

## 반도성 산화물에 의한 RuO<sub>2</sub> 후막저항체의 TCR조정

이 병 수, 이 준\*

전북대학교 재료공학과

\* 건국대학교 공업화학과

### TCR Adjustment of RuO<sub>2</sub> Thick Film Resistor by Semiconducting Oxides

Byung Soo Lee and Joon Lee\*

Dept. of Materials Engr. Jonbuk Nat'l Univ., Jonju 560-756

\*Dept. of Industrial Chem., Konkuk Univ., Seoul 133-701

요 약 RuO<sub>2</sub>와 glass의 비가 20/80과 12/88인 두종류의 후막저항체에 NTCR 특성을 나타내는 여러종류의 산화물을 첨가하였을때 저항체의 TCR과 전기비저항이 어떻게 변화하는가에 대한 실험을 실시하였다. 첨가된 TCR modifier들이 NTCR특성을 갖는다고해서 저항체의 TCR이 항상 감소되지는 않으며 또한 어떠한 modifier가 모든 저항체에 항상 일정방향으로만 TCR을 변화시키지는 않았다. 그러나 이들 TCR modifier들을 적당량 첨가함으로써 후막저항체의 TCR과 저항값을 원하는 바대로 얻을 수 있다는 가능성을 확인하였다. 두 종류의 이상의 TCR modifier를 동시에 첨가하였을때에 첨가된 TCR modifier들 각각의 TCR변화가 합해져서 결과로 나타남으로써 이들 사용된 TCR modifier들 간에는 상호작용이 없음을 알 수 있었다. TCR modifier의 첨가량은 2~3%내로 억제하는 것이 바람직함을 알 수 있었다.

**Abstract** TCR modifying oxides which have negative TCR were added to the RuO<sub>2</sub> thick film resistors and how they affect the TCR and resistivity of the systems were investigated. Two types of resistor systems whose ratio of RuO<sub>2</sub> to glass were 20/80 and 12/88 were used as standard resistors. It was observed that the modifiers did not always lower the TCR of the resistors and the direction of the TCR change were different from system to system. It was confirmed, however, that the feasibility of optimization of TCR of the resistors. When more than two TCR modifiers were added simultaneously there was no interaction between them. The resultant TCR of the resistor was just sum of the effects from individual modifier. It was found to be desirable that the amount of addition of the TCR modifiers should be less than 2 to 3 percent.

### 1. 서 론

전자기술의 발달과 더불어 전자회로의 고밀도화가 다기능화에 개발이 집중되었고 이러한 경향에 따라서 능동소자가 고집적화 되어가고 있을뿐만 아니라 수동회로소자들도 소형화 및 고성능화 되어가고 있다<sup>1)</sup>. 이러한 고밀도화 고성능화 이외에도 전자회로의 신뢰도는 최근 전자산업이 크게 발달되어 있음에도 불구하고 가장 큰기술이 요구되고 있는 문제점으로 부각되고 있다. 이에 부응하여 나타나게 된 기술이 silicon을 소재로한 반도체 집적회로소자

와 박막 및 후막회로기판을 상호연결 조합시켜주는 혼성집적회로(HIC, Hybrid Integrated Circuits)이다. 즉 혼성집적회로의 기본은 박막 및 후막기술과 silicon 기술과의 접합이라고 볼수 있다. 최근 구미선진국에서는 항공우주 및 무기체계를 위시하여 각종 산업용 및 민수용 전자기기들의 다기능 모듈화를 위한 후막혼성회로 기술에 대한 연구가 다방면으로 실시되고 있다. 후막과 박막은 형성된 막의 두께에 의해서 구별되는 것이 아니고 막의 형성방법에 의해서 구별되어 진다. 박막은 evaporation, CVD, sputtering등의 수단으로써

형성된 회로막을 말하며 반면에 후막은 screen printing 기법을 통하여 형성된 전자요업회로막을 말한다. 후막저항체는 둘 이상의 상이 관련된 composite 재료의 일종으로써 사용되는 소재의 특성 및 processing parameter의 변화에 의해서 전기적특성의 변화가 심한 매우 복잡한 다상비평형계이다<sup>2)</sup>. 후막저항체는 실용상 두가지의 중요한 특성을 나타낸다. 첫째는 저항체에서 conductive powder의 양을 3~40%로 변화시킴에 따라 이의 저항값은 10~10<sup>7</sup>Ω까지 변화되기 때문에 실제 산업체에서 사용되는 거의 모든 저항값의 요구를 충족시킬수 있다는 점이다. 둘째는 사용되는 conductive powder의 TCR이 아주 큰 양의 값을 보이는 반면(RuO<sub>2</sub>의 경우 5670ppm/°C) 후막저항의 경우는 TCR modifier를 첨가하지 않았을때 약 500~1000ppm/°C가 된다는 것이다. 물론 이 정도의 TCR을 가진 저항을 실제 회로에 사용하기는 부적합하지만 minor additive로써 TCR modifier를 첨가하여 (±100ppm/°C정도로 TCR을 조정하여 저항회로의 신뢰도를 높일수있다. 후막저항의 전기특성은 구성성분들의 전기특성과 단순한 선형의 상관관계를 가지는 것은 아니며 이러한 사실로부터 후막저항의 전도기구에 대한 많은 model들이 제시되어 왔다.<sup>3~8)</sup> 현재까지 발표된 후막저항체의 TCR 조절에 대한 연구는<sup>9~12)</sup> 대부분 한정된 재료를 사용하여 실시하였으며 체계적이고 넓은 범위의 연구는 없었다. 어느 경우에도 후막저항의 TCR 관련연구는 모두가 NTCR을 가지는 산화물을 TCR modifier로써 첨가하여 후막저항이 가지는 높은 TCR을 낮추려는 시도이었다. 본실험에서는 이러한 NTCR 특성을 보이는 여러종류의 TCR modifier를 선택하여 이들을 첨가하였을때 RuO<sub>2</sub> 후막저항의 전기특성이 어떠한가 변화하는가를 조사하였다.

## 2. 실험방법

본 실험은 크게 세부분으로 나누어서 실시하였다. 첫째는 20v/o RuO<sub>2</sub> + 80v/o Glass(20/80)의 resistor system에 여러종류의 TCR modifier를 2~14v/o 첨가하여 35개의 ink (paste)를 만들었으며 둘째는 12v/o RuO<sub>2</sub> + 88v/o Glass(12/88)의 resistor system에 상기의

의 TCR modifier를 2v/o와 4v/o 첨가하여 21개의 ink를 만들고 셋째는 첨가된 TCR modifier들 간의 상호작용 유무를 관찰하기 위하여 20/80 system에 두종류 이상의 TCR modifier를 동시에 첨가하여 5개의 ink를 만들어서 관찰하였다. 오차를 줄이기 위하여 각 ink당 4개의 저항시료를 만들어 이들의 면비저항값과 TCR 값에 대한 산술평균치를 측정값으로 하였다. 본 실험에서 사용한 재료는

- 기판 : AlSiMag 614(96% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)
- Conductive Powder : RuO<sub>2</sub> powder(30m<sup>2</sup>/g)
- 유리 : 55% PbO, 22% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 11% SiO<sub>2</sub>, 12% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- TCR modifier : MnO<sub>2</sub>, Rh<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CdO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, MoO<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 및 NiO
- 전극재료 : Engelhard A-3770(Au-Pd) 와 DuPont 7712(Ag-Pt)
- Screening Agent : 10% Ethyl Cellulose (N - 300) + (Diethylene Glycol Monobutyl Ether)이었다.

Resistor ink는 RuO<sub>2</sub> powder와 glass powder를 요구하는 중량비로 유리접시에서 일차로 hand mix한 다음 여기에 screening agent와 solvent로써 α-terpineol을 첨가하여 점도를 조절하고 이를 three roll mill에서 40분동안 blending하여 만들었다. 사용된 roll mill은 이 물질로부터의 오염을 방지하기 위하여 각 roll을 Pyrex tube로 씌워서 사용하였다.

Resistor ink를 기판상에 screen printing하여 상온에서 15분 동안 levelling, solvent evaporation을 위해서 120°C에서 5분동안 건조, 유기물제거(organic burnoff)를 위하여 350°C에서 5분 그리고 850°C에서 15분 동안 소결 시킴으로써 후막저항을 형성하였다. 과정 중 승온속도는 50°C/min이었으며 organic burnoff시 불완전연소를 방지하기 위하여 0.5SCFH의 속도로 공기를 강제주입시켰다. TCR은 주로 온도구간 25°C-125°C사이의 HTCR을 측정계산하였으며 저항값은 저항체의 재료상수로써의 의미를 주기위하여 측정된 저항값을 aspect ratio가 1(1 square)이고 두께가 25μm인 값으로 normalize시킨 면비저항(sheet resistivity, ρ<sub>s</sub>, 단위 : Ω/sq/25μm) 값으로 대신

하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1. 20/80 System

TCR modifier를 첨가하지 않은 20/80 표준 저항의 면비저항과 TCR값은 각각  $31.5\Omega/\text{sq}/25\mu\text{m}$ 와  $801\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 이었다. 이 20/80 저항에 여러가지 TCR modifier를 2v/o에서 14v/o까지 변화시키면서 저항값과 TCR값의 변화를 측정하였다. 20/80의 경우에는 온도에 따른 TCR의 변화율이 아주 작기 때문에 본 연구에서는 HTCR값을 대표값으로 하여 측정하였다.

TCR modifier 첨가량에 따른 TCR값의 변화를 Fig. 1에 보인다. 그림에서 보이듯이 TCR을 양의 방향으로 이동시키는 modifier로는 NiO가 있었으며  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MoO}_3$ , 및  $\text{CdO}$ 는 모두 TCR을 감소시켰다. 어느 산화물이나 일정범위를 초과해서 첨가했을 경우에는 TCR의 변화가 거의 포화되거나 또는 약간 반대 방향으로 이동됨을 보여준다. 보편적으로 산화물 첨가량 7v/o ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 와  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 의 경우는 그 범위가 약 2v/o로 생각됨)까지는 TCR의 변화가 지속되는 것을 알수 있었다. 이는 저항체의 80v/o가 유리이고 또한 유리는 대부분의 산화물에 대해서 좋은 solvent역할을 한다는 점을 고려해볼 때 첨가된 산화물의 용해가 약 7%정도에서 포화되는 것으로 믿어진다. 즉 첨가된 TCR modifier가 결정상태로 영향을 미치는 것이 아니라 유리에 용해되어서  $\text{RuO}_2$ 의 sintering medium인 유리의 물리화학적조성이 변함에 따라서  $\text{RuO}_2$ 의 sintering kinetics<sup>13)</sup>가 달라지기 때문에  $\text{RuO}_2$  powder의 소결 정도가 달라지며 또한 이것이 저항이 전기특성에 영향을 미치는 것으로 생각된다.

소결 후 첨가된 TCR modifier가 원래의 결정상태로 존재하는지 또는 유리에 용해됐는지를 알아보기 위하여 X-ray diffraction 실험을 실시하였다. 어느경우에나 TCR modifier를 첨가한 저항을 소결한 후에는 첨가된 TCR modifier의 diffraction peak를 찾아 볼 수 없었다. 그중 한예로 20/80 system에 10v/o의  $\text{TiO}_2$ 를 첨가해서 소결한 저항의 X-ray diffraction 결과를 Fig. 2에 보인다. Fig. 2(a)는 사용된

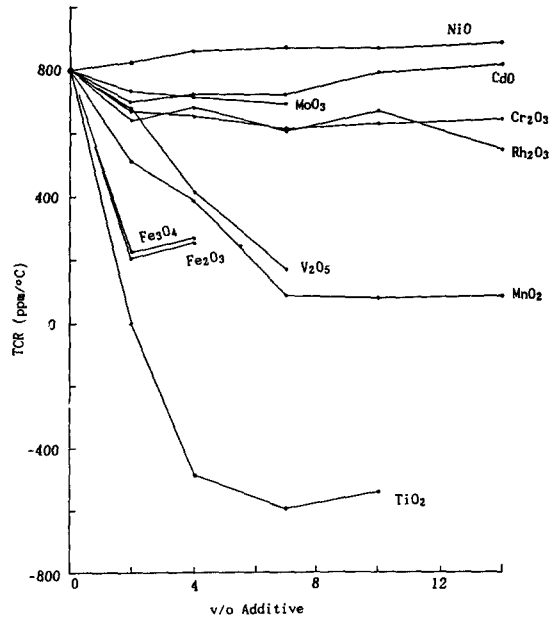


Fig. 1. TCR change of 20/80 system. Addition of TCR modifiers varies from 2 to 14 volume percent.

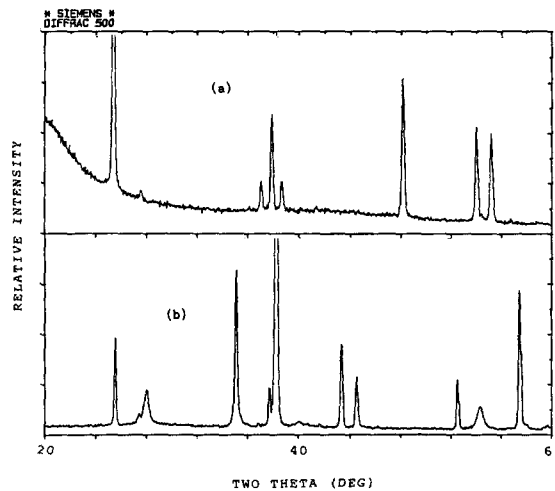


Fig. 2. Comparison of X-ray diffraction peak of (a)  $\text{TiO}_2$  powder and (b) 20/80+10v/o  $\text{TiO}_2$  thick film resistor.

$\text{TiO}_2$  powder 자체에 대한 diffraction 결과이며 (b)는 이  $\text{TiO}_2$ 를 10v/o 첨가해서 소결한 저항의 X-ray diffraction peak이다. 그림에서 보는 바와 같이 (b)에서는 (a)의  $\text{TiO}_2$  peak을 찾아 볼 수가 없었으며 모두가  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Au, 그리고  $\text{RuO}_2$ 의 peak이다. 이는  $\text{TiO}_2$ 가 소결도중 모

두 유리에 용해되었음을 말해주고 있다.

TCR에 가장 큰 변화를 주는 modifier로는 TiO<sub>2</sub>가 있었으며 그 변화량은 2v/o첨가시 801ppm/°C에서 -4ppm/°C로 감소되었다. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>는 TCR변화에 있어서 아주 흡사한 양상을 보여주고 있다. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 첨가시에는 2v/o까지는 TCR이 급격히 감소되나 4v/o첨가시에는 TCR변화가 오히려 반대방향을 나타내고 있다. TCR을 감소시키는 산화물을 그 변화형태에 따라서 급격, 완만 그리고 그 중간정도의 3부류로 나누어본다면 첫째 저항의 TCR을 급격하게 감소시키는 modifier로써 TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 들수 있으며 둘째 group은 중간 정도의 영향력을 가진것으로써(1 v/o 첨가시 약 150ppm/°C 감소) V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>와 MnO<sub>2</sub>가 여기에 속한다고 볼 수 있다. 셋째 group은 아주 완만하게 TCR을 감소시키는 부류로써 (1v/o당 약 50ppm/°C)Rh<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MoO<sub>3</sub> 및 CdO를 들 수 있다. Fig. 3은 각 modifier의 첨가량에 따른 면비저항값의 변화를 보여준다. 독특한 변화를 보여주는 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 제외하고는 보편적으로 modifier를 첨가했을 경우 저항값이 단조롭게 증가하거나 또는 감소한다. 저항을 증가시키는 첨가물은 CdO, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Rh<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>이었으며 이중 TiO<sub>2</sub>첨가시에는 저항값의 증가율이 매우 컸다.(2v/o : 188 Ω/sq/25μm, 4v/o : 3120Ω/sq/25μm, 7v/o : 4980Ω/sq/25μm). 후막저항의 경우 저항값이 증가하면 TCR값도 증가하는 것이 보편적인 경향이나 TCR modifier를 첨가했을 경우에는 이를 따르고 있지 않는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 TCR modifier의 첨가량에 따라서 TCR과 면비저항 값이 어떻게 변화하는가를 동시에 보여준다. 그림 중 화살표 방향은 TCR modifier의 첨가량이 2v/o에서 시작해서 4, 7, 10,14v/o로 증가하는 것을 나타낸다. 즉, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>는 화살표방향으로 그첨가량을 2v/o에서 4v/o로 증가 했을 경우이며 Rh<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 MnO<sub>2</sub>의 경우는 화살표 방향으로 2, 4, 7, 10, 14v/o의 data point를 나타낸다. 그림에서 알수있듯이 20/80 system에 대해서 가장적합한 TCR modifier로는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, MnO<sub>2</sub>임을 알수있다. 즉 이들은 저항값의 변화를 크게 주지않으면서 TCR을 크게 감소시킬수 있는 산화물이라는 것을 알수있다. Fig. 4에서 20/

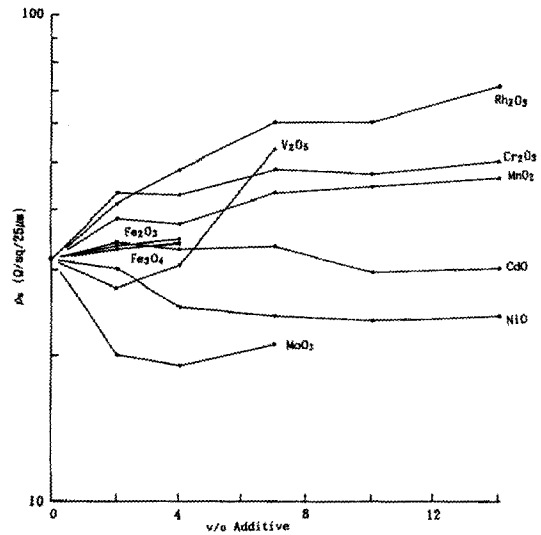


Fig. 3. Sheet resistivity change of 20/80 by addition of various TCR modifiers( $\rho_s$  for TiO<sub>2</sub> : 2v/o(187.7), 4v/o(3120), 7v/o (4980Ω/sq/25μm)).

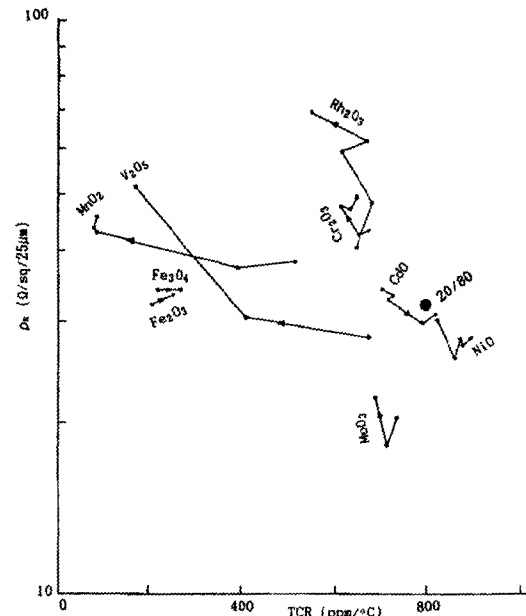


Fig. 4. Sheet resistivity vs. TCR plot for 20/80 system.

80 point로부터 왼쪽방향에 있는 산화물들이 바로 이러한 효과를 나타낸다. TiO<sub>2</sub>의 경우는 TCR은 크게 감소시킬 수 있으나 저항값을 크게 증가시키기 때문에 TiO<sub>2</sub>의 사용은 극히 소량으로 제한되어야 할것으로 생각된다. 어느 경우이나 TCR modifier의 첨가량이 커질

수록 TCR 변화율은 감소되며 저항값의 변화는 커지기 때문에 TCR modifier의 첨가량은 약 2~3v/o 이내로 제한되어야 할 것으로 생각된다.

### 3-2. 12/18 System

TCR modifier를 첨가하지 않은 12/88 표준 저항의 면비저항값은  $478\Omega/\text{sq}/25\mu\text{m}$ 이었으며 HTCR과 CTCR값은 각각 188과  $153\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 이었다. 12/88저항의 경우는 20/80저항과는 달리 온도저항곡선에서 좋은 직선성을 볼수 없었으며 CRCR이 HTCR보다 약간 적은값을 보여주었다. TCR modifier를 첨가했을 경우 12/88저항계의 TCR값과 면비저항값의 변화를 보기위해서 20/80의 경우와 동일한 TCR modifying oxide를 첨가하였으나 그 양은 2v/o와 4v/o로 국한하였다. Fig. 5는 TCR modifying oxide를 2v/o와 4v/o첨가했을때 12/88저항계의 TCR변화를 보여준다. 20/80저항계의 경우와 마찬가지로 NiO의 첨가는 12/88계의 TCR을 양의 방향으로 이동시켰으며  $\text{TiO}_2$  역시 TCR을 가장 많이 감소시키는 산화물인것을 알수 있다.  $\text{V}_2\text{O}_5$ 역시 상당히 TCR을 감소시키는 산화물인것을 알수있었으며 그외에는 보편적으로 완만하게 TCR을 부의 방향으로 이동시켰다.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  및  $\text{CdO}$ 를 첨가했을때는 TCR의 감소가 1v/o당 20~30ppm/ $^\circ\text{C}$ 로써 상당히 완만했다.  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{MnO}_2$ , 및  $\text{Rh}_2\text{O}_3$ 의 경우는 1v/o첨가당 약 70~100ppm/ $^\circ\text{C}$  정도의 감소를 보이고 있다.

12/88과 20/80 두 system 공히 TCR을 급격히 부의 방향으로 이동시키는 산화물로써  $\text{TiO}_2$ , 중간정도의 TCR을 감소시키는 산화물로는  $\text{MnO}_2$  그리고 완만한 곡선을 그리면서 TCR을 감소시키는 산화물은  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 임을 알수 있었다. 이들 세종류의 modifier를 제외하고는 12/88과 20/80system에서 공통으로 TCR변화를 나타내는 modifier는 없었다.

Fig. 6은 12/88system에 여러종류의 TCR modifier를 첨가했을때 면비저항값의 변화를 보여준다. 20/80의 경우와 마찬가지로  $\text{TiO}_2$ 첨가시 면비저항값의 증가폭이 제일 크다는 것을 알수있다. 20/80의 경우에는 TCR modifier를 첨가했을때 대부분의 산화물이 면비저항값을 증가시켰으나 12/88의 경우는 그반대로

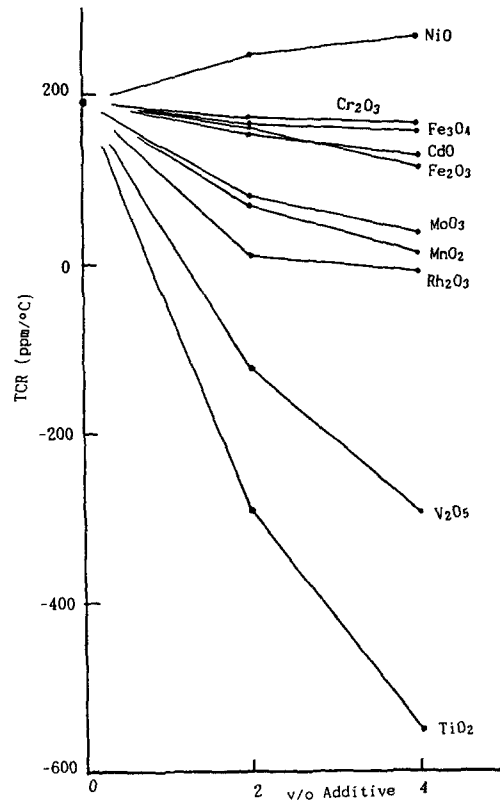


Fig. 5. TCR change of 12/88 system by various TCR modifiers.

대부분의 TCR modifier첨가 시 저항값이 오히려 감소했다. 저항값의 변화가 제일 적은 산화물로는  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{CdO}$ ,  $\text{MoO}_3$ 이었다.

TCR modifier의 첨가량에 따라 면비저항값과 TCR값의 변화를 동시에 나타낸 것이 Fig. 7이다. 그림에서 볼수있듯이 TCR modifier를 첨가했을때 면비저항값의 변화가 크지 않으면서 TCR을 낮출수있는 산화물로는  $\text{Rh}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{MnO}_3$  및  $\text{CdO}$ 가 있었으며  $\text{V}_2\text{O}_5$ 도 소량 첨가 했을 경우에는 좋은 TCR modifier가 될수있을것으로 생각된다. 모든 경우에 있어서 TCR modifier의 종류에 따라서 CTCR과 HTCR과는 큰차이가 없었으며 CTCR은 HTCR보다 약 20~30ppm/ $^\circ\text{C}$ 정도가 낮았다.

### 3-3. TCR modifier간의 상호관련

TCR modifier를 두종류 이상 혼합해서 첨가했을 경우 이들간에 어떠한 상호작용이 일어나는지 또는 단순한 혼합법칙이 적용되는지

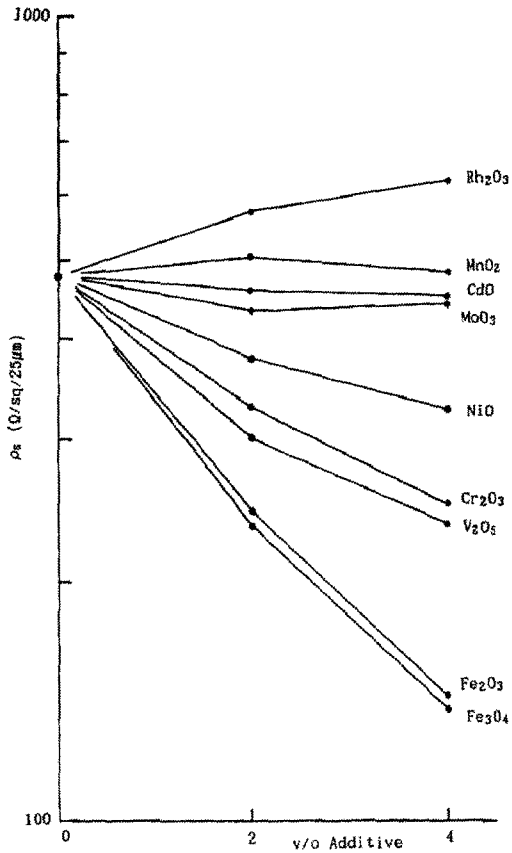


Fig. 6. Sheet resistivity change of 12/88 by addition of TCR modifiers.

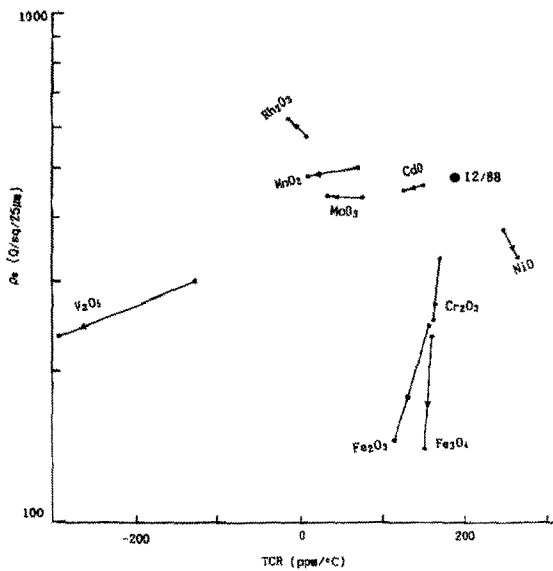


Fig. 7. Sheet resistivity vs. TCR plot for 12/88 system.

를 알아보았다. 표준저항으로는 20/80system을 사용하였으며 TCR modifier로는 TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO<sub>2</sub>, CdO를 사용하였다. 이들 TCR modifier를 두종류이상 첨가하여 5개의 resistor ink를 formulate하였다. 이들은 op1~op5라 하였으며 이들에 첨가된 TCR modifier의 조성은

op1 : 1v/o TiO<sub>2</sub> + 1v/o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

op2 : v/o MnO<sub>2</sub> + 0.5v/o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

op3 : 0.5v/o TiO<sub>2</sub> + 2v/o CdO

op4 : 0.5v/o TiO<sub>2</sub> + 0.5v/o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

+ 0.5v/o MnO<sub>2</sub>

op5 : 4v/o MnO<sub>2</sub> + 1v/o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>이었다.

이들로부터 면비저항값과 TCR값을 구하였으며 이들 저항에 대한 값은 각각 op1 : ρ<sub>s</sub> = 102 Ω/sq/25μm, TCR = -42ppm/°C, op2 : ρ<sub>s</sub> = 34 Ω/sp/25μm, TCR = 312ppm/°C, op3 : ρ<sub>s</sub> = 40 Ω/sq/25μm, TCR = 498ppm/°C, op4 : ρ<sub>s</sub> = 35 Ω/sq/25μm, TCR = 234ppm/°C, op5 : ρ<sub>s</sub> = 33 Ω/sq/25μm, TCR = -254ppm/°C이었다. 여기에서 다시 Fig. 1을 살펴보면 상기 4종류의 TCR modifier 1v/o첨가시 TCR의 감소치를 내삽해보면 TiO<sub>2</sub>의 경우 약 450ppm/°C, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 약 400ppm/°C, MnO<sub>2</sub> 약 150ppm/°C, CdO 약 50ppm/°C 정도인것을 알수있다. 또한 Fig. 3으로부터는 TCR modifier 1v/o 첨가시 면비저항값의 변화를 내삽해보면 TiO<sub>2</sub>경우 약 100 Ω/sq/25μm가 증가됨을 알수있다. 즉 MnO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CdO는 거의 면비저항값을 증가시키지 않았다. op1의 경우 면비저항값은 31.5에서 102 Ω/sq/25μm로 증가하였으나 TCR은 801에서 -42ppm/°C로 감소됨을 알 수 있었으며 이는 위에서 언급한 TCR modifier 1v/o당 TCR과 면비저항값의 변화를 고려해볼때 TCR변화는 거의 단순한 혼합법칙이 적용됨을 알수있으나 면비저항의 경우는 약간 다름을 알 수 있다. 즉 1v/o TiO<sub>2</sub>와 1v/o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 첨가했을 때 실제 TCR은 843ppm/°C가 감소되었으며 Fig. 1의 결과로부터는 약 850이 감소되어야 하므로 거의 일치되는것을 알수있다. 면비저항은 약 130 Ω/sq/25μm이 되어야하나 실제로는 102 Ω/sq/25μm로써 TCR modifier를 첨가했을때에는 그 증가율이 약간 둔화되는 것을 알수있다.

Op<sub>2</sub>는 면비저항이 34Ω/sq/25μm, TCR이 312ppm/°C이었으며 이경우에도 마찬가지로 실제 TCR은 489ppm/°C가 감소되었으며 Fig. 2의 결과로부터는 약 500ppm/°C가 감소되어져야 하므로 거의 일치하고 있음을 알수있다. 면비저항의 경우는 소량 증가된것을 알수있으며 이는 Fig. 3으로부터 알수있듯이 첨가된 TCR modifier들이 저항값의 변화를 거의 주지않는다는 점으로부터 쉽게 예측할 수 있는 결과이다.

Op<sub>3</sub>, op<sub>4</sub>, op<sub>5</sub>의 경우도 Fig. 1의 결과와 잘 일치하고 있음을 알수있다. 이는 TCR modifier를 여러종류 혼합해서 사용할 경우 사용할 modifier들 간의 어떠한 상승작용이나 상쇄작용은 없으며 사용된 TCR modifier각각이 미치는 TCR변화가 합해져서 결과로 나타난다는것을 보여준다. 면비저항의 경우는 아직 단정하기에는 이르지만 TCR변화와 마찬가지로 사용된 modifier각각의 면비저항 변화의 합 또는 이보다 약간 둔화되는 것으로 생각된다.

지금까지의 실험결과에 의해서 적절한 TCR modifier를 적당량 혼합 첨가함으로써 저항값과 TCR값을 임의로 조절할수 있다는 것을 알수있다. 더우기 저항값의 변화를 주지 않고 TCR만을 감소시킬수 있으며 따라서 near zero TCR을 가진 후막저항의 개발도 가능하리라고 생각한다.

#### 4. 결 론

본 실험연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Positive TCR을 나타내는 후막저항에 NTCR특성을 보이는 산화물을 첨가했을 경우 이들이 항상 TCR을 감소시키지는 않는다. 그러나 TCR modifier의 종류와 첨가량을 적절히 함으로써 저항값을 변화시키지 않으면서 near zero TCR을 가지는 저항의 개발이 가능하다.
- 2) TCR modifier의 첨가는 2~3%선으로 하는 것이 바람직하다.
- 3) 둘 이상의 TCR modifier를 첨가했을 경

우에는 각각의 modifier가 가지는 TCR변화가 합해져서 작용한다.

- 4) TCR modifier를 첨가했을 경우에는 저항이 증가하면 TCR이 감소된다는 후막 저항체의 보편론이 적용되지 않는다.

[감사의 글]

본 연구는 1990년도 교육부 신소재분야 연구 지원에 의해 이루어졌으므로 이에 감사드립니다.

#### 5. 참고문헌

1. 二瓶公志, "Hybrid Microelectronics," CMS (Japan), (1985)
2. R.W. Vest, ARPA Order No. 1642(1975)
3. R.M. Scarisbrick, *J. Phys. D : Appl/ Phys.*, 6, 2098(1973)
4. A. Kusy, *Thin Sol. Films*, 121, 263(1984)
5. G.E. Pike and C.H. Seager, *J. Appl. Phys.*, 48[12], 5152(1977)
6. A. Kusy, *Thin Sol. Films*, 43, 243(1977)
7. T.J. Coutts, *Thin Sol. Films*, 38, 313(1976)
8. P.J.S. Ewen and J.M. Robertson, *J. Phys. D : Appl. Phys.*, 14, (1981)
9. R. Kuzel and J. Broukal, *IEEE, CHMT*, 4, [3], (1981)
10. G.B. Martin, M.S. Thesis, Purdue Univ. (1982)
11. H.Z. Wu and R.W. Vest, *J. ISHM*, 7, [4] (1984)
12. T. Inokuma, Y. Taketa and M. Haradome, *EST*, 9, (1982)
13. P. Samy, D.H.R. Sarma and R.W. Vest, *J. Am. Ceram. Soc.*, 68[8], C215(1985)
14. B.S. Lee and R.W. Vest, "Effects of Glass Chemistry on Microstructure Development and Electrical Properties of Thick Film Resistors," Presented at ACS Conf., Pittsburgh, May 1987.
15. B.S. Lee and R.W. Vest, *Ceramic Transaction*, Vol 11, ACS, 1990