

김명식^o 이남양, 정인재, 오명환
 (한국 과학 기술원 계속초자 연구실)

Resonant Frequency Analysis on the Electronic Barriers in ZnO Varistor.

Kim, Myung-Sik, Lee, Nam-Yang, Chung, In-Jae, Oh, Myung-Hwan
 (KAIST, Sensors and Instrumentations Lab.)

1. 서론

ZnO Varistor 는 매우 높은 비오姆성(non-ohmic) 전압-전류 특성과 우수한 써어지(surge) 흡수 능력을 가지고 있기 때문에 이상과도 전압(abnormal overvoltage)에 대한 회로 보호소자나 미뢰기 소자로서 각광받고 있다. 1)-3)

그러나 아직까지 비선형 도전기구(nonlinear conduction mechanism)에 대한 정확한 규명이 되지 못한 상태로써 여러가지 이론들이 제안되어져 있으며 그것을 분류해 보면 다음과 같다.

- 1) Intergranular barrier model¹⁾
- 2) Double Schottky barrier model^{4), 5)}
- 3) Double Schottky barrier with intergranular barrier sandwich model^{6) 7)}

이상의 3 model 가운데 지금까지 나하난 ZnO Varistor 의 전기적 특성을 가장 잘 설명해 주는 model 3) 을 ZnO Varistor의 주파수 의존성으로 부러 증명해 보고 좀 더 나아가 새로운 도전이론을 제시하고자 한다.

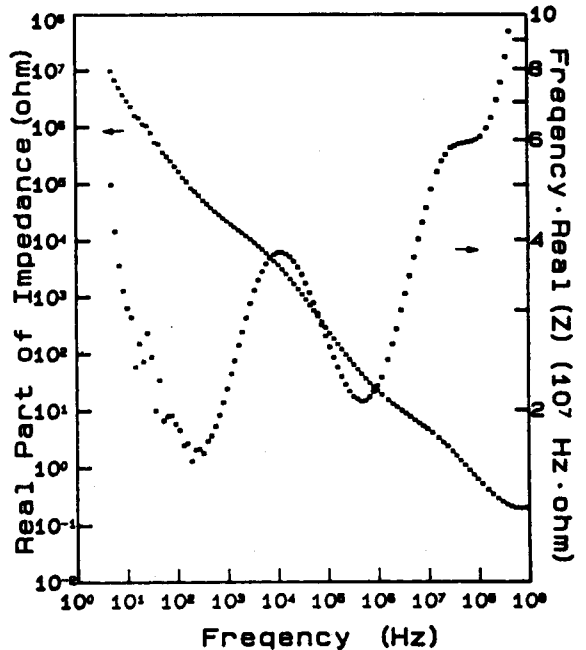
2. 실험 방법.

일반 세라믹 제조공정과 유사한 ZnO Varistor 제조공정을 거쳐 시편을 제조하였으며 제조된 Varistor 시편의 전압-전류 특성 및 bias 전압을 인가한 전후의 주파수 의존성을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

1) ZnO Varistor 의 barrier model

그림1은 상용되는 ZnO Varistor 에 대한 주파수 의존성을 그린것이다.



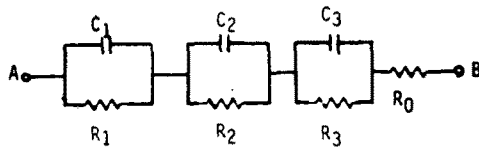
(그림1) 상용 ZnO Varistor 의 주파수 의존성

그림1에서 보는바와같이 주파수에 따른 임피던스 실수부의 변화에서는 공진현상을 정확히 구분할 수 없지만 임피던스 실수부와 주파수의 곱의 변화에서는 공진 주파수가 2개 존재하는 것을 확연히 구별할 수 있다.

주파수 특성에 의한 ZnO Varistor의 barrier model 해석

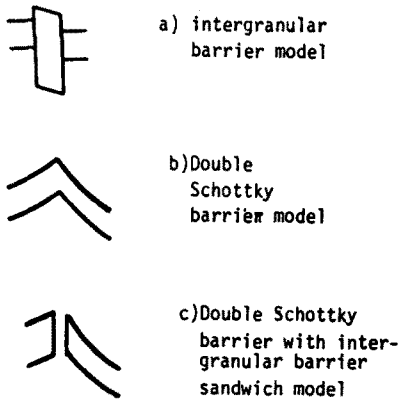
또한 그림 1에서 첫번째 존재하는 공진주파수는 나타나 있지 않지만 반공진 주파수의 존재로 1Hz 이하에서 존재하는 것을 알 수 있다.

따라서, ZnO Varistor에서는 3개의 공진주파수가 존재하며 3개의 공진주파수가 존재하기 위해서는 그림 2와 같이 3개의 RC 병렬회로가 존재해야만 한다.



(그림 2) ZnO Varistor의 등가 회로

또한, 각 RC 병렬회로에 대응한 barrier가 세 개 존재해야하므로 ZnO Varistor의 barrier model은 그림 3-C의 intergranular barrier가 존재하는 double Schottky barrier임을 알 수 있다.



(그림 3) ZnO Varistor의 여러가지 model

2) 도전이론의 검토

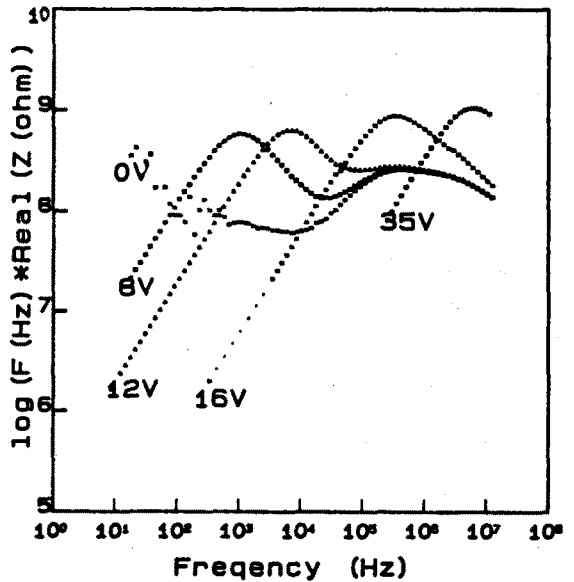
Eda⁶⁾의 연구결과에 따르면 그림 3-C model로 하여 다음과 같이 ZnO Varistor의 비오염성 전도이론을 설명하고 있다. 즉,

첫째로, prebreakdown 영역에서의 전압-전류 특성은 reverse biased Schottky barrier를 넘는 열적으로 여기된 전자의 흐름에 의해 지배되며,

둘째로, breakdown 영역에서의 전압-전류 특성은 reverse biased Schottky barrier를 tunneling으로 통과하는 전자들의 흐름에 의해 지배되어 지고,

셋째로, upturn 영역에서의 높은 전압-전류 특성은 결정립 저항들에 의해 지배어진다고 보고한 바 있다.

그림 4는 본 연구에서 DC bias 전압을 인가한 후의 ZnO Varistor의 주파수 의존성을 나타낸 것이다.



(그림 4) 인가전압에 따른 ZnO Varistor의 주파수 의존성

그림 4에서 보는 바와 같이 인가전압이 12V보다 작을 경우에는 첫번째 공진주파수와 반공진 주파수만 변화하며 12V 이상의 인가전압하에서는 2개의 공진주파수가 일치하여 한개의 공진주파수로 되어 움직이는 것을 알 수 있다.

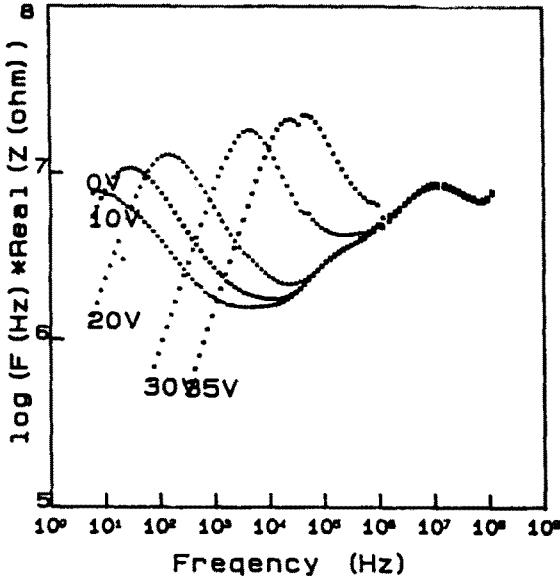
이와 같은 현상으로 볼 때, 12V 이하의 전압을 인가할 경우에는 인가전압의 대부분이 reverse biased Schottky barrier에 걸리지만 12V 이상의 전압이 인가

될 경우에는 forward biased Schottky barrier

에도 또한 전압이 인가되는 것을 알 수 있다.

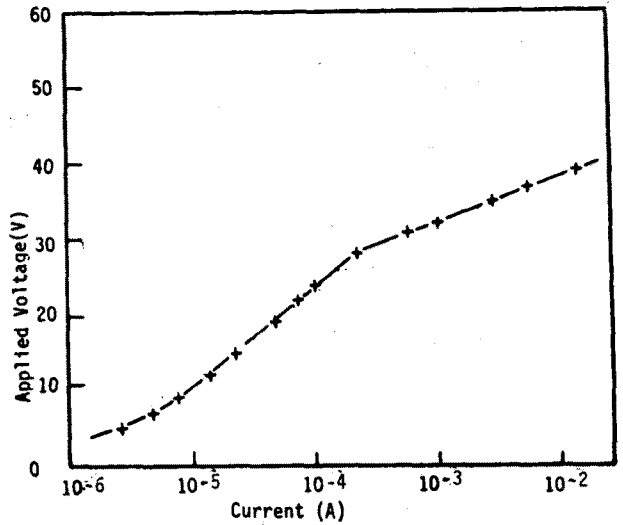
한편 그림5는 또 다른 시편에 대한 주파수 의존성을 나타내고 있으며 그 결과는 앞과 비슷한 양상을 보이고 있다. 그림6은 그림5의 시편에 대한 전압-전류 특성 곡선으로서 30V에서 breakdown이 일어나는 것을 알 수 있다. 또한 그림5에서도 D. C bias 전압이 30V일 경우에는 두 공진주파수가 하나로 이루어 지는 것을 알 수 있다.

그림6에서는 breakdown이 일어나면 인가전압 V는 log I와 직선적인 관계를 만족하는 것을 알 수 있는데 이것은 diode에 forward bias 전압을 인가한 경우와 거의 동일한 특성을 보여준다.



(그림5) 인가전압에 따른 ZnO Varistor의 주파수 의존성 (시편두께 0.7mm)

따라서 breakdown 전압 이상이 인가될 경우 reverse biased Schottky barrier에 인가되는 전압은 인가 전압의 변화에 대해 그다지 변화하지 않지만 forward biased Schottky barrier에 인가되는 전압은 크게 변화하게 된다고 볼 수 있다. 그러므로 breakdown 영역에서의 전압-전류 특성은 forward biased Schottky barrier에 의해 지배되어지는 것을 알 수 있다.



(그림 6) ZnO Varistor의 전압-전류 특성

5. 결 론

ZnO Varistor의 bias 전압에 따른 주파수 의존성으로 부터 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

1) breakdown 전압 보다 낮은 전압이 인가될 경우에는 인가된 대부분의 전압이 reverse biased Schottky barrier에 인가되며, 따라서 prebreakdown 영역에서의 전압-전류 특성은 reverse biased Schottky barrier에 의해 지배 되어진다.

2) breakdown 전압보다 높은 전압이 인가되면 reverse biased Schottky barrier에 인가되는 전압의 변화는 인가한 전압에 따라 그다지 변화하지 않지만 forward biased Schottky barrier에 인가되는 전압은 크게 변화하게 된다. 따라서 breakdown 영역에서의 전압-전류 특성은 forward biased Schottky barrier에 의해 지배 되어진다.

3) ZnO Varistor의 barrier model은 Eda⁶⁾ 등이 주장한 intergranular barrier sandwich 형태의 Double Schottky barrier model이 가장 타당하다고 볼 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) M.Matsuoka, Jpn. J. Appl. Phys., 10, 736(1971)
- 2) E.S. Sakshang, J.S. Krege, and S.A. Mike Jc.,
IEEE Trans. Power Apa. Syst. PAS - 96, 647(1977)
- 3) J.D. Harden, Jr., F.D. Marzloff, W. G.Morris,
and F.D. Golden, Electronics , 45, P1(1972)
- 4) J.D. Levine, CRC Crit. Rev. Solid - State Sci.,
5, 597(1975)
- 5) G.E. Pike, S.R. Kurtz, P.L. Gourley, H.R.
Philipp, and L.M. Levinson, J. Appl. Phys.,
57(12), 5512(1985)
- 6) K. Eda, J. Appl. Phys., 49, 2964(1978)
- 7) G. D. Mahan, L.M. Levinson, and H.R. Philipp,
J. Appl. Phys., 50(4), 2799(1979)