

# 負溫度係數 써미스터(NTC Thermistor)의 特性和 應用

魚 灌, 金 哲 洙\*, 申 相 摸\*  
 大宇電子部品 써미스터과, \* 電子部品綜合技術研究所 센서研究

## 1. 서론

써미스터는 Thermally Sensitive Resistor의 준말로 온도에 따른 저항변화 현상에 따라 NTC (Negative Temperature Coefficient) 써미스터, PTC(Positive Temperature Coefficient) 써미스터와 CTR(Critical Temperature Resistor)의 3가지로 구분되며, 일반적으로 온도상승에 따라 저항이 지수함수적으로 감소하는 NTC 써미스터를 통상 써미스터라고 부른다. NTC 써미스터의 배경 및 특징을 서술하기전에 비교적 많이 사용되는 온도센서의 개요를 참고로 표 1에 나타내었다.<sup>[1-3]</sup>

표 1. 온도센서의 분류

종 류	동 작 원 리	사 용 온 도 범 위	장 점	단 점
NTC 써미스터	저항의 변화	65~900℃	부(負)의 온도계수기크디	정밀도의 온도계측에 부적합
극온저항체	저항의 변화	260~961℃	직선적인 저항변화	온도계수가 작음
열전대	기전력의 변화	200~1700℃	고온에서 사용가능함	열(零)접점이 필요
PTC 써미스터	저항의 변화	-55~200℃	정(正)의 온도계수기크디	저항의 변화가 커서 계속용에 부적합
바이메탈	급속의 열팽창	0~350℃	접점으로 부하(負荷)를 직접 ON, OFF 가능	Analog출력이 없고 ON, OFF 제어뿐임
실리콘다이오드	저항의 변화	40~180℃	리드스핀치로 부하를 직접 ON, OFF	Analog출력이 없고 ON, OFF 제어뿐임

일반적으로 반도체는 온도상승에 따라 전기저항이 감소하지만 그중에서 특히 높은 안정성, 생산성 및 실용적인 저항율(抵抗率), 온도계수(溫度係數)를 갖고 있는 써미스터는 다른 반도체와 구별된다. 이런 온도에 민감한 반도체현상은 1834년 M. Faraday에

의해 Ag<sub>2</sub>S에서 발견되었다. 그후 1930년대 후반에 Siemens사 및 Philips사에 의해 CuO계, UO<sub>2</sub>계의 소자가 항공계기의 온도보상등에 사용됨에 의해 산화물계 반도체의 실용화가 시작되었다. 1946년 미국의 Bell연구소에서 Mn, Ni산화물계(氧化物係)의 복합 소결체가 발표되어 써미스터라는 명칭으로 주로 온도보상용으로 통신기등에 사용됨에 따라 생산성 및 안정성이 있어서 종래의 것들이 차츰 사라지게 되었다. 1950년대에 접어들어 Mn, Co, Ni산화물의 3성분계, 그후에 Fe, Cu산화물등을 포함시킨 재료의 발전과 제조기술의 비약적인 향상으로 온도센서로도 주목을 받게되었다. NTC 써미스터의 특징은 다음과 같이 간단히 요약할 수 있다.

- ① 고유저항(固有低抗)이 크고, 저항의 온도계수가 커서 온도의 검출정도(檢出精度)가 높다.
- ② 무접점(無接点)으로 신뢰성이 높다.
- ③ 소형으로 응답성(應答性)이 높다.
- ④ 특성의 변화 및 경시변화(經時變化)가 작다.
- ⑤ 온도이외의 물리량, 예를들어 압력, 자기(磁氣) 등에 대해서 둔감하다.
- ⑥ 기계적, 화학적, 열적으로 강하다.
- ⑦ 양산성(量産性)이 우수하고 저가격이다.

다음은 NTC 써미스터의 재료와 전기적 특성, 일반적인 써미스터 제품의 구조와 특징 및 그 응용에 대해서 논하고자 한다.

## II. NTC 써미스터의 재료와 전기적특성

### 1. NTC 써미스터 재료의 고찰<sup>2, 7-14)</sup>

현재 범용 NTC 써미스터 재료로는 Mn, Co, Ni,

Fe, Cu, Cr, Zn 등의 산화물의 2-4 성분계가 쓰이고 있다. 이중에서도 Mn-Ni계, Mn-Co-Ni계, Mn-Co-Cu계, Mn-Ni-Cu계, Mn-Co-Ni-Cu계 산화물등이 가장 많이 사용되고 있다. 다음은 범용 NTC 써미스터재료의 거동 및 특성에 대해서 알아본다. 일반적으로 모든 NTC 써미스터 재료들은 금속 산화물의 혼합물을 1100°C-1300°C 부근에서 열처리(燒結)하여 이 산화물들이 화학적으로 결합하여 반도체의 전기적 성질을 나타내는 화합물 또는 화합물의 혼합물이 형성됨에 의해 제조된다. 모든 이러한 산화물들은 Li-Ni, Li-Co 산화물을 제외하고 광물 스피넬(spinel, MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)과의 유사성으로 인해 스피넬 구조라고 불리는 공통적인 결정구조를 갖고 있다. 그림 1에 나타나 있는 것과 같이 스피넬 구조는 화학식으로 A<sup>2</sup>B<sub>2</sub><sup>3</sup>O<sub>4</sub>로 표시된다. 여기서 A는 AO형식의 산화물을 형성하는 2가 금속원소를 나타내고, B는 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>형식의 산화물을 형성하는 3가 금속원소를 나타낸다.

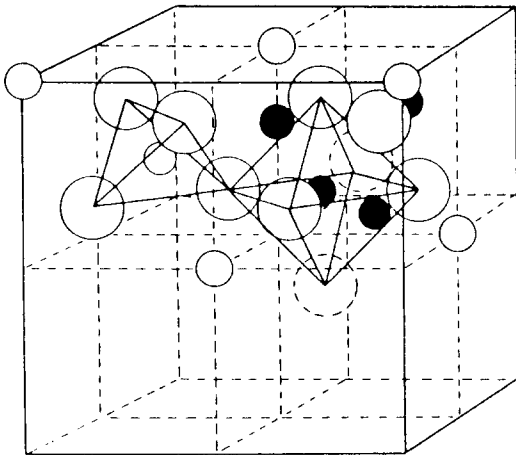


그림 1. 스피넬 격자내의 양이온 배열도 (큰원은 산소이온을, 작은 검은원과 흰원은 각각 tetrahedral과 octahedral 위치의 양이온을 나타낸다)

일반적으로 써미스터의 전기전도기구(mechanism)를 구성하는 요소로서는 ① 비화학양론적인 결정구조(Non-stoichiometric crystal structure), ② 희석(稀釋)원리에 의해 얻어진 결정(結晶), ③ 원자가제어(原子價制御)에 의한 반도체 결정과 같은 3

가지 요소가 고려되어지지만, 실제의 써미스터 내부에서는 이들 각 요소가 공존하여 전기전도가 일어난다고 생각되어지고 있다.

Mn-Ni계 산화물은 가장 기본적인 NTC 써미스터 조성계로서 그동안 상(phase)변화 및 전기전도기구에 대한 많은 연구가 행하여져 왔다. Mn-Ni계 산화물의 조성은 Ni<sub>1-x</sub>Mn<sub>2x</sub>O<sub>4</sub>로 표시되고, x = 0.475에서 p형 → n형의 전이가 일어난다. x = 0.475의 조성은 내인성(內因性) 격자결합의 영향이 최소가 되고 저항치의 안정성, 경시변화의 안정성도 바람직한 것으로 알려져있다. 따라서 특성의 변화 및 경시변화가 작은 써미스터를 얻기 위해 ① 결정상이 단일하고 입방정(cubic)계이며, ② 내인성 격자결합의 영향이 가장 적은 조성을 이용한다. Mn-Ni계 조성은 입방정으로 고온까지 안정한 영역이 좁고, 전기 특성범위 특히 저항율의 범위가 좁다. 따라서 전기 특성범위를 넓히기 위해 통상 Mn-Ni계에 제 3성분을 첨가한다.

즉 저항율 감소를 위해 Cu를 첨가하기도 하고, 저항율을 증가시키기 위해 Cr을 첨가하기도 한다. Cu 첨가는 첨가한 Cu의 양에 따라 저항치가 현저히 저하한다(Co의 5배정도 효과). 그러나 Cu 첨가에 따른 수명시험의 결과 특히 직류부하시의 경시변화가 크다. Cu량을 증가한 경우 직류부하시 경시변화에 따른 열화현상의 원인은 저항감소에 따라 써미스터 소자자체에 인가되는 전력이 증가하기 때문이다. 따라서 고온에서 직류전류부하수명에 나쁜영향을 주지 않도록 미량 첨가에 한정된다. Mn-Ni spinel에 Cr<sup>3+</sup>을 첨가하면 Cr<sup>3+</sup>이 스피넬의 B위치에 들어가 안정하고, Mn<sup>3+</sup> ↔ Mn<sup>4+</sup>의 전자의 주고 받음을 저해하기 때문에 저항율이 증가한다. 재료의 결정구조는 Cr조성에 따라 입방정과 정방정상이 정해지나 입방정상이 더욱 안정한 것으로 알려져 있다. Cr함유에 따라 소결성이 저하하고, Cr이 증발하므로 조성분위기 및 소성온도의 제약을 받게된다. 그러므로 Cr첨가량은 최대 10 at% 보다 작아야 한다. 상기 설명한 3 가지 조성계는 값비싼 Co를 함유하지 않으므로 Mn-Co-Ni-Cu계에 비해 재료비가 낮아지는 장점을 갖고 있으나, Mn-Co-Ni-Cu계의 특징인 광범위한 전기특성을 전부 포함할 수 없고 일부 한정된 특성만을 나타내는 단점이 있다.

Mn-Co-Ni-Cu계 산화물의 특징은 공기중 소결(燒結)에 의해 써미스터의 저항율을 10<sup>1</sup> - 10<sup>6</sup> Ω ·

cm의 범위. 또 B정수를 1000 - 6000K 의 범위로 특성을 넓게 변화시킬 수 있는데 있다. Mn-Co-Ni-Cu계의 단점은 단일상이 아니고 부성분상(NiO, CoO등)이 존재하고, 공정조건 특히 Ag전극의 소성 공정에서 저항치가 크게 변동한다는 것이다. Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 및 Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>는 각각 Co<sup>2+</sup>[Co<sup>3+</sup>Co<sup>4+</sup>]O<sub>4</sub> 및 Mn<sup>2+</sup>[Mn<sup>3+</sup>Mn<sup>4+</sup>]O<sub>4</sub> 의 정상스피넬(normal spinel)을 형성한다. Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>는 공기중 900℃ 이하에서 안정하고, Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>는 공기중 940℃ 이상에서 안정하며 이 둘은 서로 완전 고용(固溶)한다. 이 경우 Co는 +2가로 A 위치(tetrahedral site), Mn은 +3가로 B 위치(octahedral site)에 위치한다. Co양에 따라서는, Mn<sup>2+</sup>[Mn<sup>3+</sup>Mn<sup>4+</sup>]O<sub>4</sub> → Mn<sub>1-x</sub><sup>2+</sup>Co<sub>x</sub><sup>2+</sup>[Mn<sup>3+</sup>Mn<sup>3+</sup>]O<sub>4</sub> → Co<sup>2+</sup>[Mn<sup>3+</sup>Mn<sup>3+</sup>]O<sub>4</sub> → Co<sup>2+</sup>[Mn<sub>2-x</sub><sup>3+</sup>Co<sub>x</sub><sup>3+</sup>]O<sub>4</sub> → Co<sup>2+</sup>[Co<sup>3+</sup>Co<sup>3+</sup>]O<sub>4</sub> 와 같이 변화한다. 그리고 고온에서 음이온부족의 비화학양론적 조성으로 p형 전도(hole에 의한 전도)를 나타낸다. Mn<sup>2+</sup>[Mn<sup>3+</sup>Mn<sup>3+</sup>]O<sub>4</sub>에 NiO를 첨가하면 Ni 이온은 inverse의 경향이 있고 2가로 Mn<sup>3+</sup>이온과 B위치의 50%까지 치환고용(置換固溶)을 하여 전기적중성을 유지하기위해 Mn<sup>3+</sup>이온이 Mn<sup>4+</sup>로 변화한다.

즉 Mn<sup>2+</sup>[Mn<sup>3+</sup>Mn<sup>4+</sup>]O<sub>4</sub> → Mn<sup>2+</sup>[Ni<sub>x</sub><sup>2+</sup>Mn<sub>2-x</sub><sup>3+</sup>Mn<sub>x</sub><sup>4+</sup>]O<sub>4</sub> → Mn<sup>2+</sup>[Ni<sup>2+</sup>Mn<sup>4+</sup>]O<sub>4</sub> 와 같이 변한다. B위치의 Ni양 x는 0.58 이하에서 정방정계 스피넬(p형 전도), x=0.58 이상에서 입방정계 스피넬(n형 전도)로 급변한다. 그리고 Ni<sup>2+</sup> 치환량의 증가에 따라 Mn<sup>3+</sup>와 Mn<sup>4+</sup>간의 전자의 hopping확률이 증가하고 저항율은 감소한다. Mn<sup>2+</sup>[Mn<sup>3+</sup>Mn<sup>3+</sup>]O<sub>4</sub>에 CuO를 첨가하면, Cu이온은 1가의 상태로 A위치의 Mn<sup>2+</sup>이온과 치환고용하여 전기적 중성을 유지하기위해 이 Cu<sup>+</sup>이온양과 같은양의 B위치에 Mn<sup>4+</sup>이온이 Mn<sup>4+</sup>이온으로 변한다.

즉 Cu<sub>x</sub><sup>+</sup>Mn<sub>1-x</sub><sup>2+</sup>[Mn<sub>2-x</sub><sup>3+</sup>Mn<sub>x</sub><sup>4+</sup>]O<sub>4</sub> 이다. 이에따라 hopping 전도가 증가하고 저항율이 현저하게 감소한다. 따라서 Cu 첨가는 저항율을 감소시키는데 극히 유효한 수단으로 사용된다. 이와같이 Ni<sup>2+</sup>의 B위치 치환 및 Cu<sup>+</sup>의 A위치 치환은 모두 p형 반도체 Mn<sup>2+</sup>[Mn<sup>3+</sup>Mn<sup>3+</sup>]O<sub>4</sub>의 원자가제어의 역할을 한다. 보통 Cr<sup>3+</sup>, Co<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>의 첨가는 모두 B위치의 Mn<sup>3+</sup>이온과 치환고용하기 위해 원자가제어에 의하지않고 단지 고용체를 형성하여 회석원리에 의해서 저항율이나 B정수를 변화시킨다. 지금까지 이상적인 양이온 분포의 상태에 대하여 설명했지만, 실제로는 열처리

온도나 분위기에 따라서 양이온 분포가 조금 달라진다. 또한 p형 전도에 있어서도 산소이온결합이 존재하고 그에 따른 양이온 원자가의 저하가 발생하므로 써미스터의 저항율, B정수, 안정성의 거동을 복잡하게 한다.

고정도, 고신뢰성의 써미스터 재료를 제조하기 위해서는 원료나 전반적인 제조 공정에서의 불순물혼입을 피하는 것이 필요하다. 특히 써미스터 재료분말의 습식혼합, 습식분쇄공정에서 이용하는 milling ball등으로 부터 혼입될 수 있는 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>의 써미스터 전기적 특성에 대한 영향은 다음과 같다.<sup>12)</sup> 먼저 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 불순물 농도의 증가에 따라 저항율은 가장 증가한다. 이것은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 스피넬에 고용하여 Mn<sup>3+</sup>위치에 Al<sup>3+</sup>가 위치하므로 회석원리에 의해 전도율이 저하하는 것으로 생각되어진다. SiO<sub>2</sub>의 경우 저항율의 증가는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 영향보다는 적으며, 입계에 SiO<sub>2</sub>가 고저항층으로 존재하는 것으로 알려져있다. ZrO<sub>2</sub>첨가는 3중 가운데 영향이 가장 작고, 1.0 at%이하의 미량에서는 B위치의 Mn<sup>4+</sup>위치에 고용하여 hopping 확률을 감소시켜 저항율을 증가시키는 것으로 생각되고 있다. 따라서 습식혼합 및 분쇄공정에서 ZrO<sub>2</sub> ball을 이용하는 것이 유리하다.

## 2. NTC 써미스터의 기본특성<sup>13,6)</sup>

NTC 써미스터의 특성과 성질을 나타내는 특별한 용어가 있으며, 이 용어를 기본으로 NTC 써미스터의 기본적인 특성을 아래에 설명한다. 기본적 특성은 저항-온도특성(resistance-temperature characteristics), 熱放散定數(heat dissipation constant), 熱時定數(thermal time constant)등이 있으며 이에 부수되는 몇가지의 특성이 존재한다.

### 1) 저항-온도특성

써미스터의 저항-온도특성은 어떤 온도범위에서 무부하저항치(zero-power resistance)와 온도와의 관계를 의미하고, 근사적으로 식(1)로 표시한다.

$$R_1 = R_2 \cdot \exp [ B(1/T_1 - 1/T_2) ] \quad (1)$$

여기서, T<sub>1</sub> 은 임의의 온도(K), T<sub>2</sub>는 T<sub>1</sub>과 다른 임의의 온도(K), R<sub>1</sub>은 온도 T<sub>1</sub>에서의 무부하 저항치(Ω), R<sub>2</sub>는 온도 T<sub>2</sub>에서의 무부하저항치(Ω), B는 B정수(K)를 나타낸다. 그림 2는 저항온도특성의 하나의 예를 나타낸다.<sup>15)</sup>

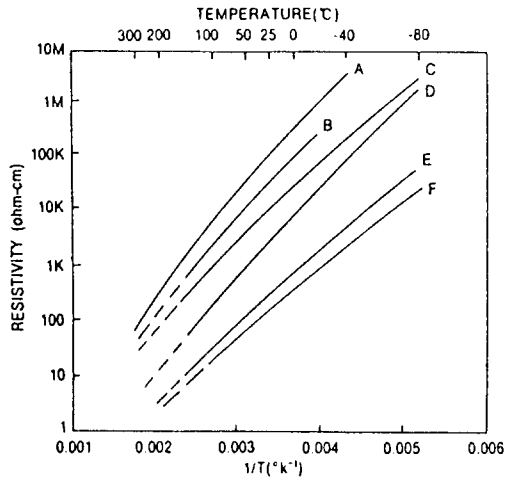


그림 2. 저항-온도 특성에

① 무부하저항치(zero-power resistance)

써미스터의 주위온도를 일정하게 하고 저항치를 측정한다. 그러나 저항측정시 전류에 의한 자기가열(自己加熱)의 영향때문에 이론적으로 정확한 저항치를 측정할 수 없다. 통상적으로 자기가열을 무시할 수 있는 상태에서 측정한 저항치를 써미스터의 무부하저항치(zero負荷抵抗値)라고 부른다. 무부하저항치는 자기가열에 기인한 저항치의 변화가 측정의 총 오차에 비해 무시될 수 있는 조건(열방산 정수의 1/20 이하의 전력)에서 측정하는 것이 바람직하다. 또한 원칙으로 주위 온도 25 °C의 규격치를 대표하는 무부하저항치를 공칭(公稱)무부하저항치라고 부른다. 실제로 온도센서로 사용되는 공칭무부하저항치는 ±1%~±10% 허용차의 범위가 많이 사용되고, 온도보상용 써미스터의 경우는 ±5%~±15% 범위가 많이 사용된다.

② B정수

B정수는 무부하저항치의 온도에 대한 변화의 크기를 표시하며, 저항-온도특성에서 임의의 두 온도로 부터 구할 수 있다. (2)식은 B정수의 계산식을 나타낸다.

$$B = (\ln R_1 - \ln R_2) / (1/T_1 - 1/T_2) \quad (2)$$

여기서, B는 B정수(K), T<sub>1</sub>는 임의의 온도(K), T<sub>2</sub>는 T<sub>1</sub>과 다른 임의의 온도(K), R<sub>1</sub>은 온도 T<sub>1</sub>에서의 무부하저항치(Ω), R<sub>2</sub>는 온도 T<sub>2</sub>(K)에서의 무부하저항치(Ω)를 말한다.

B정수는 정수(定數)로 불리지만 실제로는 일정하지

않고 온도증가에 따라 약간 증가한다. B정수를 결정하기 위해서는 두점의 온도 T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>가 필요하고 대표적으로는 25°C와 85°C가 사용되지만 25°C와 50°C 또는 100°C와 200°C 등 용도에 따라 여러가지가 쓰이므로 이용에 주의를 해야한다. 두점의 온도차가 10 °C이하 일 때는 측정온도의 오차에 따라 B정수의 오차가 커지고 또 온도차가 100°C를 넘으면 사용하는 온도부근에서의 B정수와 다르게 된다. 따라서 두 온도차이가 50~100°C 정도가 바람직 하다. 일반적으로 온도센서는 ±0.5%~±10% 허용차의 것을 사용하고, 온도보상용은 ±5%~±15%의 것을 사용하는 경우가 많다. 써미스터의 저항과 B정수는 재료조성에 의해 결정되어진다. 써미스터 소자형상이 일정한 경우 일반적으로 B정수가 크면 무부하저항치가 큰 경향이 있다.

③ 저항온도계수

저항온도계수(α)는 임의의 온도에서 1°C에 대한 무부하저항치의 변화율을 나타내며 식(1)로 부터 유도된 식(3)으로써 구한다.

$$\alpha = 1/R \cdot dR/dT \times 100 = -B/T^2 \times 100 \quad (3)$$

여기서, α는 저항온도계수(%/°C), T는 임의의 온도(K), R은 온도 T(K)에서 무부하저항치(Ω), B는 B정수를 나타낸다. 식 (3)에서 알 수 있는 것처럼 저항온도계수(α)는 온도에 따라 크게 변화하고, 특히 저온영역에서는 극히 커진다. 어떤 온도주변의 온도구배를 직관적으로 평가하는 경우는 이 저항온도계수를 이용하는 것이 편리하다. 무부하저항치의 온도구배의 평가지수(評價指數)로는 α와 B정수의 2가지가 있으나, 온도구배의 크고 작음을 비교하는 경우는 B정수를 이용하는 것이 일반적이다.

2) 열방산정수(δ)

열방산정수(δ)는 열평형상태에서 써미스터소자의 온도를 자기가열(自己加熱)에 의해서 1°C 올리기 위해 필요한 전력을 표시하는 정수로, 써미스터의 소비전력과 소자의 온도상승과의 비(比)로써 구한다. 단위는 (mW/°C)로 표시된다. 열방산정수는 써미스터의 표면적, 구조, 보호체의 재질, 환경조건등에 따라 결정된다. 열평형상태에서의 써미스터에 공급하는 전기 에너지와 방열되는 열에너지의 관계는 근사적으로 식(4)로 표시된다.

$$W = I \cdot V = \delta \cdot (T - T_s) \quad (4)$$

여기서, W는 써미스터에 공급한 전력(mW), I는 써미스터에 흐르는 전류(mA), V는 써미스터에 인가한 전압(V),  $\delta$ 는 열방산정수(mW/°C), T는 써미스터의 열평형온도(°C),  $T_a$ 는 주위온도(°C)를 말한다.

3) 열시정수( $\tau$ )

써미스터의 작동은 모두 열적현상(熱的現象)이므로 반드시 시간적인 지연이 수반된다. 열시정수( $\tau$ )는 써미스터의 열적응답성의 정도를 나타낸다. 써미스터에 전력을 부하한 열평형 상태로 부터 무부하상태로 급변시켰을때 써미스터의 온도가 63.2% 변화하는데 요하는 시간이 열시정수( $\tau$ )이다. 써미스터의 부하상태에서의 열평형온도  $T_b$ 로 부터 무부하상태로 주위온도  $T_a$  ( $T_a < T_b$ )에 방치할 때의 써미스터의 온도변화는  $T_b$ 가 열복사의 영향을 무시할수 있는 100°C 이하에서 식(5)의 관계가 성립된다.

$$T - T_a = (T_b - T_a) \exp(-t/\tau) \quad (5)$$

여기서,  $\tau$ 는 열시정수(s), t는 열평형 상태에서 무부하상태로 급변했을때 열평형상태로 부터의 경과시간(s), T는 시간 t(s)후의 써미스터의 온도(°C)이다.  $t/\tau$ 에서는  $(T - T_a)/(T_b - T_a) = e^{-1} = 0.368$ . 따라서  $T_b - T = (T_b - T_a) \times 0.632$  이다. 즉 온도강하 ( $T_b - T$ )가 온도폭( $T_b - T_a$ )의 63.2%가 되는 시간이  $\tau$ 로 된다.

표 2. 써미스터 소자의 형상에 따른 분류

종 류	소자 형상	소자 치수(mm)	특 징 및 용도
BEAD 형		0.4~2φ 벽두께 0.02~0.2φ	안정도가 가장 높다. 계측용 및 통신기회로소자등에 쓰인다. 전력출력이 작다.
DISK 형		2~10φ 두께 직경의 1/10~1/2	안정성이 좋고 온도보상소자로 최적이다. 고온 고습에 불안정하며, 전력출력이 크다.
ROD 형		0.5~20φ 길이 직경의 2~10배	고저항이며, 낮은 저항률을 얻을 수 있다. 신뢰성 및 전력출력은 disk형과 유사하다.
박막형		t: 1~5, t: 0.3~0.6 막두께 5~10μm	균일하고 치밀한 박막의 형성에 의해 bead형 이상의 안정성과 균일성을 얻을 수 있다.
후막형		t: 3~10, t: 0.5~1 막두께 20~50μm	인쇄에 의해 양산이 가능하며 인공으로는 1000°C의 온도 보상용으로 최적이다.
CHIP 형		t: 0.5~2, t: 0.2~0.5	glass 봉입에 의해 안정성이 bead형에 필적하며, 입산성이 좋아 가격이 저렴하다.
전극입체형		2~6φ, 길이 2~5	1000°C 까지의 고온사용이 가능하므로 고온센서에 최적이다.

Ⅲ. 써미스터소자의 구조와 특징<sup>[15]</sup>

써미스터 소자는 그 형상에 따라 bead형, disk형,

rod형, 박막형, 후막형, chip형, 전극입체형등으로 구분할 수 있으며 이러한 소자의 구조, 특징 및 주용도를 표 2에 나타내었다. 써미스터 소자에 lead선을 접속하고 수지 또는 glass를 피복하므로써 외부와 차단하여 안정성, 방습성, 내진성등을 향상시켜 온도센서와 같은 써미스터 응용제품으로 쓰이게 된다.

Ⅳ. 써미스터의 응용<sup>[15, 16]</sup>

NTC 써미스터는 자기발열을 무시할 수 있는 부하 조건에서 주위온도의 증가에 따라 저항값이 급격히 감소하는 저항-온도특성과 주위온도를 일정하게 유지한 상태에서 부하전류를 증가시킴에 따라 자기발열 및 열방산에 의해 저항값이 변화하는 전류-전압특성을 갖는다. 이러한 써미스터의 특성을 이용하여 여러분야에 응용되고 있는데 표 3에 나타난 것처럼 저항-온도특성을 이용한 온도보상용 및 온도센서(온도 검출)용, 매질의 열방산차이를 이용한 액위센서(액위 검출)용, 전류 통전시 자기발열의 시간경과를 이용한 돌입전류억제용등이 있다.

표 3. 써미스터의 응용분야

저항 온도 특성 이용	온도보상소자	각종 전자기기의 전지회로
	온도 센서	전자오븐레인지, 전기밥솥, 에어컨, 냉장고, 의류및 식기건조기, 다리미, 전기담요, 가스 및 기압보일러, 팬히터 복사기, FAX, 사동차, 체온계, 전자식 화재감지기
전류 전압 특성 이용	액위 센서	자동차의 기속린, 경유의 잔량 검지, 식유기기의 등유 잔량 검지
	습도 및 풍속 센서	습도계, 풍속계
전류 시간 특성 이용	돌입전류억제	SWITCHING 전원, 히터, 전자회로, 모니터, 전자식형광등인정기

1. 저항-온도특성의 이용

써미스터의 저항온도계수가 크고 負(negative)의 성질을 갖는 특성에 따라 주용도로서 온도보상용 및 써미스터 온도센서로서 널리 실용화되고 있다.

1) 온도보상용 써미스터

트랜지스터의 특성은 기본적으로 온도의 영향을 받으며, 동선으로 이루어진 메터의 coil 또는 TV의 편향 coil은 저항의 온도계수가 양의 성질을 가지므로

주변온도가 상승하면 저항치가 증가한다. 이를 보상하기 위하여 써미스터를 연결하여 저항치가 온도에 대하여 일정하도록 온도보상을 하여준다. 그림 3에 편향 coil에 써미스터를 직렬연결하고 써미스터에 고정저항을 병렬로 연결한 온도보상시의 특성 예를 나타내었다. 온도보상용 써미스터로는 disk형 써미스터가 일반적으로 사용되지만 전자기기의 경박단소화에 따라 이동통신기기, 캠코더등의 온도보상용으로 표면실장용(SMD형) chip 써미스터의 적용이 늘어나고 있다.

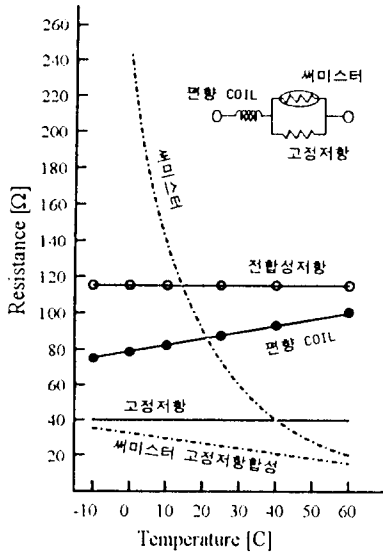


그림 3. 온도보상의 특성예

2) 써미스터 온도센서

써미스터 온도센서는 여러분야의 다양한 기기에 응용되고 있다. 그림 4에 각종 써미스터 소자의 사용 온도범위와 저항치의 정확도를 나타내었다. 몰드 피복형 chip 써미스터와 glass 봉입형 써미스터는 소자 그 자체로서 온도센서로 사용할 수 있으며, 그외에는 사용 목적에 따라 금속 또는 수지 case에 봉입하거나 수지나 glass에 몰딩하는등 package 설계에 의해 실용화 되고 있다. 고온 고습, 진동, 온도변화가 심한 장소등 열악한 환경조건하에서 사용되는 온도센서의 경우 센서 package에 고도의 기술이 필요하다. 여기서 써미스터 온도센서의 대표적인 사용 예에 대하여 그 특징과 활용상의 주요점에 대하여 기술한다.

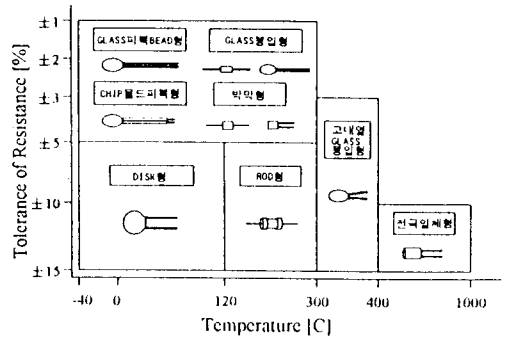


그림 4. 온도센서용 써미스터 소자의 종류 및 적용온도범위

① GLASS 피복 BEAD 응용 센서

Bead형 써미스터는 소형으로 안정도는 써미스터중에서 가장 높아 300~350℃에서 연속사용이 가능하다. 고순도의 원료를 사용하고 열처리(aging)를 충분히 행한 경우 특성의 안정성이 우수한 반면, 가격이 비싼 단점이 있다. 이의 주된 용도는 공업계측용 온도센서 및 정밀온도검출용 센서이다.

② DISK 응용 센서

Disk형 써미스터는 양산성이 좋아 생산수량은 써미스터중 가장 많고 가격이 저렴한 특징을 갖는다. 온도가 200℃ 이상이 되면 써미스터 자체의 특성열화가 크기 때문에 150℃ 이하의 온도에서 사용하는 것이 일반적이며, 공조용 센서, 수온센서등의 용도에 폭넓게 사용되고 있다. 대표적인 應用例로서 disk형 써미스터에 피복된 리드선을 접속한 후에 수지로 코팅을하여 금속 case속에 봉입한 형상으로 센서를 제조하여 가정용 에어컨, 카 에어컨, 냉장고, 의류건조기등 많은 기기의 공조용 센서로 사용되고 있다. 또한 자동차용 온도센서로는 수온계가 있는데 황동 case의 하단부에 disk형 써미스터를 설치하고 스프링으로 압착한 구조를 갖는다. 따라서 써미스터와 case간의 열전달이 좋아 방열계수를 크게하는 것이 가능하므로 메터를 직접연결하여 큰 전류를 흘리는 것이 가능하다.

③ ROD형 써미스터

Rod형 써미스터는 소자 자체 형상의 특징에 따라 고저항이며, B정수가 낮은 특성을 얻을 수 있다. 안정도는 disk형 써미스터와 유사한 정도이지만 내열성을 갖는 재료조성을 사용한 것은 glass 피복 또는 수지피

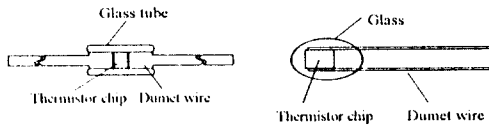
복을 행한 것과 비교할 정도로 260℃ 까지 사용할 수 있어 전자레인지의 고내온도센서로 응용되고 있다.

④ 몰드 피복형 CHIP 응용 센서

두께 1.0mm 정도, 변길이가 0.5 - 2.0mm 정도인 직육면체로 자른 써미스터 chip에 가는 리드선을 접속하여 소자부를 수지로 몰딩한 써미스터로 사용가능한 상한온도는 disk형 써미스터와 비슷하지만 소자부의 형상이 작아 응답성이 빠른 특징을 갖는다. 따라서 응답성을 필요로 하는 기기에 주로 사용되어 고응답성 공조센서, 고응답성 수온센서, 전자체온계용 센서등으로 응용되고 있다.

⑤ GLASS 봉입형 응용 센서

Glass 봉입형 써미스터는 변길이가 0.3 - 0.5mm, 두께가 150 - 250 m인 미소한 써미스터 chip을 사용하여 듀렛선을 양쪽으로 부터 압착한 후 전체를 glass관으로 용착밀봉한 axial형과 듀렛선을 같은 방향으로 인출한 후 소자부를 glass로 감싼 radial형의 두 종류가 상품화되어 있다. 그림 5에 각각의 구조를, 표 4에 disk형 써미스터와의 성능비교를 나타내었다.



(a) Axial형

(b) Radial형

그림 5. GLASS 봉입형 써미스터의 구조

표 4. GLASS 봉입형 써미스터와 DISK형 써미스터와의 성능 비교

항 목	GLASS 봉입형 써미스터	DISK형 써미스터
사용 온도 범위	-40 ~ 300℃	-40 ~ 125℃
응답 시간	$\tau = 2 \sim 7$ (s)	$\tau = 30$ (s)
정기 변화	125℃ : $\Delta R/R \leq \pm 1\%$ 200℃ : $\Delta R/R \leq \pm 2\%$ 300℃ : $\Delta R/R \leq \pm 3\%$	$\Delta R/R \leq \pm 1.5\%$

이 glass 봉입형 써미스터는 300℃의 고온까지도 연속사용이 가능하며, 소형이므로 열응답성이 좋고, 써미스터 chip을 glass로 외부와 완전 차단하므로 내환경성이 우수하여 그 안정도는 bead형에 필적할 정도의 장점을 갖기 때문에 여러분야의 온도센서로 다

양한 응용전개가 이루어지고 있다. 대표적인 응용으로는 자동차의 엔진제어에 필요한 흡기온 수온센서, 석유 팬히터의 기화기용 센서, 오븐레인지의 고내온도센서, 복사기에 장착된 roller의 표면온도센서등으로 폭넓게 응용되고 있다.

⑥ 박막 응용 센서

박막 써미스터는 화학적 열적으로 안정한 SiC를 0.2mm 두께의 알루미늄 기판상에 고주파 스퍼터링 방법으로 박막상을 형성한 것이다. 박막 써미스터는 300℃의 고온에서 연속사용이 가능하고 소형이며, 열전도도가 좋은 알루미늄을 기판으로 사용하므로 열응답성이 우수하여 복사기 장착 히터등의 표면온도센서로 적당하다. 한편, B정수는 2200K 정도로 일반적인 써미스터의 1/2정도 이므로 넓은 온도범위를 검출 가능하여 전자오븐레인지의 고내온도센서등으로 쓰이고 있다.

⑦ 고온 써미스터 응용 센서

전극일체형 고온써미스터는 전극으로서 Pt선 또는 Pt pipe를 사용하며, 고온써미스터 재료의 성형체에 삽입된 상태로 같이 소결하여 제조한다. 1000℃의 고온까지 사용가능하며, 용도에 대응하여 내열 내진성을 고려한 package를 설계하여 사용한다. 대표적인 것으로는 자동차 배기가스용 온도센서가 있다.

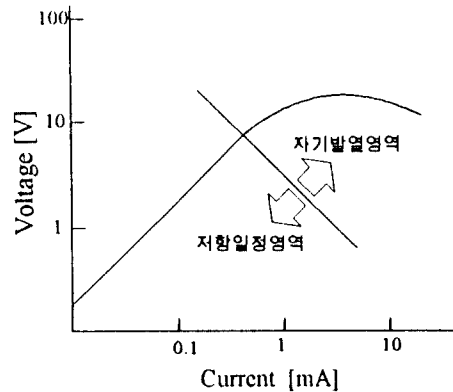


그림 6. 써미스터의 전류-전압특성

2. 전류-전압 특성의 이용

써미스터의 전류-전압특성을 그림 6에 나타내었다. 써미스터에 흐르는 전류가 작아 자기발열을 무시할 수 있는 영역에서는 써미스터의 저항치가 일정하지만, 써미스터에 흐르는 전류가 증가하여 자기발열 영

역에 속하게 되면 써미스터에서 발생하는 Joule열이 주변으로 전달되고 어떤 온도에서 평형상태에 도달한 후 써미스터의 저항치는 감소한다. 이러한 전류-전압 특성을 이용한 것으로서 써미스터 액위센서, 절대습도센서, 풍속계등이 있다.

1) 써미스터 액위 센서

써미스터 액위센서의 기본원리는 액체중과 공기중에 있는 물체의 열방산의 차이를 이용하는 것이다. 즉 써미스터에 전류를 흘리면 Joule열이 발생하고 그 열은 주위의 매체로 전달되고 어떤 온도에서 평형상태가 된다. 이때의 써미스터의 온도는 열방산의 차이에 의해 액체중에서와 공기중에서 다르게 되며, 이러한 현상을 이용하여 액면을 검지하게 되는데 단지 써미스터가 공기중에 있는가 또는 액체중에 있는가를 검지할 수 있을 뿐이므로 연속된 액면의 변화를 검지하는 것은 곤란하다. 따라서 소정의 액면보다 높거나 낮음을 판정하는 목적에 대하여서는 소형으로 간단한 구조를 가지므로 특별히 유효한 방법으로 다음과 같은 특징을 갖는다.

- ① 구조가 간단하고 소형이다.
- ② 진동이나 충격에 강하고 동작이 안정되어 있다.
- ③ 무접점 방식이므로 고장이 적고 수명이 길다.

이러한 써미스터 액위센서의 대표적인 제품으로는 가솔린 레벨센서가 있다. 가솔린 레벨센서는 자동차의 가솔린 탱크내에 float식 레벨미터와 같이 일정한 위치에 취부되어 가솔린의 잔량을 검출하여 램프의 등을 밝혀 경고하는 역할을 한다. 그림 7에 가솔린 레벨센서의 구조를 나타내었다. 사용되는 소자는 rod형 또는 판상형 써미스터이며, 자기발열에 의한 열방산을 용이하게 하기 위하여 리드선의 한쪽 단자는 금속 case에 다른 단자는 pin 단자에 연결하여 공간에 유지되는 구조를 갖고 있다.

가솔린은 금속 case와 절연판에 뚫려있는 구멍을 통하여 유입되어 써미스터 검지소자가 액체에 침적된다. 앞에서 언급한 바와 같이 써미스터 액위센서는 자기발열특성을 이용한 것이므로 가솔린과 같은 인화성의 액체를 검지하는 경우 防爆에 대한 충분한 고려가 필요하다. 이에따라 가솔린이 유출입하는 구멍의 치수를 규정된 직경 이하로 처리하여 써미스터가 case'중에서 발화하여도 폭발이 유발되지 않는 구성을 갖도록 되어있다. 표 5에 가솔린레벨센서를 포함하여 각종 매체에 쓰이는 써미스터 액위센서의 제품 사양을 나타내었다.

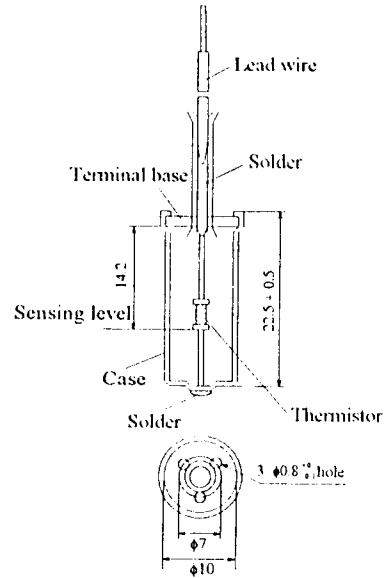


그림 7. Gasoline Level Sensor의 구조

표 5. 각종 써미스터 액위센서의 제품사양

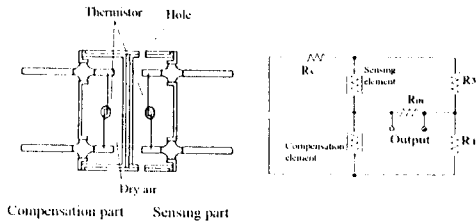
항목	용도	가솔린용	경유·등유용	위험물질·가스용
장기전압		12 VDC	± 12 VDC	12 VDC
동작전압범위		11 ~ 15 VDC	11 ~ 15 VDC	11 ~ 15 VDC
동작온도범위		-10 ~ 60 °C	-10 ~ 60 °C	-10 ~ 60 °C
장기부하		12V, 3.4h lamp	12V, 3.4h lamp	12V, 3.4h lamp
검출전류범위		135 mA max.	135 mA max.	135 mA max.
소모전류범위		60 mA max.	80 mA max.	60 mA max.
검출시간		180 seconds max.	400 seconds max.	300 seconds max.

2) 절대 습도 센서

그림 8에 써미스터를 응용한 절대습도센서의 구조와 측정에 쓰이는 bridge 회로를 나타내었다. 2개의 glass 봉입형 chip 써미스터로 습도센서가 구성되는데 한쪽은 건조공기를 넣어 밀봉한 용기내에 장착되어 보상용 소자로 작동하고 다른 한쪽은 구멍이 뚫린 용기에 장착되어 실내의 습도를 감지하는 소자로 작동하도록 되어있다. 이러한 습도센서를 습기를 띤 공기중에 놓을 경우, 건조한 공기와 습한 공기에서의 열전도율의 차이가 있으므로 감습소자부의 써미스터로부터 방출되는 열량의 차이가 생겨 감습소자의 저항이 변화한다. 반면, 건조공기중에 있는 보상용 소



자의 저항치는 변화가 없다. 이에따라 감습소자의 저항변화를 bridge 회로의 불평형전압으로 검출하여 습도를 감지하게 된다.



(a) 습도센서부 (b) Bridge 회로

그림 8. 절대습도센서의 구조와 BRIDGE 회로

3) 풍속계로의 응용

써미스터에 전류를 흘려 자기발열상태에 있을 때, 써미스터에 바람이 닿게하면, 그 풍속에 따라 빼앗기는 열량의 차이가 발생하고 결국 써미스터의 저항치가 풍속 차이에 따라 변동하게 된다. 이러한 변화를 검출하여 응용한 제품이 써미스터 풍속계이다.

3. 전류-시간 특성의 이용

써미스터에 어떤 전압을 인가하면, 처음에는 써미스터의 초기저항에 의해 한정된 전류가 흐르게 되지만 그 전류에 의해 써미스터가 자기발열되어 써미스터의 자체 저항이 작아져 큰 전류가 흐르게 된다. 이러한 전류-시간 특성을 이용한 것으로 돌입전류 억제용 써미스터(power thermistor)가 있다. 파워써미스터는 OA 기기에 주로 쓰이는 switching 전원등에서 전원 투입시에 발생하는 돌입전류를 억제하여 전압변동에 따른 다른 기기への 악영향이나 퓨즈의 단선등을 방지하는데 쓰인다. 파워써미스터의 특징으로서 ① 돌입전류 억제효과가 크다(~1/10 정도). ② 정상시의 전력손실이 적다(50W 전원에서 통상 1W 이하). ③ 열적, 전기적인 안정성이 높다. ④ 소형으로 공간을 효율적으로 사용할 수 있다. 그림 9에 파워써미스터의 사용회로의 예를 나타내었다. 이러한 정류평활회로에서는 전원투입시에 평활콘덴서를 충전하기위해 단시간내에 큰 전류가 흐른다. 이것을 돌입전류라 하며, 정상시의 수십배의 전류 peak으로 수

msec의 pulse 폭을 갖는다. 이런 경우 파워써미스터를 부착하므로써 돌입전류를 억제할 수 있다.

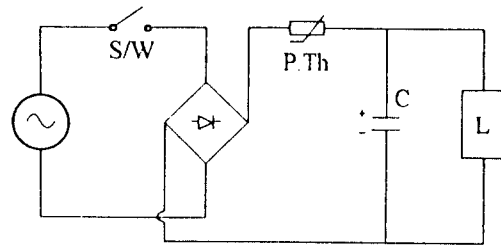


그림 9. Power Thermistor의 사용회로의 예

參考文獻

[1] H. B. Sachse, "Semiconducting Temperature Sensors and their Applications", John Wiley & Sons, Inc. New York 1975.  
 [2] H. Takuoki et al., "New Thermistor Materials", National Technical Report 28(6), 1123 1982.  
 [3] "NTC 서미스타 實用 카이트"ブック", 日本電子材料工業會 1992.  
 [4] 廣田俊春 他, 센サ 技術, 11(6), 23, 1990.  
 [5] R. C. Buchanan, "Ceramic Materials for Electronics", Marcel Dekker, Inc., New York (1986), pp.291-326.  
 [6] J. G. Fagan, V. R. W Amarakoon, Amer. Ceramic Soc. Bull. 72(1), 70 1993.  
 [7] A. J. Moulson, J. M. Herbert, "Electroceramics", Chapman & Hall, London 1990, pp.140-147.  
 [8] A. Barbulescu, S. Jinga, "High Tech Ceramics", Elsevier Science Publishers, Amsterdam 1987, p.261.  
 [9] T. Meguro et al., 日本セラミックス協會學術論文誌, 96(3), 338 1988.  
 [10] T. Yokoyama et al., 日本セラミックス協會學術論文誌, 98(6), 601, 1990.

- [11] S. K. Sarkar et al., J. Mater. Sci. 19, 545, 1984.
- [12] J. P. Caffin et al., "High Tech Ceramics", Elsevier Science Publishers, Amsterdam 1987. p.1743.
- [13] E. D. Macklen, "Thermistors", Electrochemical Publication, 1979.
- [14] X. Tang et al., "NiMn2O4 Revisited", J. Less Common Metals 156, 357, 1989.
- [15] 玉井 孝, 松岡 道雄 : 반도체 세라믹스의 응용: NTC 서미스터의 現狀과 將來動向 1990.
- [16] 二木久夫 : 感溫半導體의 實際, 産報出版社, 1980.

### 筆者紹介

#### 魚 灌

1963年 2月 10日生

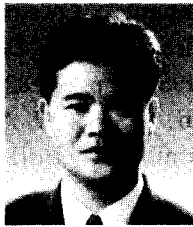
1985年 2月 연세대학교 금속공학과 졸업

1987年 2月 한국과학기술원 재료공학과 (석사)

1992年 2月 한국과학기술원 재료공학과 (박사)

1992年 4月 ~ 현재 대우전자부품(주) THERMISTOR과 과장

주관심 분야 : Electronic Ceramics(Thermistor(NTC,PTC), Piezoelectric, Dielectrics).



#### 金 哲 洙

1958年 1月 6日生

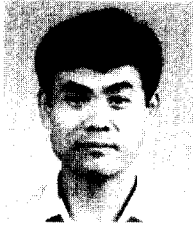
1980年 2月 연세대학교 금속공학과 졸업

1986年 6月 미시간 주립대 재료공학과 (석사)

1991年 3月 미시간 주립대 재료공학과 (공학박사)

1992年 4月 ~ 현재 KETI 재료부품부 센서연구실 선임연구원

주관심 분야 : Sensor(Ceramic & Silicon Sensors), Electronic Ceramics.



申 相 模

1953年 12月 24日生

1975年 2月 서울대학교 금속공학과 졸업

1987年 5月 일리노이대학 재료공학과 (공학박사)

1991年 2月 미네소타대학 경영학과 (석사)

1980年 8月 ~ 1985年 10月 일리노이대학 Material Resenrch Center연구원

1985年 11月 ~ 1992年 7月 美 Honeywell 센서 연구소 수석 연구원

1992年 7月 ~ 현재 KETI 재료무품부 센서연구실 실장

주관심 분야 : Sensor(Ceramic & Silicon Sensors), Electronic Ceramics