

RF magnetron sputtering 방법으로 제작한 NiCr 박막의 전기적 특성

김대연, 권정호, 정연학, 이재신

울산대학교 첨단소재공학부

Electrical properties of NiCr thin films deposited by rf magnetron sputtering

Dae-yeon Kim, Jeong-Ho Kwon, Yeon-Hak Jeong and Jae-Shin Lee

School of Materials Science and Engineering, University of Ulsan

Abstract

Precision resistors were prepared by controlling the concentration of Ni and Cr deposited on cylindrical alumina substrates (diameter: 1.7mm, length: 5.5mm). Deposited films were analyzed with FESEM, AES, and AFM. As the amount of Cr in the film increases, the TCR was shifted to negative direction.

Key Words : Thin Film Resistor, NiCr, RF magnetron sputter, Temperature coefficient of resistivity

1. 서론

산업이 고도로 발전함에 따라 우주항공, 통신 및 전자산업에 쓰이는 전자회로가 점차 기능의 고밀도화, 경량, 탄소화, 소형화 그리고 우수한 신뢰성과 안정성을 요구하고 있다, 그 중 많이 사용되고 있는 저항기는 회로내의 잡음 감쇠, 신호의 지연·증폭, PCB(Print Circuit Board)회로 설계의 간소화 등을 위해 정밀도가 높고 고저항화 되어야 한다. 저항기 소자의 저항체를 박막화하여 고정밀·고저항화하는 방법으로는 열분해법, 전기도금법, 무전해 도금법, 물리 증착법 등이 있다. 이들 방법 중 현재 가장 많이 이용되고 있는 박막제조 방법은 스퍼터링법이다. 스퍼터링법을 이용하여 가장 많이 연구되어 온 저항 재료로는 Cu-Mn, Ni-Cr-Si과 Ni-Cr-Al 등이 있으나, 이들 저항체의

경우에는 고주파 감쇠를 위한 고저항체의 형성이 어렵고, 저항값의 안정성을 나타내는 저항온도계수(Temperature coefficient of resistivity : 이하 TCR)가 ± 200 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 이상이므로 정밀한 전자·전기제품의 회로를 제조함에 있어서는 부적합하다. 따라서 우수한 TCR 특성을 나타내는 초정밀 저항체를 제조하기 위해서 전이금속 화합물 등이 주목되고 있다.^[1-3]

TCR이 거의 0에 가까운 초정밀급 저항기는 저항기의 모재에 반대의 TCR 특성을 갖는 film층을 형성하여 서로 보완케 하여야 한다. 이런 다층 박막은 하지 film층으로 정(+)의 TCR 특성을 갖는 도체 저항기용 모재와 부(-)의 TCR을 갖는 부도체 film 사이에 증착하여 TCR 특성을 안정화시킨다. 1987년 Hitachi 연구소는 정(+)의 TCR을 갖는 Ni 하지 film층을 증착한 후 Ta₂N film을 형성하여

TCR 특성을 안정화 한 뒤 표면을 산화시켜 부의 Ta_2O_5 막을 형성하여 면저항값을 약 $2k\Omega/cm^2$ 로 증가시켰고, TCR 특성은 $\pm 25 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 로 안정화시켰다. 상기의 다층 박막을 형성하려면 공정이 추가되어야 한다. 따라서 합금박막을 형성하여 TCR을 $\pm 5\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 이내로 안정화 시켜야 한다. 1991년 마스시타 전자부품 무선 연구소는 Ni-Cr-Al 합금 박막을 이용하여 TCR 특성이 우수한 저항체를 제조하였다.^[4-6]

본 연구에서는 rf magnetron sputtering 법으로 alumina rod 위에 NiCr 박막을 증착하여 고정밀 저항기를 얻고자 하였다. NiCr 합금 박막을 선택한 이유는 저항기의 설계가 용이하고, 주파수 특성이 뛰어나고 잡음면에서 우수하기 때문이다.

2. 실험

2.1 박막증착

본 실험에 사용한 스퍼터링 장비^[7]는 본 연구에 맞도록 부분적으로 변형한 그림 1과 같은 barrel 형이었다. Barrel 크기는 $210\text{mm}\ \varnothing \times 110\text{mm(L)}$ 이었으며, barrel 회전시 알루미늄나로드에 균일한 증착을 위해서 내부에 날을 30° 기울여 설치하였다.

고순도화학연구소의 Ni-Cr(56:44wt%) 타겟을 장착하여 RF 스퍼터링을 하였다. 사용된 기관은 지름이 1.7mm 이고 길이가 5.5mm 인 원기둥형 Al_2O_3 며, 시편을 스퍼터링 장비내에 설치된 barrel 장치에 장입시킨 뒤 $1.5 \times 10^{-5}\text{torr}$ 까지 진공배기한 Ar방전기체를 20sccm 을 흘려 작업 진공도를 $2.8 \sim 3.2 \times 10^{-2}\text{torr}$ 로 유지한 다음 RF Power를 인가하여 5분간 타겟 표면을 pre-sputtering하였다. 자세한 증착조건을 표 1에 나타내었으며, 전체 실험의 공정도는 그림 2에 나타내었다.

2.2 박막저항기 제작

그림 2에 전반적인 박막저항기 제조공정을 나타내었다. 본 연구에서는 2종류의 알루미늄나로드를 이용하였다. 알루미늄나로드의 순도는 85%와 96%였으며, 용도는 정격전력 $1/4 \text{ W}$ 용이다. 알루미늄나로드의 표면에 성분이 NiCr 타겟 물질을 RF

magnetron sputtering 방법으로 증착한 후, 증착한 시료 양단에 전극을 만들어주기 위해 캡(cap)을 씌웠다. 트리밍 공정에서 균일한 turn수를 맞추기 위해서 선별공정을 한다. 선별 공차는 10%로 하였다.

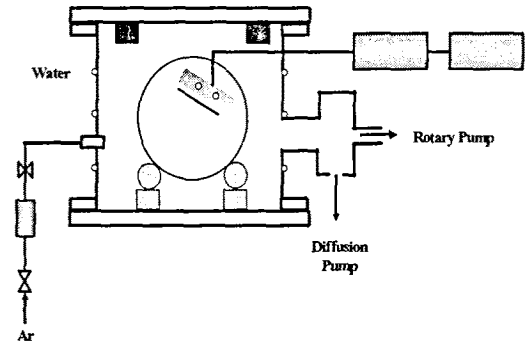


Fig. 1. Schematic diagram of rf magnetron sputtering system.

Table 1. Sputtering conditions.

RF Magnetron Sputtering	Chamber Volume: 10.2 liter
Distance Between Target and Substrate	8cm
Sputtering gas	Ar (99.999%)
Temp. of Substrate($^\circ\text{C}$)	R.T. ~ 200
RF Power(W)	130 ~ 250
Substrate	Al_2O_3 (85%, 96%)

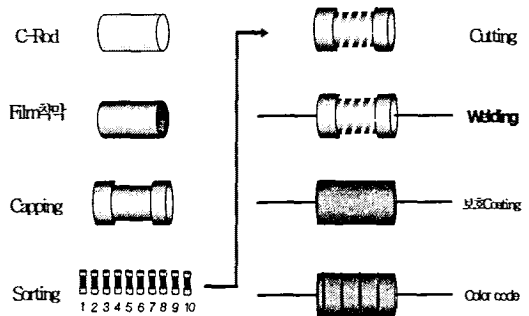


Fig. 2. Fabrication flow for NiCr thin film resistors.

트리밍 공정에서 레이저로 나선형 커팅(helical cutting)을 하고, 양쪽극에 리드(lead)를 용접한 후, 그리고 보호코팅을 하였다.

3. 결과 및 고찰

스퍼터링시 Ar유량을 20 sccm으로 일정하게 유지하고 rf power를 130W부터 250W까지 30W간격으로 변화시키면서 2시간 증착하였을 때 박막의 Rs와 TCR 변화는 그림 4와 같다. 상온에서 rf power가 130W에서 160W, 190W, 220W, 그리고 250W로 증가함에 따라 Rs값은 90.3Ω/□에서 62.2Ω/□, 43.1Ω/□, 32.5Ω/□ 그리고 21.3Ω/□를 나타냈으며, 이때 FeSEM으로 단면사진으로 측정된 결과 각각 90nm, 450nm, 500nm, 530nm 그리고 550nm 이었다. 실험을 통하여 알고 있는 두께와 Rs값을 식(3)에 대입하여 보면 스퍼터 전력이 증가함에 따라 film의 비저항값은 약 8.1, 27.9, 21.5, 17.2, 그리고 11.7 μΩcm이었다.

$$R_s = \rho \frac{l}{wd} = \frac{\rho}{d} \dots \dots \dots (1)$$

TCR의 변화를 보면 스퍼터전력이 130W에서 190W까지는 -20 ppm/°C에서 +25 ppm/°C까지 증가하다가 190W이상에서는 15ppm/°C정도로 감소하는 경향을 보였다.

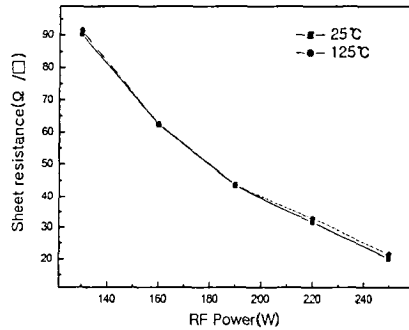
저항체에서 비저항(ρ)과 온도와의 관계식은 다음과 같다.

$$\rho = \rho_0 [1 + (T - T_0) + \dots] \dots \dots \dots (2)$$

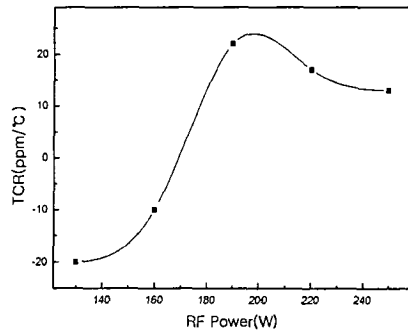
식 (2)에서 α는 TCR이며, 일본공업규격 JIS C 5721-1991에서는 그 측정식을 25°C와 125°C의 범위에서 실용저항기는 주위온도의 영향을 받아 저항치가 변화하는데 일반적으로 저항치의 온도의존성을 표시하는 표준으로 온도계수가 규정되어 있다. 저항온도계수는 실온에서 시편의 저항치를 측정 한 후, 실온+100°C에서 시편의 저항치를 측정하고 전, 후값을 비교한다. 저항온도계수를 구하는 식은 식(3)과 같다.

$$TCR = ((R_2 - R_1) / R_1) \times (1 / (T_2 - T_1)) \times 10^6 \text{ (ppm/°C)} \quad (3)$$

여기서, R₁은 상온에서의 측정 저항치이고 R₂는 상온+100°C에서의 측정 저항치이며 T₁은 상온을, T₂는 상온+100°C를 의미한다.



(a)



(b)

Fig. 3. Electrical properties;
(a) Sheet resistance (b) TCR

이 TCR은 저항값에 따라서 달라진다. 이것은 NiCr이 박막화 될 때에 저항치가 높은 막두께의 얇은 곳에서 Cr의 산화물이 많이 함유하기 때문에 부(-)의 온도계수를 갖는다. 저항치가 가장 낮은 130W에서 음(-)의 온도계수를 가지는데, 그 이유는 고유저항값이 높은 Cr의 함유가 가장 많이 첨가되었기 때문이라고 사료된다.^[8] 일반적인 금속은 정의 TCR을 가지나, 박막형태로 존재할 경우 표면산화로 인해 산화물이 형성되면 음의 TCR을 갖게 된다. 본 연구에서도 Cr/Ni의 조성비가

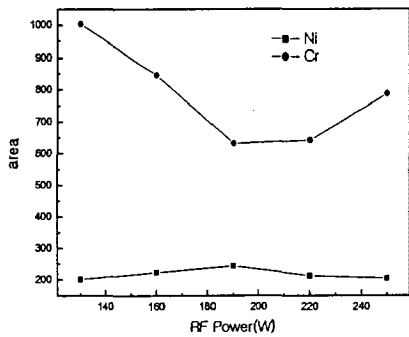


Fig. 4. Area of Ni and Cr atoms from AES analysis.

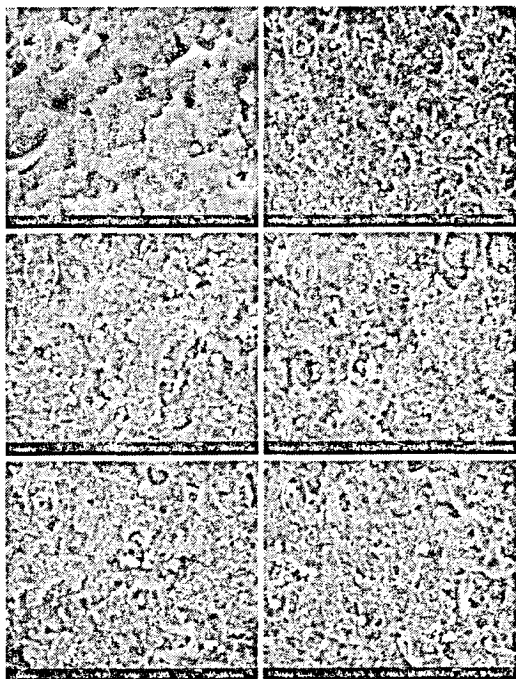


Fig. 5. FESEM photographs of NiCr films deposited under different RF powers; (a) alumina rod. (b)130W, (c)160W, (d)190W, (e)220W, (f)250W.

TCR의 변화에 연관이 있는 것으로 보인다. 이러한 결과는 그림 4의 박막저항의 표면을 AES로 분석한 결과가 뒷받침한다. 그림4는 박막저항의 표면에서 증착전력에 따른 Cr과 Ni 원소의 면적을 상

대적인 변화를 나타낸 곡선이다. 증착전력이 증가함에 따라 박막내의 Cr이량이 감소하다가 다시 증가하는 현상을 나타내었다. 이러한 결과는 TCR의 변화와 상반되게 연관성을 가지며, Ni보다 산화력이 강한 Cr이 많이 존재하면 음의 TCR을 가지는 경향을 보이는 것과 관련이 있기 때문으로 사료된다.

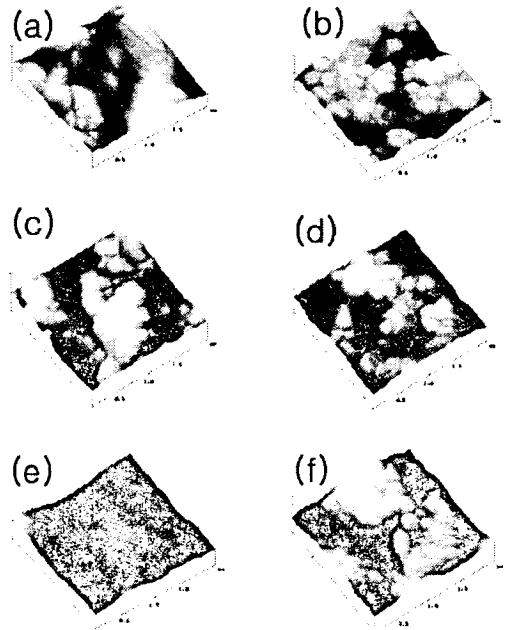


Fig. 6. AFM images of NiCr films deposited under different RF powers; (a) alumina rod. (b)130W, (c)160W, (d)190W, (e)220W, (f)250W.

그림 5의 미세조직을 살펴보면 Cr이 금속임에도 불구하고 나노박막에서 부(-)의 TCR 특성을 갖는 것은 불연속 박막인, 아일랜드(Islands)의 형태로 되어 있기 때문이며, 이는 M.A. Angadi가 실험한 내용과 일치하고 있다.^{[9]-[10]} 실제로 박막의 두께가 수십 nm인 경우 높은 표면에너지로 인해 산화물 형성이 높을 가능성을 보인다.

표면형상과 거칠기를 살펴보기 위해서 AFM 분석을 하여 그림 6에 나타내었다. 그림 (a)의 alumina rod 표면은 비교적 큰 표면 거칠기와 입도를 보인다. 스퍼터전력을 증가시키에 따라서 증착물질도 원시료와 같은 형상을 가지며 성장하나 입도는 더 미세함을 확인 할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 고정밀 박막 저항체를 RF magnetron sputtering 법으로 제조한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. NiCr 합금 박막은 미세결정성을 나타내었으며, 스퍼터 조건에 따라 Ni/Cr의 상대적인 함량이 영향을 받아 박막의 TCR이 변화되는 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2001년도 중소기업청 기술혁신개발사업의 일부입니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] 日本, 電波新聞, 10月 24日号, 東京, 1991.
- [2] K. D. Leaver and B.N. Chapman, "Thin Films, Whkeham Publication", London, pp.29~38, 1971.
- [3] Leon Maissel and Reinhard Glang. "Handbook of Thin Film Technology", McGraw-Hill, pp.18-1~18-25, 1970.
- [4] Hisoyuki Yoehara, Yoshihiro Fukuda, and Tatsuo Shirakawa, ISHM'87 Proceedings, pp.147~150, 1987.
- [5] Milton Ohring, "The Materials Science of Thin Films", Academic Press, pp.101~132, 1992
- [6] Yoichi Murayama, J. Vac. Sci. Techol., Vol. 12, No.4, July/Aug, 1975.
- [7] Milton Ohring, "The Materials Science of Thin Films", Academic Press, pp.101~132, 1992.
- [8] Robert G. Allen Company, INC. Capacitor & Resistors , "Carbon film & metal film resistors", pp.21~30, 1991.
- [9] M. A. Angadi, J. Mat. Sci. Lett. 20, pp.21~30, 1985.
- [10] 和佐清孝, 早川, "박막화기술" 공립출판주식회사, 1992.