

ZnO 나노파우더로 제조된 Bi계 바리스터의 가속열화 특성

왕민성, 왕증매, 이동규*, 박춘배
원광대학교 전기전자 및 정보공학부, 광운대학교*

The Characteristics on the Accelerated Degradation of Bi-based Varistor fabricated with ZnO Nano-powder

Min-Sung Wang, Zengmei Wang, Dong-Gyu Lee*, and Choon-Bae Park
Wonkwang Univ. School of Electrical Electronic and Information Engineering.
Kwangwoon Univ.*

Abstract : Nano-Varistors fabricated with ZnO 30nm and 80nm powders were studied about the electrical characteristics with AC accelerated degradation in this paper. Especially, ZnO nano-powder varistors were sintered in air at 1050 °C and analyzed the phenomenons of before and after AC degradation test. The stress conditions of AC degradation test were 1.0V_{1mA} and 115±2°C for 24h. 80nm-varistor was exhibited better performance than 30nm-varistor in the electrical stabilities. And then 80nm-varistor resulted in the degradation characteristics that the variation rate of operating voltage, nonlinear coefficient and leakage current was -0.3%, -0.4% and -3.3%, respectively.

Key Words : ZnO Nano-powder, Varistor, AC accelerated degradation, Leakage current

1. 서론

ZnO 바리스터는 세라믹 반도체성 소자로서 전기 및 전자회로나 부품들의 입력 단에 병렬 혹은 대지간에 연결함으로써 이상과도 전압이나 순간 써어지 대한 시스템 보호를 할 수 있다. ZnO 바리스터는 운전 중, 연속적인 전기적 스트레스와 써어지 등 일시적인 전기적 충격에 의해 점차 누설전류가 증가하는 열화현상이 일어난다. 이러한 누설전류의 증가는 소자의 Joule 열을 발생시키고, 발생한 열에 의해 소자의 누설전류는 더욱 증가하는 악순환이 계속된다. 이로 인해 소자는 때로 열 폭주나 전체적인 파괴를 일으킬 뿐만 아니라 전계통용 소자의 경우 대규모 전력사고나 2차 고장으로 인한 인명 피해까지 야기하기 때문에 ZnO 바리스터의 열화현상에 관한 연구가 중요하게 다루어지고 있다[1-4]. 이러한 ZnO 바리스터의 열화현상을 개선하기 위해서는 결정립의 입계특성과 치밀성을 향상시켜 기공에 의한 누설전류를 감소시켜야 한다. ZnO 나노분말을 사용하여 결정립의 균일도, 치밀도 그리고 기공률을 개선시킬 수 있다[5].

본 연구에서는 ZnO 나노분말을 소재로 한 바리스터 시편을 제조하고, 열화특성을 분석하기 위해 AC 가속 열화 시험을 실시하여 전기적 특성을 측정하고 비교 검토하고자 한다.

표 1. 시편의 조성비[mol%].

ZnO	Sb ₂ O ₃	Co ₃ O ₄	MnO ₂	Cr ₂ O ₃
95.99	1.0	0.5	0.5	0.5
SiO ₂	ZrO ₂	NiO ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃
0.2	0.5	0.2	0.01	1.0

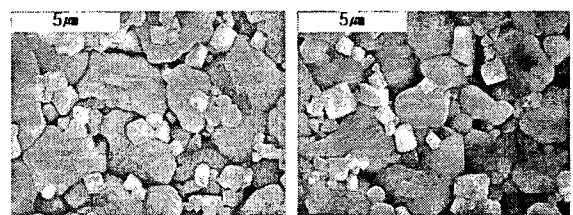
2. 실험

나노바리스터는 ZnO 30nm(sukgyung A-T)와 80nm(Aldrich) 분말을 사용하여 표 1과 같이 조성하였다. 바리스터의 제조 순서는 이전 연구의 공정 순서와 일치하며 48시간 이상 불-밀을 하였고, 소결은 0.65°C/min의 상승률로 1050°C에서 2시간 이루어졌다. 지름(φ) 12mm, 두께(t) 1mm의 소결체는 silver paste로 전극처리를 하였다[5].

제조된 ZnO 바리스터는 Keithley 6517A를 이용하여 전류-전압 특성을 측정하였으며, AC 가속 열화시험은 HP 6920B Meter Calibrator와 Keithley 193A System DMM을 이용하여 AC 전압 V_{1mA}의 전압과 115±2°C의 온도에서 24시간 동안 이루어졌다. AC 가속 열화시험 후 동작전압, 누설전류 등을 측정하여 열화 전 전기적 특성과 비교 검토하였다[1, 4].

3. 결과 및 검토

그림 1은 SEM을 이용한 ZnO 나노바리스터의 미세구조 사진을 보여주고 있다. 30nm와 80nm ZnO 분말을 사용한 바리스터 모두 평균 결정립 크기가 뚜렷한 차이 없이 5µm 이하로 나타났다.



(a) 30nm 바리스터 (b) 80nm 바리스터

그림 1. ZnO 나노바리스터의 SEM 사진.

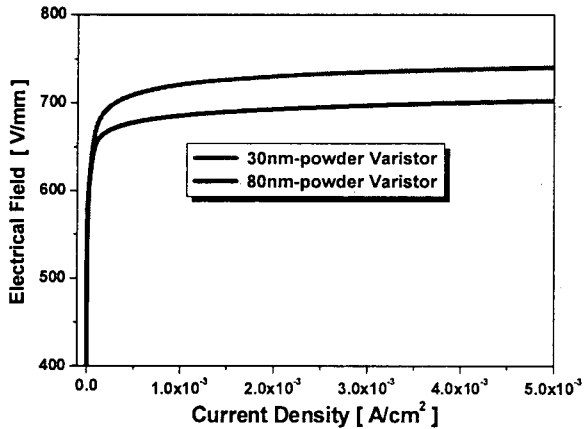


그림 2. 나노바리스터의 E-J 특성 곡선.

표 2. 나노바리스터의 E-J 특성 파라메타.

바리스터 분말크기	동작개시전압 $V_{0.1mA/mm}$	동작전압 $V_{1mA/mm}$	비선형계수 (α)	누설전류 I_L [A/cm^2]
30nm	672	720	33.4	3.4×10^{-5}
80nm	655	685	51.4	8.2×10^{-6}

그림 2는 30nm와 80nm 이하의 분말로 제조된 ZnO 나노바리스터에 대한 전계-전류(E-J) 특성곡선을 보여주고 있으며, 동작개시전압($V_{0.1mA/mm}$)과 $0.85V_{1mA/mm}$ 에서의 누설전류(I_L) 그리고 비선형계수(α)와 같은 전기적 특성을 표 2에 정리하였다. 여기에서 ZnO 나노바리스터는 600V/mm 이상의 높은 동작전압을 나타내었으며, 80nm 분말을 사용한 나노바리스터가 30nm 분말의 나노바리스터보다 동작전압이 35V/mm 정도 다소 낮았지만, 전체적인 전기적 특성은 우수하게 나타났다.

그림 3은 ZnO 나노바리스터의 AC 가속 열화시험 전·후의 전계-전류밀도(E-J) 특성곡선을 보여주고 있다. AC 가속 스트레스에 따른 전압변화율($\% \Delta V_{1mA}$), 비선형계수 변화율($\% \Delta \alpha$), 누설전류 변화율($\% \Delta I_L$)에서 매우 작은 변화율을 보인 80nm 바리스터가 열화 전과 마찬가지로 열화 후에도 30nm 바리스터보다 상대적으로 우수한 전기적 특성을 나타내었으며, 이들 E-J 특성 변화율을 표 3에 정리하였다. 30nm 나노분말이 평균입자 크기가 작지만 Mixing 공정과 건조 공정 중에 분말의 혼합상태가 80nm 나노분말보다 잘 이루어지지 않아 소결 후 소자의 특성에서 80nm 바리스터의 특성이 더 우수한 것으로 사료된다.

열화에 따른 안정성을 평가하는 비열화계수는 본 연구자들이 이전에 연구하였던 마이크로바리스터보다 안정성 측면에서 월등히 우수한 특성을 나타내었다[4]. 열화시험 시간에 따른 누설전류의 관계는 다음 식 (1)로 표현된다.

$$I_L = I_{L0} + K_T t^x \quad (1)$$

여기에서 I_{L0} 는 초기의 누설전류이고 I_L 은 시간 t 에서의 누설전류이며, K_T 는 비열화계수라 한다. 그리고 x 는 시험 데이터를 바탕으로 1/2로 하였다[3-4].

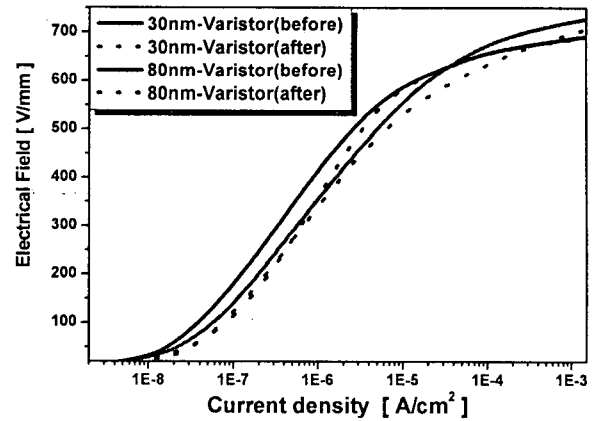


그림 3. AC 가속열화에 따른 열화 전·후 특성 곡선.

표 3. AC 가속열화에 따른 열화 후 특성 파라메타.

바리스터	K_T [$Ah^{-1/2}$]	V_{1mA} [V/mm]	$\% \Delta V_{1mA}$	α	$\% \Delta \alpha$	I_L [A/cm^2]	$\% \Delta I_L$
30nm	5×10^{-4}	696	-3.3	21.1	-36.8	3.9×10^{-5}	-12.8
80nm	3×10^{-5}	683	-0.3	51.2	-0.4	9.21×10^{-6}	-3.3

4. 결론

본 연구에서는 ZnO 나노분말 사용하여 Bi계 바리스터를 제작하였으며 AC 가속 열화시험을 하여 전기적 특성을 비교 검토하였다. 제조된 나노바리스터는 ZnO 나노분말의 따라 평균 결정립의 크기가 $5\mu m$ 이하로 큰 차이는 나타나지 않았으며, 미세하고 기공률이 작게 나타났다. 80nm 분말을 사용한 나노바리스터가 동작전압을 제외한 전기적 특성에서 30nm 분말의 바리스터보다 우수한 특성을 보였다. 또한, AC 가속 열화 특성에서도 80nm 나노바리스터는 비열화계수(K_T), 전압변화율($\% \Delta V_{1mA}$), 비선형계수 변화율($\% \Delta \alpha$), 누설전류 변화율($\% \Delta I_L$)에서 각각 3×10^{-5} , -0.3, -0.4, -3.3으로 높은 안정성을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 2단계 BK21 사업의 지원에 의하여 수행된 과제임.

참고 문헌

- [1] T. K. Gupta, J. Am. Ceram. Soc., Vol. 73, p. 1817, 1990.
- [2] 조한구, 윤한수, 김석수, 전기전자재료학회, Vol. 19, No. 4, p. 398, 2006.
- [3] S.-J. So and C. B. Park, J. Kor. Phys. Soc., Vol. 40, No. 5, p. 416, 2002.
- [4] Mao-Hua Wang, Ke-Ao Hu, Bin-Yuan Zhao, Nan-Fa Zhang, Mat. Chem. & Phys. Vol. 100, p. 142, 2006.
- [5] 왕민성, 박춘배, 전기전자재료학회, Vol. 19, No. 9, p. 1117, 2005.