

RuO₂ 후막 전력 저항기의 고장 메커니즘

최성순, 이관훈
전자부품연구원

Failure Mechanism of RuO₂ Thick Film Power Resistor

Sung-Soon Choi, Kwan-Hoon Lee
Korea Electronics Technology Institute

Abstract : RuO₂ 계열의 후막재료를 사용한 저항의 신뢰성시험을 실시하고 주요 고장 메커니즘을 확인하였다. 사용된 소자의 기판은 AlN 세라믹 기판이며, 후막재료로 RuO₂ paste를 프린팅하고 소결시킨 구조의 고주파용 저항(RF Termination)이다. 주요 고장 메커니즘은 후막(Thick Film)의 특성변화, 기판의 특성변화, 전극-후막 간의 접촉특성변화, Trimming 부위의 열화, 열팽창계수 차이에 의한 기계적 파손 등으로 알려져 있으며, 본 실험에서는 고장모드 분석을 위해 과부하시험, 고온동작시험 등을 포함한 신뢰성 환경시험과 수명시험을 실시하였다. 각 시험 결과 수명시험 후 전극-후막 간의 접합부 파괴가 관찰되었고, 열충격 시험 결과 후막의 crack이 관찰되었다.

Key Words : RuO₂, AlN, Failure Mechanism

1. 서론

후막 저항은 하이브리드 반도체 모듈에 많이 사용되는 소자로서, 후막저항 재료는 대부분 RuO₂ 계열의 paste를 사용하고 있다. RuO₂ 계열의 저항재료는 화학적 반응성이 적고 신뢰성이 우수하기 때문에 가장 널리 사용되고 있다.

일반적인 제품의 구조는 AlN 세라믹 기판 위에 저항체 후막이 인쇄되어 있고 저항체 양 끝으로 전극이 형성된 구조이며, 표면에 보호층이 추가로 형성되어 있다.

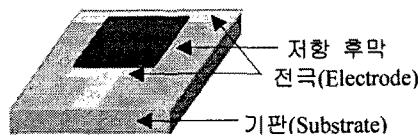


그림 1. 전력용 후막저항기 구조

RuO₂ 계열의 저항물질은 유리계 물질과 혼합되어 paste 형태로 생산되는데, 기판 위에 paste를 인쇄하고 trimming을 통해 저항값을 조정된 뒤 이를 소결하여 생산한다. 소결되는 과정 중 물리적, 또는 화학적인 변화가 동반되므로 공정변수가 적절히 제어되어야 일정한 특성의 저항소자 생산이 가능하다[1-2]. 특히 이러한 특성이 제품의 신뢰성을 결정하는 주요 변수이므로 원료 및 공정이 신뢰성을 결정하는 주요 요소가 된다. 본 논문에서는 RuO₂ 계열의 저항재료와 AlN 세라믹 기판을 재료로 사용한 고전력용 후막 저항기의 신뢰성시험을 실시하고 주요 고장모드를 분석하였다.

2. 고장 메커니즘

고장형태는 주로 저항값 변화, 전기적 단락의 형태로 분류할 수 있다. 저항값 변화를 살펴보면 주로 저항막 재료의 특성 변화, 전극-저항막 사이의 접합특성 변화에 기인하며, 전기적 단락은 저항막 등의 기계적 파괴에 주로

기인한다. 주요 고장 메커니즘을 살펴보면 다음과 같다.

① 저항막 재료의 특성 변화 : 저항특성을 갖는 조성물질은 RuO₂ 성분으로써, 유리계 물질 내부에서 입자상태로 소결되어 network 형태를 구성하게 된다. 입자 간의 결합은 ohmic contact 외에도 Schottky, Frenkel-Poole, Tunnel emission과 같은 다양한 메커니즘에 의해 전류가 흐르게 된다(그림 2). 결합구조들은 시간의 경과 혹은 스트레스에 의하여 점진적으로 변하게 되는데, 이러한 변화가 저항값의 변화를 유발하게 된다. 온도에 의해 주로 발생하며, 반복적인 고전압 인가 또한 network 사이의 microscopic breakdown을 누적시켜 점차적인 저항값 변화를 유발시킨다.

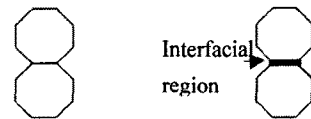


그림 2. 후막 내부 RuO₂ 입자의 결합구조 (Sintered & non-sintered contact)

② 전극-저항막 사이의 접합특성 변화 : 전극과 후막은 ohmic contact으로 접합되어 있는데, 이 부분에 접촉저항이 존재하게 된다. 접촉부에서는 금속과 후막 간의 화학적 반응 또는 접촉면 불균일에 의한 current crowding 현상에 의해 접촉저항이 변화할 수 있다. 특히 전극재료는 RF 소자에 있어 중요한 잡음특성을 결정하는 요소이므로 신뢰성과 전기적특성을 함께 고려하여 선정하여야 한다.

③ 저항막 파괴 : 첫째, 기판은 기계적인 보호역할, 전기적 isolation, 방열의 역할을 하지만 후막과의 반응, 기판과 후막의 열팽창 계수 차이 등에 의해 delamination, crack과 같은 고장을 유발시킬 수 있다. 기판의 열팽창계수가 클수록 TCR(Temperature Coefficient of Resistance) 값은 커지는 경향성을 띄게 된다. 둘째로, 후막의 저항값은 laser trimming 공정으로 조정하는데, laser trimming 공정 중 후막 단면에 microcrack을 유발시킬 수 있다. 이러한 미세

균열은 시간이 지남에 따라 확장되어 저항값 변화를 유발시키며, laser trimming된 부위에서 화학적 불안정성을 유발할 수도 있다. 셋째, 소결공정 이후 측면전극 형성을 위해 dipping, 패키징 공정 등을 거치게 되는데, 공정 중에 발생했던 잠재적인 고장요소가 발현되어 고장이 발생할 수 있다. 이와 같은 잠재적인 고장은 공정 중에 발생하기도 하지만 사용 초기 단계에 많이 발생하므로 초기고장으로 불려진다. 넷째, 기계적인 관점에서는 충격이나 진동에 의해 파손이 발생할 수 있다.

3. 신뢰성 테스트

시험용 시료는 국내 기업에서 생산된 정격전력 100 W, 저항값 50 Ω의 RF Power Resistor를 대상으로 시험하였다. 전력소모에 의한 발열이 큰 제품이므로 방열판을 이용하여 칩의 flange가 100 °C 이하가 되도록 유지하였다. 후막 저항기의 주요 고장원인은 온도와 전기적 스트레스이며, 각 고장모드는 온도에 의한 가속성을 가지고 있다.

신뢰성시험은 환경시험(Environmental test)으로써 과부하 시험, 고온동작시험, 저온동작시험, 습도시험, 진동시험, 충격시험, 열충격시험을 실시하였고, 추가적으로 수명시험을 실시하였다. 선정된 신뢰성 시험항목은 앞에서 설명한 각 고장모드의 스트레스를 반영하도록 설계하였다.

표 1. 신뢰성시험 조건

시험항목	시험조건
과부하 시험	- 펄스형태 : 10/1 000 μs - 펄스전압 : 정격전압의 10배 - 시험회수 : 10회(분당 1회)
고온동작 시험	- 시험온도(칩 표면온도) : (100 ± 2) °C - 시험시간 : 96시간 - 부하인가 : DC 정격전압 인가
저온동작 시험	- 시험온도(주위온도) : (-40 ± 2) °C - 시험시간 : 96시간 - 부하인가 : DC 정격전압 인가
습도시험	- 시험온도 : (40 ± 2) °C - 습도 : (93 ± 3) % R.H. - 시험시간 : 96시간
진동시험	- 진동주파수 : (10 ~ 2 000) Hz - sweep time : 20분 - 시험시간 : 각 축당 4시간(총 12시간)
충격시험	- 가속도 : 75 g - 시험회수 : 18회 - 각 축 방향 3회(총 18회)
열충격 시험	- 시험온도 : (-55 ~ 85) °C - 유지시간 : 30분 - 사이클 수 : 100 cycles
수명시험	- 시험온도(주위온도) : (70 ± 2) °C - 시험시간 : 1 000시간 - 부하인가 : AC(60 Hz) 정격전압 인가(90분 동작, 30분 대기)

시료의 고장판정은 KS C 5111 전자기기용 고정 저항기 통칙에 의거하여 ± 5% 이상 변화하면 고장으로 판정하였다[6].

시험 결과, 수명시험 및 열충격시험 중 고장시료가 발생하였다. 고장시료는 비파괴검사, 파괴검사의 순서로 고장분석을 실시하였다. 분석 결과, 수명시험 중 발생한 고장시료는 전극과 후막 사이의 접합부가 개방된 상태의 고장이었으며, 열충격시험 중의 고장시료는 decapsulation 분석 결과 후막의 crack에 의하여 저항이 증가하였다. 앞에서 설명한 주요 고장모드 중 전극과 후막 사이의 화학적 반응, 열팽창 계수 차이에 의한 crack에 각각 해당하였다.

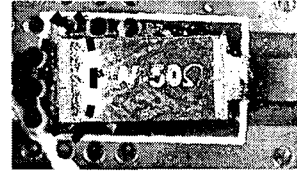


그림 3. 수명시험 결과 발생한 고장시료

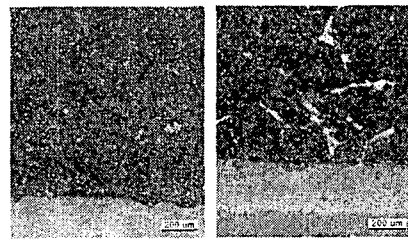


그림 4. 열충격시험 전후의 후막

4. 결론

본 실험에서는 신뢰성시험을 통해 AlN 세라믹 기판에 형성된 RuO₂ 게열 저항의 고장모드를 확인하였다. 고장품은 비파괴, 파괴분석의 순서로 고장분석을 실시하였으며, 분석 결과 전극소재의 변경, 후막재료 및 공정변화, 기판의 변경 등을 통해 신뢰성 개선이 가능할 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] J. F. LYNCH, W. CARDONE, E. WATJE, Critical study of furnace atmospheres for firing thick film resistors, Proceedings of the IEEE 29th Electronic Components Conference, p. 17, 1979.
- [2] L. C. HOFFMAN, M. J. POPOWITCH, Solid State Technology, 14, 1971.
- [3] K. Y. Lee, S. A. Rishton, and T. H. P. Chang, J. Vac. Sci. Technol. B 12, p. 3425, 1994.
- [4] K. S. R. C. MURTHY, A. VIJAY KUMAR, Failure mechanisms in bismuth ruthenate resistor systems, Journal of Materials Science : Materials in Electronics 1, p. 61-71, 1990.
- [5] SUSUMU KASUKABE, MINORU TANAKA, Reliability evaluation of thick film resistors through measurement of third harmonic index, Electro- component Science and Technology, Vol. 8, p. 167-174, 1981
- [6] Korean Standard, KSC5111 전자기기용 고정저항기 통칙