

논문 15-8-3

## ZnO-Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>-CoO-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>계 바리스터 세라믹스의 전기적 특성

### Electrical Characteristics of ZnO-Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>-CoO-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Based Varistor Ceramics

남춘우, 김향숙

(Choon-Woo Nahm and Hyang-Suk Kim)

#### Abstract

The electrical characteristics of ZnO-Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>-CoO-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(ZPCCY)-based varistors were investigated with Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content in the range of 0.0~4.0 mol%. As Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content is increased, the average grain size was markedly decreased in the range of 18.6~3.2  $\mu\text{m}$  and the density of the ceramic was decreased in the range of 5.53~3.74 g/cm<sup>3</sup>. While, the varistor voltage was increased in the range of 39.4~748.1 V/mm and the nonlinear exponent was in the range of 4.5~51.2 with increasing Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content. The addition of Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> greatly enhanced the nonlinear properties of varistors, compared with the varistor without Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. In particular, the varistors with Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content of 0.5 mol% exhibited the highest nonlinearity, in which the nonlinear exponent is 51.2 and the leakage current is 1.3  $\mu\text{A}$ . The donor concentration and the density of interface states were decreased in the range of  $(4.19\sim 0.14)\times 10^{18}/\text{cm}^3$  and  $(5.38\sim 1.15)\times 10^{12}/\text{cm}^2$ , respectively, with increasing Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content.

**Key Words** : ZPCCY based varistors, Electrical characteristics, Nonlinear exponent, Nonlinearity, Donor concentration, Density of interface states

#### 1. 서론

오늘날의 전기·전자 시스템은 과거에 비해 소형화, 경량화는 물론, 고속화, 저전력화, 고성능화가 이루어지고 있다. 그러나 그에 따라 시스템의 저전압 동작에 따른 절연내력 및 내썩지력의 저하로 인하여 전자기기의 반도체 소자 및 회로 시스템은 유도노이즈, 임펄스성 노이즈 등의 이상전압 침입시에 오동작하거나 파괴되는 등의 장애가 빈

번이 발생하고 있다. 이러한 이상전압에 대한 대책으로 ZnO 바리스터가 널리 사용되고 있다. ZnO 바리스터는 높은 비직선성과 에너지 흡수성으로 과도이상전압으로부터 전기·전자 시스템을 보호하는 써지 흡수기 뿐만 아니라, 발·송·배전 등의 전력 시스템을 보호하는 전력용 피뢰기의 핵심소자로 광범위하게 응용되고 있다[1,2].

ZnO 바리스터는 입계의 불순물 편석에 따른 전위장벽 형성의 결과로 나타나는 비직선성을 응용하는 전압 의존성 저항체이다. 바리스터 형성 산화물로는 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>, BaO, SrO 등이 사용되며 현재 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 널리 상용화되어 있다. 하지만 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>계 ZnO 바리스터는 특성은 우수하나 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 자체의 높은 반응성과 휘발성으로 인하여 몇가지 문제점을

동의대학교 전기공학과  
(부산광역시 부산진구 가야동 산24번지)  
Tel : 051-890-1669, Fax : 051-890-1664  
E-mail : cwnahm@dongeui.ac.kr  
2002년 3월 21일 접수, 2002년 5월 6일 1차 심사완료,  
2002년 5월 13일 최종 심사완료

지니고 있다[3]. 따라서 최근에는 이러한 문제를 개선하기 위해 ZnO-Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>-CoO의 3성분계 만으로도 양호한 특성을 나타내는 Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>계 ZnO 바리스터가 많이 연구되어지고 있다[4-14]. 한편 바리스터의 전기적 성질은 입계 등의 미세구조와 밀접하게 관련되어 있기 때문에 첨가물의 종류, 조성비 등과 같은 첨가물조건, 그리고 소결온도, 시간, 냉각속도 등과 같은 소결조건 등으로 미세구조를 제어함으로써 전기적 성질을 변화시킬 수 있다. 이와 같이 다양한 방법으로 바리스터의 특성을 개선시키려는 연구가 지속적으로 이루어지고 있으나, 복합 불순물의 공동효과는 물론 단일 불순물의 효과가 첨가물조건 및 소결조건에 따라 다양하게 변화므로 여전히 주요 연구대상이 될 것이다.

본 연구에서는 ZnO-Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>-CoO-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (ZPCCY)계 바리스터를 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가량에 따라 미세구조 및 전기적 특성을 조사하여 그 응용 가능성을 조사하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 시편 제작

(98.0-x) mol% ZnO+0.5 mol% Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>+1.0 mol% CoO+0.5 mol% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+x mol% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (x = 0.0~4.0) 조성식에 따라 순도 99.9% 시료를 10 μg의 오차범위까지 정확히 평량한 다음, 지르코니아 불과 아세톤이 든 폴리프로필렌 용기에 넣어 24시간동안 불침하였다. 120°C에서 12시간동안 건조시킨 후, 750°C에서 2시간 하소시켰다. 시편 양만큼의 시료를 마노유발로 재분쇄한 다음, 성형조제 PVA를 시료무게의 2 wt% 첨가시켜 균일하게 혼합하여 200 mesh 체로 조립하였다. 800 kg/cm<sup>2</sup> 압력하에서 직경이 10 mm, 두께가 1.8 mm가 되게 원판형으로 성형한 후, 같은 조성의 분위기 분말과 함께 도가니에 넣어 4°C/min의 승·하강율로 1350°C에서 1시간 소결하였다. 소결된 시편을 1.0 mm 두께로 래핑하여 초음파 세척 후, 실크 스크린 기법으로 직경이 5 mm되게 양면에 은적극을 도포한 다음 600°C에서 10분간 열처리하여 오염성 접촉이 되게 하였다.

### 2.2 전기적 특성 측정

전압(V)-전류(I) 특성은 Current/Voltage Source

Measure Unit(Keithely 237)을 사용하여 전류밀도 50 mA/cm<sup>2</sup>까지 측정하였다. 바리스터 전압(V<sub>1mA</sub>)는 전류밀도가 1 mA/cm<sup>2</sup>일 때의 전압으로, 누설전류(I<sub>l</sub>)는 0.80 V<sub>1mA</sub>에서 전류로 측정되었으며, 비직선 지수(α)는  $\alpha = 1/\log(V_{10mA}/V_{1mA})$ 의 관계식으로부터 구하였다. 여기서 V<sub>1mA</sub>와 V<sub>10mA</sub>는 전류밀도 1 mA/cm<sup>2</sup>와 10 mA/cm<sup>2</sup>에 각각 대응되는 전압이다.

정전용량-전압(C-V) 특성은 QuadTech 7600 RLC 미터와 Keithley 617 일렉트로미터를 사용하여 1 kHz/1 Vrms 신호로 측정되었다. ZnO 결정립의 도너농도(N<sub>d</sub>)와 입계에서의 장벽높이(φ<sub>b</sub>)는 Mukae 등[15]에 의해 제안된  $(1/C_b - 1/2C_{b0})^2 = 2(\phi_b + V_{gb})/q\epsilon N_d$  식으로 직선의 기울기 및 교점으로부터 각각 구하였다. 여기서 C<sub>b</sub>는 입계의 단위 면적당 정전용량, C<sub>b0</sub>는 입계당 인가전압 V<sub>gb</sub> = 0 V일 때 C<sub>b</sub>, q는 전자의 전하량, ε는 ZnO의 유전율(8.5 ε<sub>0</sub>)이다. 입계에서의 계면상태밀도(N<sub>t</sub>)는 도너농도와 장벽높이를 이용하여  $N_t = (2\epsilon\phi_b N_d/q)^{1/2}$  식으로 구하였다. 입계를 중심으로 한 쪽 결정립 내의 공핍층 폭(t)은  $N_d \cdot t = N_t$  관계식을 이용하여 구하였다[16].

### 2.3 미세구조 관찰

전기적 측정이 완료된 시편의 한면을 SiC 연마지로 래핑하여 0.3 μm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 분말로 거울연마한 다음, 1100°C에서 20분간 열적 에칭한 후, 표면을 100 Å 두께의 Au를 코팅하여 SEM(S2400, Hitachi)으로 미세구조를 관찰하였다. 평균 결정립 크기(d)는 선형교차기법에 의한 식,  $d = 1.56C_{eff}/MN_{eff}$  (C<sub>eff</sub>는 test-line의 유효길이, M은 SEM의 배율, N<sub>eff</sub>은 입계와 test-line과의 유효교차수로 결정되었다[17]. 세라믹스의 밀도(ρ)는 밀도측정용 소프트웨어가 장착된 전자천평기를 이용하여, 아르키메데스법에 의한 식,  $\rho = W\rho_0/(W-W_0)$ (ρ<sub>0</sub>는 물의 밀도, W는 공기속에서 시편의 무게, W<sub>0</sub>는 물속에서 시편의 무게)로 구하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 1은 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가량에 따른 ZPCCY계 바리스터 세라믹스의 미세구조를 나타낸 것이다. Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가량이 증가함에 따라 입계 및 입계 교차점에

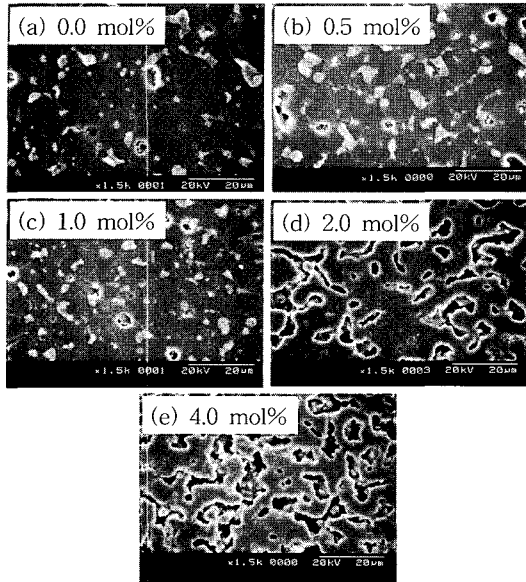


그림 1.  $Y_2O_3$  첨가량에 따른 ZPCCY계 바리스터 세라믹스의 미세구조.

Fig. 1. SEM micrographs of ZPCCY-based varistor ceramics with various  $Y_2O_3$  contents.

표 1.  $Y_2O_3$  첨가량에 따른 ZPCCY계 바리스터의 미세구조 및  $V-I$  특성 파라미터.

Table 1. The microstructural and the  $V-I$  characteristic parameters of ZPCCY-based varistors with various  $Y_2O_3$  contents.

$Y_2O_3$ content (mol%)	$d$ ( $\mu m$ )	$\rho$ ( $g/cm^3$ )	$V_{1mA}$ (V/mm)	$V_{gb}$ (V/gb)	$\alpha$	$I_t$ ( $\mu A$ )
0.0	18.6	5.53	39.4	0.7	4.5	87.9
0.5	11.4	5.34	194.5	2.2	51.2	1.3
1.0	9.1	5.38	202.1	1.8	30.0	3.9
2.0	4.1	4.28	530.0	2.2	42.0	2.4
4.0	3.2	3.74	748.1	2.4	49.5	0.5

벌크 입간상이 점점 많이 존재함을 볼 수 있다. 이러한 입간상은 이미 보고된 바 있는  $Er_2O_3$ 가 첨가된 ZPCCE계 바리스터의 미세구조[8,9,13]와 동일

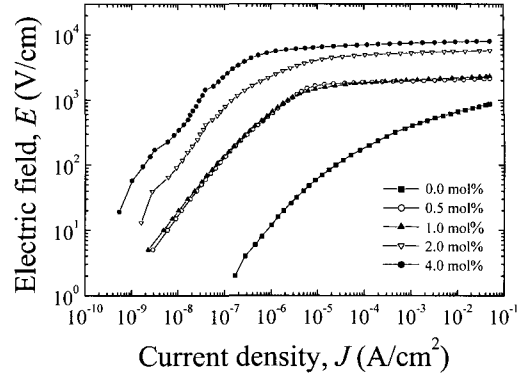


그림 2.  $Y_2O_3$  첨가량에 따른 ZPCCY계 바리스터의  $E-J$  특성.

Fig. 2.  $E-J$  characteristics of ZPCCY-based varistors with various  $Y_2O_3$  contents.

한 미세구조로서 X-선 회절분석에서 Pr-과다상과 Y-과다상으로 나타났으며, 이는 Pr의 이온반경 (1.01 Å)과 Y의 이온반경(0.92 Å)이 Zn의 이온반경 (0.74 Å)보다 커 결정립내 한계고용량 외의 대부분의 Pr과 Y가 입계로 편석되어 생긴 상이다. 첨가량이 증가할수록 기공의 증가로 인해 표 1에 나타난 바와 같이 밀도( $\rho$ )는 5.53~3.74  $g/cm^3$  범위로, 평균 결정립 크기( $d$ )는 18.6~3.2  $\mu m$  범위로 크게 감소하였다. 결정립 크기의 감소는  $Y_2O_3$ 가 첨가될수록 입계 교차점으로 편석되는 Pr-과다상 및 Y-과다상 등에 의한 피닝효과(pinning effect)에 의해 입계 이동이 억제되기 때문인 것으로 사료된다. 따라서  $Y_2O_3$ 의 첨가는 ZnO 결정립 성장을 억제시키고, 치밀성을 저하시킴을 알 수 있다.  $Y_2O_3$  첨가에 따른 밀도( $\rho$ ), 평균 결정립 크기( $d$ )를 표 1에 나타내었다.

그림 2는 ZPCCY계 바리스터의 전계( $E$ )-전류밀도( $J$ ) 특성을 나타낸 것이다. 그림에서도 알 수 있는 바와 같이  $Y_2O_3$  첨가로 인해 비직선 특성이 향상됨으로써  $Y_2O_3$ 가 바리스터의 비직선성 개선 산화물임을 직관적으로 알 수 있다.  $Y_2O_3$ 가 0.5 mol%와 1.0 mol% 첨가시  $E-J$  곡선이 거의 겹침으로써 바리스터 전압이 비슷할 것으로 예상된다. 이것은 1.0 mol% 첨가시 평균 결정립 크기가 0.5 mol% 첨가시 보다 작아 바리스터 전압이 높을 것으로 예상되지만, 1.0 mol% 첨가시의 입계당 전압이 0.5

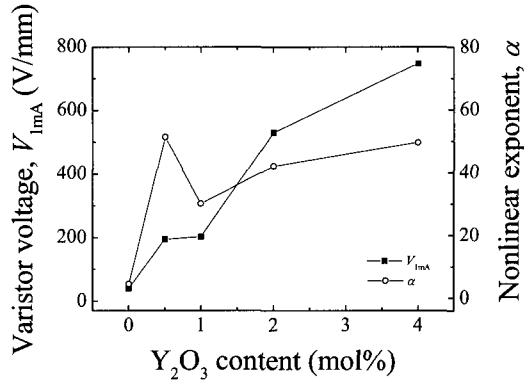


그림 3. Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가량에 따른 ZPCCY계 바리스터의 바리스터 전압과 비직선 지수.

Fig. 3. The varistor voltage and the nonlinear exponent of ZPCCY-based varistors with various Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents.

mol%보다 상대적으로 낮은데서 오는 결과로 사료된다.

그림 3은 바리스터 전압( $V_{1mA}$ )와 비직선 지수( $\alpha$ )의 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가량의 의존성을 나타낸 것으로 전반적으로 바리스터 전압과 비직선 지수는 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가량에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 상세한 V-I 특성 파라미터는 표 1에 나타내었다. 바리스터 전압은 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가량에 따라 39.4~748.1 V/mm 범위로 선형적으로 증가하였다. 이것은 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가량에 따라 평균 결정립 크기의 감소에 따른 마이크로-바리스터(결정립-입계-결정립) 수의 증가에 기인한 것으로 사료된다. 특히 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 0.5 mol%와 1.0 mol% 첨가시의 바리스터 전압이 각각 194.5 V/mm, 202.1 V/mm로 비슷한 값을 나타내었는데, 이는 곧 언급될 0.5 mol%와 1.0 mol% 첨가시 입계당 전압이 각각 2.2, 1.8 V/gb로 1.0 mol% 첨가시가 0.5 mol% 첨가시 보다 상대적으로 낮은데서 오는 결과로 해석된다. Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가량에 따른 입계당 전압( $V_{gb}$ )은 0.7~2.4 V/gb의 범위로서, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가되지 않은 바리스터의 입계당 전압이 0.7 V/gb로 일반적인 입계당 전압으로 알려진 2~3 V/gb보다 훨씬 낮은 것은 "bad barrier"에서 오는 결과로, 이것은 바로 아래에서 언급될 낮은 비직선 지수를 나타내는 주요 원인이 된다.

비직선 지수( $\alpha$ )는 4.5~51.2의 범위로 0.5 mol% 첨가량까지 증가하여  $\alpha = 51.2$ 로 최대치를 보였다.

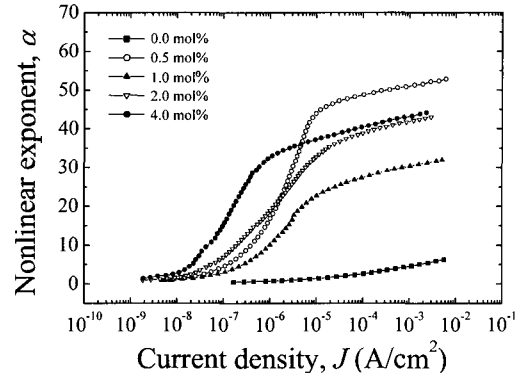


그림 4. Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가량에 따른 ZPCCY계 바리스터의  $\alpha$ -J 특성.

Fig. 4.  $\alpha$ -J characteristics of ZPCCY-based varistors with various Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents.

며, 다시 1.0 mol%에 30으로 감소하다가 그 이상 첨가시에는 증가하였다. Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가되지 않은 바리스터의 비직선 지수는 4.5로 매우 낮은데 비해, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가된 바리스터는 30 이상의 높은 비직선 지수를 나타냄으로써, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가가 비직선성을 크게 개선시키는 첨가물임을 알 수 있다.

한편 누설전류( $I_L$ )는 대체적으로  $\alpha$ 와 상반되는 경향으로 0.5~87.9  $\mu$ A 범위를 보였으며 4.0 mol% 첨가시 0.5  $\mu$ A 로 가장 우수하게 나타났다. 이러한 경향은 나중에 언급할 입계 부위의 장벽높이( $\phi_b$ )에 기인하는 것으로 장벽높이가 높을수록 누설전류의 원인인 열전자 방출에 의한 전류보다 터널링에 의한 전류가 증가하여 비직선 지수가 높아지고, 누설전류가 감소하는 것으로 사료된다. 전체적으로 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 0.5 mol%와 4.0 mol% 첨가시 비직선 지수와 누설전류가 각각 51.2, 49.6과 1.3  $\mu$ A, 0.5  $\mu$ A로 높은 비직선성을 보였다.

그림 4는 ZPCCY계 바리스터의 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가량에 따른 비직선 지수( $\alpha$ )-전류밀도( $J$ ) 곡선을 나타낸 것이다. 비직선 지수는 전도기구에서 쇼트키 열전자 방출 기구에 의한 전류와 Fowler-Nordheim 터널링 기구에 의한 전류의 상대적인 우세 정도에 관계되어 진다[18]. 즉 낮은 전압에서는 열전자 방출에 의한 전류가 우세하여 비직선 지수가 낮으나, 전압이 높아질수록 터널링에 의한 전류가 열전자 방출에 의한 전류보다 상대적으로 우세해짐에

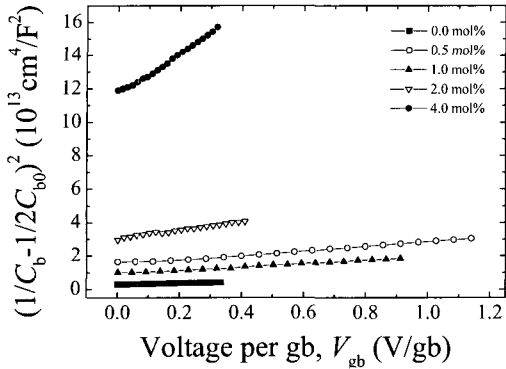


그림 5. Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가량에 따른 ZPCCY계 바리스터의  $(1/C_b - 1/2C_{bo})^2$  vs.  $V_{gb}$ .

Fig. 5.  $(1/C_b - 1/2C_{bo})^2$  vs.  $V_{gb}$  of ZPCCY-based varistors with various Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents.

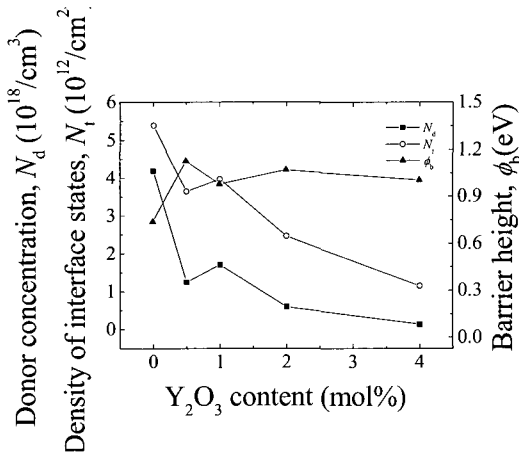


그림 6. Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가량에 따른 ZPCCY계 바리스터의 도너농도, 계면상태밀도, 장벽높이.

Fig. 6. The donor concentration, density of interface states, and barrier height of ZPCCY-based varistors with various Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents.

따라 비직선 지수가 높아지는 것을 그림으로부터 알 수 있다. 또한 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가량에 따라 비직선 지수의 증가율은 뚜렷한 차이를 보였으며, 그림 2에서도 언급한 바와 같이 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가로 비직선성이 개선됨을 재확인 할 수 있다.

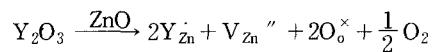
그림 5는 ZPCCY계 바리스터의  $(1/C_b - 1/2C_{bo})^2$

표 2. Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가량에 따른 ZPCCY계 바리스터의 C-V 특성 파라미터.

Table 2. The C-V characteristic parameters of ZPCCY-based varistors with various Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents.

Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> content (mol%)	N <sub>d</sub> (10 <sup>18</sup> /cm <sup>3</sup> )	N <sub>t</sub> (10 <sup>12</sup> /cm <sup>2</sup> )	φ <sub>b</sub> (eV)	t (nm)
0.0	4.19	5.38	0.74	12.85
0.5	1.25	3.64	1.13	29.11
1.0	1.71	3.97	0.98	23.14
2.0	0.60	2.46	1.07	40.84
4.0	0.14	1.15	1.00	81.77

vs.  $V_{gb}$  관계를 도식한 것으로 자세한 C-V 특성 파라미터를 그림 6과 표 2에 나타내었다. Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가량이 증가할수록 도너농도(N<sub>d</sub>)는  $(4.19 \sim 0.14) \times 10^{18}/\text{cm}^3$  범위로 감소하는 경향을 나타내었으며, 2.0 mol% 이상 첨가시 급격히 감소하였다. 이와 같이 첨가량이 증가할수록 도너농도가 감소하는 것은 Y가 Zn과의 이온반경 차이로 인해 대부분이 입계 교차점 및 입계로 편석되지만, ZnO 결정립내에 존재하는 한계 고용량의 Y가 아래와 같은 결합 반응식에 따라 Zn과의 치환과정에서 발생하는 산소 분압과 관련이 있는 것으로 사료된다.



즉 산소는 비화학 양론으로 나타나는 자연도너인 침입형 Zn과 산소공공[19,20]과 결합하여 자연도너수를 감소시키는 결과를 가져오므로, 결과적으로 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가량의 증가는 산소 분압을 증가시키며, 이로 인하여 일반적으로 알려진 산소 분압과 도너농도의 반비례 관계에 의해 도너농도가 감소하는 것으로 판단된다. 따라서 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 도너농도를 감소시키는 억셉터로 작용함을 알 수 있다.

계면상태밀도(N<sub>t</sub>)는 도너농도와 동일하게 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가에 따라  $(5.38 \sim 1.15) \times 10^{12}/\text{cm}^2$  범위로 감소하였다. 이러한 현상은 입계 영역에 존재하는 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 공핍층의 격자간 Zn의 이동 활성화 에너지를 감소시켜, 격자간 Zn이 입계에 존재하는 Zn 공공과의 결합반응으로 Zn 공공이 감소했기 때문인 것

으로 사료된다. 쇼트키 장벽높이( $\phi_b$ )는  $Y_2O_3$ 를 첨가함으로써 높아졌으며, 0.5 mol%에서 1.13으로 최대치로 하여 그 이상 첨가시 약간의 감소는 있지만 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.  $Y_2O_3$ 의 첨가에 의한  $\phi_b$ 의 증가는  $\phi_b \propto N_t^2/N_d$  관계에 의해  $N_d$ 보다  $N_t$ 에 더 크게 의존함에 따른 것으로  $Y_2O_3$  첨가 유·무의  $N_d$ ,  $N_t$  감소비율이  $N_d > N_t$  이므로  $\phi_b$ 가 증가하게 된다. 한편  $Y_2O_3$  첨가량의 증가에 따른 공핍층 폭( $t$ )의 증가는  $N_d \cdot t = N_t$ 의 관계식에서 알 수 있는 바와 같이 도너농도의 상대적 큰 감소율에 따른 결과이고, 대부분의 경우 도너농도가 낮아지면 공핍층 폭은 증가하게 된다.

#### 4. 결론

ZnO,  $Pr_6O_{11}$ , CoO,  $Cr_2O_3$ 의 4성분계 조성에서  $Y_2O_3$ 를 0.0~4.0 mol%까지 첨가하여 제작한 바리스터의 미세구조 및 전기적 특성을 조사한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1.  $Y_2O_3$ 는 결정립 성장 억제 산화물로 작용하여 첨가량이 증가할수록 평균 결정립 크기가 감소하였고, 밀도가 감소하여 치밀성이 저하되었다.
2.  $Y_2O_3$ 의 첨가는 비직선성을 향상시키는 특성 개선 산화물임을 확인할 수 있었으며, 첨가량이 증가할수록 바리스터 전압은 선형적으로 증가하였다.
3. 비직선 지수는 0.5 mol%에서 51.2, 누설전류는 4.0 mol%에서 0.5  $\mu A$ 로 가장 우수한 값을 나타내었으며, 비직선 지수와 누설전류는 전반적으로 상반되는 경향을 보였다.
4.  $Y_2O_3$ 와 ZnO의 치환반응에서 발생하는 산소분압으로 인해 도너농도가 감소함으로써  $Y_2O_3$ 가 억제제로 작용함을 알 수 있었다.
5.  $Y_2O_3$  첨가량이 증가함에 따라 계면상태밀도는 감소하였으며, 공핍층 폭은 도너농도의 감소로 인하여 증가하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정, 부

산광역시 지원 지역협력연구센터인 동의대학교 전자세라믹스연구센터의 지원에 의한 것입니다

#### 참고 문헌

- [1] 뉴-케라스시리즈 編集委員會, "半導體セラミクスとその應用", 學獻社, p. 149, 1990.
- [2] 電氣學會, "酸化亞鉛避雷器の特性と評價試驗法", 電氣學會技術報告, 第474号, 1993.
- [3] Y. S. Lee and T. Y. Tseng, "Phase identification and electrical properties in ZnO-glass varistors", J. Amer. Ceram. Soc., Vol. 75, No. 6, p. 1636, 1992.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 남춘우, 정순철, 이의천, " $Y_2O_3$  첨가에 따른 ZnO:Pr 바리스터의 미세구조 및 전기적 특성에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 11권, 1호, p. 48, 1998.
- [7] 남춘우, 박춘현, "이트리아가 첨가된 프라세오디뮴계 산화아연 바리스터의 안정성에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 11권, 10호, p. 842, 1998.
- [8] 남춘우, 윤한수, 류정선, "ZPCCE계 바리스터의 미세구조와 전기적 성질 및 안정성", 전기전자재료학회논문지, 13권, 9호, p. 735, 2000.
- [9] 남춘우, 류정선, "Zn-Pr-Co-Cr-Er 산화물계 바리스터의 전기적 성질", 전기전자재료학회논문지, 14권, 5호, p. 362, 2001.
- [10] C.-W. Nahm, C.-H. Park, and H.-S. Yoo "Microstructure and varistor properties of ZnO- $Pr_6O_{11}$ -CoO- $Nd_2O_3$  based ceramics", J. Mater. Sci. Lett., Vol. 19, No. 4, p. 271, 2000.
- [11] C.-W. Nahm, C.-H. Park, and H.-S. Yoon,

- "Highly stable nonohmic characteristics of ZnO-Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>-CoO-Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub> based varistors", J. Mater. Sci. Lett., Vol. 19, No. 9, p. 725, 2000.
- [12] C.-W. Nahm and C.-H. Park, "Micro-structure, electrical properties, and degradation behavior of praseodymium-based doped with Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>", J. Mater. Sci., Vol. 35, No. 12, p. 3037, 2000.
- [13] C.-W. Nahm, H.-S. Yoon, and J.-S. Ryu, "The nonlinear properties and d.c degradation characteristics of ZPCCE based varistors", J. Mater. Sci. Lett., Vol. 20, No. 5, p. 393, 2001.
- [14] C.-W. Nahm and C.-H. Park, "Effect of Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> addition on the microstructure, electrical properties, and stability of Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>-based ZnO ceramic varistors", J. Mater. Sci., Vol. 36, No. 7, p. 1671, 2001.
- [15] K. Mukae, K. Tsuda, and I. Nagasawa, "Capacitance vs. voltage characteristics of ZnO varistors", J. Appl. Phys., Vol. 50, No. 6, p. 4475, 1979.
- [16] L. Hozer, "Semiconductor Ceramics; Grain Boundary Effects", Ellis Horwood, p. 21, 1994.
- [17] 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.
- [18] T. K. Gupta, "Application of zinc oxide varistor", J. Amer. Ceram. Soc., Vol. 73, No. 7, p. 1817, 1990.
- [19] G. D. Mahan, "Intrinsic defects ZnO varistor", J. Appl. Phys., Vol. 54, No. 7, p. 3825, 1983.
- [20] T. K Gupta and W. G. Carlson, "A grain boundary defect model for instability/stability of a ZnO varistor", J. Mater. Sci., Vol. 20, p. 3487, 1985.