

# 백금-코발트 합금박막형 축온저항체 온도센서의 제작

논문  
12-9-7

## The Fabrication of RTD Using Pt-Co Alloy Thin-Films

정귀상\*, 홍석우\*

(Gwiy-Sang Chung\*, Seog-Woo Hong\*)

### Abstract

Pt-Co alloy thin-films were deposited on  $Al_2O_3$  substrate by r. f. cosputtering. We made Pt-Co alloy resistance patterns on the substrates by lift-off method and investigated the physical and electrical characteristics of these films under various conditions (the input power, working vacuum, thickness of thin-films, annealing conditions). The TCR value of Pt-Co alloy thin-films RTD's was measured with various thickness of thin-films and annealing conditions. The optimum TCR value of Pt-Co alloy thin-film RTD's is obtained under conditions 3000 Å of thin-films thickness and annealing conditions of 1000 °C for 60 min. The TCR value of Pt-Co alloy thin-film RTD's were liner in the temperature range of 25~400 °C.

**Key Words(중요용어)** : RTD(Resistance Thermal Device), Pt-Co alloy thin-films, TCR(Temperature Coefficient of Resistance)

### 1. 서 론

최근 메카트로닉스 산업분야에 고정밀, 고성능, 소형, 고감도 온도센서가 절실히 요구되고 있다. 현재 널리 사용되고 있는 접촉식 온도센서로는 열팽창을 이용한 기체압력식온도계와 액체압력온도계, 전기저항을 이용한 축온저항체, 써미스터, 열기전력을 이용한 열전대 그리고 트랜지스터의 온도 특성을 이용한 IC온도센서가 있다. 이 중에서 축온저항체 온도센서(RTD : Resistance Thermometer Device)는 호환성, 안정성, 감도, 선형성 등이 우수하다. 특히, 백금 축온저항체 온도센서는 열적·화학적으로 안정하고, 저항온도계수(TCR : Temperature Coefficient of Resistance)가 크고 선형적이며, 넓은 온도범위에서도 안정하여 많이 사용되고 있다. 와이어형은 소형화가 어렵고 기계적 충격이나 진동에 약

하며 고가라는 단점이 있다<sup>1)~3)</sup>. 이러한 결점을 보완하기 위해서 백금박막형 축온저항체 온도센서가 최근에 연구개발되었다. 일반적으로 순수한 백금을 사용한 축온저항체는 -200°C 이하의 극저온과 350°C 이상의 온도에서 급격히 감도가 저하되고, 단위면적당 저항값이 작아 큰 저항값을 갖는 백금박막형 축온저항체 온도센서 제작이 곤란하며, 시스템 자체의 구성이 복잡하다<sup>4)</sup>.

미량의 불순물이 첨가된 각종 합금은 단위 면적당 큰 저항값을 가짐으로써 시스템의 구성이 간단하고, 소형, 경량, 고분해 능력을 갖고며, 출력특성이 뛰어나기 때문에 합금을 이용한 합금박막형 축온저항체 온도센서에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>5)</sup>. Pt-Co 합금박막은 순수한 백금물질에 코발트를 첨가 시킴으로써 높은 비저항 특성을 가지기 때문에 소자의 소형화가 가능하며, 코발트는 열적·화학적으로 안정하기 때문에 안정된 온도센서를 제작할 수 있다. 또한, 400°C 이상의 온도에서 급격히 감도가 저하되는 백금박막형 축온저항체 온도센서의 단점을 보완할 수 있으며, 저항의 온도계수가 크기 때문에 미세한 온도변화의 측정이 가능할 것이다. 따라서, 본 연구에서는 백금-코발트 합금박막형 축온저항체 온도센서

\* : 동서대학교 정보통신공학부  
(부산광역시 사상구 주례동 산69-1, Tel : 051-320-1569,  
Fax : 051-320-1592 E-mail : gschung@dongseo.ac.kr)  
1999년 3월 23일 접수, 1999년 8월 16일 심사완료

작하여 특성을 분석·평가하였다.

## 2. 실험

연구에서는 99.99% 고순도 백금, 코발트 타겟을 사용하여 kyoto ceramic사에서 제작한 알루미늄(조도분석 : 2°)위에 고주파 코스퍼터링법으로 Pt-Co 합금박막을 증착시켰다. 기판과 타겟의 거리는 7 cm이고, 99.99% 고순도 Ar 가스를 사용했으며, 양호한 박막을 얻기 위해 10<sup>-4</sup> Torr 이하의 초공을 만든후 Ar 가스를 주입하여 프라즈마를 발했다. 최적증착조건(Pt : 4.4 W/cm<sup>2</sup>, Co : 6.91 W/cm<sup>2</sup>, 진공도 : 10 mTorr)하에서<sup>10</sup>, Pt-Co 합금박막을 1700, 3000, 7000, 10000 Å 두께로 증착시켰다. Pt-Co 합금박막의 면저항과 두께는 r-point probe와  $\alpha$ -step으로 각각 측정했으며, 900, 1000, 1100°C로 60분간 열처리한 후, ED와 SEM으로 합금박막의 결정질과 미세표면구조를 각각 평가하였다. 또한, lift-off 방법으로 Pt-Co 합금박막형 축은저항체 온도센서를 제작하여 합금박막의 두께 및 열처리 조건에 따른 TCR을 측정하며 백금박막형 축은저항체 온도센서와 비교·분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

본 연구에서 Pt-Co 합금박막의 결정화를 위한 증후 열처리는 quartz tube furnace를 이용하여 Ar 가스 분위기에서 행하여졌다. 얇은 금속박막은 내에 많은 구조적 결함이나 결정입계가 존재하여 전기가 산란되고 박막표면 자체도 산란의 커다란 영향으로 전기적으로 불안한 구조를 갖게 되는데, 열처리를 함으로써 전기적으로 불안한 상태나 구조적으로 갈라진 틈 사이가 밀착되어 비플림들이 줄어들고 결정립 크기가 커짐에 따라 단결정 성장을 촉진시켜 전기적으로 안정된 박막을 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다<sup>11-13</sup>. 그러나 과도한 열처리를 하게 되면 결정립의 성장에 따른 부분적인 island 형성과 기판위에 막이 없는 부분, 즉 박막이 없는 hole이 생성되고 조금씩 커짐으로 인하여 박막의 특성이 저하될 수도 있다. 그림 1은 진공도 : 10 mTorr, 입력 power Pt : 4.4 W/cm<sup>2</sup>, Co : 6.91 W/cm<sup>2</sup>에서 3000 Å 두께로 Pt-Co 합금박막을 증착한 후, 800~1100°C에서 100°C 간격으로 각각 60분간 열처리한 Pt-Co 합금박막의 비저항 및 면저항 변화를 각각 나타낸 것이다. 열처리 온도가 증가함에 따라 박막 내부의 여러

구조적 결함들이 줄어들어 박막의 비저항 및 면저항의 특성이 개선됨을 알 수 있다. 그러나, 1100°C에서는 비저항값이 증가되어 박막의 전기적 특성이 크게 저하됨을 알 수 있다.

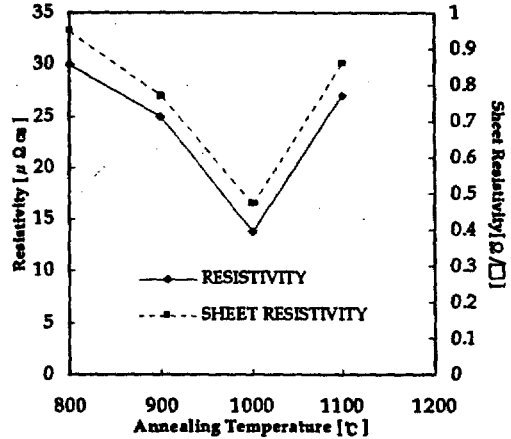


그림 1. 열처리 온도에 따른 Pt-Co 합금박막의 면저항 및 비저항값의 변화(열처리 시간 : 60분).

Fig. 1. Variations of the resistivity and sheet resistivity of Pt-Co alloy thin-films deposited with increasing temperature (annealing time : 60 min).

그림 2, 3은 각각 1700, 3000 Å 두께로 증착된 Pt-Co 합금박막을 900, 1000, 1100°C에서 각각 60분간 열처리를 행한 미세표면상태를 나타낸 SEM 사진이다. 열처리 온도가 증가함에 따라 선명한 입자들의 경계가 현저하여 전기적으로 불안한 상태나 구조적으로 갈라진 틈 사이가 밀착됨을 알 수 있고, 열처리 온도가 증가할수록 그 특성이 더욱 두드러져 열처리 온도 1000°C에서는 결정립이 완전히 뭉쳐져서 물리적, 전기적으로 상당히 양호한 합금박막을 얻을 수 있었다. 그러나, 1100°C 열처리시 결정립의 생성에 의한 부분적인 island가 형성되어 박막이 없는 hole의 생성으로 박막의 특성이 구조적으로 저하되었음을 알 수 있다. 따라서, 열처리 온도를 1000°C까지 높여줌으로 비저항값과 면저항값이 감소하여 안정된 박막을 얻을 수 있으나, 1100°C이상의 열처리시 비저항값과 면저항값이 현저하게 증가하여 박막의 전기적 특성이 크게 저하됨을 결정질의 미세구조에서도

날 수 있다.

그림 4는 10000Å 두께로 증착된 Pt-Co 합금박막을 900, 1000, 1100℃에서 각각 60분간 열처리를 받은 미세표면상태를 나타낸 SEM 사진이다. 두께 3000Å 박막과 비교할 때, 열처리 온도 1000℃까지는 두 박막 모두 결정립의 생성으로 박막의 특성이 개선되었다. 그러나, 10000Å 두께로 증착된 박막은 열처리 온도 1100℃ 이상에도 island에 의한 hole이 형성되지 않았으며, 완전한 결정립의 성장으로 박막의 특성이 구조적으로 개선되었다.

그림 5는 3000Å 두께로 증착된 Pt-Co 합금박막을 열처리에 따른 박막의 XRD 분석결과를 나타낸 것이다. 백금의 회절피크가  $2\theta = 39.5^\circ$  부근에서 나왔으며, 코발트의 회절피크는  $2\theta = 46.5^\circ$  부근에서

나타났다. 그리고  $Al_2O_3$  성분이  $2\theta = 43^\circ, 55^\circ, 77^\circ$  부근에서 각각 나타남을 알 수 있었다. 열처리 온도를 높여줌에 따라 백금과 코발트의 회절피크를 제외한 잔여 피크들은 줄어들고 결정회절각 변화가 거의 관찰되지 않았으며, 회절강도가 증가됨에 따라 박막의 결정성이 개선됨을 알 수 있다. 그러나, 1000℃까지 열처리 온도를 증가함에 따라 백금의 피크치가 두드러졌으나, 그 이상의 열처리 온도에서는 줄어든 잔여 피크치들이 다시 나타났고  $Al_2O_3$  성분의 피크치들이 더욱 두드러져 기판에 막이 없는 island가 형성되어 박막의 특성이 파도한 열처리에 의해 저하됨을 알 수 있었다.

그림 6은 Pt-Co 합금박막을 두께 1700, 3000, 7000, 10000Å으로 증착한 후, 900, 1000, 1100℃

그림 4. 두께가 10000Å인 Pt-Co 합금박막을 (a) 900℃, (b) 1000℃, (c) 1100℃에 따른 SEM 사진(열처리 시간 : 60분).

Fig. 4. SEM pictures of Pt-Co alloy thin-films with annealing at (a) 900℃, (b) 1000℃, (c) 1100℃ of annealing temperature for 60 min.

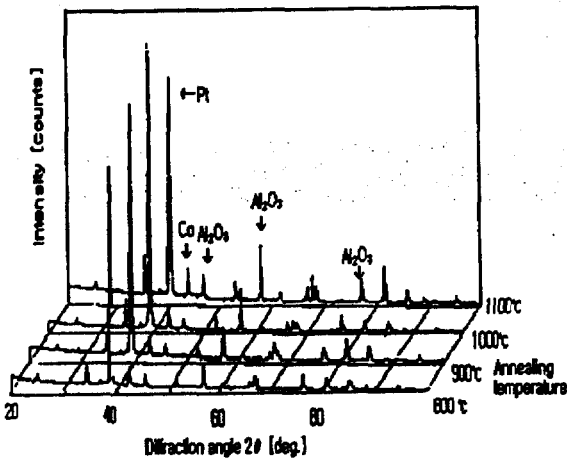


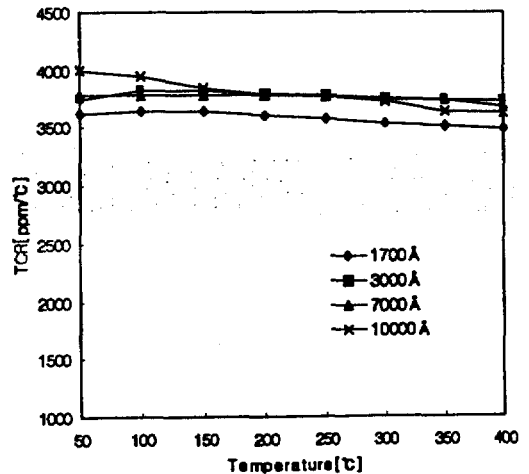
그림 5. 열처리 온도에 따른 Pt-Co 합금박막의 회절패턴.

Fig. 5. XRD patterns of Pt-Co alloy thin-films with annealing temperature.

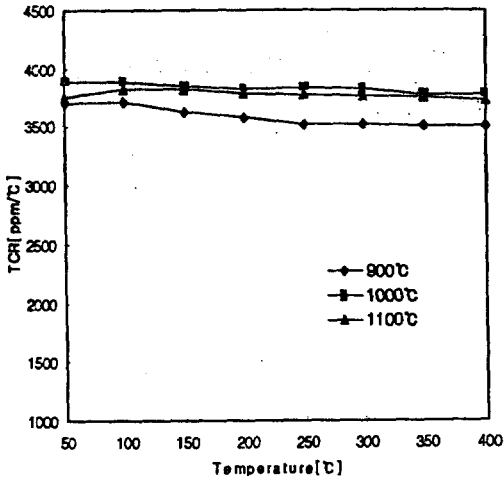
에서 각각 60분간 열처리한 Pt-Co 합금박막형 측은저항체 온도센서의 두께 및 열처리 온도에 따른 TCR 값을 상온에서 400℃까지 각각 측정하여 나타낸 것이다. TCR값은 Lenton사에서 제작된 furnaces를 사용하여 질소분위기에서 온도변화에 따른 저항변화 값으로 측정하였다. (a)는 열처리 온도가 1000℃일 때 박막두께에 따른 TCR값의 변화이고, (b)는 박막 두께가 3000Å일 때 열처리 온도 변화에 따른 TCR 값의 변화이다.

박막의 두께가 7000Å이며 열처리 온도 1000℃ 이

상에서는 Pt-Co 합금박막형 측은저항체 온도센서의 TCR값은 증가하지만, 선형성이 크게 떨어진다. 또한, 3000Å 이하의 박막에서는 island 및 hole때문에 충분한 열처리를 못하므로 Pt-Co 박막의 구조적, 전기적으로 안정한 박막을 얻을 수 없었다. 따라서, 박막두께가 3000Å, 열처리 온도가 1000℃일 때, Pt-Co 합금박막형 측은저항체 온도센서의 TCR값은 가장 선형적이고 안정적이었으며, 백금 벌크의 TCR 값인 3825 ppm/℃ 보다 높은 3890 ppm/℃ 값을 가졌다. 그림 7은 두께가 3000Å 증착된 Pt-Co 합금박막형 측은저항체 온도센서의 Co 입력 power에 따른 TCR값의 변화를 나타낸 것이다. 단위면적당 입력 power를 높여 줄수록 TCR값이 높아짐을 알



(a)



(b)

그림 6. Pt-Co 합금박막형 축은저항체 온도센서의 (a) 박막두께 및 (b) 열처리 온도에 따른 TCR 변화.

Fig. 6. Variations of the TCR of Pt-Co alloy thin-film RTD's with (a) thin-film thickness and (b) annealing temperature.

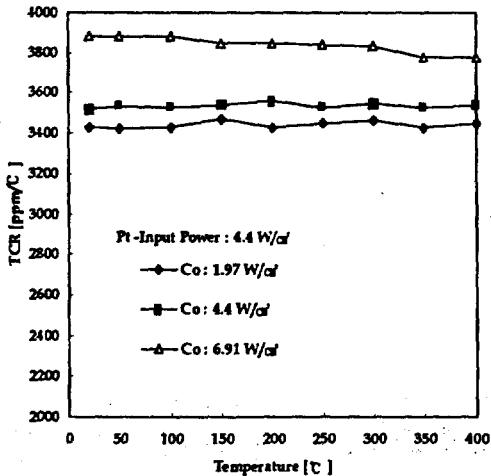


그림 7. Co 입력 power에 따른 TCR값의 변화  
Fig. 7. Variations of the TCR Pt-Co alloy thin-film RTD with Co input power.

수 있다. 따라서, Co의 첨가가 많아 질수록 TCR값이 높아짐을 알수 있지만, 단위면적당 6.91 W/cm<sup>2</sup> 이

상의 입력 power에서 증착시 reflected wave가 높아져 플라즈마가 형성되지 않았다. 또한, Co의 첨가가 단위면적당 6.91 W/cm<sup>2</sup>일 때 1.1 %로 낮게 분석되었다. 따라서, 합금타겟을 사용한다면 더 양호한 TCR값을 갖는 RTD를 제작할 수 있을 것으로 기대된다.

그림 8은 3000Å와 10000Å 두께를 갖으며 동일한 열처리 조건(1000°C, 60분)에서 각각 제작한 백금 박막형과 Pt-Co 합금박막형 축은저항체 온도센서의 TCR값 변화를 각각 나타낸 것이다. 일반적으로 백금의 경우, 박막두께가 1 μm 이상에서는 TCR값이 백금의 벌크(3825 ppm/°C)에 가까운 값을 얻으며 온도에 따른 저항 변화율도 상당히 우수한 특성을 가진다[7]. 그러나, Pt-Co 합금박막형 축은저항체 온도센서와 비교해 볼때, TCR값과 선형성이 떨어짐을 알 수 있다. 또한, 3000Å와 10000Å 두께를 갖는 Pt-Co 합금박막형 축은저항체 온도센서의 TCR값을 비교하며, 3000Å일 때 더욱 우수한 직선성을 나타내므로 큰 저항값을 갖는 RTD 제작이 용이함을 알 수 있다.

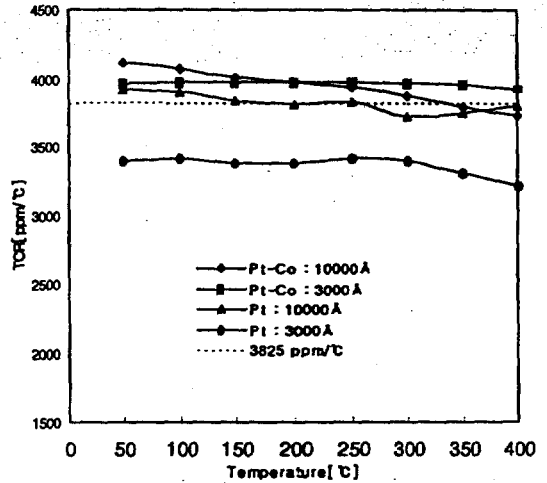


그림 8. 박막 두께에 따른 백금 박막형과 Pt-Co 합금박막형 축은저항체 온도센서의 TCR 변화.

Fig. 8. Variations of the TCR of Pt thin-film RTD and Pt-Co alloy thin-film RTD with thin-film thickness, respectively.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 Pt-Co 합금박막을 99.99 % 고순

도 Pt, Co 타겟을 이용하여 알루미늄 기판위에 고주파 코스퍼터링법으로 증착하였다. 최적증착조건하에서 형성된 Pt-Co 합금박막의 두께 및 열처리 온도에 따른 전기적, 물리적 특성을 분석하였다. 그리고, lift-off 방법으로 제작된 Pt-Co 합금박막형 축은저항체 온도센서의 특성을 열처리 조건과 박막두께에 따른 TCR값을 분석하고, 백금 박막형 축은저항체 온도센서와 비교·분석하였다. Pt-Co 합금박막 증착 후 열처리를 함으로써 결정립의 성장으로 전기적, 물리적으로 안정된 박막을 얻을 수 있었다. 열처리 온도가 증가할수록 Pt-Co 합금박막의 물리적 특성이 개선되었으며, Pt-Co 합금박막을 1700, 3000, 7000, 10000Å을 각각 증착하고, 900~1100℃의 열처리 온도에 따른 축은저항체 온도센서의 특성을 분석한 결과, 3000Å, 1000℃, 60분에서 열처리를 행한 Pt-Co 합금박막형 축은저항체 온도센서의 TCR값이 가장 안정적이었다. 따라서, 본 연구를 통하여 Pt-Co 합금박막형 축은저항체 온도센서는 소형, 경량, 고분해 능력을 갖는 축은저항체 온도센서로서 유용하게 사용가능한 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

[1] G. C. M Meijer and C. H. Voorwinder, "A Novel Bi CMOS Signal Processor for Pt-100 Temperature Sensors with Microcontroller Interfacing", *Sensors & Actuators A*, vol. 25, pp. 613-620, 1991.

- [2] G. S. Chung and S. S. Noh, "The Study on Formation of Platinum Thin-Films for RTD Temperature Sensors", *KIEEME*, vol. 9, pp. 911-917, 1996.
- [3] T. Shiratori, K. Mistsui, K. Yangishawa and S Kobayasi, "Temperature its Measurement and Control", in *Science and Industry 5*, Schooley, J. F.(ed) : New York : American Institute of Physics, Part 1, pp. 839-843, 1982.
- [4] G. S. Chung and S. S. Noh, "The Study on Depositon and Characteristics of Pt-Co Alloy thin Films for RTD Temperature Sensors", *Korea Sensors Society*, vol. 7, no. 1, pp. 45-49, 1998.
- [5] H. Yongde, C. Lujin, L. Hong and G. Shuping, "NTC Thermally Sensitive Powder Materials for Thick-Film Thermistors", *Sensors & Actuators A*, vol. 35, pp. 269-272, 1993.
- [6] P. Ciureanu, "Thin Film Resistive Sensors", *Institute of Physics Publishing*, pp. 214-252, 1991.
- [7] G. S. Chung and S. S. Noh, "The Study on Characteristic of Platinum Thin-Film RTD Temperature Sensors with Annealing Conditions", *Korea Sensors Society*, vol. 2, no. 2, pp. 81-86, 1997.