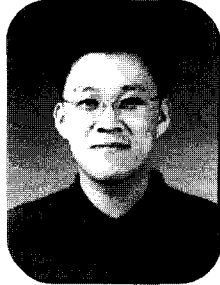
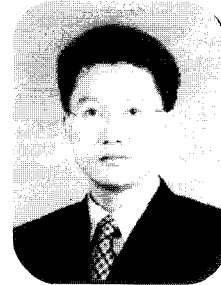




전기전자 기기 보호용 Device 연구 개발 동향



조현무
서남대 전기전자공학부
박사과정



이성갑
서남대 전기전자공학부
교수

1. 서론

최근, 정부는 우리나라를 21세기 세계 전자부품 공급의 전초기지로 발돋움시키기 위한 계획을 발표하여 국내 연구자 및 관련 업계에서 많은 주목을 받았다. 그러나 세계 전자부품 공급의 전초기지로 발돋움하기 위해서는 먼저 구미 선진국, 일본등과 비교하여 지속적인 투자와 연구개발을 통한 기술력 확보에 달려 있다.

특히, 세라믹스의 기본물성인 결정립 및 입계 물성을 정확히 이해하여 규명하는 것이 세라미스트 및 재료연구자들의 가장 기초적인 연구과제가 되어야 한다.

현재, 모든 전자재료로 이용되는 세라믹스는 이러한 결정립 및 입계에서의 전기전도 및 절연특성을 이용하는 것이 대부분이므로 국내 세라믹스 관련 전자부품업체들이 당면한 과제는 구미 선진국과 비교하여 이러한 기본적인 물성을 이해하지 못하여 발생한 기술격차를 해결하는 것이다.

여기에서는 가장 기본적인 결정립 및 입계 특성을 이용, 전기전자 기기를 보호하기 위하여 응용되고 있는 Varistor, PTC Thermistor의 기본 원리 및 연구·개발 동향에 관하여 소개한다.

2. Varistor

2.1 개요

바리스터(Varistor)는 Voltage Variable Resistor의 약어로 대칭적인 V-I 특성 곡선(그림 1)을 갖고, 전압이 증가함에 따라 저항이 감소하는 특성을 나타낸다. 바리스터는 보호하고자하는 부품이나 회로에 병렬로 연결하여 과도전압이 증가하면 낮은 저항 회로를 형성하여 과도전압이 더 이상 상승하는 것을 막아준다. 1960년대 후반, Matsuoka등에 의해 발명된 바리스터

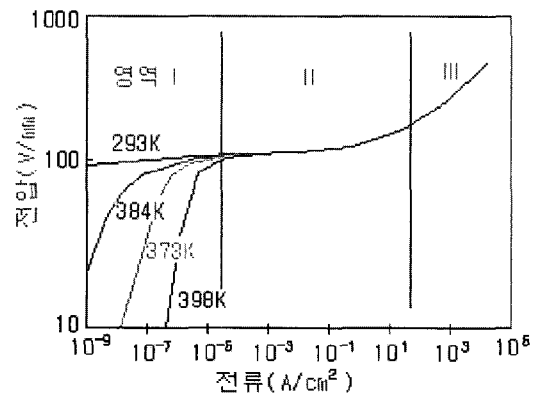
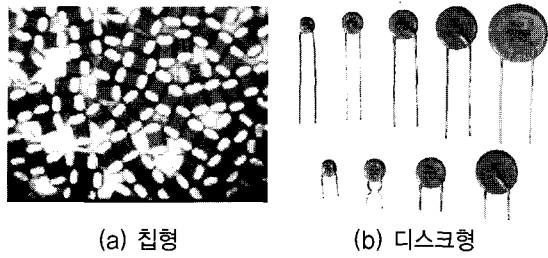
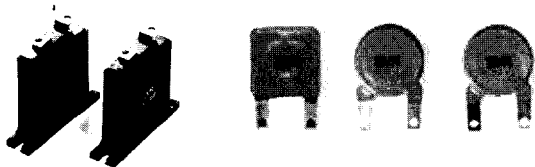


그림 1. ZnO 바리스터의 전류-전압 특성.



(a) 칩형

(b) 디스크형



(c) 대용량 Box형

(d) 대용량 디스크 및 4각형

그림 2. 국내에서 개발된 바리스터의 형태 및 종류.

는 현재 칩형, 디스크형, 대구경 및 Surge Arrestor로 개발이 진행되어 가정용, 산업용등, 송배전 설비등의 보호용으로 응용되고 있다.

바리스터 재료로는 SiC, BaTiO₃, ZnO, SrTiO₃, Fe₂O₃, TiO₂등이 이용되는데, 오늘날에는 ZnO가 주류를 이루고 있다.

Varistor의 조성물로 구분하면 Zn-Bi-Co-Sb-Ni 계열과 Zn-Pr-Co-Cr 계열로 나눌 수 있는데, 전자의 경우 높은 비직선성, 높은 서지 전류 내량, 우수한 응답성등의 이점이 있는 반면 첨가물의 종류가 많은 단점이 있고, 후자의 경우 전자와 비교하여 첨가물의 종류가 적으나 높은 소결온도, 비교적 낮은 비직선성 및 서지 전류 내량등의 단점이 있다.

바리스터 또는 VDR(Voltage Dependent Resistor)의 전압의존성은 비직선형 상수(α)에 의해 표현되고 금속산화물 바리스터는 α 를 크게 만들 수 있어 제너 다이오드와 비슷한 수준의 보호 레벨을 갖는다. 바리스터의 응답속도는 25ns(SMD 타입은 0.5ns이하) 이하로 거의 완벽한 보호용 부품이다.

이러한 특성을 가진 바리스터는 유도 뇌서지, 개폐 서지, 유도성 부하서지등의 각종 과도 이상전압으로부터 전자기기의 반도체 소자나 회로 시스템을 보호하는 서지 흡수 소자로서, 그리고 낙뢰로부터 전력설비를 안전하게 보호하기 위한 전력용 피뢰기의 핵심

소자에 이르기까지 광범위하게 응용되고 있다. 또, 통신분야의 system transients와 lighting-induced transistor로부터 시스템을 보호해 주는 서지 보호 역할과, 이동 통신 단말기, 노트북 PC, 전자수첩, PDA등의 정 전기에 취약한 회로를 보호해주는 ESD(electrostatic discharge) protection의 역할로서는 최근 적층형 칩 바리스터가 각광을 받고 있다.

2.2 바리스터의 동작 원리

바리스터의 전기적 특성 및 동작원리는 그림 1에 나타낸 것처럼 3부분으로 쉽게 나눌 수 있다.

2.2.1 누설동작 영역(I)

Low current level에서는 I-V특성은 거의 직선적 특성을 나타낸다. 이때 바리스터는 약 이상의 저항을 갖는 high resistance mode로 동작하여 실질적으로 open circuit와 같다. 이 영역에서의 바리스터 소자의 정전용량값은 상당히 넓은 영역의 전압 및 주파수에서 일정하다. 이 정전용량값은 전압이 varistor 전압에 접근하면 급격히 감소한다. 이 누설영역에서의 온도에 따른 I-V의 영향은 주로 누설전류의 변화에 의한 것이며, 바리스터의 전기저항의 온도에 따른 변화에 기인한다.

2.2.2 동작 영역(II)

바리스터의 전압-전류특성은 다음과 같이 근사된다.

$$I = KV^{\alpha} \quad (1)$$

여기에서 α 는 지수함수이며, 전압 비직선 지수, 혹은 비 ohm성 지수로 불린다.

따라서 $\alpha=1$ 이 ohm성의 저항체를 나타내고, α 가 클수록 바리스터의 성능이 우수한 것으로 알려져 있다.

이 영역에서의 바리스터 전압은 전류의 양이 수차 증가하는 동안에도 거의 일정하게 유지되며, 이 전압은 온도에 따른 변화도 거의 나타내지 않아 온도계수가 거의 0%/°C에 가까워 소자의 clamping 전압이 매우 안정됨을 알 수 있다.

2.2.3 Upturn 영역

Maximum rating에 접근한 high current 영역에서는 바리스터는 거의 short-circuit에 가까워진다. I-V



특성상 비선형 구간을 지나서 재료의 bulk resistance 인 1~10Ω의 값을 나타낸다. 이 저항은 선형특성을 가지며, 바리스터의 크기에 따라 50~50000A의 전류에서 나타난다.

2.3 전기적 특성과 응용기술

금속산화물 바리스터의 전기적인 특성은 수많은 미세 바리스터가 직렬 또는 병렬로 연결되어 나타나게 된다. 또한 이것은 바리스터의 물리적인 치수를 조절하여 다음과 같이 전기적 특성을 컨트롤할 수 있다는 점을 내포하고 있다.

- 바리스터의 두께를 두 배로 올리면 보호 레벨이 두 배 올라가게 된다. 즉 두 배 만큼의 미세 바리스터가 직렬로 연결되어 있는 것이다.
- 제품의 면적을 두 배로 하면 서지전류 내량이 두 배로 올라간다. 즉 서로 병렬로 연결되어 있기 때문에 전류 경로가 두 배로 증가하게 된다.
- 제품의 부피를 두 배로 하면 에너지 내량이 거의 두 배로 올라간다. 즉 에너지 업서버로 작용하는 ZnO의 grain의 수가 두 배로 증가하기 때문이다.

이는 바리스터 소결체 각각의 미세 바리스터의 직렬, 병렬연결은 반도체에 비해 큰 전기 부하 용량을 가지고 있다는 것을 설명해 준다. 즉, 반도체는 좁은 P-N 접합 영역에서 대부분의 전력을 소비하지만 바리스터는 모든 미세 바리스터에서 전력을 소비하게 된다. 따라서 흡수할 수 있는 에너지가 커 큰 서지전류 내량을 가지게 된다.

또한 바리스터는 보호레벨에 따라 여러 가지 두께

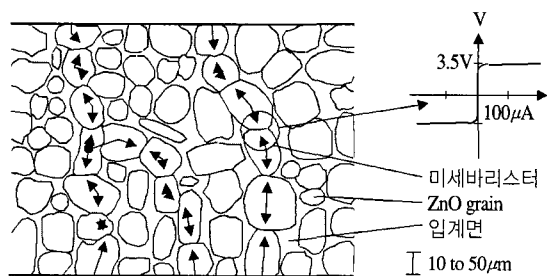


그림 3. 바리스터의 전기전도 모식도.

로 제작되며, 출발원료의 변화와 소결조건의 변화등으로 결정립 성장에 영향을 줄 수 있으며, 결정립의 크기는 대략 15μm(고압용)에서 100μm(저압용)의 범위를 가진다.

대부분의 경우, 순간과전압의 파형, 크기 및 발생주기는 알 수 없으므로 적절한 보호회로를 설계하는데에는 어려움이 있다. 그러나 일반적으로 전원공급장치가 과도전압에 의해 손상되기 쉽다는 것을 인지하고, 보호가능한 부품을 채택하고 있으나, 지역적인 차이가 많이 발생하므로 충분한 용량으로 설계해야 할 필요가 있다. 특히 최근의 전기전자장비의 소형화, 집적화로 인하여 각 장비의 내장 부품들은 IC칩으로 이루어져 있어 정전기 및 외래 과전압등에 매우 취약하다. 또한 뇌등에 의해 발생된 서지는 송배전 설비, 발전소 및 변전소, 통신설비등에 매우 큰 악영향을 끼친다.

통상, Arrestor라고 하는 것은 송배전 설비에 이용되고 있는 바리스터로, 서지전류 내량이 50kA 이상, 사용 전압이 10000V 이상이며, 직렬로 연결하여 보다 높은 전압에서도 사용할 수 있도록 조합하여 사용하고 있다.

이에 반해 가정용, 산업용으로는 일반적으로 칩형, 디스크형, 대구경대용량으로 나누어 이용되고 있다. 특히 칩형은 소형 가전제품, 디스크형은 가전제품 및 소형 산업 설비, 대구경 대용량은 대형 산업설비 및 송배전 설비등 그 응용분야가 넓어지고 있다.

이중, 칩형, 디스크형은 국내에서도 선진외국등과 비교하여 기술을 많이 축적하였으며, 대구경, 대용량은 국내에서는 32~40φ까지 개발되어 실용화되고 있으나, 아직도 대부분 수입하여 이용하고 있으며, 선진국에서는 60φ, 110φ 등 서지 전류 내량이 100kA 이상의 것도 개발되어 실용화되고 있다.

일단, 대구경, 대용량 바리스터는 흡수할 수 있는 에너지가 커야 하기 때문에 그 특성을 제어하기가 까다롭다. 따라서, 여러개의 대구경, 대용량 바리스터를 직?병렬로 연결하여 사용전압대와 서지전류 내량을 높인 서지 프로텍터가 연구 개발되어 상당한 효과를 거두고 있으며 관련 업계는 큰 관심을 보이고 있다.

또한, 단일 디바이스로 서지 전류를 크게 하기 위해서는 선진국에서 개발, 실용화 되어 있는 60φ, 110φ 등의 큰 대용량 바리스터를 개발하여, 바리스터나 여러

스터를 수입품에서 국산으로 대체할 수 있도록 연구 및 개발이 이루어져야 할 것이다.

3. PTC Thermistor

3.1 PTC Thermistor의 개요

Thermistor란 이미 알려진 바와 같이 Thermally Sensitive Resistor의 약자로서, 온도변화에 대하여 극히 큰 저항값 변화를 나타내는 저항체로써 NTC Thermistor와 PTC Thermistor로 크게 나눌 수 있다. 이중 PTC Thermistor 그림 1에 나타난 것과 같이 온도의 상승과 함께 저항이 증가하는 특성을 나타내며, BaTiO₃를 주성분으로 미량의 Dopant를 첨가해서 도전성을 갖게한 N형 반도체의 일종이다. 이러한 특성을 이용하여 과전류 보호용, 히터용, TV 디가우징용, 모터기동용, 온도센서용 등으로 사용되고 있다.

대부분의 PTC 써미스터의 기본 재료는 BaTiO₃ (barium titanate)화합물이다. 화학양론적(stoichiometric)상태에서 도핑되지 않은 BaTiO₃은 고유전 상수를 가진 절연체로 상온 비저항이 10⁹에서

10¹²Ωcm 정도이며, 세라믹 형태로서 소형 캐패시터 유전체로, 단결정 형태로는 상자성 domain 스윗칭소자로 넓게 응용되고 있다.

순수한 화학양론적(stoichiometric) BaTiO₃는 상온에서 비저항이 10¹⁰Ωcm 이상이 되는 절연 재료이다. 만약 BaTiO₃내 양이온들의 일부(특히 Ti⁴⁺ 양이온)가 그들의 원자격을 변화시킬 수 있다면 전자전도는 같은 격자 위치에 공존하고 서로 다른 원자격을 가진 같은 원소의 두 이온 사이에서 가능하게 된다.

실제적인 PTC 써미스터 조성에서는 낮은 농도의 도핑(doping)원소만 적용되어 원하는 수준의 전도도를 얻을 수 있다. PTC 써미스터 제조에 적용되는 가장 일반적인 도핑원소로는 Sb, La, Ce, Ta, Y, Nb, Sm, Bi 등이 있다.

3.2 기술적 요건

산업적인 측면에서 볼 때 고성능의 안정된 PTC 써미스터의 제조를 위해서는 필요한 몇 가지 기술적인 요건들을 살펴보면,

- 1) 고순도의 원료 물질을 사용할 것.
- 2) 효과적인 첨가제의 양을 정확히 제어할 것.
- 3) 제조의 전 공정을 통해 고순도를 유지할 것.
- 4) 원료 분말의 물리적·화학적 특성을 제어할 것.
- 5) 소결 및 열처리 공정을 정확하게 제어할 것

PTC 써미스터를 특징짓는 온도 증가에 따른 큰 비저항 증가는 이 재료의 상자성(ferroelectric) 큐리(Curie)온도 근처에서 시작된다는 것이 잘 알려져 있다. 그동안 발표된 여러 문헌에 따르면 BaTiO₃계 조성의 PTC 효과(PTC effect)는 아래의 일반적인 특징들로 요약될 수 있다.

- 1) PTC 효과는 다결정 재료의 성질이다. 단결정 재료의 경우 PTC 효과가 전혀 나타나지 않았으며, 결과적으로 결정립계의 존재가 PTC 효과를 나타내는 하나의 조건이 되는 것으로 생각된다.
- 2) PTC 효과는 0.1~0.5 at%의 도너(donor)원소를 첨가한 n형 BaTiO₃에서만 관찰되었다. 비록 도너 이외에 소량의 억셉터(acceptor)의 첨가에 의해

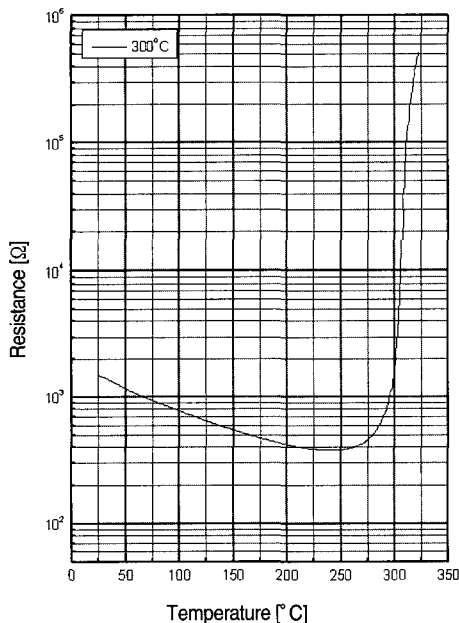


그림 4. 고온용 PTC Thermistor의 온도변화에 따른 전기저항 특성 예.



PTC 효과의 증가 현상이 나타나지만 재료의 벌크(bulk)상은 n형 전도도를 가져야 한다. BaTiO₃의 결정입계 구조에 가장 깊은 억셉터 준위를 형성하는 Mn이 현재까지 PTC 효과에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

- 3) PTC 효과는 고온 소결과 이 온도로부터의 냉각 과정을 포함한 제조 조건에 아주 민감하다. 결정립계의 조성과 결과적인 PTC 효과에 영향을 주는 주요 인자로는 산소분압과 평형상태의 온도 및 냉각 속도가 있다.
- 4) PTC 효과는 큐리온도와 밀접하게 관련되어 있다. Sr 및 Pb 원소의 첨가는 큐리온도와 PTC 효과를 각각 낮고 높은 온도 구간으로 이동시킨다.
- 5) PTC 효과를 포함한 비저항 대 온도 특성은 재료의 조성에 매우 민감하다. CuO나 Fe₂O₃, Na, K 등의 불순물이 임계량을 초과하면 PTC 효과의 상실을 초래하기도 한다.

3.3 전기적 특성과 응용

PTC Thermistor에 전압을 인가하여 서서히 증가시키면 그림 5와 같이 joule 열에 의해(자체 발열 소자) 온도가 상승하여 큐리온도 부근에 도달하면 부성전류 특성(전압의 증가에 따라 전류가 감소)을 나타낸다. 전압과 전류축을 Log축으로 plot할 경우 이 부성전류 영역은 정전력 특성을 나타냄을 알 수 있다. 한편 소자에 인가하는 전압이 어떤 값을 초과하면 전압의

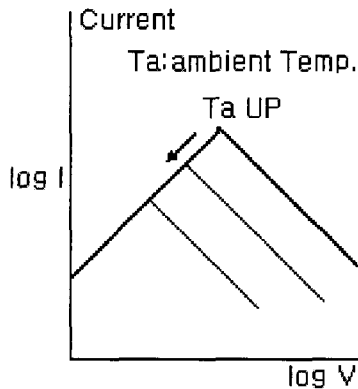


그림 5. 전압 인가에 따른 PTC Thermistor의 전류 제한 특성.

증가에 따라서 전류값도 급격히 증가하여 Break-Down에 이르게 된다. 이 전압을 파괴전압(Break-Down Voltage)이라고 한다. 이는 부하와 동작 해석을 할 때 중요한 것으로써 소자 설계시 안전 여유도를 감안해야 한다.

그림 6은 PTC에 일정 전압을 인가하였을 때, 시간 변화에 따른 PTC의 전류 감쇄 특성을 나타내었다. PTC Thermistor에 일정 이상의 전류가 흐르면 joule 열에 상당하는 자기 발열에 의하여 소정의 후 Switching 온도에 도달하여 저항이 급격히 증가하고 전류를 제한하는 작용이 일어난다. 또한 R-T curve를 측정하여 T_c에 이르기 전의 부성저항특성을 작게 하면 스위칭 시간을 짧게 할 수 있고, 소비전력 또한 감소시킬 수 있다.

먼저 PTC Thermistor가 응용 및 사용되는 분야를 살펴보면 과전류 보호용, 히터용, TV 디가우징용, 모터 기동용, 온도 센서용으로 나눌 수 있다.

먼저 과전류 보호용으로는 통상적으로 T_c가 80~120°C 미만의 조성물로 제조 및 이용되고 있으며, T_c에서의 저항 상승률은 1×10⁷이상인 것이 가장 이상

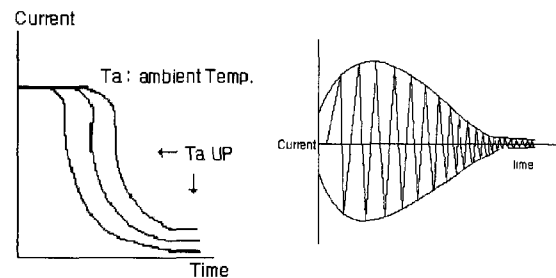


그림 6. 시간 변화에 따른 PTC Thermistor의 전류 감쇄 특성.

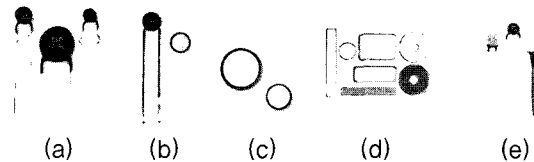


그림 7. 응용 분야별 PTC Thermistor의 예 (a) 과전류 보호용, (b) 통신 회로 보호용, (c) Motor 기동용, (d) 히터용, (e) 온도 센서용.

적이다. 이는 회로가 short되어 과전류가 발생하면 PTC의 온도상승시간이 짧라 과전류를 차단하는데 효과적이기 때문이다. 특히, 회로뿐만이 아니라, 통신설비의 탄기반응으로도 많이 이용되고 있다. 최근, 전류제한용으로 이용이 급격히 늘고 있는 것이 polymeric PTC Thermistor인데, T_c 에서 저항 상승률이 매우 큰 이점이 있는 반면 고온에서의 신뢰성이 단점으로 대두되고 있다.

그러나, 국내에서 1×10^7 이상의 저항상승율을 가지는 원료조합 기술은 개발되어 있지 않은데, 개발이 되어 있다 하더라도 현재는 내전압 및 기타 전기적 특성(전류감쇄 및 전류 제한 특성)이 문제시되고 있어 거의 개발을 하지 않고 있다. 이런 이유로, 국내 PTC Thermistor 제조업체는 모두 일본 등에서 Formulated 된 값비싼 원료를 수입하여 제조하고 있는 실정이며, 공개되지 않아 이에 따른 국내 연구자 및 업체들이 꾸준한 연구 및 개발을 통하여 조성물의 국산화가 필요하다.

다음 히터 분야로서 연구 및 개발되고 있는데, 이는 PTC Thermistor의 기본적인 전류감쇄특성, 전류 제한 특성 및 정온 발열특성을 모두 이용한 것으로서, 매우 각광을 받고 있다.

이유는, PTC Thermistor가 부여된 T_c 온도까지만 상승하는 정온 발열체이기 때문에 온도를 제어할 수 있는 부가 제어장치가 필요 없기 때문이며, 소비전력 또한 낮아 미용기기, 좌욕기, 온풍 히터등 이외에 의료기기, 생활기기등 여러 분야로 응용 및 개발이 확대되고 있다. 또한 세라믹 PTC Thermistor의 한계로 여겨지던 비저항값은 $1\Omega \cdot \text{cm}$ 가 현재는 $0.2\Omega \cdot \text{cm}$ 까지 떨어져 고온용 히터로서 자동차용 팬히터, 예열히터등 응용 범위가 확산되고 있다. 국내에서 T_c 가 높은 PTC Thermistor는 상당한 기술 축적이 이루어져 있어 대부분의 수입품을 대체하고 있는데, 저항 상승률, 내전압, 안정전류등 개선해야 할 점이 아직 남아 있다. 또한, T_c 가 높을 경우 Pb의 함량이 많아지기 때문에 향후의 환경문제에도 문제가 될 소지가 있음에도 불구하고 선진국에서는 기술이전을 기피하고 있다.

현재, 국내에서 가장 T_c 가 높은 PTC Thermistor는 T_c 가 300°C 인데, Murata, Siemens등은 320°C 의 T_c 를 가지는 조성물을 개발하였다. 그러나, 국내에서는

280°C 이상의 T_c 를 가지는 조성은 저항상승율이 적고, 내전압도 약한 단점이 있어 개선이 시급하다.

TV 디가우징용으로는 국내에서는 자화전자에서 생산하고 있는데, T_c 가 60°C , Thermistor의 저항은 약 $6\Omega, 14\Omega$ 의 값을 갖고 있다. TV 디가우징용은 낮은 저항값으로 인하여 정격전압(220V)을 인가하였을 때, 디바이스가 파괴되는 문제점을 안고 있다. 이는 디가우징용 PTC Thermistor의 소비전력이 커서 일어나는 현상으로, 소비전력을 낮게 하면 해결할 수 있는데, 예를 들면 열전도 및 열방사가 빠를 것, 저항 상승률이 클 것, T_c 에 이르기전 부성저항 특성을 작게할 것 등이다.

모터 기동용은 초기 모터 가동시 인가되는 큰 전력을 가동이 되고 난 후, 가동에 필요한 최소의 전력으로 차단하기 위한 목적으로 이용되며, 통상 22Ω 정도의 저항값을 가지고 있는 반면, 큰 전력에 견디기 위해 부피가 크다.

이외에 온도 센서용이 있는데, 열을 감지하기 위해 디바이스의 크기가 작으며, T_c 에 이르기 전 PTC Thermistor의 부성저항특성을 이용하고 있다.

4. 결론

재료적인 측면에서는 특성이 가장 우수하다고 알려진 ZnO에 여러 첨가물을 첨가하여 바리스터 특성을 개선하려는 노력과 비 ohm성 도전기구를 알아내려는 연구가 계속되어야 할 것이다. 또한, 소형화의 요구에 따라 적층형 및 박막형 바리스터에 대한 연구가 진행중이지만 특고압형 바리스터용 소재개발도 필요하다.

이와는 별개로 저가의 중국산 제품이 국내 시장을 잠식하고 있는 현실에서, 가격 경쟁력을 확보하기 위해서는 꾸준한 특성 향상을 이끌어 내어야 한다. 특히 서지 전류내량을 증가시키기 위해서는 입계 및 결정립의 특성을 보다 명확히 규명, 연구하는 자세가 필요하다. 또한 선진국에서 기술이전을 기피하고 있으므로, 선진국에서 보유한 기술을 자체적으로 연구, 개발하여 차별화 하지 않으면 안 된다.

PTC Thermistor의 경우 선행되어야 할 연구 및 개발로서는 T_c 가 낮은 재료 조성의 개발, 부성저항특성을 감소시킬 것, 저항 상승률을 크게 할 것, T_c 가 300°



C이상의 조성물 개발등이다. 이외에, 비저항값이 polymeric PTC보다 무척 높으므로 더 낮은 비저항값을 나타내도록 꾸준한 연구와 개발이 필요하다.

이상과 같이 바리스터와 PTC Thermistor의 연구 및 개발 동향에 대해서 살펴보았다. 국내 디바이스 기술이 선진화되기 위해서는 앞장에서 지적한 것과 같이 기본적인 특성의 향상에 관한 연구 및 개발이 지속적으로 이루어져야 하며, 특히, 선진국에서만 실용화 되어 있는 기술과 국산화되어 있지 않은 재료 기술을 개발하여야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 泉弘志, “電子세라믹스”, 한국경제신문사, 1995.
- [2] 김호기, “전자세라믹재료”, 반도체출판사, 1994.
- [3] 박창엽, “전기전자용 세라믹스”, 반도체출판사 1997.
- [4] B. C. H. Steele, “Electronic Ceramics” Elsevier Applied Science Publishers LTD, 1991.
- [5] M. Matsuoka, “Nonohmic properties of zinc oxide ceramics”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 10, No. 6, p. 736, 1971.
- [6] M. Matsuoka, T. Masuyama, and Y. Iida, “Voltage non-linearity of zinc oxide ceramics doped with alkali earth metal. Oxide, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 8. p. 1275, 1969.
- [7] 김호기, “전자세라믹재료”, 반도체출판사, 1994.
- [8] W. Heywang, “Barium titanate as a semiconductor with blocking layers” Solid State Electron., Vol. 3, No. 1, p. 51, 1961.
- [9] S. B. Desu and D. A. Payne, “Interfacial segregation in perovskites : I ~ IV”, J. Am. Ceram. Soc., Vol. 73, No. 11, p. 3391, 1990.

· 저 · 자 · 약 · 력 ·

성명 : 조현무

◆ 학력

- 1999년 서남대 전자공학과 공학사
- 2001년 동대학원 전기전자공학과 공학석사
- 현재 동대학원 전기전자공학과 박사과정

◆ 경력

- 2001년 - 현재 (주)하이엘 기술연구소 Varistor 개발 담당

성명 : 이성갑

◆ 학력

- 1985년 광운대 전자재료공학과 공학사
- 1987년 광운대 전자재료공학과 공학석사
- 1991년 광운대 전자재료공학과 공학박사

◆ 경력

- 1994년 - 현재 서남대 전기전자멀티미디어공학부 교수

