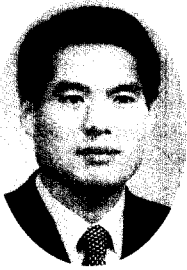


저압 ZnO 바리스터의 전기적 특성 및 응용



김동배
일진전기공업(주)

1. 서론

최근 전자기술의 진보에 따라 반도체소자가 전자기기에 많이 사용되고 있다. 그러나 반도체소자는 소형, 고성능 에너지 절감 등의 특징을 갖는 반면, 과도적 이상 전압에 대해서 약점 있으므로 이러한 장해를 제거하기 위하여 사용되는 것이 서어지 흡수소자로서, 과거로부터 Se, Cu₂O₃, Si, SiC 바리스터 등이 사용되고 있다. 이러한 과거의 바리스터는 제한 전압이 높지 않고 과전압으로부터 보호하려는 반도체 소자들을 충분히 보호하지 못한다.

최근 개발된 저압 ZnO 바리스터는 급격한 전압 비직선특성, 및 큰 서어지 흡수능력을 갖고 있으므로 그 적용분야는 민생, 통신의 약전(弱電)분야부터 전력 시설 등의 강전(強電)분야까지 광범위하게 응용되고 있다.

본 내용에서는 저압 산화아연 바리스터의 기본 전기특성 및 응용과 향 후 기술적인 개발과제에

대해서 설명하고자 한다.

2. 기본 특성

바리스터의 기원은 1835년에 비직선적인 저항특성을 가지는 SiC의 발견에 의해서 시작되었다. 19세기 후반기에, 정류기를 개선시키는 연구 목적으로 비직선적인 저항특성의 Se과 Cu₂O가 발견되었다. 이러한 소자들의 비직선 저항특성은 Si나 Ge다이오드와 트랜지스터와 같은 반도체 소자들이 전기회로의 유용한 부품으로 인정을 받아 실제 사용되었다.

저압 ZnO 바리스터는 1968년 일본 마쓰시타사가 세계에서 선두로 개발하고 상품화한 뒤 지금은 바리스터의 주요 재료로 ZnO를 이용한 다양한 형상의 바리스터를 메이커에 따라 10V에서 수 kV까지 제품화한 후 판매하고 있다.

저압 ZnO 바리스터의 우수한 전압비직선 특성은 ZnO 입자와 입계층의 계면에 형성된 Schottky장벽에 기인하며, 터널효과(tunneling effects)에 의한 것으로 ZnO 소결체 중에서 망목상(網目狀)으로 연결된 다수의 입계에서 비직선 특성이 나타난다.[1] 그리고, 한 개의 Schottky장벽의 장벽전압(barrier voltage)은 약 3V 정도이고, 바리스터 전압은 전극간에 직렬로 연결된 입계의 수에 비례하기 때문에 소자 두께 혹은 ZnO 입자의 크기를 제어함에 따

라 바리스터 전압은 임의로 변화가 가능하다.

저압 ZnO 바리스터의 기본특성은 다음과 같이 열거할 수 있다.

- ① 전압 비직선성이 우수하다.
- ② 제한전압 특성이 우수하다.
- ③ 전류전압 특성이 대칭적이다.
- ④ 임의로 바리스터 전압을 제어할 수 있다.
- ⑤ 서어지 내량이 크다.
- ⑥ 펄스 응답성이 빠르다(50ns이하)

이러한 저압 ZnO 바리스터의 특성은 전자기기나 반도체 소자를 서어지 보호 요구로부터 만족시키고 있다.

3. 전기적 특성

저압 ZnO 바리스터의 전기적 특성은 전류, 전압의 넓은 범위를 나타내기 위해, 대수축(log-log format)을 사용한 전압-전류 특성곡선을 사용하며 전형적인 전류-전압특성 곡선은 Fig 1.과 같이 표현된다.

전기특성은 규정 전류를 인가할 때의 전압값과 기울기를 사용하고, 이것을 각각 바리스터 전압 및 비직선지수(α)라고 한다. 여기서 비직선지수는 바리스터의 비오姆성을 나타내는 지수로서 다음식으로 나타낸다.

$I = C \cdot V^{\alpha}$ 전압-전류 관계에서

$$\text{다시 } \alpha = \frac{\log(I_2/I_1)}{\log(V_2/V_1)}$$

$$\alpha = \frac{1}{\log(V_2/V_1)} \text{ 이고}$$

I=전류, V=전압, C=상수이며 일반적으로 비직선지수값(α)이 크면 클수록 동작특성이 더욱 우수해지고, 더욱이 누설전류는 감소하게 되어 바리스터가 전원상에서 소비하는 소비전력은 작아져서 에너지 절감이 가능하므로 큰 α 값은 동작 구간에서 비오염성을 높이고 누설전류의 감소로 소비전력을 작게 한다.

그러나 대전류 영역의 특성을 이용할 때는 Fig.1에서 보여지는 바와 같이 대전류 영역의 기울기가 사용하는 대신에 규정된 전류(I_p)에서의 전압값을 이용하고, 이것을 제한전압이라고 부른다.

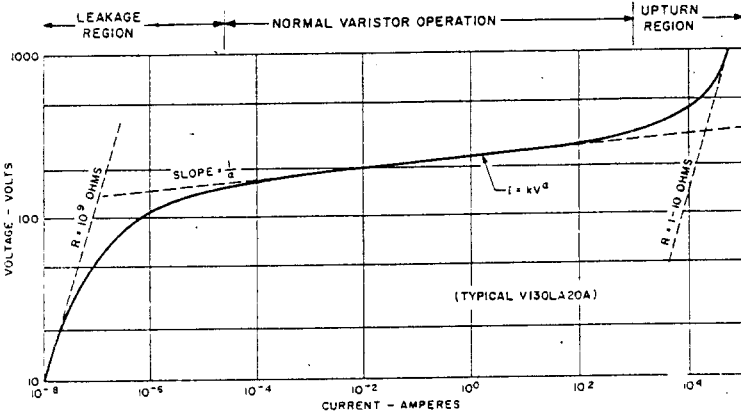


Fig. 1. ZnO 바리스터의 전형적인 I-V 특성

또한 저압 ZnO 바리스터의 전기적 기능은 Fig.2와 같이 단순한 등가회로로 표현할 수 있다.

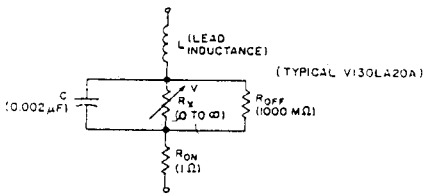


Fig. 2. 저압 ZnO 바리스터의 등가회로

Fig.1의 I-V특성을 3개의 영역으로 나누어 전류-전압특성을 설명하면 다음과 같다.

3.1 누설전류영역

이 영역에서의 I-V 특성은 ohm's 법칙($<10^{-4} A/cm^2$)을 만족하고 장벽상의 큰 절연성에 의해 전류가 차단되고, 역 바이어된 Schottky barrier를 넘는 열적으로 여기된 전자의 흐름에 누설전류 영역(leakage region)이라고 정의한다.

Fig.3은 누설전류 영역에서의 저압 ZnO 바리스터의 등가회로를 나타내었다.

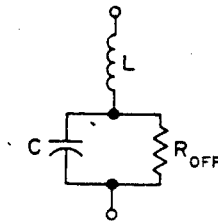


Fig. 3. 누설전류영역의 등가회로

이 영역의 도전 메커니즘은 열이온 방출이론으로 설명되고 비직선지수(α)는 거의 1에 가깝고, 누설전류는 온도에 따라서 증가하게 된다.

3.2 바리스터 동작영역

동작 영역(operating region)은 Fig.4와 같이 ZnO 바리스터의 핵심 영역이며, 작은 전압 증가에 따라 전류는 6~7차수 이상 크게 증가하여, 전자사태 전류(avalanche current)가 흐르는 바리스터의 동작 영역이다.

Fig.4은 동작 영역의 등가회로를 나타내었다.



Fig. 4. 동작 영역의 등가회로

이 영역은 온도 의존성과 첨가물 영향이 비교적 작고 α 값이 50 이상 매우 큰 구간으로서 제한전압(clamping voltage)을 좌우한다.

3.3 UPTURN 영역

대전류 영역($>10^3 A/cm^2$)에서 I-V 특성은 급격한 전압상승과 함께 저전류 영역과 유사하게 선형 특성으로 다시 돌아가며 upturn region이라 불려진다.

Fig.5는 이 영역에서의 등가회로를 나타낸 것이다.

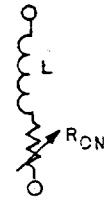


Fig. 5. Upturn 구간의 등가회로

Upturn 영역에서는 비직선지수(α)가 거의 1에 가까워지며 비오염성이 점차 감소하여 소자가 직선 저항체로 되며 입계에서

의 저항보다는 ZnO 입자 자체의 저항에 의해 I-V특성이 지배된다.

3.4 응답속도

저압 ZnO 바리스터에 구형 펄스파를 인가 할 경우, 바리스터에 흐르는 전류 및 전압 파형은 Fig.6과 같다.

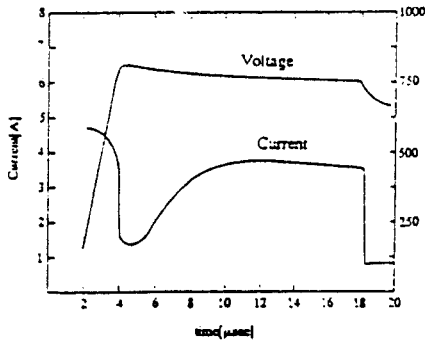


Fig. 6. 저압 ZnO 바리스터 응답 특성

그림에서 펄스의 인가 직후에는 큰 충격전류가 흐르고, 이 충격전류의 흐름이 끝나는 점에서부터 전류는 지수 함수적으로 증가하다가, 결국 평형전류에 도달하게 되며, 평형상태에 도달하기 위하여 소요되는 시간을 바리스터의 응답시간 이라고 한다.

인가된 전류가 응답시간보다 짧은 펄스인 경우에, 바리스터는 회로를 보호할 수 없게 된다. 그리고 전압의 경우에 충격전류가 흐르는 동안에는 계속 상승하여 충전전류가 끝나는 시점에서 최고값을 가지며, 그 이후에는 서서히 감소하여 평형전압에 도달한다.

이러한 현상은 주위온도 및 첨가물에 의하여 민감하게 변화하는데, 온도가 낮을수록, Co 및 Mn 같은 비오염성을 증진시키는 첨가물들이 많이 함유될수록 정상상태에 도달하는 시간이 길어지

는 것으로 알려져 있다.

응답속도는 저압 ZnO 바리스터의 내부적인 응답속도와 리드선 등에 의한 외부적인 응답속도로 나누고, 내부적인 응답속도는 1 ns이하로 매우 빨라서 20~50 ns의 외부적인 응답속도에 비하여 무시될 수 있으며 전체적인 소자의 응답속도는 외부적인 응답속도에 지배된다. 실제로 제너 다이오드나 저압 ZnO 바리스터의 응답속도는 충분히 빠른 응답속도를 가지고 있다.

3.5 정전용량

직류회로에서의 정전용량은 매우 유용하며, 대체로 크면 클수록 좋다. 대부분의 경우 IC supply voltage pin에 사용하는 Decoupling 캐패시터 대신에 Decoupling 기능과 과전압 억제제의 두가지 기능을 동시에 수행할 수 있는 저압 ZnO 바리스터를 사용한다. 정전용량은 전력회로의 응용에서는 거의 중요하지 않지만, 고주파 정밀회로 시스템의 설계 시는 충분히 고려되어야 한다. 즉 정전용량은 주파수 대비 거의 일정하지만 고주파 영역에서는 약간 감소한다.

4. 저압 ZnO 바리스터의 신뢰성

4.1 THB, PCT 신뢰성 특성

저압 ZnO 바리스터의 신뢰성 특성 향상을 위해서는 크게 3가지로 나누어 볼 수 있는데 조성, 전극재료 및 제조방법이다.

전술한 신뢰성 향상을 위한 3가지 조건은 모두 중요한 요인으로 우선 순위를 정할 수 없으며 최적의 3가지 요인이 조합되었을 때 방전내량, 제한전압이 향상되고 극한 조건에서의 신뢰성 특성인 THB, TCT, PCT, 열충격 및 고온 부하특성이 발현된

다. 조성은 메이커별 첨가제의 종류와 양이 상이하므로 최적 조성을 찾기 위해서는 기본조성을 정하고 첨가물의 양과 종류를 변경하면서 시행 착오법(trial and error)으로 최적 조성을 개발해야 한다.

전극재료에서는 ZnO 소결체와 전극간에 박리현상이 과도 서어지에 의해서 발생하므로 전극의 접착강도와 방전내량이 우수한 은전극 특성을 유지하기 위해서는 저용점 유리 조성을 개발하거나 열화없이 접착 강도를 증진시키는 방법을 개발해야 한다.

제조 방법상의 신뢰성 향상을 위해서는 조립공정에서의 납땜(soldering) 시 사용하는 용제(flux)의 세척 유무와 신뢰성 특성은 직접적인 연관이 있다. 즉 무 세척시가 세척의 경우보다 극한 환경에서 신뢰성이 취약하며 그 이유는 납땜 후에 소체에 묻어 있는 용제 찌꺼기가 에폭시(epoxy) 코팅 속에 남아 회로상에서 과전압에 의한 소자가 발열되면 활성화되어 도전 통로 역할을 수행하게 되므로서 신뢰성 특성을 저하시키게 된다.

일반적으로 저압 ZnO 바리스터의 용제 세척액으로서는 TCE 또는 수용성을 사용할 경우에 물을 세척제로 사용하고 있다.

4.2 열충격 및 TCT 내후성 특성

저압 ZnO 바리스터의 외장 도료는 내전압, 절연저항, 접착강도 및 내후성이 우수한 재료인 에폭시수지를 사용하고 있다. 가혹한 환경조건에서 저압 ZnO 바리스터를 사용할 때에는 내습성 및 열충격 TCT특성이 요구된다. 내습성을 갖기 위해서는 에폭시수지, 에폭시수지와 충전제간 및 에폭시수지와 ZnO 소결체간에 수분의 침입을 방지하는 것이 필

요하다.

이러한 대책으로서는 에폭시수지의 가교밀도(架橋密度)의 향상에 의한 누수성 방지, 용융 점도 저하 및 결합제(coupling material)를 첨가하는 방법이 있다.[2]

그러나 열충격 TCT 특성은 내습성과 상반 관계에 있는 것이 에폭시수지의 일반적인 특성으로서 양자를 동시에 만족시키는 것은 대단히 어렵지만 우선 사용재료의 열팽창계수, 탄성율 등을 감소시키는 방법과 에폭시 코팅시 내습 강화용과 열충격 강화용 에폭시를 교번하여 3~4회 코팅하므로써 열충격 TCT와 내습 PCT 특성을 동시에 만족시킬 수 있다.

Fig.7과 Fig.8은 열충격 TCT(temperature cycle test)와 내습

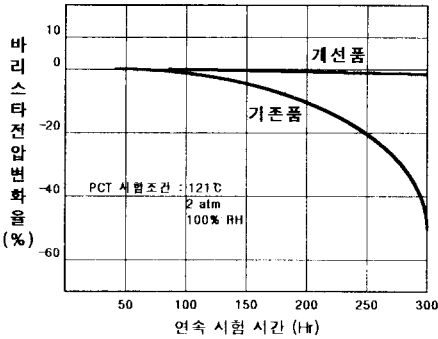


Fig. 7. 내습 PCT 특성

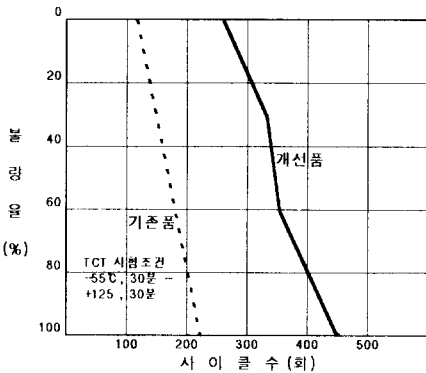


Fig. 8. 열충격 TCT 특성

PCT(pressure cooking test) 특성의 기존품과 개선품의 차이를 나타내고 있다.

5. 회로 결선 및 응용

5.1 회로 결선 방법

5.1.1 선간 및 선-대지간 접속

전원상의 선간(線間) 및 장거리 신호선에 유입된 유도뇌(誘導雷)나 개폐 서어지의 뇌로부터 전기기기를 보호할 목적으로 저압 ZnOバリスター를 선간 및 선대지간에 병렬로 접속하여 사용한다.

선간에 저압 ZnOバリスター를 접속하면 Normal mode의 surge에 효과가 있고 선-대지간에 접속하면 Common mode의 서어지를 억제 보호한다. 더욱이 선간 및 선대지간에 동시 조합시켜서バリスター를 사용하면 보다 완벽하게 서어지를 억제한다.

5.1.2 부하간 접속

유도부하 개폐시 발생한 서어지를 흡수하거나 다른 회로에 유입하여 부품이 파손되는 것을 방지하기 위해 사용한다. 접속법은 유도부하에 병렬로 접속하기도 하지만, 전류종류 에너지크기에 의해서 다이오드와 병용한다.

5.1.3 점점간 접속

릴레이등 점점 개폐시 아크에 의해서 과전압이 발생하므로 점점과バリスター를 병렬로 사용하여 흡수한다. 점점에서 발생한 불꽃의 억제는 300V 이하로 떨어뜨려야 하지만 억제가 불가능한 것도 있다.

그러나 서어지 에너지는 감소하므로 실질적인 점점보호는 된다.

5.1.4 피보호소자간 접속

서어지 보호가 필요한 반도체

소자를 병렬로 접속하기 때문에 보호 대상 및 방법이 지정되어 있을 경우 매우 효과적이다. 이때 피보호 소자와는 병렬로 연결하고バリスター의 정전용량이 들어 있기 때문에 용도에 따라서 접속 시 주의가 필요하다.

표 1.은 저압 ZnOバリスター의 회로별 결선 방법을 나타내었다.

5.2 저압 ZnOバリ스터 응용

5.2.1 발·변전 계통의 적용

발·변전계통의 저압 ZnOバリスター의 적용을 살펴보면 발·변전에 직접 관계하는 기기, 설비감시기기, 제어 회로용과 환경감시 등의 기기 및 설비의 과전압 보호용으로 나누어진다.

발·변전 계통에 사용될 저압 ZnOバリスター의 요구되어지는 특성은 고신뢰성으로 특히 옥외 설치시 내습성 및 열충격 특성의 우수성이 확보되어야 한다.

5.2.2 배전기기의 적용

배전계통의 신뢰성 향상 및 에너지 절감의 필요성이 크게 대두되는 현재 배전기기나 시스템의 보호용으로 저압 ZnO 소자의 사용이 확대되고 있다.

배전 자동화 시스템 채용, 분산전원 및 전자식 검침 시스템에서는 전자식 적산전력계의 도입이 큰 흐름이며, 이런 기기에 사용되어지는 반도체를 보호하기 위해서 과전압 보호용으로 저압 ZnOバリスター의 사용이 필요하다.

표 1. 저압 ZnO 바리스터의 회로별 결선방법

구 분	회 로 결 선	사용전원	용 용
선 간		DC12-24V AC110-220V	· 단상, 3상 전자회로용 · TV, MWO, 세탁기 등 · 바리스터모델 : 10D471, 14D471
선대지간		AC110-220V	· 단상, 3상 전자회로용 · FAX M/C, SMPS 등 · 바리스터모델 : 14D182
부하간		DC12V AC110-220V	· 전자회로용 · 자동차
접점간		AC110-220V	· 단상, 3상 모터회로용 · MOTOR 등 · 바리스터모델 : 10D271, 10D471
피보호 소자간		DC24V	· 반도체 회로보호용 · 전원 Controller 회로 · 바리스터모델 : 10D390

5.2.3 통신 및 원격제어시스템의 적용

대규모 원격 집중제어 시스템의 전력 시스템에서는 통신 및 원격 제어기기 보호용으로 저압 ZnO 바리스터는 극히 중요한 역할을 담당하고 있다.

이 분야에서 응용될 저압 ZnO 바리스터는 3종류로 구분된다.

첫째는, 기기 및 설비의 전원보호용으로 큰 방전내량이 필요하고 경우에 따라서는 변압기와 조합시켜서 내뢰형변압기로서 사용하거나, 직렬 공극을 갖는 피뢰기(避雷器)와 조합하여 방전내량과 응답성을 향상시켜 사용한다.

그리고, 전자회로의 노이즈필터의 일부로서 사용되는 경우가 있다. 더욱이 통신 제어선의 경우에는 저압 ZnO 바리스터의 정전용량이 수천 pF이기 때문에 직류전송이나 전화선에서는 사용되지 않고 주파 경우에는 누설전류가 증대하기 때문에 응답성을 개선하고 정전용량이 작은(2nF이하) DSA(dia surge absorber) 및 DSP(dia surge protector)등의 방전관이 사용된다.

5.2.4 일반적인 저압전자기기의 적용

전자회로에 의한 제어가 일반화된 오늘날 산업, 민생, 정보통신, 자동차등의 적용 예들이 있

지만, 최근 응용되어지는 기술동향은 다음과 같다.

(1) 소자의 파괴시 안정성 확보
저압 ZnO 소자가 회로단락 및 파괴 Mode 경우 ZnO 소자의 파괴시 발연(發煙) 및 발열을 억제하는 휴즈 사용이 강조되고, ZnO 소자에 절연튜브를 씌어서 화재를 방지한다.

(2) 복합부품사용
서어지, 노이즈 규제 등급의 강화 추세에 따라 저압 ZnO 소자만의 사용으로는 규정등급에 대처하지 못하는 경우가 있기 때문에 필터 또는 DSA, DSP 및 Cap을 장착한 피뢰기 등과 조합한 복합부품의 사용 및 제품화를 볼 수 있다.

(3) 표면 실장화
회로 조립공정의 합리화 및 소형화를 위해서 저압 ZnO 소자에 대해서도 원판형에서 SMD 및 Chip형의 저압 바리스터가 요구되며, 일부 제품화되어 사용되고 있다.

(4) 신재료에 의한 신제품개발
단순한 서어지 억제기능의 저압 ZnO 바리스터에서 한단계 진보된 Surge absorber의 실례로, 노이즈 대책에 SrTiO₃를 주성분으로 하는 저압 바리스터를 제품화하였고, 정전용량이 기존 ZnO 소자의 수백배 큰 바리스터 및 전화 회선용으로 pn⁵층 구조의 실리콘 보호기가 제품화되고 있다. 표2는 저압 ZnO 바리스터의 응용 범위를 나타내고 있다.

6. 결 론

ZnO 바리스터가 1970년대에 최초로 상용화되어 약 30년 가까이 사용되고 있는데, 그것은 다른 물질을 사용한 바리스터보다도 ZnO 바리스터가 여러 가지

표. 2 저압 ZnO 바리스터의 응용

구분	분류	적용	ZnO소자의 필요특성
발변전계통	발변전동기기설비	· 발전소내 고전압대전류 계측기기 · 발전전기기제어회로 · Dam gate제어회로 · 화력발전용 보조기기 제어회로 · 원자로 제어용 제어회로	· 고신뢰성 · 대방전내량
	부대설비	· 변발전소내 환경관리기기 · 침입감시기기 · 공해방지기기	· Reset기능 · 내후성
	환경감시시스템	· 광역 Dam 제어시스템 · 기상정보관측시스템 · 댐감시 시스템	· 이상표시기능 · 내후성
배전계통	배전자동화시스템	· 구간개폐제어회로 (리쿠로저, 가스개폐기)	· 대방전내량 · 소형화
	계통제어	· 분산전원 · 급전시스템 · 연료전지, 태양전지에 의한 전원	· 대방전내량 · 이상표시기능 · 소형화
	자동검침시스템	· 전자적산 전력계	· 고신뢰성 · 내후성 · 소형화
통신원격제어계통	전원부	· 무선중계소 전원 · 비상용전원 · PC용 UPS	· 큰방전내량 · 내후성
	전자회로	· Line Filter · Noise Filter · Noise 대책부품	· 노이즈제어기능 · 소형화, SMD화 · 복합부품화
	통신회로	· 안테나 및 고주파 수신회로 · 중계기 · 단말기기	· 저손실 · 복합부품화

이유 중에서도 고에너지, 고신뢰성 및 광범위한 전압 응용에 있다고 생각된다.

그러나 미래는 지금까지의 범용 원판형 형상에서 벗어나 더욱 다양한 종류의 바리스터가 개발될 것으로 생각되며, 그 기술추이는 다음과 같이 예상된다.

(1) 품질기술면

- 高 energy type
- 高 surge type
- 高 수명 type
- 低 정전용량 type
- 高 열용량 type
- 高 전압용 type

(154KV, 765KV용)

- 고신뢰성(PCT, TCT, THB)

(2) 형상면

- SMD 및 Chip type
- MLCV(Multi-Layer Chip Varistor)
- 소형화

위 기술 추이를 해결하면서 저가(low cost)의 실현이 미래 경쟁력의 핵심이 될 것이다

참고 문헌

[1] L.M.Levinson, "Application and characterization of ZnO varistors" Am. Ceram. Soc., 375-401(1980)
 [2] 마쯔시다전자부품 "ZNR Surge absorber D-type 성능개선" (1994)

< 조한구 박사 >