

# 화재감지센서 활용을 위한 적층형 PTC 서미스터의 특성에 관한 연구

## A Study on the Characteristics of the Multilayer-Type PTC Thermistor for Fire Detection Sensor

추순남 · 백동현\*<sup>†</sup>

Soon-Nam Chu · Dong-Hyun Baek\*<sup>†</sup>

경원전문대학 전기제어시스템과 교수, \*경원전문대학 소방시스템과 교수  
(2005. 4. 28. 접수/2005. 6. 11. 채택)

### 요 약

적층형 PTC 서미스터의 특성연구를 위해  $(0.90\text{Ba} + 0.05\text{Sr} + 0.05\text{Ca})\text{TiO}_3 + 0.01\text{TiO}_3 + 0.01\text{SiO}_2 + 0.0008\text{MnO}_2 + 0.0018\text{Nb}_2\text{O}_5$ 와 같은 실험조성식을 설정한 후 표면실장(SMD) 적층형 PTC 시편을 제작하였다. 그 결과 상온 비저항 값을 크게 낮출 수 있고 용도에 따라 전류용량을 크게 할 수 있었으나 적층화로 인해 peak 비저항이 크게 낮아지고 열용량이 커짐으로써 스위칭(switching)시간이 늦어지는 점을 확인하였다. 전압-전류 특성에서는 적층수가 증가할 수록 초기 최대전류값이 증가하며 큐리점에 대응하여 저항값이 급격히 커지는 전이전압(전계)도 증가함을 보였다. 그러나 인가전압(전계)을 증가시킬 경우 peak 비저항값을 높일 수 있어 스위칭시간을 줄일 수 있다. 이 소자는 화재감지기의 센서로 활용될 수 있다.

### ABSTRACT

This dissertation is about the development of PTC(Positive Temperature Coefficient) thermistor by composition method. A multilayer-type PTC samples were fabricated under optimal conditions after setting the experimental composition equation as  $(0.90\text{Ba} + 0.05\text{Sr} + 0.05\text{Ca})\text{TiO}_3 + 0.01\text{TiO}_3 + 0.01\text{SiO}_2 + 0.0008\text{MnO}_2 + 0.0018\text{Nb}_2\text{O}_5$  and their testing results were analyzed. The fabrication method of SMD(Surface Mounted Device) multilayer -type sample based on the composition ratio has the advantages in lowering its resistivity at room temperature, considerably, and increasing maximum current level, as needed. Although there is a disadvantage of peak resistivity drop by the multilayer, causing the increasement of thermal capacity, and thereby, increasing the switching delay time, a high applying voltage can increase the peak resistivity and shorten the switching delay time. The voltage-current characteristic showed that the more multilayers increased the initial maximum current and the transition voltage that increased the resistivity abruptly according to the curie point. The element it could be applied with the sensor for the fire detector.

**Keywords :** SMD(Surface Mounted Device) multilayer-type sample, PTC thermistor

## 1. 서 론

1940년대에  $\text{BaTiO}_3$ 의 강유전특성이 최초로 발견된 이후 1950년대에  $\text{BaTiO}_3$ 에 미량의 희토류계 원소를 첨가하여 원자가 제어형의  $\text{BaTiO}_3$  반도체화가 이루어졌다.<sup>1-3)</sup> 온도변화에 따른 저항특성이 정(+)온도계수를 갖는  $\text{BaTiO}_3$ 계 세라믹스를 특히 PTC(Positive Temperature

Coefficient) 서미스터라 하며 정방정계-입방정계 구조의 상변이점인 큐리(Curie) 온도 이상으로 온도가 증가하면 저항이 급격히 증가하는 현상을 보인다.<sup>4-6)</sup> 이러한 정저항 온도특성과 더불어 자체 발열현상이 수반되는 PTC 서미스터는 무접점 스위치, 전자·전기기기의 과열방지, 정온 발열체, 온도보상용, 모터의 기동장치, 전류제한소자, 컬러 TV의 Degaussing 소자 등 다양한 분야에 이용되고 있다.<sup>7,8)</sup> 이들 소자들은 각종 제어 장치 없이 반영구적으로 사용이 가능하며, 적은 비용으

<sup>†</sup> E-mail: dhbaek@kwc.ac.kr

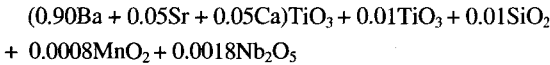
로 제조할 수 있는 장점이 있다.<sup>9)</sup>

적층형 구조는 단판형 구조에 비해 낮은 저항을 갖고 두 전극사이의 거리는 짧지만 전극의 면적은 넓어진다. 그러나, 일반적인 동시소결 적층형 과정은 내부 전극의 움 접촉이 중요하기 때문에 PTC 세라믹스를 적층 구조로 제작하기가 어려워 저항온도특성의 한계가 있어 화재감지기에는 NTC(Negative Temperature Coefficient)가 이용되고 있다.

본 연구에서는 내부전극 접착 방법에 의해 적층형 PTC 세라믹스를 제작하여 낮은 저항의 이점을 갖는지에 대해 실험하여 화재감지센서로의 활용성에 대해 조사하고자 한다. 이를 위해 적층형 PTC 서미스터의 온도에 따른 저항의 비선형 특성과 저항의 변화, 전계의 존성, 전류 과도 응답과 같은 전기적 성질이 적층형 구조에 영향을 주는지 조사하였다. 이들 연구결과를 바탕으로 전자부품의 소형화 추세에 부응할 수 있는 표면실장형(SMD, Surface Mounted Device) PTC 서미스터의 적층화 기술 개발 및 화재감지센서로의 실용화 가능성을 검토하였다.

## 2. 실험방법

적층화를 위한 PTC 세라믹스의 최적 조성은 다음과 같다.



모든 분말을 지르코니아 불과 증류수를 혼합한다음 12시간 밀링하여 건조시킨 후, 시료를 1050°C에서 2시간 동안 하소하였다. 하소된 시료를 다시 2시간 불밀링하여 건조시킨 후 100메쉬의 망체를 사용하여 입자를 고르게 하였다. 정제된 시료는 바인더 및 용매와 함께 20시간 불밀링하여 혼합시키고 닥터 브레이드 방법에 의해 300 μm 두께의 후막판을 뽑았다. 이때의 속도는 0.75 cm/sec이었으며 뽑혀 나온 박판은 10 mm × 12 mm 사각형의 금속판을 이용하여 잘랐다. 바인더를 날려버리기 위해 350°C에서 2시간 유지시켰으며 공기 중에서 1350°C로 2시간동안 소결하였다. 소결 후, 내부 전극으로는 아연전극을 표면에 입히고 외부 전극으로는 은 전극을 사용하여 적층형 구조로 제작하였다. 내부 전극의 소결과 각 판의 접착을 위해 580°C에서 10분간 열처리하였다.

Fig. 1은 제작된 적층형 PTC 서미스터의 모식도이다. 내부 전극은 4 mm × 3.5 mm 사각형으로 이루어져 있으며 은 전극으로 도포된 양쪽의 외부전극과 연결

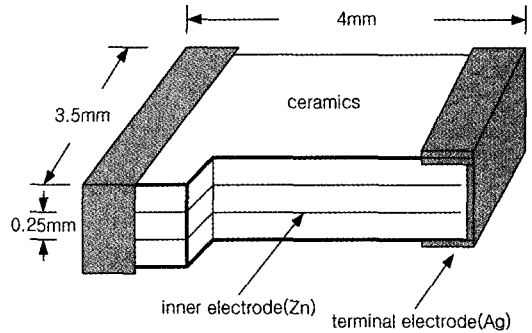


Fig. 1. Schematic configuration of multilayer PTC thermistor.

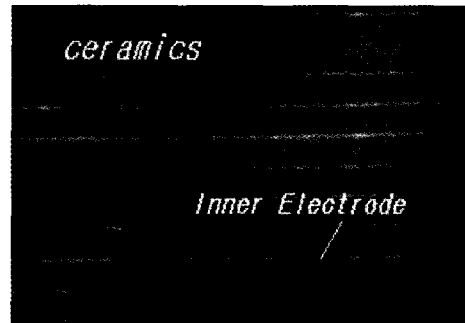


Fig. 2. Cross section of multilayer PTC thermistor.

된다. Fig. 2는 적층형 PTC 서미스터의 단면도를 나타낸다. 저항률의 온도 의존성은 25°C부터 280°C 범위에서 4°C/min로 측정하였으며 전류-전압 특성은 전류범위가 30 mA까지 주어지는 조건하에서 D.C 전압을 사용하여 측정하였다. 복소 임피던스는 주파수 범위가 5 Hz~13 MHz인 임피던스 해석기로 관측하였다.

## 3. 실험 및 고찰

### 3.1 복소 임피던스 해석

Fig. 3은 적층수에 따른 복소 임피던스 궤적으로서 상온저항특성을 나타낸다. 결정립 저항  $R_1$ 은 적층수에 의해 거의 변화되지 않고 대략 3Ω의 일정한 값을 나타내지만 결정립계 저항  $R_2$ 는 적층수의 증가에 따라 크게 감소하는 특성을 보이고 있다. 이것은 적층형 구조가 결정립계 저항 감소의 역할을 하고 있음을 의미한다. 움의 범칙으로부터 적층형 PTC서미스터( $R_t$ )의 전체 저항은 다음과 같다.

$$R_t = (1/N) \times R_s \quad (1)$$

$R_s$  : 단층 저항

$N$  : 적층수

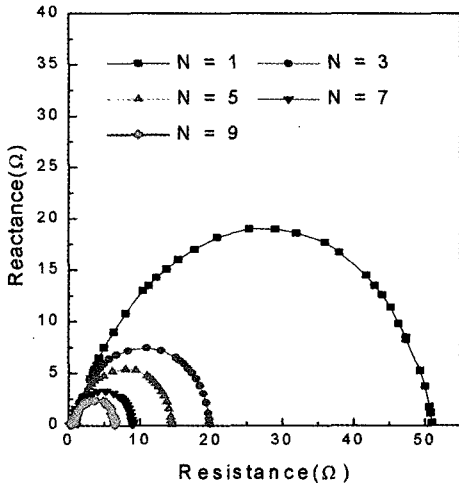


Fig. 3. Complex impedance plots with different number of layers.

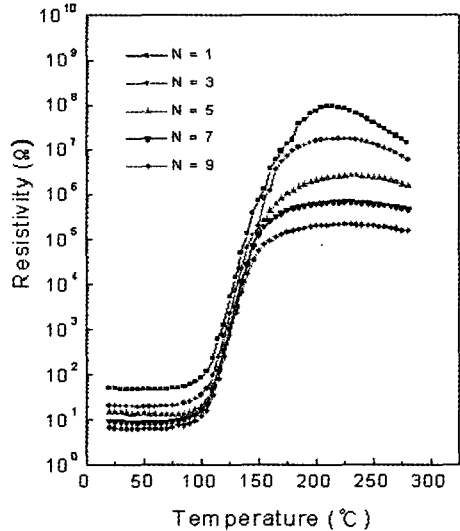


Fig. 5. Temperature dependence of the electrical resistivity.

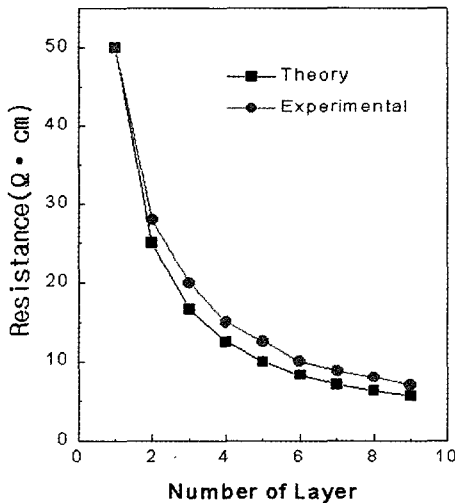


Fig. 4. Effect of layers on theoretical and experiment values of room temperature resistivity.

적층형 서미스터는 병렬구조로서 전극면적이 증가(N 배)되는 효과가 있지만 시편 두께는 단층의 두께만을 고려하면 된다. Fig. 4는 실온 저항에서의 이론값과 실험 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 실험값이나 이론값 모두 적층수의 증가에 따라 비선형적으로 감소하고 있음을 알 수 있다. 실험값은 같은 적층수의 경우 이론값에 비해 약간 높게 나타나고 있는데 이것은 시편의 각층마다 양쪽 가장자리에 전극이 칠해져 있지 않은 부분이 존재하고 또 층과 층 사이에 전극이 엇갈려 있는 것에 기인하는 것으로 생각된다.

### 3.2 비저항의 온도 의존성

Fig. 5는 적층형 구조를 가지는 PTC 서미스터에서 온도에 따른 비저항특성을 나타낸다. 실온저항과 최대 저항값은 적층수의 증가에 따라 크게 감소하고 있으며 특히 고온영역에서의 peak 값이 매우 크게 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 적층수의 증가가 병렬접속을 강화시키는 효과가 있기 때문이지만 고온영역에서의 두드러진 감소는 입계저항의 적층수에 대한 의존성이 매우 큼을 의미한다. 또한 적층수의 증가와 함께 전이점은 높은 온도 영역으로 다소간 이동되고 있지만 전이점 부근에서의 온도계수는 거의 일정값을 보이고 있다. 결과적으로 적층형 구조는 실온저항이 낮은 저저항 PTC 서미스터를 구현하는데 매우 효과적임을 알 수 있다.

### 3.3 비저항의 전계 의존성

Fig. 6은 적층형 PTC 서미스터에서 적층수 N=3인 시편에 대한 비저항의 전계 의존성을 나타내었다. 실온영역에서의 비저항은 가해지는 전계의 크기에 관계없이 거의 변화가 없었다. 그러나 고온 영역에서는 전계의 증가에 따라 비저항도 크게 증가하고 있다. 이것은 결정립계에 있어서 전위장벽의 전계 의존성을 발표한 HeyWang 이론으로 설명될 수 있다. 결정립계는 PTC 효과에 있어 중요한 역할을 한다. 즉, 큐리점 이하의 저온 영역에서는 입계의 전위장벽이 낮아 인가되는 전압의 대부분이 결정립에 집중되어 전체 저항값은 저저항상태를 유지한다. 그러나 고온 영역에서는 인가 전압의 증가에 따라 입계에 보다 높은 전위장벽이 형

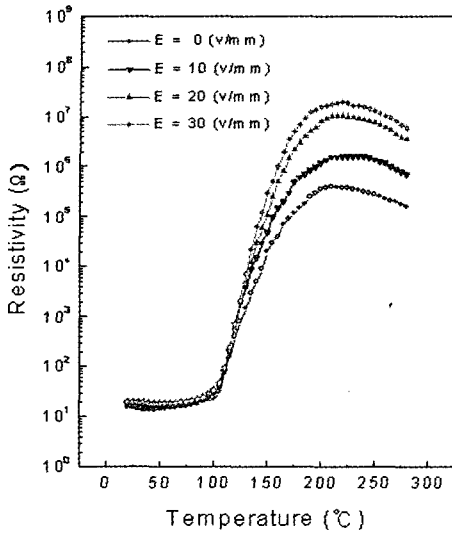


Fig. 6. Temperature - Resistivity characteristics of electric field at 3 layer specimen.

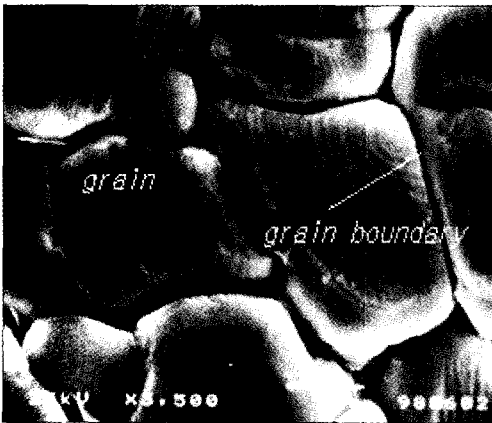


Fig. 7. Microstructure of PTC thermistor specimen.

성됨으로써 인가되는 전압의 입계에 대한 집중도가 높아지고 그 결과 입계저항이 커지는 현상으로 판단된다. 결정립계 효과를 확인하기 위해 Fig. 7에 PTC 서미스터의 미세구조를 나타냈다. 결정립의 크기는 약 20 μm 이고 결정립계층이 명확히 형성되어 있음을 볼 수 있다. 고온영역에서 전계인가에 따라 전위장벽이 입계에 형성되어지고 이것들은 인접영역으로 확산해 들어가는 자유전자의 거동을 방해함으로써 높은 저항값을 나타내는 것으로 볼 수 있다.

3.4 전류-전압 특성

Fig. 8.은 적층수에 따른 전압-전류특성을 나타낸다.

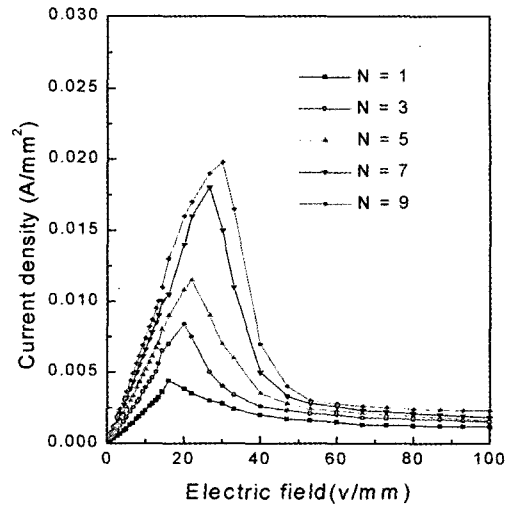


Fig. 8. Electric field dependence of current density with different number of layers.

초기전류가 흐른 다음 전류는 전계의 증가에 따라 급격하게 감소되고 있다. 적층수의 증가에 따라 최대전류도 증가하고 있는데 이와 같은 현상은 적층수의 증가가 비저항의 감소를 수반하기 때문인 것으로 볼 수 있다. 최대전류값은 규정전압을 산출해 내거나 부하특성을 분석하는 중요한 요소가 된다. 또한 Fig. 8에서 보는 것처럼 적층수가 증가하게 되면 큐리점에 대응하여 저항값이 급격히 증가하는 전이전압도 증가하고 있음을 알 수 있다. 적층형 PTC 서미스터에 전류가 흐르게 되면 자체에서 열이 발생하면서 온도가 증가하게 된다. 그러나 큐리온도 이상에서는 저항이 급격히 증가하면서 전류가 감소하려는 경향을 보이게 되고 이로 인해 더 이상 온도가 증가하지 않는 원인이 된다. 결국 온도와 전류의 평형상태에서 머물게 된다.

3.5 전류감쇠 특성

Fig. 9는 전계 E=20 mV/mm가 인가될 때의 적층수에 따른 전류-시간 특성을 나타낸 것으로서 시간이 증가함에 따라 전류가 급격히 감소하고 있다. 또한 적층수의 증가 시 전류 밀도의 변화는 있지만 어느 정도 시간이 경과하면 적층수에 상관없이 평형상태를 보이고 있다. 이러한 결과는 시편의 표면적에 따른 열 발생량의 차에 기인하는 것으로 생각된다. 전계가 가해지면 처음에는 저항이 낮아 순간적으로 큰 전류를 발생한다. 동시에 서미스터는 열이 발생하고 온도가 급격히 올라가면서 Fig. 8에서 처럼 전류는 감소한다. 이때 전류 감소 특성은 적층형 PTC 서미스터의 열용량

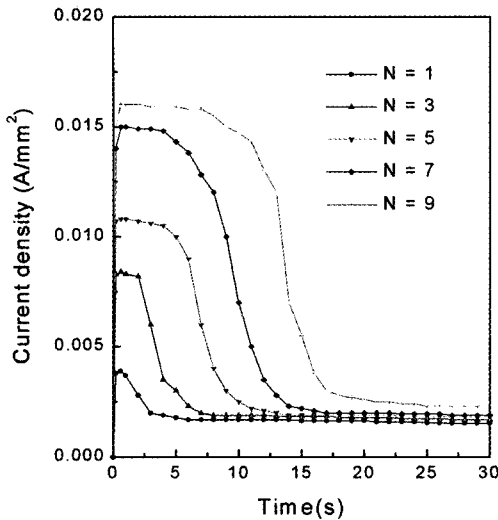


Fig. 9. Time dependence of current density with different number of layers ( $E=20$  mV/mm).

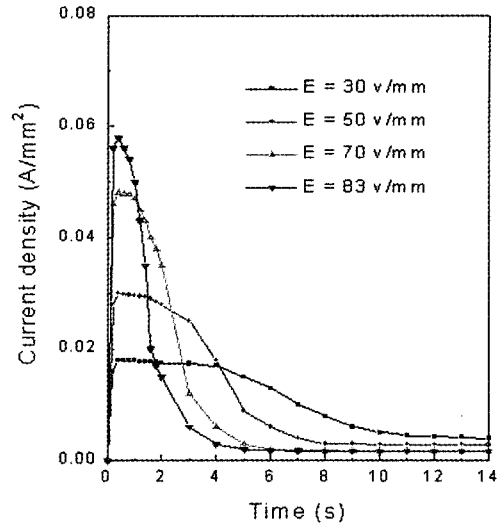


Fig. 10. Time dependence of current density under different applied electric field ( $N=3$ ).

과 열방사 효율, 공급 전압에 따른다. 열용량과 열방사가 크면, 평형상태에 이르는데 많은 시간이 걸리고 또한 전류가 감소하는데도 오랜 시간이 요구된다. PTC 세라믹스에 일정 전계가 걸릴 때 저장-에너지를 Q라고 한다면 식 (2)와 같이 쓸 수 있다.

$$Q = H(T - T_a) \tag{2}$$

여기서, T : PTC 세라믹스의 온도

H : 시편의 열용량

T<sub>a</sub> : PTC 세라믹스를 둘러싼 공기의 온도

식 (2)로 부터 적층형 PTC 서미스터의 동적 열작용은 물질의 구조와 시편의 체적으로 측정되어진다. 실험의 주요물질인 BaTiO<sub>3</sub>의 고유 열은 실온부터 300°C까지의 범위에서는 거의 온도에 영향을 받지 않는다. 그 결과, 저장 에너지는 적층형 PTC 세라믹스의 체적에 비례한다. 반대로, 인가 전압이 크면 Fig. 10에서 보는 것처럼 전류밀도의 시간 의존성이 짧아진다. 즉 스위칭 시간은 전계가 증가함에 따라 크게 감소하고 있다. 만약 적층형 PTC 서미스터에 규정 전류보다 높은 전류가 공급되면 열은 적층형 PTC 서미스터의 내부에 발생되어지고 시간에 의해 저항의 증가와 전류의 감소를 가져온다. 이때 열용량은 적층수에 비례하고 적층수의 증가에 따라 평형상태로의 이행 시간이 증가한다.

적층형 구조에서는 스위칭 속도를 크게 하기는 어렵지만 대전류용으로서의 응용은 기대해 볼 수 있다.

적층형 PTC 서미스터의 스위칭 함수는 열적 활성화

된 서미스터가 높은 구동전압에서 부하를 통해 흐르는 제한 전류로 이루어져 있다. 스위칭 시간은 다음과 같이 근사 시킬 수 있다.

$$t_s = \frac{K \cdot V(T_{Ref} - T_A)}{P} \tag{3}$$

여기서, T<sub>Ref</sub>: PTC 서미스터의 대상 온도

T<sub>A</sub>: 주위 온도

K : 물질 고유 상수

V : PTC 서미스터의 체적

P : PTC 서미스터의 스위치-온 전력

이것은 스위칭 시간이 PTC 서미스터의 크기에 영향을 받고 있음을 나타낸다. 스위칭 시간은 적층수, 대상 온도의 증가와 고유상수에 의해 늘어난다. 그러므로, 적층형 구조의 PTC 서미스터는 넓은 범위에서 스위칭 시간을 제어할 수 있다.

#### 4. 결 론

적층형 PTC 서미스터의 특성을 연구하기 위해 (0.90Ba+0.05Sr+0.05Ca)TiO<sub>3</sub>+0.01TiO<sub>2</sub>+0.01SiO<sub>2</sub>+0.0008MnO<sub>2</sub>+0.0018Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>와 같은 실험조성식을 설정한 후 시편을 제작하였으며 실험 및 분석결과와는 다음과 같다.

1. 적층수의 증가에 따라 모든 온도영역에서 저항값이 감소하여 용량을 증가시킬 수 있음을 확인하였다.
2. 저항값의 전계 의존성은 저온영역에서는 거의 나

타나지 않았으며 고온 영역에서는 인가전계의 증가와 더불어 저항값이 크게 증가하였다.

3. 전압-전류특성에서 적층수가 증가할수록 초기 최대전류값은 증가하며 큐리점에 대응하여 저항값이 급격히 커지는 전이전압도 증가하였다.

4. 동작속도와 관계되는 스위칭시간은 적층수가 증가할수록 또 인가전압이 낮을수록 길어진다.

5. 제작한 표면실장(SMD) 적층형 PTC시편은 상온 비저항값을 크게 낮출 수 있고 용도에 따라 전류용량을 크게 할 수 있는 것으로 확인되어 화재감지기에 적용시 온도검출이 유용함을 확인하였다.

그러나 적층화로 인해 peak 비저항이 크게 낮아지고 열용량이 커짐으로써 스위칭시간이 다소 늦어지는 등의 문제는 더욱 연구가 필요하다. 아울러 적층형 PTC가 세계적으로도 아직 개발단계에 있는 만큼 미비점 보완과 화재감지기센서로의 활용에 대한 후속적인 연구가 요구된다.

## 참고문헌

1. P. W. Haayman, R. W. Dam, and H. A. Klassens, "Semiconductive Materials", German Pat. No. 929, pp.350, June 23(1955).
2. Y. Matsuo and M. Fujimura, "Semiconducting BaTiO<sub>3</sub> with Additions of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, and TiO<sub>2</sub>", Ceramic Bulletin, No. 3, pp. 292, June 5(1968).
3. B. H. Kim and J. W. Moon, "Development of PTCR Compositions for Automobile", J. Kor. Ass. Cry. Growth, No. 1, pp.151(1998).
4. W. Heywang, "Solid state Electron", 3, 51(1961).
5. B. C. H. Steele, "Electronic Ceramics", Elsevier Applied Science", pp.29(1991).
6. H. J. Kwon and J. S. Lee, "The Electrical Characteristics of the Grain Boundary in a BaTiO<sub>3</sub> PTC Thermistor", 센서 학회지, No. 1, pp.67(1992).
7. K. Dodtert, "Application of Self-heated PTC-thermistor to Flow and Quantity of Heat Measurements", Sensor and Actuators, Vol. 3, pp.159 (1982-1983).
8. J. H. Lee and S. H. Cho, "The Role of Grain Boundary Modifier in BaTiO<sub>3</sub> System for PTCR Device", Kor. J. Mat. Res., No. 5, pp.553(1993).
9. H. M. Al-Allak, G. J. Russell, and J. Woods, "Effect of Annealing on the Characteristics of Semiconducting BaTiO<sub>3</sub> Positive Temperature Coefficient of Resistance Devices", J. Phys. D., No. 12, pp.1645 (1987).
10. 이용현 외 4명, "PTC 서미스터 소자의 개발(II)", 센서기술 연구소(1993).
11. 백동현, 김용혁, 최일수, "화재감지센서용 PZN-PSS-PZT계 초전재료의 전기적 특성에 미치는 MnO<sub>2</sub> 첨가제의 영향", 한국소방학회지 Vol. 9, No. 2, pp.29-36(1995).
12. 백동현, "소방전기 시설론", 동일출판사, pp.338-363(1996).
13. 백동현, 추순남, 최명규, 박정철, "화재감지센서 활용을 위한 BaTiO<sub>3</sub>계 PTC 서미스터의 특성에 관한 연구", 한국화재소방학회 논문지, Vol. 16, No. 4, pp.15-19(2002).