된다고 생각된다.

참고 문헌

- [1] J.H.Mooij and M.dejong, "Structural and electrical properties of sputtered CrNi films", J. Vac. Sci. Technol., Vol.9, No.1, pp.446, 1972 .
- [2] M.I.Birjega, C.A.Constantin, I.TH.Florescu and C.Sarbu, "Crystallization of amorphous sputtered 55%Cr-45%Ni thin films", Thin Solid Films, 92, 315, 1982.