

## 회로보호용 반도체 소자의 구조적 특성

### Structure Properties of Semiconductor Devices to Protect Electronic Circuit

홍경진\*, 민용기\*, 조재철\*\*

(Kyung Jin Hong\*, Yong Ki Min\*, Jae Cheol Cho\*\*)

#### Abstract

When varistors for circuit protection is used at high voltage, it's operation properties were unstable because of leakage current and nonlinear coefficient with grain size. For the purpose of improving of ZnO varistor properties, high voltage ZnO varistor was fabricated with Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> addition. Electrical properties were investigated according to sintering conditions and mixing conditions. ZnO varistors was shown ohmic properties when it's applied voltage was below critical voltage. It was shown non-ohmic properties over critical voltage, because current was increased with decreasing resistance.

**Key Words** : circuit protection, nonlinear coefficient, leakage current, critical voltage, non-ohmic properties

#### 1. 서론

ZnO 바리스터는 전기적으로 바리스터 전압이라고 하는 임계전압 이하에서는 수[ $\mu$ A]~수십[ $\mu$ A]의 미소전류가 흐르는 절연체로, 임계전압 이상에서는 전류가 급격히 흐르는 도체로 전환되는 전도특성이 있다. 이것은 back-to-back 제너다이오드와 매우 유사한 대칭적이고, 비선형적인 전류-전압특성을 나타낸다.[1,2,3] 그러나 ZnO 바리스터는 제너다이오드와는 달리 다접합이기 때문에 보다 높은 전류 및 에너지 흡수성이 있다.

바리스터 내부의 미세구조와 임계의 물리적 성질이 확립되어 정보통신기기, 제어기기, 자동차 일렉트로닉스 등의 각종 전자 기기분야의 반도체 소자를 유도뇌서지, 개폐서지, 유도성부하서지 등의 각종 과도 이상전압으로부터 보호하는 서지 흡수소자로서 발전, 변전, 송전, 배전설비 등의 전력설비는 낙뢰로

부터 보호하는 피뢰기로서 ZnO 바리스터가 광범위하게 응용되고 있다.

현재까지 연구되어 온 금속산화물 바리스터 가운데 ZnO 바리스터의 특성상의 장점은 전류-전압 특성의 비선형 계수가 크며 서지 내량이 우수하며 임계전압이 온도변화에 따라 영향이 적다는 것이다. 또한 충격서지에 대한 응답속도가 빠르며 반복서지에 대한 특성안정도가 높다.[4,5,6]

ZnO 바리스터의 입자 크기는 제품의 사용범위를 결정하는 중요한 인자이므로 일반적으로 ZnO 바리스터의 용도가 고전압용일 경우 입자의 크기가 작은 것이 요구되어 Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>을 첨가하여 입자의 성장을 억제시키고 있다.[7]

본 연구에서는 회로보호용 소자인 바리스터의 구조적 특성에 따른 전기적 특성의 변화에 대하여 고찰하였다.

#### 2. 실험 및 방법

실험에 사용할 시편은 순도가 99.9[%]이상의 특급 시약을 원료분말로 하여, 표 1과 같이 조성하여 3종

\* : 광주대학교 컴퓨터전자통신공학부  
(광주광역시 진월동 광주대학교)

\*\* : 초당대학교 전자공학과  
(전남무안군 무안읍 초당대학교)

류의 시료를 제조하였다.

Table 1. The Specimen ZnO1 and Compositions of ZnO Varistor [mol ratio]

Powder	ZY1	ZY2	ZY3
ZnO	96.5	96	93
Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1	1	1
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	1	1
MnO	0.5	0.5	0.5
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	0.5	0.5
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1	1	4

물 비에 따른 시료는 직경 14[mm] 금속 원형 몰드를 이용하여 두께 1.0[mm]되게 1,000[kg/cm<sup>2</sup>]의 압력으로 성형하였다. 성형된 시료는 1150[°C]에서 1[hr] 및 2[hr] 동안 소결하였다. 소결된 시편을 음성 접촉을 위해 양면에 직경 6[mm] 전극으로 은 페이스트를 도포하고 600[°C]에서 1[hr] 열처리하였다. 바리스터는 SEM으로 미세조직을 관찰하였다. 또한 물비 변화에 따른 시료의 결정 상구조를 알아보기 위하여 XRD 분석을 하였다. 시료의 입자크기는 선형 교차기법을 이용하여 계산하였다. 전류-전압 특성 측정시 시편에서 발생하는 주열의 영향을 제거하기 위해서 전류 범위를 100[mA/cm<sup>2</sup>]로 제한하였다.

### 3. 결과 및 검토

ZnO 바리스터를 구성하는 ZnO와 첨가제의 배합과 소결 온도 변화에 따른 ZnO 바리스터의 특성을 알아보기 위하여 소결된 ZnO 바리스터의 내부에 존재하는 기공과 표면의 입자크기를 SEM 분석을 이용하여 고찰하였다.

ZnO 바리스터 표면은 0.1[%]의 HClO<sub>4</sub> 수용액으로 60초 동안 화학적 애칭하여 미세구조를 관찰하였다.

그림 1은 바리스터의 상구조를 도해한 XRD이다. 고온에서 ZnO 바리스터의 소결은 액상상태에서 급격히 진행되므로 ZnO 입자크기 분포는 다양하다.

Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가량의 증가에 따라 29~30[°] 부근에서 스피넬상의 피크값이 성장하였다.

이것은 ZnO계 바리스터는 Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>에 의해 스피넬 구조가 형성되면서 ZnO의 입자성장을 억제한다는 보고와 일치하였다. 또한 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 물비 변화에 대해서 ZY3의 시료가 많은 스피넬 입자 구조를 보였다.

그림 2는 1150[°C]에서 1[hr]동안 소결한 시료 표면의 주사전자 현미경 사진이다. 첨가제인 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가량에 따른 미세구조에서 관찰할 수 있듯이 시료 ZY2에서 많은 스피넬 입자가 관찰되고 있으며 스피넬의 입자의 양이 많은 시료 ZY3가 시료 ZY2보다 훨씬 많은 스피넬 입자가 형성되어 있는 것을 볼 수 있다. 이는 스피넬의 입자의 양이 많을수록 입계 이동에 필요한 에너지를 증가 시켜 입자 성장을 효과적으로 억제한다고 볼 수 있다. 선형 교차기법으로 구한 평균 결정입 크기d는 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 증가함에 따라 92, 75, 51[μm] 순으로 감소하였다.

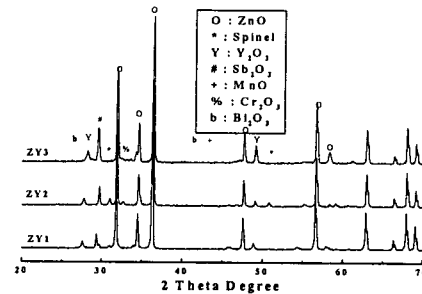


Fig.1. The X-ray diffraction of varistors devices.

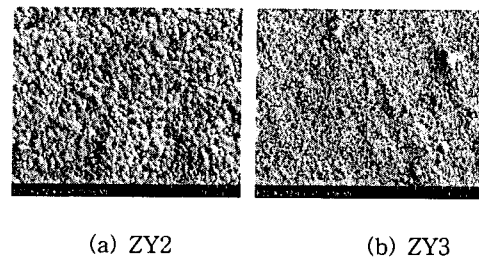


Fig.2. Surface morphology of varistors.

그림 3은 주파수 변화에 의한 바리스터의 유전 손실이다. ZY2 바리스터 시료가 가장 낮은 유전손실을 나타냈는데, 이는 입자와 입계면이 균일한 밀도를 갖기 때문이라 생각한다. 그림 1의 XRD와 그림 2의 SEM의 결과에서 알 수 있듯이 ZnO 입자와 스피넬 입자의 크기가 균일하게 형성된 ZY2의 시료가 내부의 공극 영향이 미소하기 때문이다. 바리스터의 등가회로는 저항과 커패시터 성분이 병렬로 연결된 입계와 저항성분인 입자가 직렬로 연결되어 있기 때문에 공극의 영향을 받는 경우 입계에서 커패시턴스 성분이 저하되기 때문이다.

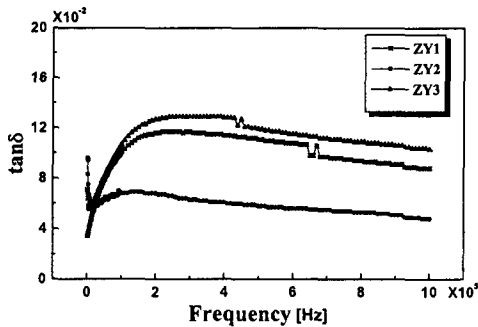


Fig. 3. Dielectric loss of varistors.

그림 4는 바리스터의 전압-전류 특성이다.  $Y_2O_3$ 의 첨가량이 증가함에 따라  $V_{1mA}$ 가 선형적으로 528~1140[V/cm<sup>2</sup>] 범위로 크게 증가하였다. 이는 소결 과정에서 형성되는 스피넬 입자들이 ZnO 입자의 성장을 억제하므로 단위두께당의 입계수를 증가시키기 때문이다. ZnO 결정입-입계-ZnO 결정입으로 구성되는 마이크로 바리스터의 전도특성은 현재까지 K.Eda에 의해 제안된 이중 Schottky 장벽모델로 설명하는 것이 가장 일반적이다. 저전계 영역에서 전류는 인가 전계에 따라 거의 직선적으로 증가하며, 전압-전류 곡선에서와 같이 유사 오옴 특성을 나타낸다.

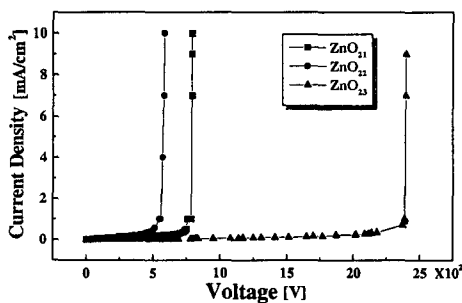


Fig. 4. Current-Voltage characteristics of varistors.

이러한 특성은 전자가 순방향 바이어스된 ZnO 결정입의 전도대로부터 2중 Schottky 장벽을 넘는 과정에서 일부는 입계의 계면상태에 포획된다.

또한, 일부는 역방향으로 바이어스된 ZnO 결정입의 전도대로 전송되는 Schottky 열전자 방출기구가 우세하게 작용하기 때문인 것으로 해석된다.

바리스터 ZY1은 0~510[V], ZY2는 0~912[V]까지는 전압에 거의 영향을 받지 않아 누설전류가 아주 미소하였다. 이 영역에서는 이온전도 전류가 홀러움의 법칙이 성립하는 영역으로 생각된다. 이와 같은 이온들은 시료 제작의 경우 첨가된 각종 불순물의 영향으로 나타나게 된다.

이온성 전도는 이온이 이동할 수 있는 격자결함의 존재에 의존하여 인가 전계 방향으로 구조적 결함을 통하여 계속해서 이동하며, 이온물질의 전기전도성은 주로 결함구조와 이온의 이동성으로 설명된다. 이러한 이온성 전도는 불순물의 영향을 강하게 받는다고 알려져 있다.

바리스터 ZY1은 510[V], ZY2는 912[V] 이상에서는 전압의 변화에 따라 누설전류가 비선형적으로 증가함을 볼 수가 있었다. 이러한 누설전류가 비선형적인 증가에 의해서 전압의 증가에 따라 절연체 파괴가 일어나 터널전류에 의한 것으로 항복전압이 발생한다.

터널전류에 의한 영역에서의 파괴에 이르는 현상은 인가 전계의 증가에 따라 가전대에 있던 전자들이 터널효과에 의해서 전도대로 전이하게 되고 결국 전도대의 전자수를 급증시켜 파괴된다.

#### 4. 결론

1.0~4.0[mol%]범위의  $Y_2O_3$ 가 첨가된 ZnO 바리스터를 제작하여  $Y_2O_3$ 의 첨가량에 따른 회로보호용 바리스터의 미세구조, 전기적 특성의 고찰로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

소결 시편의 미세구조는 ZnO 입자, Bi-rich 입계상 및 기공 등으로 이루어져 있었으며, 소결온도 증가에 따른 ZnO 결정입의 성장이 관찰되었다.

$Y_2O_3$ 의 첨가로 평균 결정입의 크기는 피닝 효과로 입계 이동이 억제되어 92~51[ $\mu$ m] 범위로 감소하였다.

유전체손은 100~200[kHz]이하에서는 급격히 증가하였으나 주파수가 증가하면서 유전체손이 안정한 특성을 보였다.

$Y_2O_3$ 의 첨가량이 4[mol%]일 경우 결정입 크기의 감소로 바리스터 전압은 528~1140[V/cm<sup>2</sup>] 범위로 증가하였으며 바리스터 전압은 ZY3에서 1140[V/cm<sup>2</sup>]로 가장 높았다.

#### 참고 문헌

- 1) M. Matsuoka, T. Masuyama and y. lida, "Nonlinear Electrical Properties of Zinc Oxide Ceramics," Proceedings of 1st Conference of

- Solid State Devices, Tokyo, 1969, Suppl. J. Jpn. Soc, Appl. Phys. 39, pp.94-101, 1970.
- 2) M. Matsuoka, "Nonohmic Properties of Zinc Oxide Ceramics," Jpn. J. Jppl Phys., 10[6], p.736, 1971.
  - 3) T. Masuyama, M. Matsuoka and Y. Iida, "Zinc Oxide Non-Linear Resistor," National Tech. Rept., 15[2], pp.216-228, 1969.
  - 4) K. Kuchiba, Y. Wakanhata, M. ueda, E. Sugi, K. Eda., G. Nishigori, and T. Hosogawa, "[ZNR] Surge Absorber," ibid. 18[4], pp.400~412, 1972.
  - 5) G. D. Mahan, L. M. Levinson, H. R. Philipp, "Theory of Conduction in ZnO Varistors," J. Appl. Phys., 50[4], p.2799, 1979.
  - 6) 박춘현, 남춘우, "Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가된 비스무스계 산화아연 바리스터의 미세구조 및 전도 특성", 추계학술대회 논문집, p.1, 1998.
  - 7) L. M. Levinson and H. R. philipo, "The Physics of Metal Oxide varistor," J. Appl. Phys, Vol.46, pp.1332~1341, 1975.