

# 3-성분 종입자 법으로 제조한 ZnO 바리스터의 입계모델에서 캐리어의 거동 특성

장경욱\*, 이준웅  
광운대학교 전기공학과

( Properties for the Behavior of Charged Carrier within the Intergranular Layer of ZnO Varistor Fabricated 3-Composition Seed Grain Method )

Kyung-Uk Jang\*, Joon-Ung Lee  
Dept. Electrical Eng., Kwang Woon Univ.

## ABSTRACT

This paper may be presented the carrier oscillation properties for the varistor fabricated by a new method of three-composition seed grain, in order to analyze the behavior of carriers at the its equivalent circuit model. The oscillation phenomena of carriers appeared from current-voltage characteristics under knee voltage is shown by the transient flow of non trapped carriers group in the trap level of intergranular layer, surface state and/or depletion layer.

However, Current oscillation phenomena is hardly shown in the high electric field. The injected carriers from both electrodes are directly flowed from the conduction band of forward biased grain through the intergranular layer into the reverse biased grain, because the trap level in the electric field above the knee voltage is mostly filled.

## 1. 서론

지금까지 저전압 씨어지 흡수기로 사용된 제너(Zener) 다이오드는 씨어지 내량이 낮기 때문에 역-대-역(Back-to-Back) 제너 다이오드와 비슷한 높은 비선형 전류-전압 특성을 갖고, 매우 큰 전류와 에너지 조정 능력을 갖는 저전압 ZnO 바리스터에 대한 연구가 현재 활발히 진행되고 있다. 또한 최근 동작전압이 낮은 바리스터의 전기적 특성을 규명하려고 노력하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 비직선 계수를 향상시키고 동작 전압을 저전압화 하기 위해서 3-성분 종입자법을 이용하여 5 V<sub>1mA</sub>이하의 저전압용 ZnO 바리스터를 제조하였으며, 제조된 시편에 대해 입계 모델과 캐리어의 거동 특성을 규명하기 위해서 발진 특성을 분석하였다.

## 2. 실험방법

### 2-1. 시편제조

본 연구에서는 비오물 비선형 소자인 저전압 ZnO-계 바리스터를 제조하기 위해서 3성분 종입자(Seed Grain)를 ZnO (97.5 - x mol%), BaCO<sub>3</sub> (2.5 mol%) 및 TiO<sub>2</sub> (x = 0.5 mol%) 로 조성 성형한 후 1400 °C에서 10시간 동안 소결하였다. 이 소결체를 증류수로 분해시켜 100 μm 이상의 입도를 갖는 종입자를 얻었다.

바리스터 시편은 ZnO (98 mol%), Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1 mol%), CoO (0.5 mol%) 및 MnO<sub>2</sub> (0.5 mol%)의 기본 조성에 종입자를 5 wt%로 조성시켜 혼합하였다. 혼합 분쇄된 혼합물을 건조한 후 450 [ton/cm<sup>2</sup>]의 압력으로 성형하였다. 성형체는 소결 온도 1300 °C에서 2 시간 동안 소결하여 시편을 제조하였다.

### 2-2. 발진특성 측정

C-F특성으로 부터 제시된 입계모델에서의 캐리어 이동도의 정의는 그 값이 대단히 작고 불규칙적인 거동을 하므로 어렵지만, 증폭기(wide band preamplifier model bx-31, NF Electronic Instruments, USA), 전압 발생 장치(Keithley 237 High Voltage Source Measurement, USA)와 오실로 스코프(DL2140B 300 MHz Digital Oscilloscope, Yokogawa, Japan)을 그림 1과 같이 구성하였다.

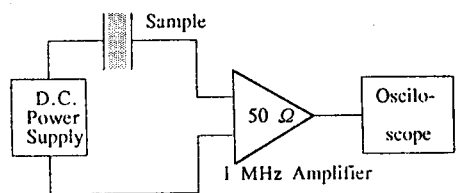


그림 1. 발진 현상의 측정장치

Fig. 1. Measuring system of oscillation phenomena

### 3. 실험결과 및 검토

#### 3-1 전도특성

사진 1은 30°C에서 관측한 전압-전류 특성으로 부터 시편의 전압-전류 발전현상을 측정된 결과이다. 사진 1로 부터 알 수 있는 바와 같이 예비 동작영역에서 동작영역으로 전압이 증가함에 따라서 전류의 발전진폭이 감소하고, 발전 주파수가 감소하는 것을 알 수 있다.

바리스터 동작영역 이하의 전계에서는 주입된 전자의 대부분이 입계의 트랩 준위에 채워지기 때문에 주입전자가 전도에 기여하지 못하므로써 전계가 낮은 영역에서는 전류가 작게 흐르는 것으로 사료된다. 또한, 주입된 전자의 대부분은 입계에 트랩 되지만, 트랩되지 못한 일부의 전자는 입계내에 전자군을 형성하여 정전력을 갖는다. 전계가 계속 증가함에 따라서 입계내에 축적된 전자군의 정전력과 공핍층의 정전력 사이에 접합 불평형이 생기기 때문에 일시적으로 전자군이 입계 전위장벽을 통과하게 되어 발전현상이 나타난다. 또한, 인가 전압이 증가하여 동작영역의 전계가 되면 입계내에 트랩 준위는 점점 채워져 전자군을 이룰수 있는 축적장소가 존재하지 않기 때문에 주입된 전자의 대부분은 순 바이어스 입자의 전도대에서 인접한 역 바이어스 입자의 전도대로 지연시간이 없이 통과하게 된다. 동작영역 이상의 전계에서는 입계에 순방향으로 주입된 전도전자는 그대로 인접입자의 전도대로 터널링하면서 전도가 이루어지기 때문에 발전이 일어나지 않는 것으로 생각할 수 있다.

#### 3-2 전류발전현상으로 부터 구한 이동도

ZnO 바리스터에 직류전압을 인가한 경우 전류 발전이 나타나는 현상은 K. Eda등에 의해 보고되어 있다. 즉, 1964년 K. Eda는 바리스터의 예비동작영역 전계 부근에서 전류 발전이 일어남을 관측하였다. 한편, 전류 발전은 바리스터 뿐만 아니라 Si 반도체재료에서 Deep level의 존재에 의해서 발생한다는 사실을 확인하였고, T. Yasukawa등은 Cds의 전도 과정에서

캐리어 이동도( $\mu$ )와 주기(T) 사이의 관계식으로 부터

$$\mu = \frac{d}{T \cdot E} \quad [\text{m}^2/\text{V}\cdot\text{s}] \quad (1)$$

구할 수 있다. 여기서, 캐리어의 이동은 입계에서 일어나므로, d는 등가모델로 부터 구한 입계층의 두께인 200 Å으로

해야하며, 마찬가지로 전계 E는 입계에 걸리는 전압으로 계산하여야한다. 관측한 자료로 부터 선택적인 방법(Sampling Technic Method)을 이용하여 이동도를 산출할 수 있다.

그림 2, 3 및 4는 30°C에서 입계에 걸리는 전계를  $5 \times 10^4$  [V/m]와  $1 \times 10^7$  [V/m]로 가변시켜 오실로스코프를 이용하여 관측한 전류 발전 현상을 보이고 있다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 군 발전(Group Oscillation)이 일어나면서, 소발진이 군발전과 더불어 나타난다. 소발진의 기원은 순 바이어스된 입자의 전도대에서 입계내로 도너전자 혹은 전극에서 주입된 전자가 입계의 트랩상태 밀도에 따라서 전부 트랩되지 않고 일부 전자들은 역방향 입자의 전도대로 이동하기 때문으로 나타나는 것으로 사료된다. 또한 군 발전의 기원은 순방향 입자의 전도대에서 입계로 이동된 전자가 운대 입계에 트랩되고, 일부 전자는 역방향 입자의 전도대로 이동하는데, 나머지 전자는 입계층의 에너지 대 모델에서 가정한 바와 같이 순방향 입자내의 공핍층과 역방향 입자내의 공핍층 사이에 존재하는 양이온에 대응하는 영상 전하효과에 의해서 전자가 축적되었다가 전계가 변화함에 따라서 공핍층의 불균형에 의해서 입계에 축적되었던 전자군이 역방향 입자의 전도대로 이동이 일어나서 군발전이 나타나는 것으로 사료된다. 그림에서 발전 진폭은 이동전하의 수에 비례하여 나타내므로 진폭이 크다는 것은 축전전하의 수가 많다는 것을 의미한다. 또한, 저전계에서 군발전의 진폭은 소발진 진폭보다 크고 고전계에서는 군발전 진폭과 소발진 진폭 사이에 차이가 거의 없다는 것은 확인 할 수 있다. 이는 입계의 트랩 준위가 저전계로 부터 고전계로 진행함에 따라서 점차 채워지다가 바리스터 동작 영역 부근에서는 트랩준위가 거의 채워져 입계내로 주입된 주입전자가 트랩되지 않고 그대로 역방향 입자의 전도대로 도전되기 때문으로 사료된다. 각 전계구간에서 구한 이동도의 값은 각각 표 1에 보였다. 표 1에서 알 수 있는 바와 같이 전계가 증가함에 따라서 소발진에 의한 이동도의 값은 전계의 세기에 의존하지 않고 거의 일정한 값을 보였으나, 군발진에 의한 캐리어 이동도는 짧아지는 것을 보이고 있다. 이는 인가전계가 증가함에 따라서 영상전하 효과에 의해 축적되는 군전자의 수가 작아지고, 전계가 높아지면 전위장벽의 불균형이 빨리 진행되어 짧은 시간에 군전자의 이동이 일어나서 바리스터의 동작 특성이 나타나는 것으로 사료된다.

### 4. 결 론

3-성분 층입자법으로 제조한 바리스터의 입계에서 캐리어의 거동특성을 규명한 결과

1. 캐리어 거동은 인가 전압에 따라서 발진을 하면서 이동하는데, 전계가 낮은 동작전압 이하에서는 발진 진폭이 크고, 전계가 높은 동작전압 이상에서는 발진 진폭이 작게 일어났다.
2. 소발진을 일으키는 캐리어의 이동도는 전계  $5 \times 10^5$  [V/m]에서  $2.9 \times 10^{-4}$  [ $\text{m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ]였으며 전계에 의존하지 않았다.
3. 군발진을 일으키는 캐리어의 이동도는 전계  $5 \times 10^5$  [V/m]에서  $4.9 \times 10^{-4}$  [ $\text{m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ]였으며 전계가 증가함에 따라서 감소하였다.

표 1. 캐리어의 이동도  
Table 1. Mobility of carriers in the intergranular model

Unit: [ $\text{m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ]

구분	전계 $5 \times 10^5$ [V/m]	$1 \times 10^6$ [V/m]	$2 \times 10^6$ [V/m]
소 발 진	$2.9 \times 10^{-4}$	$1.6 \times 10^{-4}$	$8.9 \times 10^{-5}$
군 발 진	$4.9 \times 10^{-5}$	$2.4 \times 10^{-5}$	$1.1 \times 10^{-5}$

## REFERENCES

1. Atsushi Iga, Michio Matsuoka and Takeshi Masuyama, "Effect of Heat-Treatment on Current Creep Phenomena in Non-ohmic ZnO Ceramics", J. J. Appl. Phys., Vol.(15), No.9, pp. 1847-1848 (1976)
2. P.C. Arnett, "Transient Conduction in Insulators at High Fields", J. Appl. Phys., Vol.(46), No.12, pp.5236-5243 (1975)
3. Makoto Kikuchi, "Localized Nature of the Current Oscillation in Semiconductor due to Deep levels", J. Appl Phys., Vol. (37), No.11, p.37 (1967)
4. Takeshi Yasukawa, "Low-Frequency Oscillation in CdS Single Crystals", J. Appl. Phys., Vol.(37), No.8, pp. 3301- 3303 (1966)

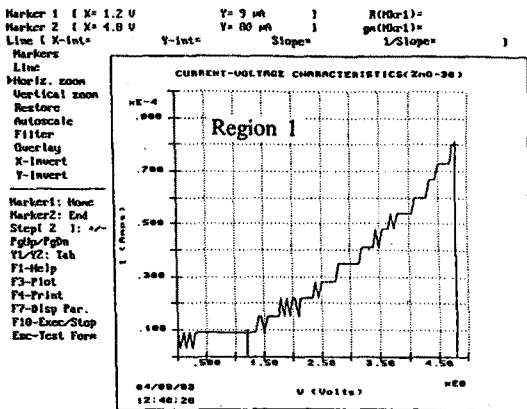


사진 1. V-I 발진특성 (30 °C)  
Photo. 1. Oscillation characteristics of V-I (30 °C)

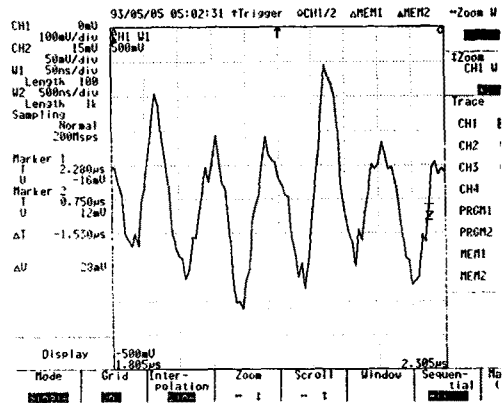


그림 2. 인가전계  $5 \times 10^5$  [V/m]에서 오실로스코프로 관측한 전류 발진현상  
Fig. 2. Current oscillation phenomena observed with oscilloscope in the electrical range of  $5 \times 10^5$  [V/m]

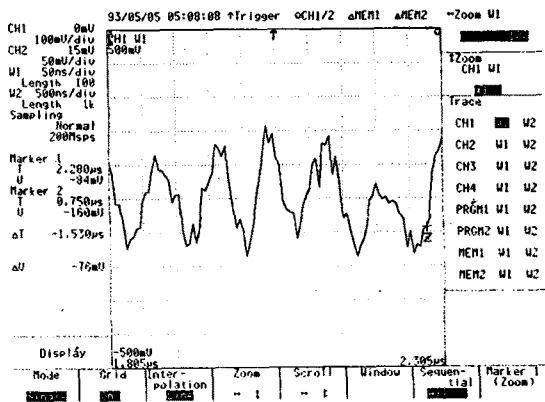


그림 3. 인가전계  $1 \times 10^6$  [V/m]에서 오실로스코프로 관측한 전류 발진현상  
Fig. 3. Current oscillation phenomena observed with oscilloscope in the electrical range of  $1 \times 10^6$  [V/m]

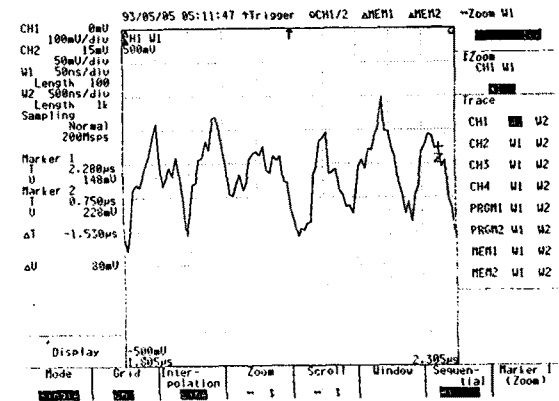


그림 4. 인가전계  $2 \times 10^6$  [V/m]에서 오실로스코프로 관측한 전류 발진현상  
Fig. 4. Current oscillation phenomena observed with oscilloscope in the electrical range of  $2 \times 10^6$  [V/m]