

ZPCCL계 바리스터의 충격전류 스트레스에 대한 노화 특성

박종아*, 유대훈*, 남춘우*, 서형권**
 동의대학교*, (주) 에이피케이**

Degradation Characteristics Against Impulse Current Stress of ZPCCL-Based Varistors

Jong-Ah Park*, Dea-Hoon Yoo*, Choon-Woo Nahm*, Hyung-Gwon Seo**
 Dongeui Univ.*, APK Co., Ltd.**

Abstract : The microstructure, electrical, and degradation characteristics against impulse current of ZPCCL-based varistors were investigated with various sintering temperature in the range of 1240~1300°C. The densification of varistors was improved, but the nonlinearity was deteriorated with increase of sintering temperature. The varistors sintered at 1250°C and 1260°C exhibited high stability against surge stress. On the whole, the variation of characteristics of varistor for surge stress was increased in order of varistor voltage→nonlinear exponent→dissipation factor→leakage current.

Key Words : Varistors, Nonlinearity, Stability, Surge stress

1. 서 론

급속한 첨단기술의 발달로 고부가가치의 전기·전자·정보통신용 부품을 사용하는 기기 및 장비는 차츰 소형화, 시스템화, 네트워크화되고 있는 반면 그들의 절연내력은 저하되어 미약한 써지에도 더욱 민감하게 반응한다. 만약 연쇄적인 오동작 및 파고가 발생한다면 원래상태로 복구하는데 상당한 노력과 시간이 소요되는 것은 자명한 일이므로 적절한 대책이 강구되어야 한다. ZnO 바리스터는 이러한 무분별한 써지의 침입으로부터 피보호기를 보호하는 대표적인 반도체 세라믹스 소자로서 벌크, 디스크, 칩 형태로 제작되어 광범위하게 응용되고 있다. 양방향 제너다이오드 특성을 나타내는 ZnO 바리스터는 피보호기기의 전단 또는 전원부에 위치하여 인입된 써지를 점지로 방전시키고 절연체로 회복하는 동작을 반복 수행한다. ZnO 바리스터의 특성개선에 관한 연구는 대부분 선진국에서 주도적이며, 국내의 기술의존성 극복을 위한 노력이 시급한 실정이다. 한편 최근 상품화를 목표로 진행중인 Pr₆O₁₁계 ZnO 바리스터의 특성 평가에서 긍정적인 결과가 보고되고 있어 관련업체의 기대가 높아지고 있다.^[1-7]

본 연구에서는 La₂O₃가 첨가된 5성분계 Pr₆O₁₁계 ZnO 바리스터의 써지 스트레스에 대한 노화 특성에 미치는 소결온도의 영향을 조사하였다.

2. 실험 방법

ZnO, Pr₆O₁₁, CoO, Cr₂O₃, La₂O₃로 구성된 시료 조성식으로 칭량하여 시료를 지르코니아불이 든 폴리프로필렌 병에서 아세톤을 분산매로 24시간 불릴하였다. 750°C에서 2시간 하소후 재분쇄하고, 성형조제 PVA 수용액을 시료무게의 2 wt%를 혼합한 다음, 200 mesh 체로 조립하였다. 800 kg/cm² 압력에서 직경 10 mm의 디스크형으로 성형된 성형체를 소결온도 1240, 1250, 1260, 1300°C에서 각각 1시간 소결하였다. 소결된 시편을 1 mm 두께로 연마

하고, 실크스크린 기법으로 5 mm 직경의 은전극을 도포하여 600°C에서 10분간 열처리하였다. V-I 특성은 High Voltage Source-Measure Unit(Keithley 237)로 측정하였다. 바리스터 전압(V_{1mA})은 1 mA/cm²일 때의 전압이며, 누설전류(I_L)는 0.80 V_{1mA}에 대응하는 전류이다. 비직선 지수(α)는 식 $\alpha=1/(\log V_2-\log V_1)$ 로부터 구하였다. 여기서 V₁과 V₂는 1 A/cm²와 10 A/cm²에 대응되는 전압이다. 유전 특성은 100 Hz~2 MHz 범위의 주파수를 갖는 1 V_{rms} 소신호를 사용하여 RLC 미터(Quadtech 7600)로 조사하였다. 써지 스트레스에 대한 노화 특성은 써지 발생장치(TY.Eng)를 사용하여 150 A/cm²의 써지전류(8/20 μ s)^[8]를 100, 400, 700, 1000회 30분 간격으로 인가하여 시험한 후 상용 바리스터와 비교하였다. SEM(S2400, Hitachi) 사진으로부터 선형교차기법에 의한 식, $d=1.56C_{eff}/MN_{eff}$ (C_{eff}는 교차선의 유효길이, M은 SEM의 배율, N_{eff}은 입계와 교차선과의 유효교차수)를 이용하여 평균 결정립 크기(d)를 계산하였다^[9]. 세라믹스의 밀도(ρ)는 밀도측정용 소프트웨어가 장착된 전자저울을 이용하여, 아르키메데스법으로 구하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 소결온도별 바리스터의 미세구조를 나타낸 것이다. 소결온도가 1240~1350°C으로 증가함에 따라 소결성이 향상되어 기공의 분포는 적어지고, ZnO 결정립의 크기가 점차 증가하였다. 소결온도가 증가할수록 평균 결정립 크기(d)와 밀도(ρ)는 각각 4.2~7.9 μ m, 5.50~5.77 g/cm³의 범위로 증가하였다. 일반적으로 평균 결정립 크기와 밀도의 증가는 바리스터의 구조적 치밀성과 스트레스에 대한 안정성은 향상시키는 반면 비직선성은 저하시키는 것으로 알려져 있다. 자세한 미세구조 파라미터를 표 1에 요약하였다.

그림 2는 바리스터의 전계-전류밀도(E-J) 특성을 나타낸 것이다. 특성곡선을 저전계에서 고전계로 이동하면서 관찰해보면 곡선의 기울기가 급변하는 부분이 공통적으로 존재하는데 이 부분에 바리스터 전압이 존재하게 되고,

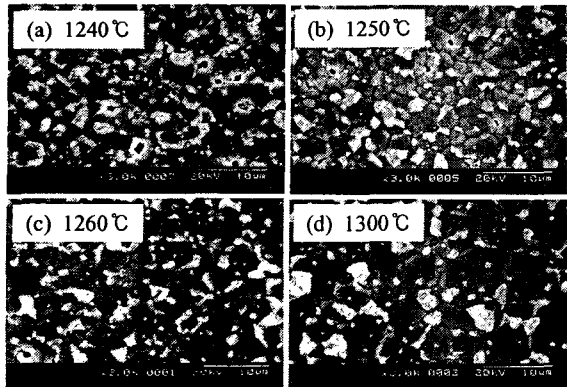


그림 1. ZPCCL계 바리스터의 SEM 사진

표 1. ZPCCL계 바리스터의 미세구조, $V-I$ 및 유전 특성 파라미터.

Sintering temperature	d (μm)	ρ (g/cm^3)	$V_{1\text{mA}}$ (V/mm)	a	I_L (μA)	$\tan\delta$
1240°C	4.2	5.50	732.2	58.5	0.38	0.2326
1250°C	4.6	5.64	608.4	53.1	0.59	0.1031
1260°C	5.2	5.70	519.8	51.1	0.76	0.1108
1300°C	7.9	5.77	53.8	4.1	46.49	0.3929

이러한 비직선적인 꺾임성의 정도에 따라 비직선성의 우열이 결정된다. 소결온도가 증가함에 따라 꺾임성의 형태가 각형에서 라운드형으로 변화하였으며, 비직선성이 저하될 것임을 예상할 수 있다. 바리스터 전압($V_{1\text{mA}}$)은 소결온도가 증가함에 따라 평균 결정립 크기의 증가와 반비례하며 732.2~53.8 V/mm로 감소하였다. 비직선 지수(a)는 58.5~4.1 범위로 감소하였으며, 누설전류(I_L)는 0.38~46.49 μA 범위로 증가하였다. 한편 1 kHz에서 측정된 유전손실계수($\tan\delta$)는 0.1031~0.3929 범위에 존재하였으며, 1250°C를 기준으로 감소하였다가 증가하는 경향을 나타내었다. 전체적으로 소결온도의 증가는 바리스터의 비직선성을 저하시켰다. 자세한 전기적, 유전적 특성 파라미터를 표 1에 요약하였다.

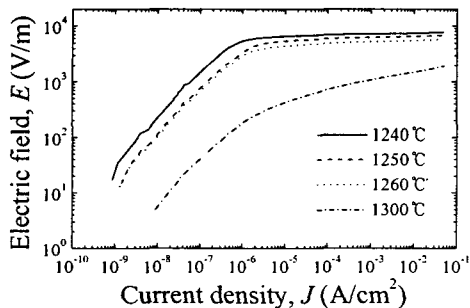


그림 2. ZPCCL계 바리스터의 전계-전류밀도 특성

그림 3은 바리스터의 써지 스트레스 동안 인가된 써지

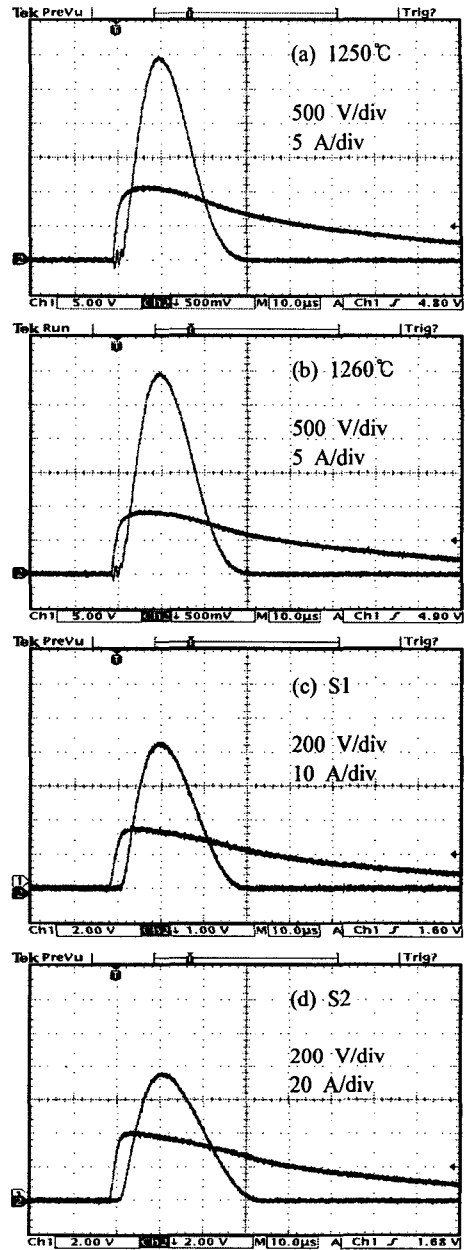


그림 3. 바리스터의 써지 스트레스 파형

전류(I_p) 및 제한전압(V_C) 파형을 나타낸 것이다. 써지 전류의 크기는 각 소자의 전극면적을 고려하였다. 동일한 써지 전류에 대한 제한전압이 다양한데, 이것은 소자의 바리스터 전압이 상이한 것에 기인하는 결과이다. 1240°C에서 소결된 바리스터는 1차 써지 스트레스 인가 중 파괴되고, 1300°C에서 소결된 바리스터는 비직선성이 상당히 저하되어 써지 스트레스 시험이 무의미한 것으로 판단되어 써지 파형을 나타내지 않았다. 1240°C에서 소결된 바리스터의 경우 상대적으로 가장 낮은 밀도를 나타내었는데, 아마도 써지 스트레스에 파괴된 원인과 관련이 있는 것으로 판단된다. 한편 S1은 국내에서, S2는 국외에서 상품화된 소자로서 특성 비교용으로 사용하였다.

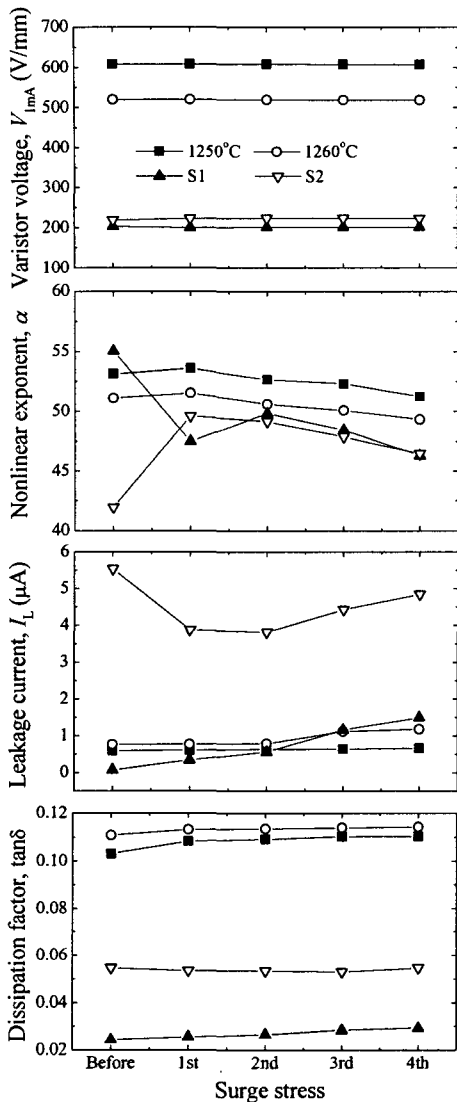


그림 4. 바리스터의 써지 스트레스에 따른 전기적, 유전적 특성 변화

그림 4는 ZPCCL계 바리스터와 상용 바리스터의 써지 스트레스 따른 전기적, 유전적 특성 변화를 나타낸 것이다. 바리스터 전압 변화율($\% \Delta V_{1mA}$)은 전체적으로 아주 미미하게 감소하는 경향을 나타내며 우수한 안정성을 나타내었으며, S2 소자는 오히려 증가하였다. 비직선 지수 변화율($\% \Delta \alpha$)은 1250°C에서 0.9~3.6, 1260°C에서 0.8~3.5 범위로 완만한 감소 경향을 나타내었다. S1 소자는 가장 높은 초기 비직선 지수를 나타내었으나 4차 스트레스 후 -15.9로 ZPCCL계 바리스터보다 현저히 저하된 특성을 나타내었다. 반면 S2 소자는 가장 낮은 초기 비직선 지수를 나타내었으나 4차 스트레스 후 10.7로 오히려 증가하였다. 누설전류 변화율($\% \Delta I_L$)은 1250°C에서 소결된 바리스터가 1260°C보다 낮게 나타났는데, 두 소자 모두 S1 소자보다 상당히 낮은 증가율을 나타내었다. S2 소자는 스트레스 후 누설전류가 감소하며 상당히 높은 안정성을 나타내었

다. 한편 유전손실계수 변화율($\% \Delta \tan \delta$)은 S2를 제외한 모든 소자에서 완만하게 증가하는 경향을 나타내었으며, 1250°C에서 소결된 바리스터가 1260°C보다 높게 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 소결온도가 ZPCCL계 바리스터의 써지 스트레스에 대한 노화 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 소결온도의 증가는 바리스터의 구조적 치밀성은 증가시킨 반면 비직선성은 저하시켰다. 1240°C에서 소결된 바리스터는 1차 써지 스트레스 인가와 동시에 파괴되었는데, 이것은 상대적으로 낮은 밀도에 기인하는 결과로 판단된다. 1300°C에서 소결된 바리스터의 비직선성은 써지 스트레스에 대한 노화 특성을 관찰하기에는 부적절한 상태였다. 써지 스트레스에 대한 1250, 1260°C 소자의 노화 특성은 우열을 판단하기에 곤란할 정도로 유사하게 나타났는데, 누설전류 변화를 제외한 모든 파라미터에서 1250°C에서 소결된 바리스터의 안정성이 약간 우수하게 나타났다. 전체적으로 써지 스트레스에 대한 바리스터의 특성 변화는 바리스터 전압→비직선 지수→유전손실계수→누설전류 순서로 크게 나타났다. 국내 상품인 S1 소자는 바리스터 전압을 제외한 거의 모든 파라미터에서 써지 스트레스 후 현저한 저하를 보였다. 반면 국외 상품인 S2 소자의 써지 스트레스에 대한 안정성은 거의 모든 파라미터에서 가장 높게 나타났다. 전체적으로 1250, 1260°C에서 소결된 ZPCCL계 바리스터는 두 소자 모두 써지 스트레스에 대하여 비교적 우수한 안정성을 보였으며, 이것은 상용 바리스터인 S1보다 높게 S2보다는 낮게 나타났다. 결론적으로 ZPCCL계 바리스터에서 응용 가능성이 높은 소결온도의 범위는 1250~1260°C로 나타났다.

참고 문헌

- [1] L. M. Levinson and H. R. Pilipp, Am. Ceram. Soc. Bull., Vol. 65, No. p. 639, 1986.
- [2] K. Mukae, Ceram. Bull., Vol. 66, No. 9, p. 1329, 1987.
- [3] T. K. Gupta, J. Am. Ceram. Soc., Vol. 73, No. 7, p. 1817, 1990.
- [4] A. B. Alles and V. L. Burdick, J. Appl. Phys., Vol 70, p. 6883, 1991.
- [5] C-W. Nahm, J-A Park, and M-J. Kim, J. Mater. Sci., Vol 39, p. 307, 2004.
- [6] C.-W. Nahm, J.-A. Park, B.-C. Shin, and I.-S. Kim, Ceram. Int., Vol. 30, p. 1009, 2004.
- [7] C.-W. Nahm, J.-A. Park, and D.-H. Yoo, KIEEME, Vol 17, No. 11, p. 1156, 2004.
- [8] International Electrotechnical Committee, IEC publisher, 1992.
- [9] J. C. Wurst and J. A. Nelson, J. Amer. Ceram. Soc., Vol. 55, No. 97-12, p. 109, 1972.