

측온저항체 온도센서용 Pt-Co 합금박막의 형성에 관한 연구

김서연, 노상수, 최영규, 정귀상
동서대학교 전자기계공학부

The Study on Formation of Pt-Co Alloy Thin Films for RTD Temperature Sensors

Seo-Yeoun Kim, Sang-soo Noh, Young-Kyu Choi, Gwi-Sang Chung
Division of Electronics and Mechanical Eng., Dongseo university

Abstract - Platinum-Cobalt alloy thin films were deposited on Al_2O_3 substrates by cosputtering for RTD temperature sensors. We made Pt-Co alloy resistance patterns on Al_2O_3 substrate by lift-off method and investigated the physical and electrical characteristics of these films under sputtering conditions (; the input power, working vacuum), annealing conditions (; temperature, time) and also after annealing these films. After the annealing treatment at $800^\circ C$ for 60min, the resistivity and sheet resistivity of Pt-Co thin films was $0.0302 \mu \Omega \cdot cm$ and $0.1 \Omega / \square$, respectively, and the TCR value of Pt-Co RTD was 3600ppm/ $^\circ C$ in the temperature range of $25 \sim 400^\circ C$. These results indicate that Pt-Co thin films have potential for the excellent RTD temperature sensors.

1. 서 론

현재 널리 사용되고 있는 온도센서는 측정원리에 따라 써미스터(thermistor), 열전쌍(thermocouple), 반도체형, 측온저항체(RTD : Resistance Thermo-meter Device)등 여러 종류가 있다. 이 중에서도 온도에 따른 금속의 전기저항의 변화를 측정함으로써 온도를 측정하는 측온저항체는 다른 형태들에 비해 호환성, 안정성, 감도, 선형성 그리고 사용 가능한 온도범위가 넓어 온도센서로 적합하다[1-2].

특히, Pt-RTD는 저항의 온도계수가 크고 직선성이 우수하며, 넓은 온도범위에서도 안정하다. 그러나 일반적으로 순수한 Pt를 사용한 측온저항체는 $-200^\circ C$ 이하와 $600^\circ C$ 이상의 온도에서 급격히 감도가 저하되기 때문에 미량의 불순물을 첨가한 각종 합금을 이용한 광대역용 측온저항체 온도센서에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[3]. 더구나 큰 저항값을 갖는 Pt-RTD 제작이 곤란하므로 시스템 자체의 구성이 복잡하다. 따라서 소형, 경량, 고분해능력을 갖으며 $-200^\circ C$ 에서 $800^\circ C$ 까지의 넓은 온도범위에서도 사용가능한 측온저항체 박막 온도센서가 요구되고 있다.

본 연구에서는 광대역 박막형 측온저항체 온도센서를 개발하기 위한 선행기초연구로써 증착조건(입력 power, Ar 가스압력) 및 열처리 조건(온도, 시간)에 따른 Pt-Co 합금박막의 물리적, 전기적 특성을 각각 분석·평가하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 99.99% 고순도 Pt, Co 타겟을 사용하여 Al_2O_3 (알루미나) 기판위에 코스퍼터링법으로 Pt-Co 합금박막을 증착시켰다. 기판과 타겟의 거리는 4.5cm이고, 99.99% 고순도 Ar 가스를 사용했으며, 양호한 박막을 얻기 위해 1×10^{-6} Torr 이하까지 초기진공을 만든 후 Ar 가스를 주입하여 플라즈마를 발생시켰다. 본 스퍼터링전에 예비 스퍼터를 하여 타겟표면의 산화 및 오염물질을 제거하며 잔류가스의 방출 및 플라즈마를 안정시켰다.

증착 및 고온 열처리 조건에 따른 Pt-Co 합금박막을 four-point probe와 α -step을 각각 사용하여 두께를 측정했으며, XRD, SEM을 사용하여 합금박막의 결정질과 미세표면구조를 분석하였다. 그리고 Pt-Co 합금박막 저항체의 TCR값은 항온항습조 내에서 $25^\circ C \sim 400^\circ C$ 의 온도범위에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 증착조건에 따른 박막의 특성분석

그림 1은 입력 power에 따른 특성은 Pt 증착 입력 power를 $4.4W/cm^2$ 로 고정된 후, Co 증착 입력 power의 증가에 따른 Pt-Co 합금박막의 비저항 및 면저항 변화를 나타낸 것이다. $1W/cm^2$ 에서 $24.9 \mu \Omega \cdot cm$ ($83.33 \Omega / \square$)인 Pt-Co 박막의 비저항(면저항)이 $3W/cm^2$ 에서는 $1.0152 \mu \Omega \cdot cm$ ($3.384 \Omega / \square$)로 감소하였다. 그러나 $3W/cm^2$ 이상의 입력 power에서는 박막의 비저항(면저항) 값이 오히려 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 입력 power가 증가함에 따라 지나치게 큰 운동에너지를 가진 입자의 부분적인 resputtering 현상으로 인한 surface mobility의 감소로 박막의 전기적 특성이 저하된다[4].

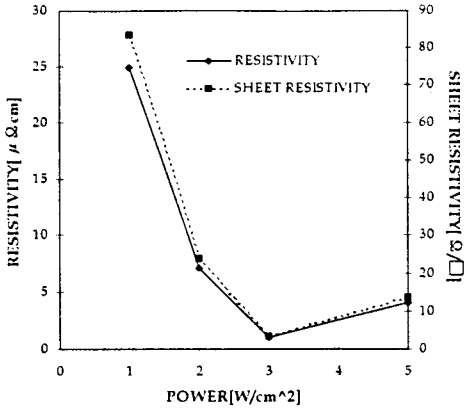


그림 1. 입력 power에 따른 Pt-Co 합금박막의 비저항 및 면저항 변화.

그림 2는 Ar 가스압력에 따른 Pt-Co 합금박막의 비저항 및 면저항의 변화를 나타낸 것이다. Ar 가스압력이 낮은 고진공의 경우 스퍼터링에 참여하는 Ar 이온의 수가 줄어들므로 인한 불안한 플라즈마 현상으로 박막의 전기적 특성이 저하되었으며, 반면에 지나치게 Ar 가스압력이 높은 경우에 스퍼터링에 참가하는 Ar 이온이 증가하는 반면에 타겟으로 떨어져 나온 입자들은 산란(scattering)되어 상실되거나 혹은 기관까지 충분한 운동에너지를 가지고 도달하지 못하므로 접착력(adhesion) 및 전기적 특성이 나쁜 박막이 형성되며, 또 Ar 가스압력 증가에 따라 상대적으로 불순물가스(잔류가스) 압력도 증가되어 증착된 박막에 좋지 못한 영향을 미친다[5].

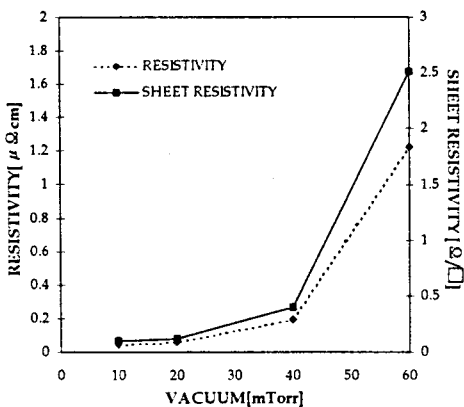


그림 2. 진공도에 따른 Pt-Co 합금박막의 비저항 및 면저항 변화.

본 실험에서는 진공도 : 10mTorr, 입력 power Pt : 4.4W/cm², Co : 3W/cm²에서 최적의 전기적 특성을 갖는 Pt-Co 합금박막을 얻을 수 있었다.

3.2 열처리 조건에 따른 박막의 특성분석

얇은 금속박막은 내부에 많은 구조적 결함이나 결정입계가 존재하여 전자가 산란되고 또한 박막표면 자체도 산란의 커다란 영향이 되어 전기적으로 불안한 구조를 갖게 되는데, 열처리를 함으로써 이러한 특성들을 개선시켜 전기적으로 안정된 박막을 얻을 수 있다.

그림 3은 열처리 온도에 따른 Pt-Co 합금박막의 비저항 및 면저항의 변화를 나타낸 것이다. 열처리 온도(600~800℃)가 증가할수록 박막 내부의 여러 구조적 결함들이 줄어들고 결정립이 커짐에 따라 박막의 비저항 및 면저항의 특성이 개선됨을 알 수 있다.

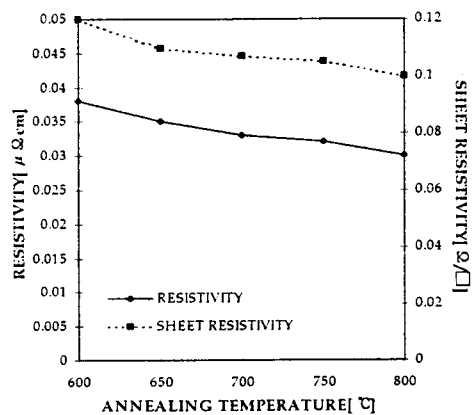
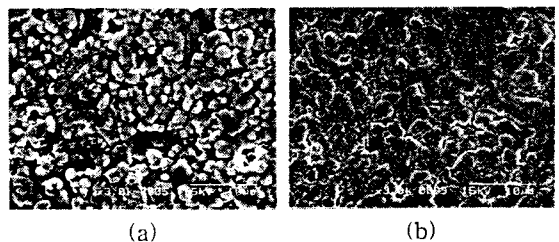
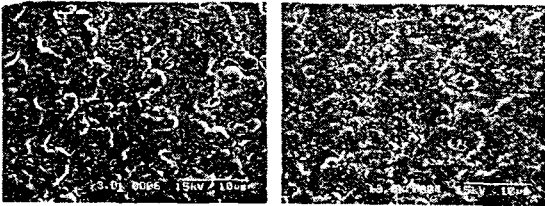


그림 3. 진공도 10mTorr에서 열처리 온도에 따른 비저항 및 면저항 변화.

본 실험에서 표면분석에 이용된 시료는 진공도 : 10mTorr, 입력 power Pt : 4.4W/cm², C : 3W/cm²에서 3000Å 두께로 증착된 Pt-Co 합금박막이 이용되었다.

그림 4는 Al₂O₃ 기판위에 증착된 Pt-Co 합금박막의 열처리전 및 각각 600℃, 700℃, 800℃에서 60분간 열처리를 거친 박막의 표면을 3000배 확대한 SEM 사진이다. 그림에서 알 수 있듯이 열처리를 함으로써 선명한 입자들의 경계가 부드러워져 전기적으로 불안한 상태나 구조적으로 갈라진 틈 사이가 밀착됨을 볼 수 있고, 열처리 온도가 증가할수록 그 특성이 더욱 두드러져 800℃, 60분 열처리 조건에서 물리적, 전기적으로 상당히 양호한 Pt-Co 합금박막을 얻을 수 있었다.





(c) (d)

그림 4. 열처리를 (a) 거치지 않은 시료, (b) 600°C, (c) 700°C, (d) 800°C에서 60분간 열처리를 거친 Pt-Co 합금박막의 SEM 표면사진.

그림 5는 3000Å 두께로 증착된 Pt-Co 합금박막의 열처리에 따른 박막의 상생성 특성에 관한 열처리 효과를 알아보기 위하여 열처리 전 및 열처리 온도(600~800°C)에 따른 XRD의 분석결과를 나타낸 것이다. 열처리를 함으로써 Pt, Co의 회절 피크치를 제외한 잔여 피크들은 사라지고, 결정회절각 변화가 거의 관찰되지 않았으며, 회절 강도가 증가됨에 따라 박막의 결정성이 개선됨을 알 수 있었다. 또한 열처리 온도가 증가함에 따라 Pt의 피크치가 두드러졌으며, 부분 첨가되었던 Co 성분도 JCPDS자료 분석결과 관찰됨을 알 수 있었다.

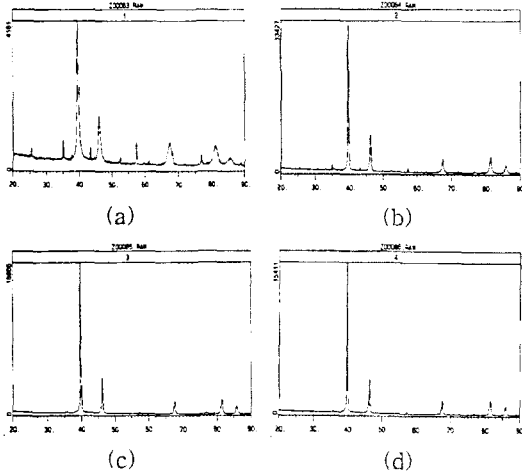


그림 5. 열처리를 (a) 거치지 않은 시료, (b) 600°C, (c) 700°C, (d) 800°C에서 열처리를 거친 Pt-Co 합금박막의 XRD.

3.3 TCR값의 변화에 따른 박막의 특성분석

본 실험에서 TCR값 분석을 위한 저항체는 최적 증착조건(진공도 : 10mTorr, 입력 power Pt : 4.4W/cm², Co : 3W/cm²)하에서 3000Å 두께로 증착된 Pt-Co 합금박막을 이용되었다.

그림 5는 열처리(800°C, 60분)를 거친 Pt-Co 합금박막 저항체의 온도에 따른 TCR값 변화와 동일 조건으로 제작된 Pt 박막 저항체의 TCR값 변화를 비교해서 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 Pt-Co 합금박막 저항체의 TCR값(≈3600ppm/°C)이 Pt 박막 저항체의 TCR값(≈3352ppm/°C)보다 상당

히 큼을 알 수 있고 온도에 따른 저항변화율 역시 Pt 박막 저항체보다 Pt-Co 합금박막 저항체의 저항변화율이 보다 양호한 선형적 특성을 나타내고 있다.

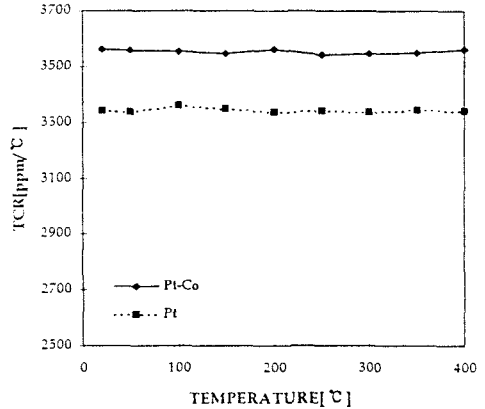


그림 6. Pt-Co 합금박막과 Pt 박막의 TCR변화 비교.

3. 결 론

본 연구에서는 코스퍼터링법으로 Pt-Co 합금박막을 증착하여 입력 Power, Ar 가스압력, 증착후 열처리에 따른 전기적, 물리적 특성을 α -step, four-point probe, SEM 및 XRD를 이용하여 분석하였다. 증착된 Pt-Co 합금박막은 진공도 10 mTorr, 입력 power Pt : 4.4W/cm², Co : 3W/cm²의 증착조건에서 전기적으로 안정된 특성을 나타내었다. SEM 및 XRD를 이용한 열처리 효과 분석에서 열처리 온도가 증가할수록 Pt-Co 합금박막의 물리적, 전기적 특성이 개선되었으며, 열처리 조건 : 800°C, 60분에서 가장 안정된 특성을 갖는 박막을 얻을 수 있었다. Pt-Co 합금박막의 저항체를 이용한 TCR값 분석에서 기존의 Pt 박막 저항체보다 양호한 선형적 출력특성과 높은 TCR값을 얻을 수 있었다. 따라서 본 연구를 통하여 Pt-Co 합금박막은 소형, 경량, 고분해 능력을 갖는 광대역용 축온저항체 온도센서로서의 유용성을 확인하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] G. C. M. Meijer, et. al., Sensors and Actuators A, 25, 613-620, (1991).
- [2] G. S. Chung et. al., Korean Sensors Society, 6, 2, 81-86, (1997).
- [3] Shiratori, T, et. al., American Institute of Physics, 5, 1, 839-843, (1982).
- [4] K. Wasa, Noyes Publications, 10-19 (1992).
- [5] H. Yongde, et. al., Sensors and Actuators A, 35, 269-272, (1993).