

Ni-Cr계 합금을 이용한 박막저항의 제작 및 신뢰성

Fabrication and Reliability Properties of Ni-Cr Alloy Thin Film Resistors

이봉주^{1,a}
(Lee Boongjoo^{1,a})

Abstract

From the progressing results, it was found that thin film using 52 wt% Ni - 38 wt% Cr - 3 wt% Al - 4 wt% Mn - 3 wt% Si target has good characteristics for low TCR (temperature coefficients of resistance) and high resistivity. The optimum sputtering condition was DC 250 W, 5 mtorr, and 50 sccm and the proper annealing condition was 350 °C / 3.5 hr in air atmosphere. At these fabricated conditions, thin film resistors with TCR values of less than ±10 ppm/°C were obtained. The TCR of the packaged-samples made at proper fabrication conditions was -3 ~ 15 ppm/°C after the thermal cycling and -20 ~ 180 ppm/°C after PCT (pressure cooker test), we could confirm reliability for the thin film resistor and find the need for enduring research about packaging method.

Key Words : Thin film resistor, 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. 이 중에서도 저항은 주로 전류의 흐름을 제한하여 회로의 각 소자에 목적인 전류를 공급하거나 또는 전압을 분할하는데 사용되는 대표적인 회로의 기초 부품으로 최근 저항·온도계수가 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 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 연구[1-7]가 수행되었으며, 고온에서 열처리에 의한 박막의 특성 변화에 대한 연구가 발표되었다.

본 논문에서는 이전 발표한 논문[8]을 바탕으로 불순물효과를 증진시키고자 5원계조성(52 wt% Ni - 38 wt% Cr - 3 wt% Al - 4 wt% Mn - 3 wt% Si)을 선정하여 박막저항을 제작하였고 제작된 박막저항의 패키징공정을 통해 전기적특성을 파악하고 열충격 및 고온가압시험을 통해 신뢰성 특성을 보았다.

1. 남서울대학교 전자공학과

(충남 천안시 성환읍 매주리 21)

a. Corresponding Author : bjlee@nsu.ac.kr

이 논문은 2007학년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음

접수일자 : 2007. 10. 4

1차 심사 : 2007. 11. 10

심사완료 : 2007. 11. 26

표 1. 저항박막의 제작 조건.

Table 1. Fabrication condition of thin film resistor.

No.	공정조건					
	Power	Pressure	flow	anneal.	thick.	Mask*
S1	DC 250 W	5 mtorr	50 sccm	350 ℃	1300 Å	#1
S2					2100 Å	
S3					1300 Å	#2
S4					2100 Å	

* Fig. 1 참조

2. 실험 방법

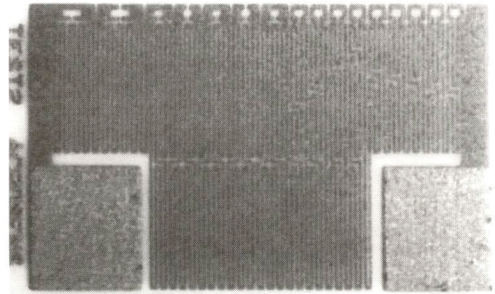
2.1 고정밀급 박막형 저항 소자 제작

고정밀급 박막저항의 기판은 기본적으로 알루미늄이나 규판을 사용하였으며, 박막의 두께, 면저항, 결정상 및 재료성분 특성 등을 분석하기 위해 글라스(C社 7059)기판 및 실리콘웨이퍼를 사용하였다. 알루미늄이나 규판은 3"×3" 크기로 미국의 C社의 박막용 알루미늄 기판을 구입하여 국내 업체에서 레이저 스크라이빙을 하여 사용하였다. 스크라이빙된 단위 셀의 크기는 박막의 TCR 측정용 시편의 경우에 약 2 mm×4 mm 크기로 하였고, 박막 저항 시제품의 경우는 각각의 저항 패턴설계에 따라 약 3.5 mm×6.5 mm 크기로 제작하였다. 일반적으로 저항막의 형성 방법은 증발법과 스퍼터링법이 사용되고 있으나, 스퍼터 방법의 경우가 증발법에 비해 박막의 형성이 안정하며, 재현성이 우수한 장점이 있어 널리 사용되고 있다. 또한 조성의 합성이 용이하여 스퍼터 방법을 이용하였다. 이때 이용되어진 장비는 APEX sputtering M/C (EOS-310, APEX)이었고 공정조건을 변화시켜 최적의 공정조건은 표 1과 같다.

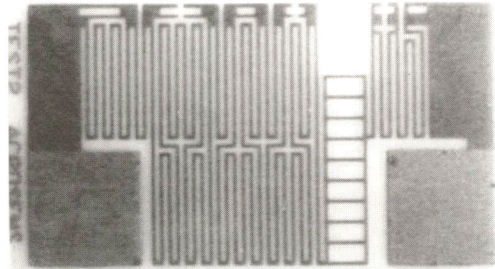
2.2 저항막 설계 및 저항온도계수 측정[8]

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 ℃에서의 저항 (R_{25})을 기준으로 하여 85 ℃에서의 저항 (R_{85})을 측정하였고, 그 값을 이용하여 저항온도계수는 다음 식(1)으로 얻었다.

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



(a) 박막 저항 pattern, mask #1



(b) 박막 저항 pattern, mask #2

그림 1. 제작된 박막 저항의 pattern.

Fig. 1. Pattern of fabricated thin film resistor.

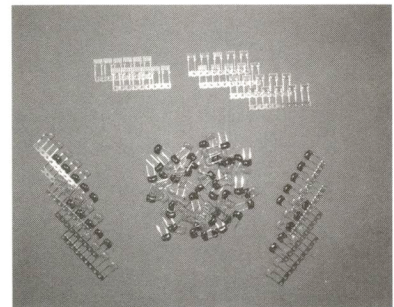


그림 2. Packaging된 소자 모습.

Fig. 2. Packaged thin film resistor.

2.3 신뢰성 시험

2.3.1 패키징

박막의 신뢰성 및 외부환경에 대한 영향을 최소화 시키기 위해 패터닝된 저항막 상부에 폴리머계통의 상용 에폭시를 이용하여 보호막을 프린팅한 후 130 ℃에서 20분간 열처리하였다. 또한, lead frame과의 contact 향상을 위하여 solder cream을 이용하여 저항막을 프린팅 한후 belt furnace 혹은 강제히터를 이용하여 열처리하여 박막저항 시편을 제작하였다. Lead Frame의 경우는 기판의 크기와

형태를 고려하여 선택되었다. 최종적인 시제품을 제작하기 위해서 에폭시 몰딩의 경우 상용 에폭시를 이용하여 도포한후 170 °C에서 3시간 30분간 열처리를 2회 반복한 후 제작하였고, 완성된 소자 모습은 그림 2와 같다.

2.3.2 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 이용하였다. 열충격시험 조건은 -40 °C→80→-40 °C의 온도에서 각각 30분 유지하여 6 사이클 하고, -25→155→-25 °C의 온도에서 30분 유지하여 5회 반복하였다. 일반적인 전자부품의 열충격 시험 (-25 °C→상온→125 °C)에 비하여 높은 온도로 시행하였고, 상온에서의 유지과정을 행하지 않아 열적인 stress를 심하게 가하여, 제조된 박막저항 제품의 신뢰성적인 측면을 면밀히 관찰하였다.

2.3.3 고온 가압 시험 (Pressure cooker test)

고온, 고습, 고압의 임의적인 조건하에서 전자부품의 특성 및 내구성을 측정하여 불량률을 유발시키는 원인과 잠재적인 불량률을 도출하기 위한 시험이다. 일반적으로 161 °C, 100 %, 2기압에서 96시간 시험한 경우 상온에서 10,000시간 동작한 것과 유사하다. 사용된 장비는 HIRAYAMA社의 PC-XD를 이용하였다. 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

저항 박막의 열적안정성 및 후처리공정을 고려할 때 열처리 공정은 필수적이기 때문에, 열처리에 따른 특성분석을 위해 그림 3은 저항막을 열처리를 하지 않은 박막과 300 °C와 400 °C에서 공기분위기로 1시간 열처리 한 박막의 X선 회절 패턴을 본 결과이다. 이 패턴들의 피크중에서 표시되지 않은 날카로운 회절 피크들은 사용된 알루미늄 기판으로부터 얻어진 것이다. 이 패턴들에서 볼 수 있는 것처럼 열처리를 하지 않은 합금 박막의 결정상은 입방정의 (111) 우선 방위 (preferred orientation) 구조를 나타내며, 공기 중 400 °C에서 열처리 할 경우에 사방정 (rhombohedral) 구조의 NiO상이 생

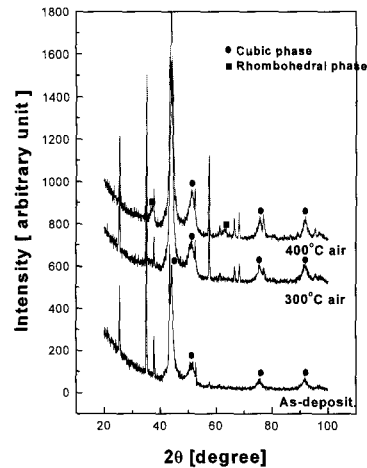


그림 3. 열처리에 의한 결정성 변화.

Fig. 3. XRD for variatious annealing temperatures.

긴 것을 알 수 있었다. 이는 열처리에 의한 제조된 박막의 산화현상인 것으로 판단된다. 즉 신뢰성측면을 고려할 때 열처리공정이 필요하지만, 산화현상을 고려하여 최적의 열처리 공정이 필요하다. 이런 이유로부터 본 연구에서는 제조된 박막저항 열처리온도를 400 °C이하로 선정하였다.

본 연구에서 제작된 저항박막에 대한 신뢰성 측정을 위해 박막상층에 보호막 및 폴리머계 수지를 이용하여 몰딩을 하여 시작품을 제작하였다. 표1에서 제시한 동일한 박막공정 (DC 250 W, 5 mtorr, 50 sccm, 350 °C annealing)으로 총4가지의 시편의 제작사양 (두께변화, 설계패턴변화)을 기준하여 최적의 조성 (52 wt% Ni-38 wt% Cr-3 wt% Al-4 wt% Mn-3 wt% Si)을 이용하여 제작된 시작품에 대한 저항 및 저항온도계수의 측정값은 그림4에 나타내었다. 그림에서 보면 상온에서의 마스크의 설계차이에 따라 저항의 분포는 45 ~ 90 kΩ 및 11 ~ 28 kΩ의 값을 보이고 있으며, 이에 따른 저항온도계수값은 약 -10 ~ +10 ppm/°C 범위의 매우 안정한 특성을 볼 수 있다. 이와 같은 결과로 타겟 조성자체에 대한 안정된 특성의 저항박막 시작품을 얻을 수 있었다. 그러나, 상온에서의 저항 분포가 넓은 영역으로 보이는데, 이는 사용한 타겟의 크기가 2"이며, 사용한 기판은 70×70 mm으로 전체적인 두께의 균일도에 오차가 발생하여 나온 값으로 생각된다. 또한 트리밍 공정을 하지 않은 상태이므로, 넓은 저항의 분포값을 보였다. 그러나, 이와 같은 저항의 분포는 타겟의 크기를 크게 하고, 세부저항값을 맞추기 위한 트리밍 (trimming) 공정에 의해 충분히 정확한 저항값을 만들 수 있다.

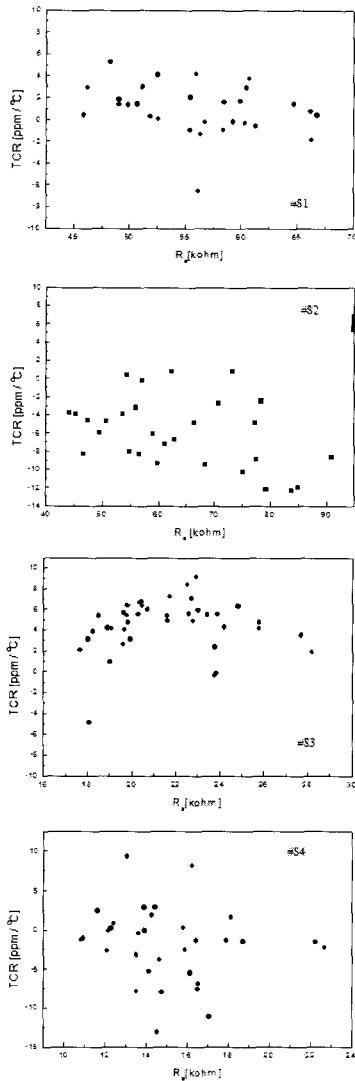


그림 4. 시제작된 저항박막의 저항온도계수.
Fig. 4. TCR of fabricated thin film.

상기의 결과값을 기준하여 저항 및 저항온도계수값의 편차를 기준하여 신뢰성 시험의 결과중 #S3 (DC 250 W, 5 mtorr, 50 sccm, 350 °C annealing, 1300 Å, Mask #2)의 결과값을 보았다. 신뢰성 시험은 온도변화에 대한 내구성 및 전기적 특성 변화를 측정하여 예상되는 전자부품의 불량률 사전에 예측하는 시험인 온도 사이클시험과 고온, 고습, 고압의 임의적인 조건하에서 전자부품의 특성 및 내구성을 측정하여 불량률 유발시키는 원인과 잠재적인 불량률 도출하기 위한 시험인 고온 가압 시험을 진행한 후 저항 값 및 저항온도계수 특성

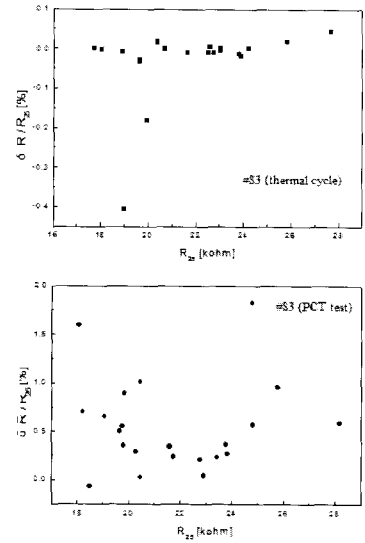


그림 5. 신뢰성 시험후 저항 변화.
Fig. 5. Resistance variation after thermal cycling/PCT test.

의 변화를 측정하였다. 신뢰성 시험의 조건은 일반적인 수동소자 부품의 조건을 기준으로 하여 행하였다. 온도 사이클 시험은 초기 조건을 -40 °C/30분 유지후 80 °C/30분 유지를 1사이클로 하여 6사이클 시험을 한 후 계속해서 -25 °C/30분 유지후 +155 °C/30분 유지하는 것을 1사이클로 하여 5사이클 시험을 하였다. 고온 가압 시험은 온도 121 °C, 상대습도 100 %, 압력 2기압상태로 178 시간 유지한 후 종료하였다. 그림 5은 온도 사이클 시험 및 고온 가압 시험 후 저항 값에 따른 저항 변화율 $\delta R/R_{25}$ %로 나타낸 것이다. 그림에 나타난 것과 같이 온도 사이클 시험 후 저항 변화는 대부분의 시편들이 약 0.04 % 이내로 안정된 특성을 나타내었다. 고온 가압 시험의 경우에는 시편의 저항 변화율이 약 1 % 이내로 온도 사이클 시험에 비해 큰 변화를 나타내었다.

그림 6은 온도사이클 및 고온 가압 시험 후 신뢰성시험 전후의 저항에 따른 저항온도 계수 특성의 변화를 나타낸다. 이 그림에서 볼 수 있는 것처럼 온도 사이클 시험 후 저항온도계수 값은 약 -3 ~ +15 ppm/°C 범위로 시험전의 저항온도 계수값이 전체적으로 볼때, 거의 변화하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 고온 가압 시험 후의 저항온도 계수값은 약 -20 ~ +180 ppm/°C 범위로 시험전에 비해 특성이 크게 변화한 것을 알 수 있었다.

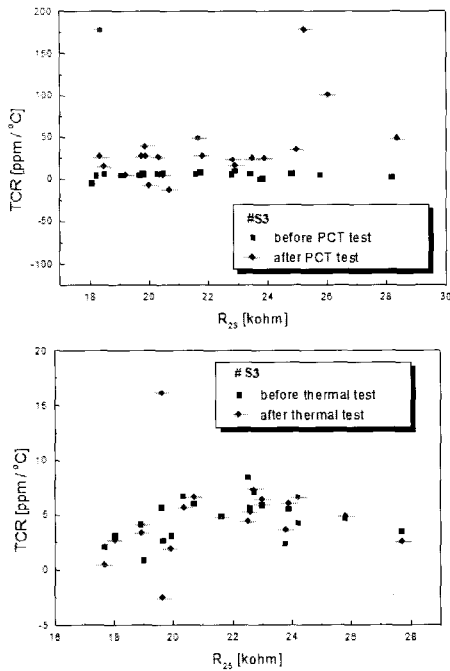


그림 6. 신뢰성 시험후 저항온도계수 특성.
Fig. 6. TCR after thermal cycling or PCT test.

이에 대한 원인을 생각해 보면, 고온 가압 시험의 경우에는 시험 후 시편의 lead가 변색된 것으로 나타났다. 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 시험조건 하에서 특히 습기로부터 저항 박막을 충분히 보호해 주지 못해 저항 특성이 변화하거나, 에폭시 재료와 lead사이의 계면이 불완전하게 sealing되어 습기가 계면을 통해 침투하여 lead 부식에 의한 전극 박막과의 접촉저항에 영향을 주게 된 것이 가능한 주요 원인으로 생각된다.

이러한 신뢰성 결과로부터 제작후의 낮은 저항온도 계수특성을 얻을 수 있었고, 이에 대한 시작품의 신뢰성 시험결과를 고려할 때, 열충격시험에서의 약 -3~+15 ppm/°C의 특성값은 아주 좋은 결과라고 생각된다. 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

5원계조성을 기준하여 연구중인 타겟조성중 최적의 조성에 대한 최적의 공정조건으로 박막저항을 제작하였고, 실제 제품활용측면을 고려한 열충격 및 고온가압시험등의 신뢰성 특성을 파악한 결과 다음과 같이 요약할수 있다.

(1) 박막저항의 신뢰성측면을 고려할 때, 필수적으로 열처리공정이 필요한데 이에 대한 공정조건은 NiO의 산화막 생성을 고려할 때, 400 °C이하의 온도로 선정하였다.

(2) 최적의 조성 (52 wt% Ni-38 wt% Cr-3 wt% Al-4 wt% Mn-3 wt% Si)을 이용하여 최적의 공정조건(DC 250 W, 5 mtorr, 50 sccm, 350 hr annealing)으로 제작하였고, 신뢰성평가를 위한 패키징 공정을 통해 제조된 시작품에 대한 저항온도계수는 -10~+10 ppm/°C의 안정한 특성을 얻었다.

(3) 온도 싸이클 시험 및 고온 가압시험후 저항값에 따른 변화를 보면 온도싸이클 시험후 -3~+15 ppm/°C의 저항온도계수값을 보이며, 고온가압시험의 경우에는 -20~180 ppm/°C의 저항온도계수값을 보였다.

(4) 이와 같은 신뢰성 시험결과 박막에 대한 초기 특성 및 열충격시험의 결과는 저항온도계수값은 안정한 값을 얻을 수 있었으나, 고온가압시험의 경우 다소 높은 값을 얻었다. 상품화 측면을 고려할 때, 박막제조공정 이외의 패키징 기술에 대한 연구가 지속적으로 필요할 것으로 생각된다.

참고 문헌

[1] D. W. braudaway, "Precision resistors: a review of material characteristics, resistor design, and construction practices", IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. 48, No. 5, p. 878, 1999.

[2] S. Baunack, W. Brückner, W. Pitschke, and J. Thomas, "Auger electron spectroscopy study of interdiffusion, oxidation and segregation during thermal treatment of NiCr/CuNi(Mn)/NiCr thin films", Applied Surface Science, Vol. 144-145, p. 216 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] M. Ohring, "The materials science of thin films", Academic Press, p. 463, 1992.
- [5] M. A. Bayne, "Al-doped Ni-Cr for temperature coefficient of resistance control in hybrid thin film resistors", J. Vac. Sci. Technol. A, Vol. 4, No. 6, p. 3142, 1986.
- [6] K. Matsuda, "Super precision metal film resistors", National Tech. Rep., Vol. 26, No. 2, p. 283, 1980.
- [7] M. Naka, T. Shibayanagi, M. Maeda, M. Mori, and H. Mori, "Thermal stability of nanostructured cr-Ni alloys", Vacuum, Vol. 73, p. 619, 2004.
- [8] 이봉주, "낮은저항온도계수를 갖는 박막저항체 제작 및 신뢰성특성 평가", 전기전자재료학회논문지, 20권, 4호, p. 352, 2007.
- [9] J. A. Thornton, "The microstructure of sputter-deposited coatings", J. Vac. Sci. Technol., Vol. a4, No. 6, p. 3095, 1986.
- [10] I. H. Kazi, P. M. Wild, T. N. Moore, and M. Sayer, "The electromechanical behavior of nichrome (80/20 wt%) film", Thin Solid Films, Vol. 433, p. 337, 2003.