

백금박막 측온저항체 온도센서의 개발

The Development of Platinum Thin Film RTD  
Temperature Sensors

노상수\*, 최영규, 정귀상  
동서대학교 전자기계공학부

Sang-Soo Noh\*, Young-Kyu Choi, Gwi-Sang Chung  
Division of Electronics and Mechanical Engineering  
Dongseo University

Abstract

Platinum thin films were deposited on  $Al_2O_3$  substrate by DC magnetron sputtering for RTD (Resistance Thermometer Devices) temperature sensors. We made Pt resistance pattern on  $Al_2O_3$  substrate by lift-off method and fabricated Pt-RTD temperature sensors by using W-wire, silver epoxy and SOG(spin-on-glass). In the temperature range of 25~400°C, we investigated TCR(temperature coefficient of resistance) and resistance ratio of Pt-RTD temperature sensors. TCR values were increased with increasing the annealing temperature, time and the thickness of Pt thin films. Resistance values were varied lineally within the range of measurement temperature. At annealing temperature of 1000°C, annealing time of 240min and thin film thickness of 1 $\mu$ m, we obtained Pt-RDT TCR value of 3825ppm/°C closed to the Pt bulk value.

I. 서론

일상생활뿐 만 아니라 모든 산업분야에 있어서 열의 역할이 매우 중요하기 때문에 온도를 정확히 측정하기 위한 노력은 오랫동안 지속되고 있다. 최근 자동차 및 메카트로닉스 산업분야에 고정밀, 고성능, 소형, 고감도 온도센서가 절실히 요구되고 있다. 현재 널리 사용되고 있는 온도센서는 측정원리에 따라 써미스터(Thermistor), 열전쌍(Thermocouple), 반도체형, 측온저항체(RTD : Resistance Thermometer Device)등 여러 종류가 있다.<sup>[1-2]</sup> 이 중에서도 온도에 따른 금속의 전기저항의 변화를 측정함으로써 온도를 측정하는 측온저항체는 다른 형태들에 비해 호환성, 안정성, 감도, 선형성 그리고 사용 가능한 온도 범위가 넓지만 소형화가 어렵고 기계적 충격이나 진동에 약하며 고가라는 단점을 갖고 있다. 특히 Pt-RTD는 저항의 온도계수가 크고 직선성이 우수하고 넓은 온도 범위에서 안정하기 때문에 백금 코일을 이용한 운모형, 세라믹형, 유리형 등이 실용화되고 있지만, 고순도의 Pt 코일을 이용하기 때문에 기계적 특성이 나쁘며, 코일제작 및 몰딩에

은 시간이 소요되고, 소형화가 불가능하며 고가인 단점을 가지고 있다. 그러나, 박막형 Pt-RTD는 이와 같은 문제점을 해결할 수 있으며 소형화, 고속응답, 저가격화가 가능하다.<sup>[3]</sup> 본 연구에서는 DC 마그네트론 스퍼터링법으로 증착시킨 백금박막을 이용하여 제작된 백금박막 측온저항체 온도센서를 열처리 조건에 따른 저항, 저항온도계수(TCR : temperature coefficient resistance) 그리고 온도에 따른 저항 변화율( $R(t)/R(0)$ )을 조사하였다.

## II. 실험 방법

### 1. 백금박막의 증착

본 실험에서는 99.99% 고순도 백금 타겟을 사용하여 알루미늄( $Al_2O_3$ ) 기판위에 DC 마그네트론 스퍼터링법으로 박막을 증착시켰다. 기판과 타겟의 거리는 4.5cm이고, 99.99% 고순도 Ar 가스를 사용했으며, 주입되는 유속은 80sccm으로 고정하였다. 양호한 박막을 얻기 위해  $1 \times 10^{-6}$ Torr 이하까지 초기 진공을 만든 후 Ar 가스를 주입하여 플라즈마를 발생시켰다. 본 스퍼터링 전에 예비 스퍼터를 하여 타겟 표면의 산화 및 오염물질을 제거하며 잔류가스의 방출 및 플라즈마를 안정시켰다. 백금박막 증착조건은 도표 1과 같다.

Table 1. Deposition conditions of Pt thin films

Target	Pt ( size : 2" diameter )
Substrate	$Al_2O_3$
Target-substrate distance	4.5 cm
Substrate temperature	Room temperature
Sputtering gas	Ar
Gas flow rate	80 sccm
Initial vacuum	$1.0 \times 10^{-6}$ Torr
Working vacuum	3~7 mTorr
DC power density	4~13 W/cm <sup>2</sup>

### 2. 백금박막 측온저항체 온도센서의 제작

DC 마그네트론 스퍼터링법으로 최적의 증착조건하에서 백금박막을 증착시킨 후 lift-off 방법으로 백금박막 저항체를 제작하였다.<sup>[4]</sup> 그림 1은  $Al_2O_3$  기판위에 제작된 백금 저항체의 광학현미경 사진으로 선폭은 50  $\mu m$ 이다. Silver epoxy를 이용하여 W-wire를 bonding 하였으며 SOG (spin-on-glass)를 spin coating시킨 후 공기 중에서 100 $^{\circ}C$ (5분), 200 $^{\circ}C$ (60분), 350 $^{\circ}C$ (60분) 그리고 500 $^{\circ}C$ (60분)에서 순차적으로 baking하여 passivation막으로 이용하였다.

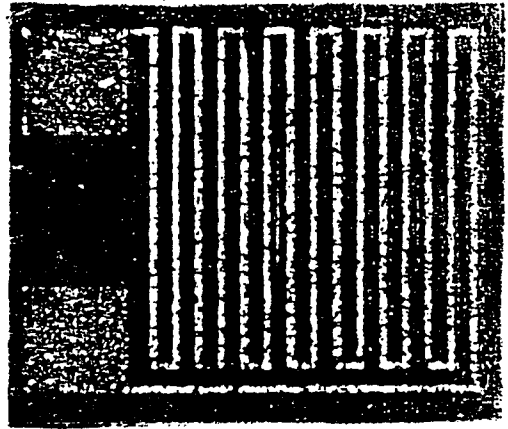


Fig. 1. Pt resistance pattern on  $Al_2O_3$  Substrate

### III. 결과 및 고찰

본 실험에서 백금박막의 결정화를 위한 후열처리는 quartz tube furnace를 이용하여  $N_2$  분위기에서 행해졌다. 열처리를 함으로서 전기적으로 불안한 상태나 구조적으로 갈라진 틈 사이가 밀착되어 비틀림(distortion)들이 줄어들고 결정립(grain) 크기가 커짐에 따라 단결정(single crystalline) 성장을 촉진시켜 전기적으로 양호한 특성을 얻을 수 있게 된다.<sup>[5]</sup>

그림 2는 최적 증착조건하에서 4000A 두께로 증착된 백금박막을 이용하여 제작된 백금박막 저항체의 열처리 온도에 따른 TCR 변화를 나타낸 것이다. 열처리

를 해 줌으로 백금박막의 전기적, 구조적 결점들이 줄어들게 되어 TCR값이 상당히 증가되고 있음을 볼 수 있으며 백금박막의 열처리 특성 분석에서 열처리 온도가 증가할수록 박막의 전기적 특성(면저항, 비저항)이 향상되는 사실에서 알 수 있듯이 TCR값 역시 열처리 온도가 증가할수록 더욱 증가하고 있음을 볼 수 있다.

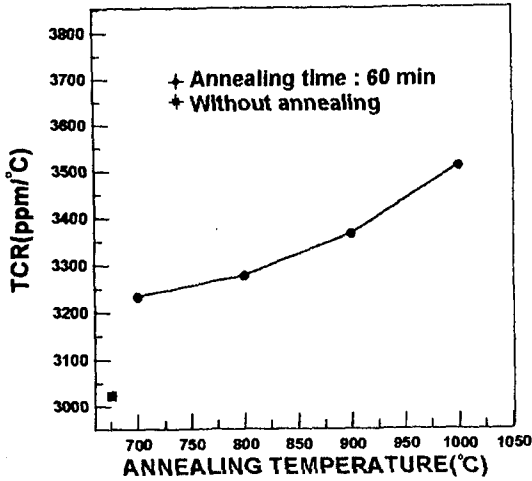


Fig. 2. Variations of the TCR of Pt-RTD temperature sensor with increasing annealing temperature(700~1000°C) for 60min

그림 3은 최적 증착조건하에서 4000Å 두께로 증착된 백금박막을 이용해 제작된 백금박막 저항체의 1000°C에서 열처리 시간에 따른 TCR값 변화를 나타낸 것이다. 열처리 시간이 길어짐에 따라 단결정 성장을 촉진시켜 백금박막이 전기적으로 양호한 특성을 나타내듯이 백금박막 저항체의 TCR값 분석에서도 열처리 시간이 증가할수록 그 값이 증가되고 있음을 알 수 있다.

얇은 금속박막은 내부에 많은 구조적 결함이나 결정입계가 존재해서 전자가 산란되고 또한 박막표면 자체도 산란의 커다란 영향이 되므로 금속의 bulk 특성과 다른 값을 보이게 된다. 백금의 경우 bulk 특성을 나타내는 최소 두께는 1 $\mu$ m 정도로 알려져 있는데<sup>[6]</sup> 그림 4에서 TCR값 변화가 두께가 증가할수록 급격히

증가하다가 1 $\mu$ m 이상에서 일정한 값이 나타나는 본 연구의 결과와 잘 일치함을 알 수 있다.

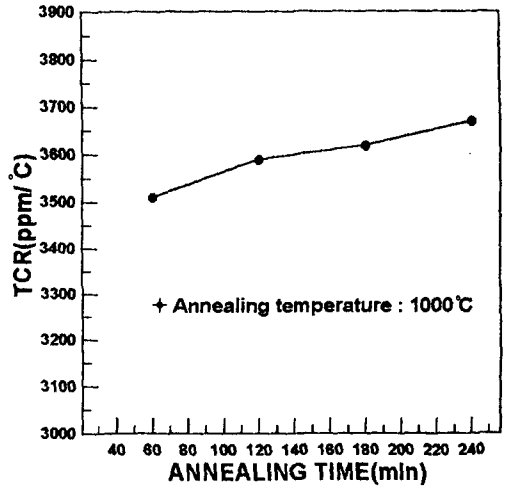


Fig. 3. Variations of the TCR of Pt-RTD temperature sensor with increasing annealing time at 1000°C

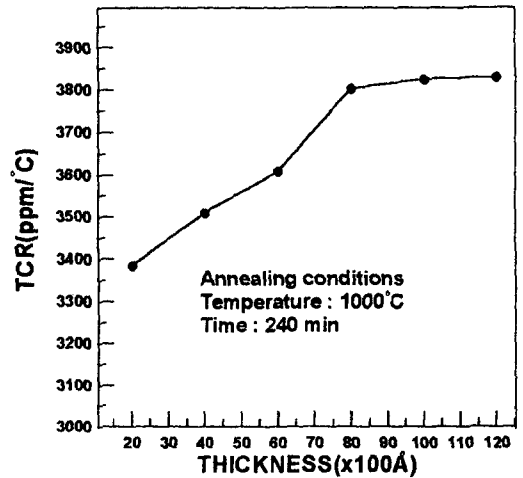


Fig. 4. Variations of the TCR of Pt-RTD temperature sensor with increasing thickness of Pt thin films

그림 5는 TCR값이 각각 3825ppm/°C, sample 1과

3510ppm/°C인 sample 2인 백금박막 측온저항체 온도 센서의 온도 변화에 따른 저항 변화율을 나타낸 것이다. Sample 1, sample 2의 TCR값의 표준편차는 각각 20.1, 19.6ppm/°C로 양호하게 나타났으며 그림에서 알 수 있듯이 온도에 따른 저항 변화는 상당히 우수한 직선성을 나타내고 있다.

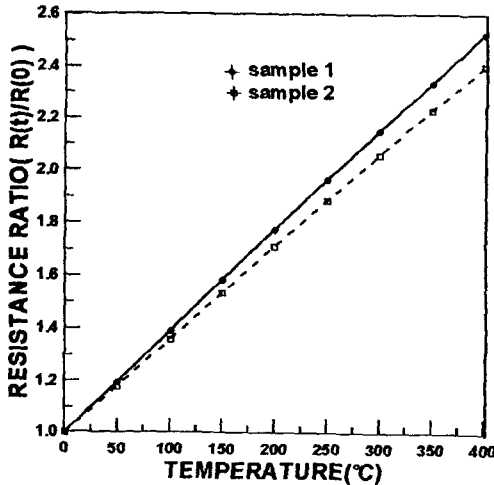


Fig. 5. Resistance ratio(  $R(t)/R(0)$  ) of Pt-RTD temperature sensor with increasing temperature

#### IV. 결 론

본 연구에서는 DC 마그네트론 스퍼터링법으로 백금박막 최적 형성 조건하에서 백금박막 측온저항체 온도 센서를 제작한 후 열처리 온도, 시간 그리고 박막의 두께에 따른 특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 열처리 시간 및 온도가 증가할수록 백금박막 저항체의 TCR값이 상당히 증가함을 알 수 있었다.
- ② 백금박막의 두께가 증가할수록 저항체의 TCR값은 상당히 큰 변화를 보였으며 박막 두께 1 $\mu$ m에서 TCR값이 3825ppm/°C로 백금의 bulk에 가까운 값을 얻었으며 1 $\mu$ m 이상의 두께에서 TCR값의 변화

는 없었다.

- ③ TCR값이 각각 3825ppm/°C, sample 1과 3510ppm/°C인 sample 2인 백금박막 저항체의 온도에 변화에 따른 TCR값의 표준편차는 각각 20.1, 19.6ppm/°C로 온도에 따른 저항변화가 상당히 우수한 직선성을 나타내었다.

#### V. 참 고 문 헌

- [1] G. C. M Meijer and C. H. Voorwinder, A Novel BiCMOS Signal Processor for Pt 100 Temperature Sensors with Microcontroller Interfacing, Sensors and Actuators A, 25, 613-620 (1991).
- [2] P. P. L. Regtien, Linearization Circuit and Method, Patent Applic. PCT IE/89/00865 (Feb, 1990).
- [3] T. D. McGee, Principles and Methods for Temperature Measurement, Wiley, New York (1988).
- [4] 정귀상, 노상수, 측온저항체 온도센서용 백금박막의 증착과 그 특성, 한국전기전자재료학회 춘계학술대회 논문집, 224-227 (1996).
- [5] H. Yongde, C. Lujin, L. Hong and G. Shuping, NTC Thermally Sensitive Powder Materials for Thick-Film Thermistors A, 35, 269-272 (1993).
- [6] R. D. Baxter and P. J. Freud, Thin Film Resistance Thermometer Device with A Predetermined Temperature Coefficient of Resistance and Its Method of Manufacture, USA patent no. 4375056 (1980).