

낮은 저항온도계수를 갖는 박막 저항체 제작 및 신뢰성 특성 평가

Fabrication and Reliability Properties of Thin Film Resistors with Low Temperature Coefficient of Resistance

이봉주^{1,a}
(Lee Boongjoo^{1,a})

Abstract

The Ni/Cr/Al/Cu (51/41/4/4 wt%) thin films were deposited by using DC magnetron sputtering method for the application of the resistors having low TCR (temperature coefficients of resistance) and high resistivity from the former printed-results[3]. The TCR values measured on the as-deposited thin film resistors were less than ± 10 ppm/ $^{\circ}$ C and $-6 \sim +1$ ppm/ $^{\circ}$ C after annealing and packaging process. The TCR values were $-3 \sim 1$ ppm/ $^{\circ}$ C (ratio of variation : about 0.02 %) and $-30 \sim 20$ ppm/ $^{\circ}$ C (ratio of variation : about 0.5~1 %) for the thermal cycling and PCT (pressure cooker test), respectively. It was confirmed that the reliability properties of the thin film resistor were good for electronic components.

Key Words : Thin film resistor, Sputtering method, TCR (Temperature coefficient of resistance), Reliability

1. 서 론

첨단전자산업의 발전으로 정보통신, 우주항공 및 정밀계측분야에서 급격한 기술적인 진보를 보이고 있으며, 이에 따라 적용되고 있는 핵심 전자 부품들도 고정밀화, 복합화 그리고 고효율성 및 미세조정기능에 대한 요구의 증가로 계속적으로 발전되어오고 있다.

저항은 주로 전류의 흐름을 제한하여 회로의 각 소자에 목적인 전류를 공급하거나 또는 전압을 분할하는데 사용되는 대표적인 회로의 기초 부품으로 최근 저항온도계수 (TCR: temperature coefficient of resistance)가 낮은 고정밀 저항에 대한 요구가 대두되고 있다. 일반적으로 고정밀급 박막형 저항으로 사용되어지고 있는 NiCr계 합금 박막은 낮은

저항온도계수 (TCR), 높은 안정성 및 신뢰성을 가지므로 정밀급 저항관련 전자부품에 많이 응용되고 있으며, 최근까지 박막 제조 공정, 재료 조성 등에 따른 전기·물리적 특성에 관한 많은 연구가 행하여져 왔다[1,2]. NiCr계 합금 박막에 대한 초기의 연구는 주로 증발 (evaporation)방법으로 박막을 제작하였으나 이 방법의 경우 Ni과 Cr의 증기압 차이 때문에 제조된 박막의 조성에 대한 제현성이 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 연구[2-8]가 수행되었으며, 고온에서 열처리에 의한 박막의 특성 변화에 대한 연구[1,2]가 발표되었다.

본 논문에서는 이전 발표한 결과[3]를 바탕으로 4원계 (51 wt%Ni-41 wt%Cr-4 wt%Al-4 wt% Cu) 저저항온도계수 박막저항을 제작 및 packaging공정을 통해 전기적특성을 파악하고 열충격 및 고온가압시험을 통해 신뢰성 특성을 보았다.

1. 인하대학교 전기공학과 기능성박막연구실
(인천시 남구 용현동 253)

a. Corresponding Author : aprilb@empal.com

접수일자 : 2007. 1. 15

1차 심사 : 2007. 3. 14

심사완료 : 2007. 3. 22

2. 실험 방법

2.1 박막 제조 공정

고정밀급 박막형 저항소자를 개발하기 위해 가장 중요한 공정인 저항막 스퍼터 제조공정을 제외하고는 일반적인 박막공정에 준하여 각 공정 실험을 행하였으며, 각각의 공정에 따른 결과 분석을 토대로 하여 최적의 공정조건을 선택하였다[3]. 저항온도 계수특성을 위해서는 3 "×3 " 크기의 박막용 알루미늄기판을 사용하였고, 후면에 레이저 스크라이빙 (laser scribing)을 하여 측정 및 시제작의 용이하게 제작 하였다. 레이저 스크라이빙된 단위 cell의 크기는 박막의 TCR 측정용 시편의 경우에 약 2 mm×4 mm 크기로 하였고, 신뢰성 측정을 고려하여 제작한 경우는 저항 패턴설계에 따라 약 3.5 mm×6.5 mm 크기로 제작하였다.

2.2 저항막 설계 및 저항온도계수 측정

저항막 설계는 3가지의 저항부분으로 설계되었다. 설계시 고려되었던 사항은 다음과 같다. 일반적인 저항은 아래 식(1)과 같이 계산할 수 있다.

$$R = \rho \cdot \frac{L}{tW} \quad (1)$$

여기서 ρ 는 비저항($\Omega \cdot \text{cm}$), L 은 저항의 길이(cm), t 는 저항막의 두께(cm), W 는 저항막의 폭(cm)이다. 일반적으로 비저항은 면저항(R_s , Ω/\square)과 막두께의 곱과 같으므로 위의 식(1)은 아래의 식(2)과 같이 쓸 수 있다.

$$R = \frac{R_s L}{W} \quad (2)$$

저항값은 막증착후 저항막의 면저항과 두께는 각각 27 Ω/\square 와 2000 Å인 경우, 총면저항이 0.5, 1, 1.5 k Ω 이 되도록 3종류로 설계를 하였으며, 개별 시편의 크기는 TCR 측정이 쉽도록 2 mm×4 mm로 정하였고, 저항막은 일자형으로 선폭 114 μm , 55 μm , 37 μm 설계하였다.

저항온도계수 특성을 측정하기 위해 TCR Chamber (S&A社, 4220A test chamber)와 측정기 (HP34401A)를 사용하였다. 이때의 측정조건은 각각의 설정온도에서 10분을 유지하여 측정하였으며, 일반적으로 25 °C에서의 저항 (R_{25})을 기준으로 하여 85 °C에서의 저항 (R_{85})을 측정하였고, 그 값을 이용하여 저항온도계수는 다음 식(3)으로 얻었다.

$$TCR [PPM/^\circ C] = \frac{1}{R_{25}[\Omega]} \frac{\Delta R [\Omega]}{\Delta T [^\circ C]} \quad (3)$$

2.3 신뢰성 시험

2.3.1 온도 사이클 시험

신뢰성 시험의 한가지로 박막저항 시작품의 온도변화에 대한 내구성 및 전기적 특성 변화를 측정하여 예상되는 불량률을 사전에 예측하는 시험인 온도 사이클 (thermal cycle)/열충격 (thermal shock)을 행하였다. 이때 사용된 장비는 Heraeus社의 HT7012S2를 이용하였고, 이 장비의 Spec.은 사용온도 -75 °C~170 °C, 온도변화율 최대 30 °C/min, 내부size 600×300×300 mm이다. 열충격시험 (temperature cycle machine) 조건은 -40 °C→80 °C→-40 °C의 온도에서 30분 유지하여 6 cycles하고, -25 °C→155 °C→-25 °C의 온도에서 30분 유지하여 5cycles를 행하였다. 일반적인 전자부품의 열충격 시험 (-25 °C→상온→125 °C)에 비하여 높은 온도로 시행하였고, 상온에서의 유지과정을 행하지 않아 열적인 stress를 심하게 가하여, 제조된 박막 저항 제품의 신뢰성적인 측면을 면밀히 관찰하였다.

2.3.2 고온 가압 시험(Pressure cooker tester)

고온, 습도, 고압의 임의적인 조건하에서 전자부품의 특성 및 내구성을 측정하여 불량률 유발시키는 원인과 잠재적인 불량률 도출하기 위한 시험이다. 일반적으로 161 °C, 100 %, 2기압에서 96시간 시험한 경우 상온에서 10,000시간 동작한 것과 유사하다. 사용된 장비는 HIRAYAMA社의 PC-XD를 이용하였고, 이 장비의 spec.은 사용온도 -50 °C~165 °C, 50 %~100 % (RH), 대기~3기압, 내부 size $\Phi 30 \times 400$ 이다. 실행된 시험의 조건은 121 °C, 100 %RH, t=10,080 min동안 시험하여, 박막 저항 시작품의 신뢰성, 특히 습도에 대한 시작품의 내구성을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

저저항온도계수의 박막저항은 이전 보고[3]한 최적의 4원계 조성 (51 wt%Ni-41 wt%Cr-4 wt%Al-4 wt%Cu)을 기준하였으며 증착막은 APEX스퍼터를 사용하여 DC250 w, 5 mtorr, 50 sccm의 공정조건으로 증착하였다. 증착된 박막을 Photo공정에 의해 패터닝 (Patterning)한 후 최적의 열처리 조건으로 생각된 250 °C에서 3시간 30분 동안 공기중에서 열처리하였다. 전극형성을 위한 패터닝형성은 lift-off공정을 이용하여 전극패터닝형성을 시킨후 전극을

증착하였다. 전극은 열확산[2] 및 신뢰성적인 특성을 위해 buffer layer/metal electrode의 2층 구조의 형태로 하였다. 이때 buffer layer로써 Ni막을 사용하였고, electrode전극은 Au의 2-layer형태의 전극을 이용하였다. 각각의 증착조건은 Ni의 경우, 자성체인 것을 감안하여 RF 500 W, 5 mtorr, 50 sccm의 공정으로 박막두께 1000 Å으로 증착하였으며, Au 전극의 경우 100 W, 5 mtorr, 30 sccm으로 박막두께 1 μm를 기준으로 하여 증착하였다.

저항 제품의 실제 저항 값을 변화시킬 수 있는 가장 중요한 환경요인은 온도이다. 이런 이유로 제조공정에서 열처리 공정은 필수적이다. 온도이외에 저항 값을 변화시키는 대부분의 다른 변수는 보호막(passivation), 패키징(packaging), 기공도(porosity), 기판(substrate) 등이 있다.

본 연구에서 제작된 저항박막에 대한 신뢰성 측정을 위해 상용화된 전자부품 패키징 기술법을 이용하였다. 보호막(passivation)의 경우는 스크린프린팅법을 이용하여 poly mer계 수지를 이용하였고, 에폭시를 이용하여 몰딩을 행하여 lead type의 시작품을 만들었다.

그림 1은 passivation 및 몰딩공정 후의 시작품 형상이고, 그림 2는 최적의 조성을 이용하여 제작된 시작품에 대한 저항 및 저항온도계수의 그림이다. 그림에서 보면 상온에서의 저항의 분포는 45 kΩ~80 kΩ의 값을 보이고 있으며, 이에 따른 저항

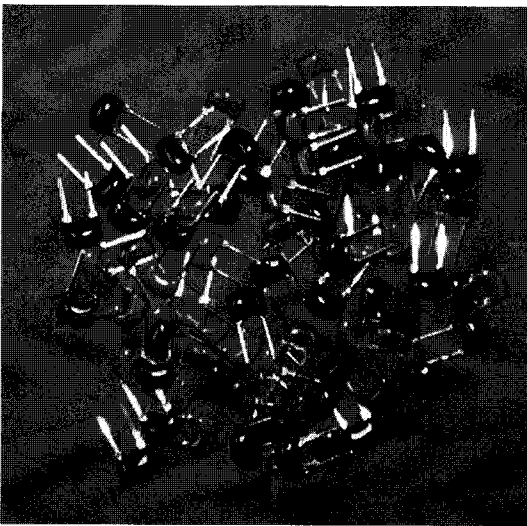


그림 1. 박막저항 패키징 형상.
Fig. 1. Packaging of thin film resistor.

온도계수값은 -6 ppm/°C~1 ppm/°C의 매우 안정한 특성을 볼 수 있다. 이와 같은 결과로 타겟 조성자체에 대한 안정된 특성의 저항박막 시작품을 얻을 수 있었다. 여기서 상온에서의 저항 분포가 넓은 영역인데, 이는 사용한 타겟이 2 “이며, 사용한 기판은 70 mm×70 mm으로 전체적인 두께편차로 인하여 나온 값이며, 또한 트리밍 공정을 하지 않은 상태이므로, 넓은 저항의 분포값을 보였다. 그러나, 이와 같은 저항의 분포는 타겟의 크기를 크게 하며, 트리밍 공정에 의해 충분히 정확한 저항 값을 만들 수 있다.

신뢰성 시험은 온도변화에 대한 내구성 및 전기적 특성 변화를 측정하여 예상되는 전자부품의 불량률을 사전에 예측하는 시험인 온도 사이클(thermal cycling)시험과 고온, 습도, 고압의 임의적인 조건 하에서 전자부품의 특성 및 내구성을 측정하여 불량률 유발시키는 원인과 잠재적인 불량률 도출하기 위한 시험인 고온 가압 시험(PCT)을 진행한 후 저항 값 및 저항온도계수 특성의 변화를 측정하였다. 신뢰성 시험의 조건은 일반적인 수동소자 부품의 조건을 기준으로 하여 행하였다. 온도 사이클 시험은 초기 조건을 -40 °C/30분 유지 후 80 °C/30분 유지를 1 cycle로 하여 6 cycle 시험을 한 후 -25 °C/30분 유지후 +155 °C/30분 유지하는 것을 1 cycle로 하여 5 cycle 시험을 하였다. 고온 가압 시험은 온도 121 °C, 상대습도 100 %, 압력 2기압상태로 178시간 유지한 후 종료하였다. 그림 3은 온도 사이클 시험 및 고온 가압 시험 후 저항 값에 따른 저항 변화를 $\Delta R/R_{25}$ %로 나타낸 것이다. 그림에 나타난 것과 같이 온도 사이클 시험 후 저항 변화는 대부분의 시편들이 약 0.02 % 이내로 매우 안정된 특성을 나타내었다. 고온 가압 시험의 경우에는 시편의 저항변화율이 약 0.5 ~1 %로 온도 사이클 시험에 비해 큰 변화를 나타내었다.

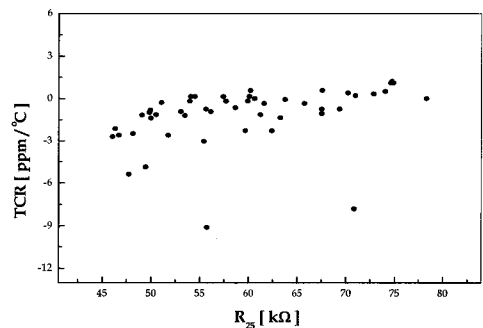


그림 2. 시제작된 저항박막의 저항온도계수.
Fig. 2. TCR of fabricated thin film.

그림 4는 온도싸이클 시험 및 고온 가압 시험 후 저항에 따른 저항온도 계수 특성의 변화를 나타낸다. 이 그림에서 볼 수 있는 것처럼 온도 싸이클 시험 후 저항온도계수 값은 약 $-3 \text{ ppm}/^\circ\text{C} \sim +1 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 범위로 시험전의 저항온도 계수값이 거의 변화하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 고온 가압 시험 후의 저항온도 계수값은 약 $-30 \text{ ppm}/^\circ\text{C} \sim +20 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 범위로 시험 전에 비해 특성이 크게 변화한 것을 알 수 있었다.

고온 가압 시험의 경우에는 시험 후 시편의 lead가 변색된 것으로 나타났으며, 이것은 고온 가압 시험 조건하에서 lead 재료의 안정성이 낮은 것으로 판단된다. 고온 가압 시험의 경우에 전술한 바와 같이 저항변화율이 큰 것과 이에 따라 저항온도 계수특성이 크게 변화한 것은 사용된 보호막 및 코팅용 에폭시 재료가 고온 가압 시험조건하에서 특히 습기 (moisture)로부터 저항 박막을 충분히 보호해 주지 못해 저항 특성이 변화하거나, 에폭시 재료와 lead사이의 계면이 불완전하게 sealing 되어 습기가 계면을 통해 침투하여 lead 부식에 의한 전극 박막과의 접촉저항에 영향을 주게 된 것이 가능한 주요 원인으로 생각된다.

이러한 신뢰성 결과로부터 안정된 조성의 낮은 저항온도계수특성을 얻을 수 있었고, 신뢰성 시험을 통하여 박막저항체 자체에 대한 신뢰성을 재확인 할 수 있었다. 그러나, 고온 가압 시험을 통한 내환경성 특성의 경우, 저항 박막의 보호막 형성, 에폭시 및 lead 재료 등에 관한 개선 연구가 필요한 것으로 생각된다.

4. 결론

저저항온도계수의 박막저항의 제조하였고, 실제 제품활용측면을 고려한 열충격 및 고온가압시험등의 신뢰성 특성을 파악한 결과 다음과 같이 요약할수 있다.

- (1) 최적의 조성 (Ni/Cr/Al/Cu=51/41/4/4 wt%)을 이용하여 최적의 공정조건으로 제작하였고, Packaing공정을 통해 제조된 시작품에 대한 저항온도계수는 $-6 \sim 1 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 의 매우 안정한 특성을 볼 수 있다.

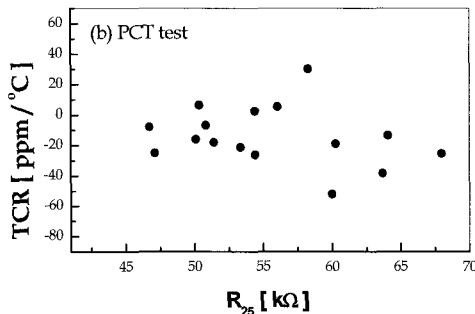
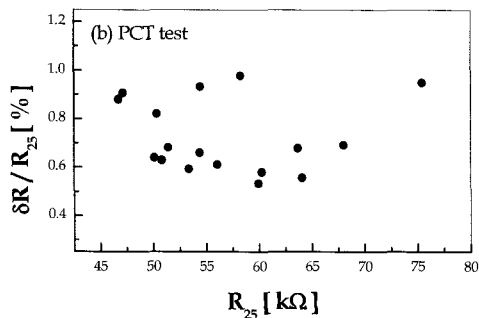
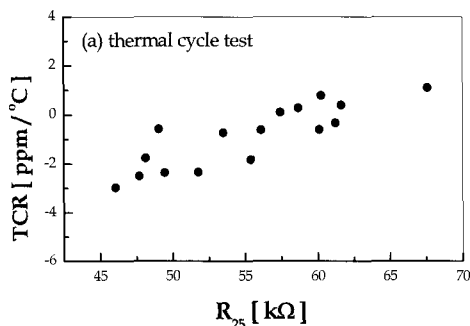
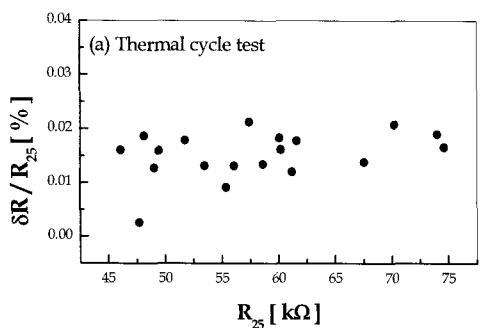


그림 3. 신뢰성 시험후 저항 변화.

Fig. 3. Resistance variation after thermal cycling/PCT test.

그림 4. 신뢰성 시험후 저항온도계수 특성.

Fig. 4. TCR after thermal cycling or PCT test.

- (2) 온도 싸이클 시험 및 고온 가압시험후 저항값에 따른 변화를 보면 온도싸이클 시험후 $-3\sim 1$ ppm/°C의 저항온도계수값 (변화율 약0.02 %)을 보이며, 고온가압시험의 경우에는 $-30\sim 20$ ppm/°C (변화율 0.5~1 %)의 저항온도계수값을 보였다.
- (3) 이와 같은 신뢰성 시험결과 박막에 대한 저항온도계수값은 안정한 값을 얻을수 있었으나, 패키징 기술에 대한 연구가 지속적으로 필요할 것으로 생각된다.

5. 참고 문헌

- [1] M. Kotai et. al., "Segregation phenomena in thin film NiCr layers", Vacuum, Vol. 33(1/2), p. 49, 1983.
- [2] Bruckner W., "Electrical resistance and mechanical stress in NiCr/Cu/NiCr thin film", Journal of Applied Physics, Vol. 85, p. 935, 1999.
- [3] B.-J. Lee, "Quaternary alloy films for thin film resistors", Jpn. Appl. Phys., Vol. 42, Pt. 1, No. 3, p. 1405, 2003.
- [4] D. M. Buczek, "Thin-film NiCr resistor", J. Vac. Sci. Technol., Vol. 15, No. 2, p. 370, 1978.
- [5] A. P. Bhatt et. al., "D.C. sputtering of Ni-Cr thin film resistors", Proc. of the 1984 International symp. on microelectronics, p. 370, 1984.
- [6] K. Matsuda, "Super precision metal film resistors", National Tech. Rep., Vol. 26, No. 2, p. 283, 1980.
- [7] E. Schippel and Kristall und Technik, "Modification test of vacuum deposition Ni/Cr films with Mn and Si for thin film resistors", Kristall und technik, Vol. 15, No. 8, p. 917, 1980.
- [8] 이봉주, 차성익, 김철수, 한정인, 김종택, 이덕출, "Ni-Cr-Al-Cu계 박막저항의 전기적 특성", 전기전자재료학회논문지, 14권, 4호, p. 328, 2001.