

## 온도센서용 Pt 박막 측온저항체의 전기적 특성에 관한 연구

문중선, 정광진, 최성호, 조동율, 친희곤

울산대학교 재료·금속 공학부

### A Study on the Electrical Properties of Pt Thin Film RTD for Temperature Sensor

J. S. Moon, K. J. Jeong, S. H. Choi,  
T. Y. Cho, H. G. Chun

School of Materials Science and Metallurgical Engineering,  
University of Ulsan, Ulsan. 680-749, Korea

#### Abstract

Pt thin film of about 7000 Å thickness was deposited on the alumina substrate using DC Magnetron Sputter and the characteristics of the film for temperature sensor were investigated. When film of about 7000 Å thickness was deposited at working gas pressure of  $2.0 \times 10^{-3}$  torr, sputtering power of 50W, substrate temperature of 350 °C (Ts), sheet resistance (Rs), resistivity ( $\rho$ ) and temperature coefficient of resistivity (TCR) of the film were respectively  $0.39 \Omega/\square$ ,  $27.60 \mu\Omega\text{-cm}$  and  $3350 \text{ppm}/^\circ\text{C}$ . When the film was annealed at 1000 °C for 240min in hydrogen ambient, Rs,  $\rho$  and TCR were respectively  $0.236 \Omega/\square$ ,  $15.81 \mu\Omega\text{-cm}$  and  $3716 \text{ppm}/^\circ\text{C}$ . When working gas of 15sccm oxygen and 100sccm Argon were used, Rs,  $\rho$  and TCR were respectively  $0.335 \Omega/\square$ ,  $22.45 \mu\Omega\text{-cm}$  and  $3427 \text{ppm}/^\circ\text{C}$ . When the film was annealed at 1000 °C for 240min, Rs,  $\rho$  and TCR were respectively  $0.224 \Omega/\square$ ,  $14 \mu\Omega\text{-cm}$  and  $3760 \text{ppm}/^\circ\text{C}$  and the characteristics of the film were much improved.

#### 1. 서 론

센서기술은 2000년대 첨단산업의 발전에 가장 중요하고 필수적인 기술이다. 전자기기나 자동차 또는 산업용 대형 system에 이르기까지 고성능, 고기능화가 이루어지고 있는데, 이 중에서 가장

중요한 역할을 하고 있는 것이 센서이다. 최근, 센서에 대한 기술개발 동향은 모든 전자부품의 경박단소화의 추세에 따라 종래의 벌크형 센서에 비하여 다기능 적이며 소형화된 박막형 센서 개발에 집중하고 있다. 현재, 온도를 측정하기 위한 온도 센서에는 측정원리에 따라 써미스터 (Thermister),

열전쌍(Thermocouple), 반도체형 측온저항체(RTD : Resistance Thermometer Device) 등 여러 종류가 있다.<sup>4-7)</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 우수하며 넓은 온도범위에서 안정하기 때문에 백금코일을 이용한 운모형, 세라믹형, 유리형 등이 실용화되고 있지만, 고순도의 백금코일을 이용하기 때문에 기계적 특성이 나쁘며, 코일제작 및 물딩에 많은 시간이 소요되고, 소형화가 불가능하며 고가인 단점을 가지고 있다. 그러나, 박막형 Pt-RTD는 이러한 문제점을 해결할 수 있으며 정밀특성, 정밀계측 특성, 안정성이 우수하며, 고속응답, 저가격화가 가능하다는 장점이 있다.

따라서, 본 연구에서는 박막 증착변수, 열처리, 증착환경 변화에 따른 백금 측온 저항체의 전기적 특성을 연구하였다.

## 2. 실험방법

본 실험은 자체 설계제작한 DC마그네트론 스피터링 장비를 사용하였다(Fig. 1) 본 실험에서는 표면 거칠기가 2000 Å 이내이고 5mm 두께의 99.6%의 알루미늄을 기판으로 사용하였으며, 타겟(target)은 순도 99.999%의 백금타겟을 사용하였다. 시편의 크기는 50×50×0.5mm<sup>3</sup>의 알루미늄 기판을 사용하였으며, Pt박막 증착후 다시 5×10mm<sup>2</sup> 소자로 컷팅하였다. 타겟과 기판의 거리는 9cm였으며, Ar가스는 순도 99.999%의 고순도 가스를 사용하였으며, 주입되는 가스유량은 100sccm으로 고정시켰다. 양질의 박막을 얻기 위하여 초기진공도를 5×10<sup>-7</sup> torr까지 빼기시켰으며, 타겟 표면의 산화물 및 오염원을 제거하기 위하여 약 5분간 Pre-Sputter-

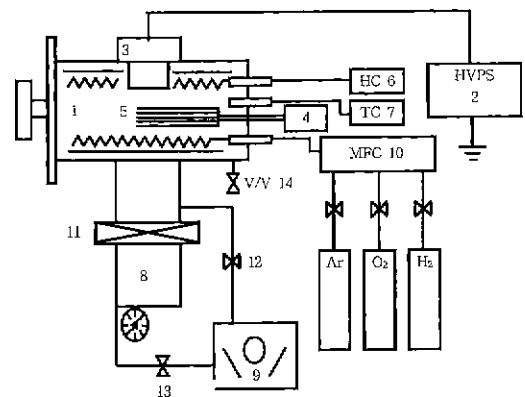
ing을 실시하여 순수한 Pt 박막을 얻고자하였다. Pt박막을 증착시킨후 30μm의 미세한 패턴을 사용하여 레이저 식각 과정을 거쳤으며, 마스크를 사용하여 박막을 증착시켜 소자를 제조하였다. 또한 특성측정을 위한 리드선(lead wire)으로는 반도체용 패키지를 사용하였으며, 소자와 패키지의 연결은 20μm의 Gold wire를 압착하여 연결한 후 박막의 전기적 특성을 측정하였다. 전체 실험 공정은 Fig. 2에 나타내었다.

Ar과 Ar:O<sub>2</sub> 혼합가스를 사용하여 증착한 Pt 박막의 특성과 열처리에 따른 Pt 박막의 전기적 특성의 관찰 그리고 열처리에 의한 입자성장 거동은 SEM을 통하여 관찰하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3. 1. 증착물

Pt박막 증착시 단차를 형성하여 α-step으로 박막의 두께를 측정하였다. Fig. 3은 Ar유량 증가에 따른 Pt박막의 증착율을 나타낸 것이다. 상온에서 Ar의 유량을 100, 250, 500sccm으로 30분간 흘



1 Chamber 2 High Voltage Power Supply 3 Target 4 Motor  
5 Barrel 6 Heater 7 Temp Gauge 8 Cryo Pump  
9 Rotary Pump 10 MFC 11 Main Valve 12 Rough Valve  
13 Foreline Valve 14 Venting Valve

Fig 1 Schematic diagram of the DC Magnetron Sputtering System

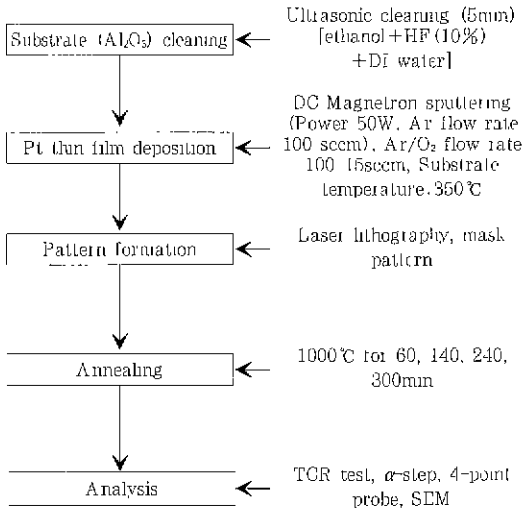


Fig 2 Flow chart of experiment

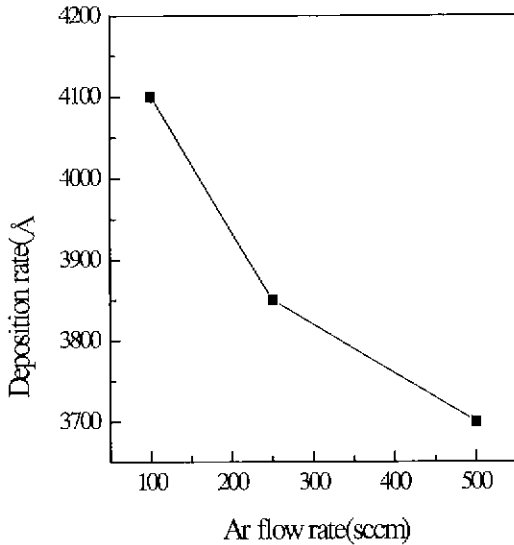


Fig 3 Deposition rate with increasing Ar flow rate at substrate temperature of 25°C

렸을 때 박막의 두께는 4100, 3850, 3700 Å 감소하였다. 이는 Ar 유량의 증가에 따라 스퍼터된 Pt 원자들과 Ar간의 산란도가 증가하기 때문인 것으로 사료된다. Fig. 4는 입력 Power증가에 따른 두께의 변화를 나타낸 것이다. 상온에서 작업 가

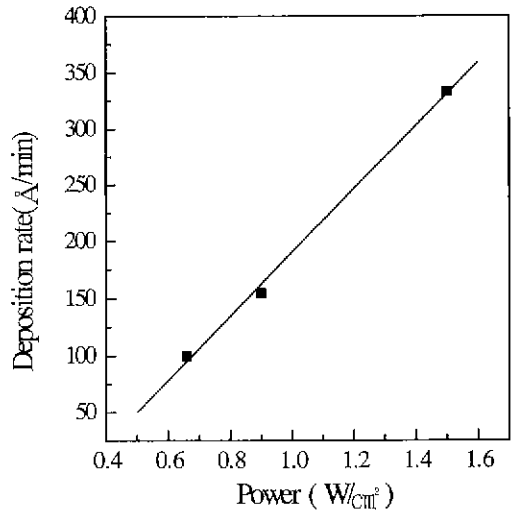


Fig 4 Deposition rate with increasing sputtering power at substrate temperature of 350°C

스 압력이 2 mtorr에서 Power를 증가시켰을 때 박막의 두께는 비례하여 증가하였다. 이것은 입력 Power가 증가함에 따라 Ar이온의 평균 이온에너지가 증가하여 Sputter된 Pt원자의 양이 증가한 것으로 사료된다.

### 3. 2. Pt박막의 전기적 특성

Ar유량의 증가에 따라 Pt 박막의 증착율은 감소하였으나(Fig. 3). 비저항, 면저항값은 증가하였다(Fig. 5).

Fig. 6, 7은 Ar유량 100sccm에서 기판온도를 변화시키면서 두께 7000Å으로 증착된 Pt박막의 비저항, 면저항과 TCR을 나타낸 것이다. 기판온도가 증가할수록 전기적 특성이 양호한 박막을 형성할 수 있었는데 이는 기판온도가 증가함에 따라 결정립이 커지고 결함이 적은 막이 형성되어 낮은 비저항과 면저항 그리고 큰 TCR 특성을 나타낸 것이다.

본 실험에서는 Pt박막의 기공과 결함들의 소멸 그리고 결정립의 성장을 통해 좋은 전기적 특성을 얻기 위하여 열처리를 행하였다. 열처리는 알루미늄 나관상로를 사용하여 수소 분위기, 1000°C에서 60~300분 실시하였다

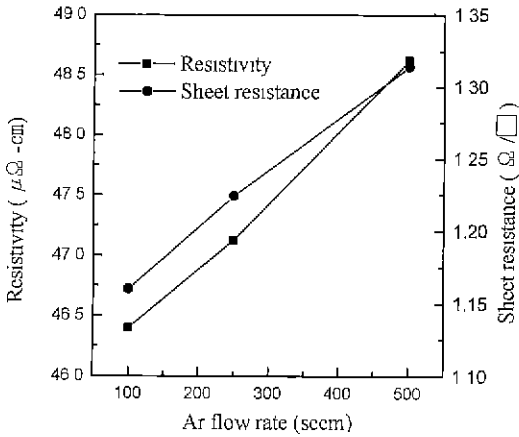


Fig 5 Resistivity & sheet resistance of Pt thin films deposited with increasing Ar flow rate for 30min at substrate temperature of 25°C

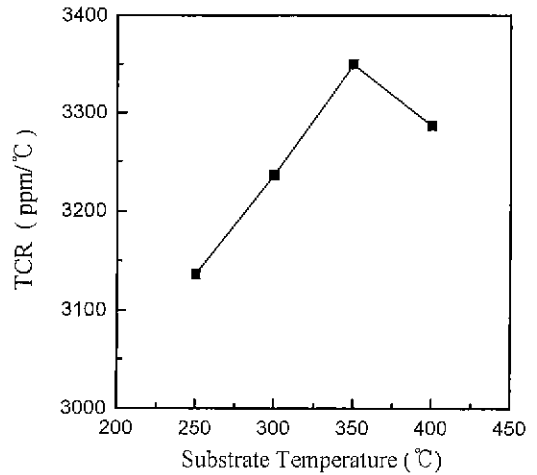


Fig 7 TCR of Pt thin films of 7000Å thickness deposited at various substrate temperature

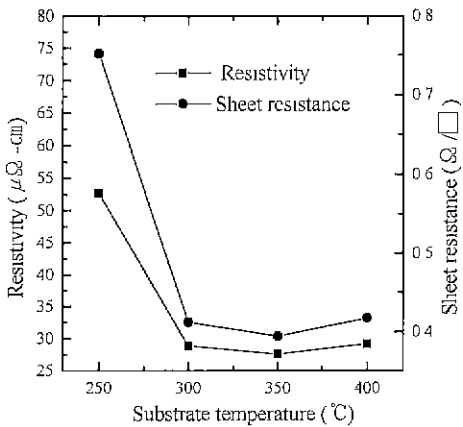


Fig. 6 The resistivity & sheet resistance of Pt thin films of 7000Å thickness deposited at various substrate temperature

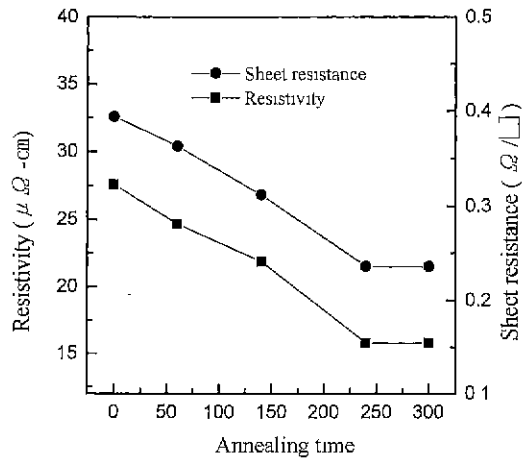


Fig 8 The resistivity & sheet resistance of Pt thin films(7000Å) with increasing annealing time (Ta=1000°C, hydrogen ambient)

Fig. 8은 작업 가스를 Ar가스만 사용하여 기판 온도 350°C에서 7000 Å의 두께로 Pt 박막을 증착시킨 후 1000°C (Ta)에서 열처리 시간의 변화에 따른 박막의 비저항 면저항 변화를 나타낸 것이다. 열처리 시간이 증가함에 따라서 비저항과 면저항 값이 감소하였으며, 240분 열처리하였을 때 박막의 비저항은 15.81 μ-cm로 나타났다. 이는 열처리 시간이 증가함에 따라 기공의 소멸과 결정립

의 조대화로 전기적 특성이 양호한 박막을 얻을 수 있었기 때문이다.

Fig. 9는 입력 power가 50W, Ar유량이 100sccm (2mtorr)와 350°C의 기판 온도에서 약 7000 Å 두께로 증착된 Pt박막을 수소 분위기에서 1000°C로 열처리하였을 때 열처리 시간에 따른 TCR값의 변화를 나타낸 것이다. 열처리하지 않은

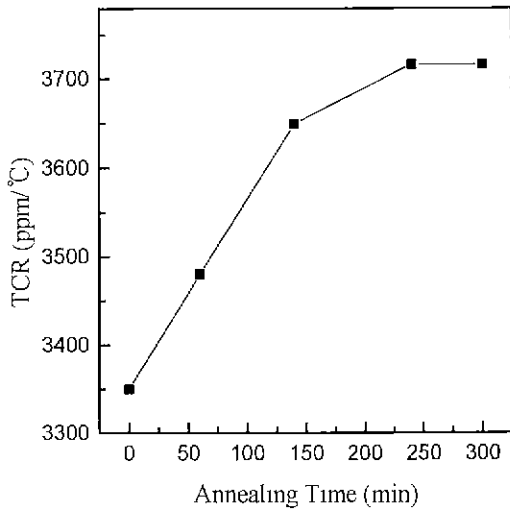


Fig 9 TCR of Pt thin films(7000Å) with increasing annealing time (Ta=1000°C, -hydrogen ambient)

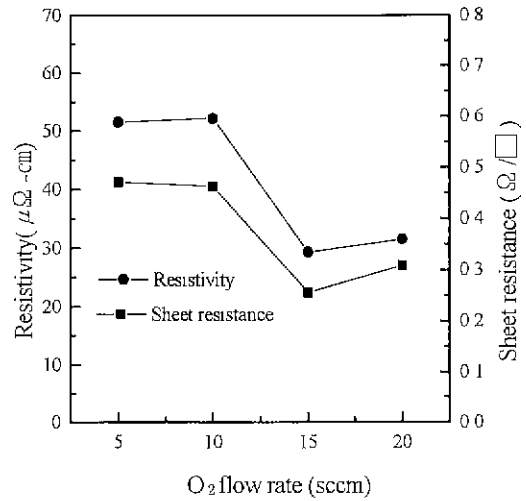


Fig 10 The resistivity & sheet resistance of Pt thin films at various O<sub>2</sub> flow rate(Ar 100sccm)

박막의 TCR값은 3350ppm/°C였으나, 1000°C, 240분에서 TCR값은 3716ppm/°C으로 증가하였다.

### 3. 3. O<sub>2</sub> 분압이 Pt 박막의 전기적 특성에 미치는 영향

본 실험에서는 작업가스 Ar내 산소 혼합비가 Pt박막에 미치는 영향을 알아보기 위하여 O<sub>2</sub>의 함량을 증가 시켰을 때 전기적 특성변화에 대하여 조사하였다.

Fig 10, 11은 입력 Power가 50W, 기판의 온도 350°C일 때 작업가스 Ar:O<sub>2</sub>의 혼합비가 다른 조건에서 약 7000Å으로 증착된 Pt박막의 전기적 특성 변화를 나타낸 것이다. 산소의 유량이 증가할수록 면저항 및 비저항은 감소하고(Fig. 10), TCR 값이 증가하는 경향을 나타내었고(Fig. 11), Ar : O<sub>2</sub>의 비율이 100 : 15(sccm)일 때 가장 좋은 TCR값 3427ppm/°C를 얻었다.<sup>8)</sup>

Fig. 12, 13은 입력 Power가 50W, 기판온도가 350°C, Ar : O<sub>2</sub>의 유량비가 100 : 15(sccm)에서 제조된 시편을 수소분위기, 1000°C에서 열처리 시간에 따른 Pt박막의 전기적 특성을 나타내었다.

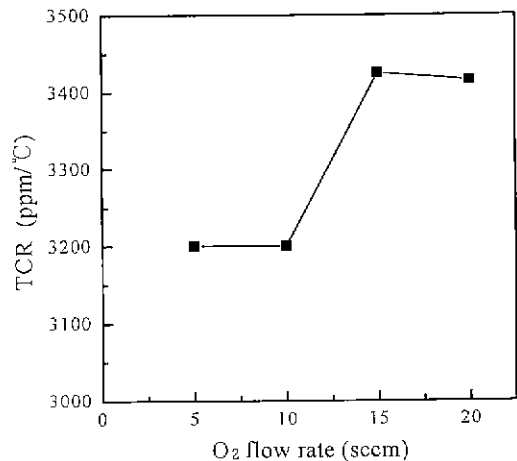


Fig 11 TCR of Pt thin films at various O<sub>2</sub> flow rate(Ar 100sccm)

열처리 시간이 증가할수록 면저항과 비저항은 감소하며(Fig. 12), TCR은 증가하는 경향을 나타내었으며(Fig 13), 열처리 시간이 240min때 가장 높은 TCR값 3760ppm/°C를 얻었다. 이는 열처리로 인하여 결정립이 크게 성장하고, 기공등의 결함이 줄어들기 때문인 것으로 사료된다(Fig. 14).

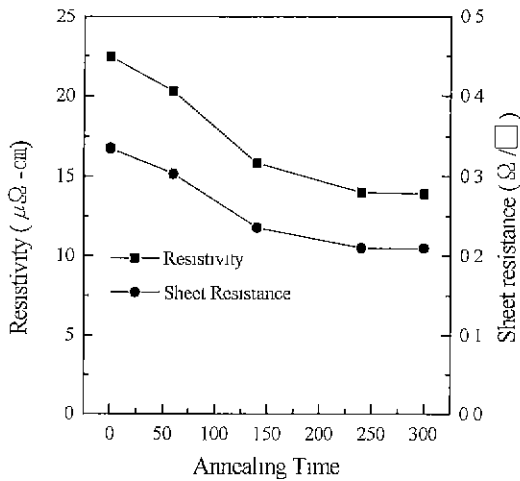


Fig 12 The resistivity & sheet resistance of Pt thin films with increasing annealing time (1000°C, Ar/O<sub>2</sub> flow ratio 100/15sccm)

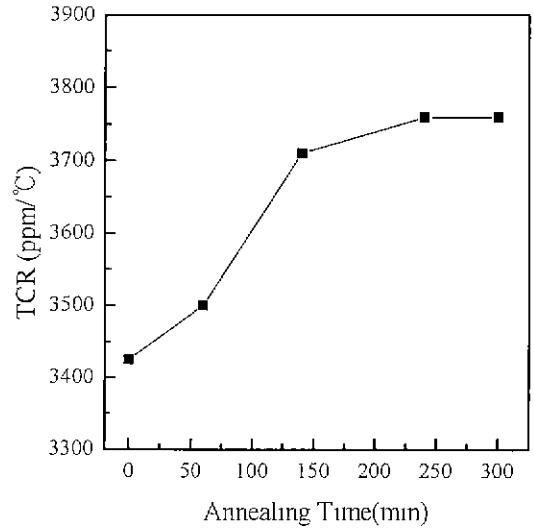
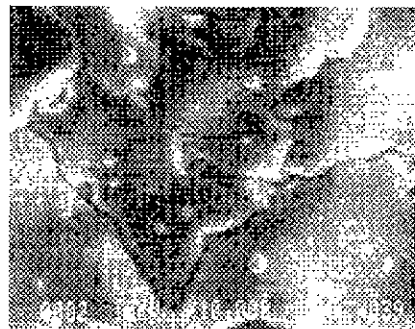


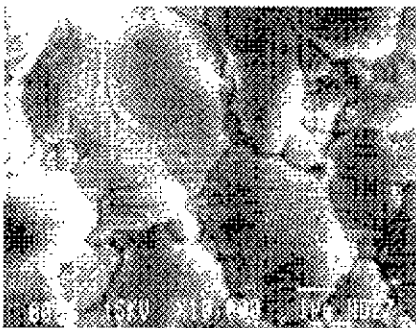
Fig 13 TCR with increasing annealing time at 1000°C and Hydrogen ambient, Ar/O<sub>2</sub> flow ratio 100/15sccm



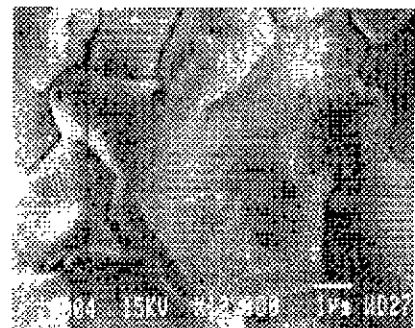
(a) as deposited



(b) 1000°C annealing (60min)



(c) 1000°C annealing (140min)



(d) 1000°C annealing (240min)

Fig 14 SEM surface morphology pictures of the Pt thin films