

ZPCCD계 바리스터의 뇌충격전류특성

Lightning Impulse Current Characteristics of ZPCCD-based Varistors

박종아*, 김명준*, 유대훈*, 남춘우*

(Jong-Ah Park*, Myung-Jun Kim*, Dea-Hoon Yoo*, Choon-Woo Nahm*)

Abstract

The microstructure, electrical, and clamping voltage characteristics of ZPCCD-based varistors were investigated at sintering time of 2 and 3 h. The average grain size and density of varistor were increased from 15.2 to 19.0 and from 5.5 to 5.6 g/cm³ with sintering time, respectively. The nonlinear exponent was 65.4 for 2 h and 37.4 for 3 h, and leakage current was 0.54 μ A for 2 h and 0.67 μ A for 3 h. The dissipation factor was 0.0397 for 2 h and 0.0457 for 3 h. The clamping voltage ratio at surge current(8/20 μ s) of 10~300 A was increased in the range of 1.56~2.17.

Key Words : ZPCCD-based varistors, Nonlinear exponent, Surge, Clamping voltage

1. 서 론

오늘날 전자세라믹스의 응용분야는 무제한적인 범위로 다양해지고 있으며, 성능면에서도 우열이 순간적으로 바뀌며 급속하게 개선되고 있다. 최근 들어 전자세라믹스의 응용분야중 특히 바리스터로 대표되는 반도체 보호소자에 대한 관심은 날로 높아지고 있다.

ZnO 바리스터는 전압의존성 저항소자로서 바리스터 전압으로 지칭되는 임계전압 이전의 인가전압 영역에서는 열적인 누설전류만을 허용하는 저항체로서 동작하나, 이후에서는 급격한 전류의 증가를 보이며 도전체로 전기적특성이 변화된다. 일반적으로 회로 및 소자의 전단에 병렬로 실장되어 유도뇌썩지, 개폐썩지, 유도성부하썩지 등의 각종 과도 이상전압 및 전류로부터 피보호체를 보호하여 오손, 오동작 및 파괴되는 것을 미연에 방지하는 역할을 수행한다. 더욱이 미세구조적으로 ZnO 바리스터의 벌크는 결정립-입계-결정립으로 이루어진 단위전도

경로가 무질서한 3차원적 배열로 구성되어 있어 에너지 흡수력이 뛰어나며, 체적변화에 의한 전압 및 전류의 편향된 적용이 용이하여 송·배·발·변전의 어느 곳에도 다양하게 적용될 수 있는 장점을 가지고 있다[1-9].

본 연구에서는 ZnO-Pr₆O₁₁-CoO-Cr₂O₃-Dy₂O₃계 바리스터의 미세구조, 전기적특성 및 썩지 제한전압특성으로부터 응용가능성을 조사하였다.

2. 실험 방법

ZnO, Pr₆O₁₁, CoO, Cr₂O₃, Dy₂O₃로 구성된 시료 조성식으로 칭량하여 시료를 지르코니아불이 든 폴리프로필렌 병에 넣은 다음, 분산매로 아세톤을 사용하여 24시간 불침하였다. 750 $^{\circ}$ C에서 2시간 하소 한 후 하소된 시료를 재분쇄하고, 성형조제 PVA 수용액을 시료무게의 2 wt%를 첨가하여 혼합한 다음, 200 mesh 체로 조립하였다. 800 kg/cm² 압력에서 직경 10 mm의 디스크형으로 성형하고, 성형체를 소결온도 1350 $^{\circ}$ C에서 2, 3시간 소결하였다. 소결된 시편을 1.4 mm 두께로 연마한 후, 실크스크린 기법으로 5 mm 직경의 은전극을 도포하여 600 $^{\circ}$ C에서 10분간 열처리하였다. V-I 특성은 곡선추적기(Tektronix 177) 및 High Voltage Source-Measure

* : 동의대학교 전기공학과
(부산광역시 부산진구 가야동 산24번지
Tel : 051-890-1669, Fax : 051-890-1669
E-mail : cwnahm@deu.ac.kr)

Unit(Keithley 237)로 측정하였다. 바리스터 전압 (V_{1mA})은 1 mA에서 전압으로 결정하였으며, 누설 전류(I_L)는 $0.80 V_{1mA}$ 에 대응하는 전류로 하였다. 비직선 지수(α)는 식 $\alpha=1/(\log V_2-\log V_1)$ 로부터 구하였다. 여기서 V_1 과 V_2 는 1 mA와 10 mA에 대응되는 전압이다. 유전특성은 100 Hz~2 MHz 범위의 주파수를 갖는 1 V_{rms} 소신호를 사용하여 RLC 미터(Quadtech 7600)로 조사하였다. 써지 제한전압은 써지 발생장치(태양에너지어링)를 사용하여 10~300 A의 써지전류(8/20 μ s)를 인가하여 측정하였다. SEM(S2400, Hitachi)으로 관찰한 미세구조로부터 선형교차기법에 의한 식, $d = 1.56C_{eff}/MN_{eff}$ (C_{eff} 는 테스트 길이의 유효길이, M 은 SEM의 배율, N_{eff} 은 입계와 테스트 길이와의 유효교차수를 이용하여 평균 결정립 크기(d)를 계산하였다[10]. 세라믹스의 밀도(ρ)는 밀도측정용 소프트웨어가 장착된 전자저울을 이용하여, 아르키메데스법으로 구하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 바리스터의 미세구조를 나타낸 것이다. 전체 바리스터에서 첨가물로 보이는 입상상들이 결정립 주변으로 넓게 분포되어 있는 것을 확인할 수 있으며, 약간의 기공을 포함한 단순한 미세구조를 나타내었는데, 이것은 전형적인 Pr_6O_{11} 계 ZnO 바리스터의 미세구조이다. 평균 결정립 크기(d)와 밀도(ρ)는 각각 2시간 소결된 바리스터에서는 $15.2 \mu\text{m}$, 5.5 g/cm^3 , 3시간 소결된 바리스터에서는 $19.0 \mu\text{m}$, 5.6 g/cm^3 로 나타났고, 소결시간에 비례하며 증가하였다.

그림 2는 곡선추적기에 나타난 바리스터의 전압(V)-전류(I) 특성이다. 저전압 영역에서 절연성을 나타내며 바리스터 전압(V_{1mA}) 이상에서는 급격한 전류의 증가를 나타내는 전형적인 바리스터의 비직선성을 보이고 있다. 대향성 제너 다이오드와 흡사하게 비교된다. 소결시간에 따른 ZPCCD계 바리스터의 V - I 특성을 표 1에 자세히 나타내었다. 소결시간이 2시간에서 3시간으로 증가함에 따라 250.2 V에서 201.2 V로 감소하였다. 이것은 소결시간에 증가에 의한 평균 결정립 크기 증가에 기인하는 결과이다. 비직선 지수(α)는 소결시간이 2시간에서 3시간으로 증가함에 따라 65.4에서 37.4로 감소하였으며, 누설전류(I_L)는 2시간에서 $0.54 \mu\text{A}$, 3시간에서 $0.67 \mu\text{A}$ 를 나타내었다.

그림 3은 ZPCCD계 바리스터의 유전특성을 나타낸 것이다. 유전손실($\tan\delta$)은 바리스터의 누설

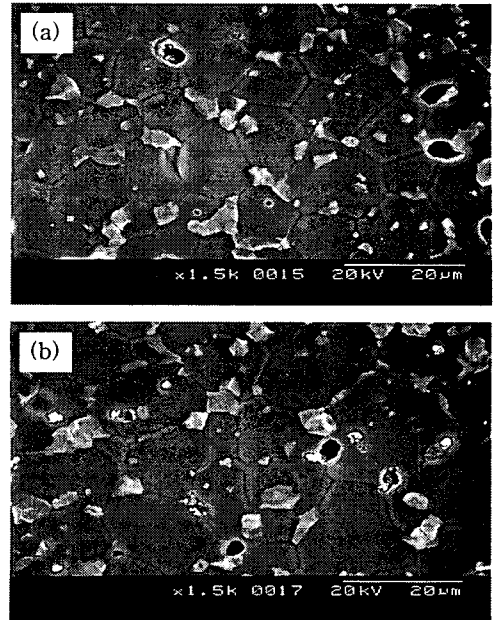


그림 1. ZPCCD계 바리스터의 소결시간별 미세구조; (a) 2시간, (b) 3시간.

Fig. 1. Microstructure of ZPCCD-based varistors; (a) 2 h and (b) 3 h.

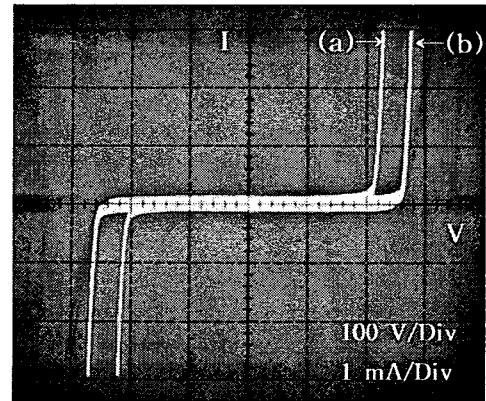


그림 2. ZPCCD계 바리스터의 소결시간별 V - I 특성; (a) 2시간, (b) 3시간.

Fig. 2. V - I characteristics of ZPCCD-based varistors; (a) 2 h and (b) 3 h.

전류에 의한 열적손실과 점성저항에 의한 마찰손실로 나타나는 것으로 1 KHz에서의 2시간 소결시

표 1. ZPCCD계 바리스터의 소결시간별 미세구조, $V-I$ 및 유전특성 파라미터.

Table 1. Microstructure, $V-I$, and dielectric characteristic parameters of ZPCCD-based varistors.

Sintering time	d (μm)	ρ (g/cm^3)	$V_{1\text{mA}}$ (V/mm)	α	I_L (μA)	$\tan\delta$
2 h	15.2	5.5	256.5	65.4	0.54	0.0397
3 h	19.0	5.6	209.9	37.4	0.67	0.0457

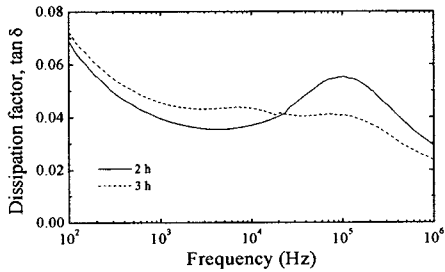


그림 3. ZPCCD계 바리스터의 소결시간별 유전 특성.

Fig. 3. Dielectric characteristics of ZPCCD-based varistors.

0.0397, 3시간 소결시 0.0457로 5%이하였다. 2시간 소결된 바리스터의 경우 주파수가 증가함에 따라 곡선은 감소, 증가, 감소하는 경향을 보였으며, 100 MHz 부근에서는 유전분산 피크를 나타낸 반면 3 시간 소결된 바리스터에서는 뚜렷한 유전분산 피크를 나타내지 못하면서 전체적으로 감소하는 형태를 나타내었다.

표 2는 8/20 μs 파형의 10~300 A 썬지전류(I_p) 인가시 바리스터에 의해 억제되는 제한전압(V_c) 및 제한전압비($K = V_c/V_{1\text{mA}}$)를 나타내었다. 썬지전류가 증가함에 따라 제한전압은 2시간 소결된 바리스터에서 402~556 V의 범위로, 3시간 소결된 바리스터에서 328~456 V의 범위로 증가하였다. 2, 3시간 소결된 바리스터 모두에서 1.56~2.17의 유사한 범위로 증가하였다. 제한전압비가 정격썬지전류에서도 2를 초과하지 않는 것이 썬지특성이 우수한 바리스터인 것으로 알려져 있다. ZPCCD계 바리스터는 2, 3시간 소결된 바리스터 모두 200 A이

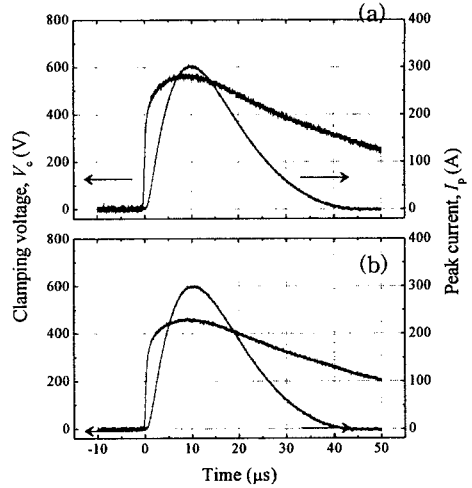


그림 4. ZPCCD계 바리스터의 소결시간별 썬지전류(8/20 μs)에 따른 제한전압특성; (a) 2시간, (b) 3시간.

Fig. 4. Clamping voltage characteristics with surge current(8/20 μs) of ZPCCD-based varistors; (a) 2 h and (b) 3 h.

표 2. ZPCCD계 바리스터의 소결시간별 썬지전류(8/20 μs)에 따른 제한전압과 제한전압비.

Table 2. Clamping voltage and clamping voltage ratio with surge current(8/20 μs) of ZPCCD-based varistors.

Sintering time	V_c (V)	I_p (A)	K
2 h	402	10	1.57
	456	50	1.78
	488	100	1.90
	524	200	2.04
	556	300	2.17
3 h	328	10	1.56
	374	50	1.78
	400	100	1.91
	434	200	2.07
	456	300	2.17

상의 써지전류에서 2를 초과하였으나 그것에 준하는 비교적 우수한 제한전압비를 나타내는 것으로 확인되었다. 그림 4는 써지전류가 300 A 일 때 소결시간에 따른 바리스터의 제한전압특성을 나타낸 것이다.

4. 결 론

본 연구는 ZPCCD($\text{ZnO-Pr}_6\text{O}_{11}\text{-CoO-Cr}_2\text{O}_3\text{-Dy}_2\text{O}_3$)계 바리스터의 미세구조, 전기적특성 및 써지전류에 따른 제한전압특성을 조사한 것이다. 평균 결정립 크기 및 밀도는 소결온도가 증가할수록 증가하였다. 2시간에서 소결된 바리스터의 비직선 지수는 66.4로서 3시간의 37.4보다 훨씬 높았으며, 반대로 누설전류는 작게 나타났다. 모든 바리스터가 30 이상의 비직선 지수와 1 μA 이하의 낮은 누설전류를 나타내어 우수한 비직선성을 갖는 것으로 나타났다. 유전손실 또한 5% 이하로 낮게 나타났다. 5성분계 조성에도 불구하고 300 A의 높은 써지전류(8/20 μs)에서 낮은 제한전압비를 나타냄으로서 우수한 써지특성을 보였다. 소결조건 및 추가적인 첨가물에 의한 특성 개선으로 상용 바리스터에 준하는 우수한 써지특성을 나타내는 바리스터의 개발이 기대된다.

감사의 글

본 결과물은 과학기술부·한국과학재단에서 지정한 지역협력연구센터(RRC) 및 산업자원부·한국산업기술평가원에서 지정한 지역기술혁신센터(TIC)인 동의대학교 전자세라믹스센터의 지원을 받았습니 다.

참고 문헌

[1] L. M. Levinson and H. R. Pilipp, "Zinc oxide varistors-a review", Am. Ceram. Soc. Bull., Vol. 65, No. p. 639, 1986.

[2] T. K. Gupta, "Application of zinc oxide varistor", J. Amer. Ceram. Soc., Vol. 73, No. 7, p. 1817, 1990.

[3] M. Matsuoka, "Nonohmic properties of zinc oxide ceramics", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 10, p. 736, 1971.

[4] A. B. Alles and V. L. Burdick, "The effect of liquid-phase sintering on the properties of Pr_6O_{11} -based ZnO varistors", J. Appl. Phys., Vol 70, p. 6883, 1991.

[5] A. B. Alles, R. Puskas, G. Callahan, and V. L. Burdick, "Compositional effects on the liquid-phase sintering of praseodymium oxides-based zinc oxides varistors", J. Amer. Ceram. Soc., Vol. 76, No. 8, p. 2098, 1993.

[6] Y.-S. Lee, K.-S. Liao, and T.-Y. Tseng, "Microstructure and crystal phases of praseodymium in zinc oxide varistor ceramics", J. Amer. Ceram. Soc., Vol. 79, No. 9, p. 2379, 1996.

[7] 남춘우, 박종아, 김명준, "ZnO-Pr₆O₁₁-CoO-Cr₂O₃-Dy₂O₃계 세라믹스의 미세구조 및 바리스터 특성," 전기전자재료학회논문지, 16권, 10호, p. 897, 2003.

[8] C.-W. Nahm, "Microstructure and electrical properties of Y₂O₃ doped ZnO-Pr₆O₁₁-based varistor", Mater. Lett., Vol 57, No. 7, p. 1317, 2003.

[9] C.-W. Nahm, J.-A. Park, and M.-J. Kim, "Microstructure and electrical properties of ZnO-Pr₆O₁₁-CoO-Cr₂O₃-Dy₂O₃-based varistor ceramics", J. Mater. Sci., Vol 39, p. 307, 2004.

[10] J. C. Wurst and J. A. Nelson, "Lineal intercept technique for measuring grain size in two-phase polycrystalline ceramics", J. Amer. Ceram. Soc., Vol. 55, No. 97-12, p. 109, 1972.