

논문 96-5-5-09

## 미세 발열체의 발열특성과 열처리 온도에 따른 Pt/Cr 이중층의 특성

이승환\*, 서임춘\*, 성영권\*\*

## A thermal properties of micro hot plate and the characteristics of Pt/Cr bilayers due to annealing temperature

Seung Hwan Yi, Im Choon Suh, \* Yong Kwon Sung

## 요 약

Pt/Cr 이중층과 E-beam으로 증착된 산화막으로 구성된 발열체의 발열특성과 열처리 온도에 따른 Pt/Cr 이중층의 전기적, 구조적 특성을 살펴보았다. E-beam으로 증착된 산화막을 갖는 발열체의 표면 방사율( $\epsilon$ )은 0.5임을 열전대와 I.R. Thermo-Vision System을 통하여 확인할 수 있었다. 한편 열처리된 Pt/Cr의 면저항은 Cr의 두께와는 무관한데, 이는 백금과 크롬의 계면에 형성된 산화크롬에 의한 것으로 사료되며, 열처리 온도가 증가함에 따라 Cr의 외부확산이 증대되고, Pt(220)면의 결정립이 성장함을 AES 분석결과와 SEM 촬영, XRD 분석을 통하여 알 수 있었다. 열처리 온도에 따른 특성 분석결과, 500 °C에서 열처리한 Pt/Cr 이중층이 안정된 결정구조를 갖음을 XRD, AES 분석결과로 확인할 수 있었다.

## Abstract

In this paper, we fabricated the micro hotplate which consisted of a thin film heater(Pt/Cr bilayers) sandwiched with the thermal oxide and E-beam evaporated oxide. And we studied the electrical and the structural properties of Pt/Cr bilayers due to annealing temperature. When we compared the temperature measured from type k thermocouples with the temperature acquired from I.R. thermo-vision system according to the variations of emissivity, the emissivity of E-beam evaporated oxide was 0.5.

The sheet resistance of Pt/Cr bilayers didn't depend on the Cr layer thickness, and it was considered as the existence of CrO between the Pt and the Cr layer. When the annealing temperature was increased from 500°C to 700°C, the out-diffusions of Cr were increased(which was confirmed by AES depth profile) and the grain size of Pt(220) phase was enlarged also(analyzed by XRD and SEM photographs). From the results of XRD analysis and AES depth profile, the Pt/Cr bilayers annealed at 500 °C were more stable than any other cases in structural properties.

## 1. 서 론

최근 센서 및 그 응용 시스템의 경량화에 따라

각종 물리, 화학적 센서 및 시스템은 실리콘 반도체를 기본물질로 신호처리 계통을 단일 기판에 집적한 Smart Sensor를 요구하고 있다.

\* 만도 중앙연구소(MANDO R & D Center)

\*\* 고려대학교 공과대학 전기공학과(Dept. of Elec.

Eng., Korea Univ.)

<접수일자 : 1996년 6월 3일>

이러한 요구에 대응하여, 최근 실리콘 미세가공기술(Si-Micromachining)을 이용한 micro 센서의 연구가 가속화되고 있는데, 이는 실리콘 반도체를 이용하면 소

형, 경량화가 가능하고, 소비전력이 작으며, 고속의 응답성 확보가 용이하며, 대량생산이 가능하기<sup>[1]</sup> 때문이다.

한편 자동차 산업에의 응용과 관련한 실리콘 반도체 센서의 가장 대표적인 응용예로는 MAF(Mass Air Flow) 센서와 자동차 내외기 유해가스 검출을 위한 가스센서<sup>[2][3][4]</sup> 등을 들 수 있다. 실리콘 반도체를 이용한 박막형 MAF(Mass Air Flow)센서는 기존의 열선(Hot-Wire)방식<sup>[2]</sup>의 단점인 응답성 확보를 위해 Poly-Si membrane에 미세 발열체를 내장하여 각종 물리상수(공기의 온도, 밀도, 수분 함유량) 및 유속의 변화에 고속으로 응답하는 박막형 MAF 센서<sup>[5]</sup>에 대한 연구가 진행중이다.

상술한 두 센서는 모두 일정온도를 유지하기 위하여 미세발열체(micro hot plate)를 탑재하고 있으며, 현재까지 실리콘 미세가공기술(Si-Micromachining)을 이용한 미세발열체(micro hot-plate) 제작은 Joule열 발생을 위해 사용되는 발열체 물질의 종류에 따라 Poly-Si<sup>[6]</sup>, SiC 박막<sup>[7]</sup>, NiFe Alloy<sup>[3]</sup>와 Pt/Ti 저항층<sup>[8]</sup> 등에 관한 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 자동차용 MAF 센서와 가스센서에의 응용을 위해 Pt과 비교하여 열전도도가 유사하고, 열팽창계수가 작은 Cr을 부착층으로 증착시켜, Cr 부착층 및 Pt/Cr층의 두께변화에 따른 전기적 특성과 발열체의 발열특성을 비접촉식 적외선 열화상 분석장치를 통하여 측정된 후 FIDAP 모의해석 결과와 비교하였으며, Pt/Cr 이중층의 열처리 온도에 따른 전기적, 구조적 특성 해석을 하였다.

## II. 시료의 제작 및 측정

본 연구에 사용된 실리콘 기판은 비저항이 약 10 - 50  $\Omega$ cm, 두께 510  $\mu$ m의 P(100) DPS(Double-side Polished Silicon) 웨이퍼였으며, 반도체 공정에서 사용되는 전세척 과정을 통해 자연산화막을 제거하였다. 자연산화막을 제거한 실리콘 기판은 습식산화(온도 1000  $^{\circ}$ C)를 통해 1.5  $\mu$ m의 산화막을 성장시켰다. 기판의 전면에 산화막과 백금의 부착(Adhesion)을 위해 E-Beam Evaporator (VKE-760, Varian Korea)을 이용하여 Cr을 37 - 80 nm 증착시켰다. 그 후 발열체 금속으로 백금(Pt)을 DC-Magnetron Sputtering 장비(VKA-35, Varian Korea)를 이용하여 200, 300 nm 증

착시켰다. 제작된 Pt/Cr 이중층은 Ar 분위기에서 온도를 변화시켜 가며 1시간 동안 열처리 하였으며, 각각의 조건을 나타내면 표-1과 같다.

표 1. Pt/Cr 이중층 증착 및 열처리 조건

Table 1. Deposition and annealing conditions of Pt/Cr bilayers

항목	조건	Base Pre. (mtorr)	Working Pre. (mtorr)	기판 온도 ( $^{\circ}$ C)	두께 (nm)	인가전력 (watts)	증착율 (nm/s)
Cr 증착		2e-3	4e-3	100	Var.	-	6
Pt 증착		7e-3	5	100	"	300	2.04
열처리 조건	Ar 분위기( 500 sccm ), 500 $^{\circ}$ C ~ 700 $^{\circ}$ C, 1시간						

한편 박막증착 및 열처리전/후 Pt/Cr 이중층의 전기적, 구조적 특성을 평가하기 위하여 두께변화, 표면 및 단면의 구조변화, 결정성 및 표면에서 Pt/Cr/SiO<sub>2</sub> 계면으로의 조성변화를 살펴보았다. 두께측정을 위하여 Veeco Instruments의 Dektak3 두께측정기를 사용하였으며, SEM 촬영에는 JEOL사의 JXA-6400 Electronprobe Microanalyzer를 이용하였다. 또한 XRD 분석에는 Rigaku 사의 RINT/DMAX-2000 X선회절 분석기를 이용하였으며, AES Surface & Depth Profile은 Perkin-Elmer  $\phi$ -670 을 사용하였다.

한편 열처리전의 Pt/Cr 이중층은 사진공정(Photolithography)에 의해서 일정형상의 발열체 패턴을 형성하였다. 이때 Pt 및 Cr의 식각율은 각각 45 nm/min, 70 nm/min 이었으며, 잔류 Cr의 확인을 위하여 4-Point probe 및 광학 현미경을 이용하여 면저항 및 Cr의 잔류상태를 확인하였다.

발열체 패턴을 형성한 뒤 발열체 금속의 절연을 위하여, E-Beam 증착법에 의하여 기판온도 200  $^{\circ}$ C, 챔버압력 2e-5 mbar에서 500 nm의 산화막을 증착시켰다. 이때 산화막의 증착율은 약 0.9 - 1.2 nm/sec였으며, 산화막의 증착후 전극의 형성을 위한 접촉홀을 습식 식각법에 의해 형성하였다.

발열체의 열적격리(Thermal Isolation)를 위한 Membrane의 제작은 수산화칼륨, 이소프로필 알콜과 순수 혼합용액을 이용하여 이방성 식각장치 내에서 식각을 함으로써 제작하였으며, 제작된 미세 발열체는

wire-bonding 한 뒤, 인가전력에 따른 발열체의 온도를 k형 열전대로 측정하였고, 온도에 따른 발열체의 저항은 디지털 멀티미터와 전류계를 이용하여 전압과 전류를 구한 뒤 산출 하였다. 한편 발열체 표면온도는 방사율(emissivity :  $\epsilon$ )에 의존하기 때문에 열전대로 측정된 발열체의 온도와 열화상 분석기로 측정된 값과 비교함으로써 발열체 표면의 방사율( $\epsilon$ )을 결정하였다. 또한 발열체의 열전달 해석을 위한 기초연구로써 상용 열전달 해석 프로그램인 FIDAP s/w를 이용하여 발열체 특성을 살펴보았으며, 이때 해석영역은 발열체의 단면을 근사화하여 수행하였다.

### III. 실험결과 및 고찰

#### 3-1. 미세발열체의 발열특성

그림 1 은 Cr층의 두께변화에 따른 면저항의 변화 및 Pt 증착막의 두께가 200 nm, 300 nm로 일정한 경우 Pt/Cr 이중층의 면저항의 변화양상을 나타낸 것이다. 그림 1 에서 알 수 있듯이 Cr층의 두께가 37 nm에서 45 nm로 증가할수록 면저항의 값이  $370 \Omega/\square$ 에서  $90.8 \Omega/\square$ 로 감소하는 것을 볼 수 있으며, Cr 두께가 45 nm 이상의 경우 그 변화양상이 둔화되어 80 nm의 경우  $17.7 \Omega/\square$ 인 것을 볼 수 있다.

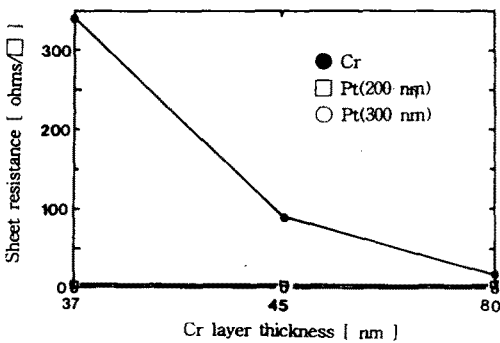


그림 1. Cr의 두께에 따른 Cr 과 Pt/Cr 이중층의 면저항

Fig. 1. Sheet resistance of the Cr and the Pt/Cr bilayers due to Cr layer thickness

그러나 Pt 층의 두께가 200에서 300 nm로 증가하면 Pt/Cr층의 면저항은 다소 감소하는 양상을 나타내고 있으나, 역시 Cr층의 두께와는 무관한 것으로 나타났다. 따라서 Pt/Cr 이중층 구조에서 면저항이 큰

Cr은 Pt의 부착층 (Adhesion Layer)으로만 작용하는 것을 볼 수 있으며, 전체적인 Pt/Cr 이중층의 면저항은 Pt층의 두께에만 의존하는 것을 알 수 있다.

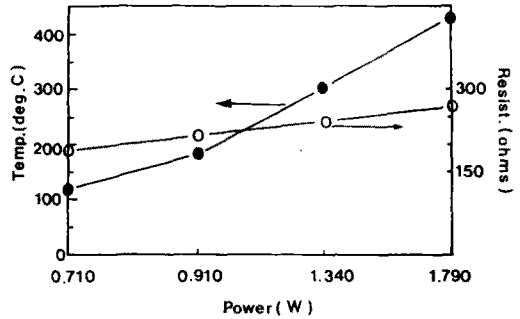


그림 2. 인가전력의 변화에 따른 Pt/Cr 발열체의 저항과 온도특성

Fig. 2. Thermal properties of Pt/Cr hot plate due to applied power (temperature measured by type k thermocouples)

그림 2는 열처리된 Pt(300 nm)/Cr(80 nm) 이중층을 이용하여 제작한 미세 발열체의 인가전력의 변화에 따른 발열체의 저항과 발열부의 온도측정 결과를 나타낸 것이다. 상온에서 약 100  $\Omega$ 의 저항을 갖고 있던 발열체는 인가전력의 증가에 따라 자기발열에 의하여 저항값은 증가하여 1.3 watts에서 약 240  $\Omega$ 으로 증가하는 것을 볼 수 있었으나, 반복된 온도상승에 따라 상온저항값이 다소 증가하는 특성을 나타내었다.

한편 발열체 중심부의 온도를 k 형 열전대를 이용하여 측정된 결과 인가전력이 1.3 watts에서 290  $^{\circ}\text{C}$ , 1.7 watts에서 약 420  $^{\circ}\text{C}$ 를 나타내고 있었다.

미세 발열체 중심부의 온도와 멤브레인과 실리콘 기관상의 온도분포를 정확히 살펴보고, E-beam 증착된 산화막의 방사율 도출 후 보다 신뢰성 있는 열전달 해석의 기초자료를 확보하기 위해 적외선 열화상 분석기를 이용하여 온도를 측정하였으며, 그 결과를 제시하면 그림 3과 같다.

적외선 열화상 분석기를 이용하여 온도를 측정하는 경우 발열체의 표면온도는 발열체 표면의 방사율 (Emissivity)에 의해 결정되기 때문에 방사율을 파라미터로하여 인가전력의 변화에 따른 발열체 표면온도를 측정하였다.

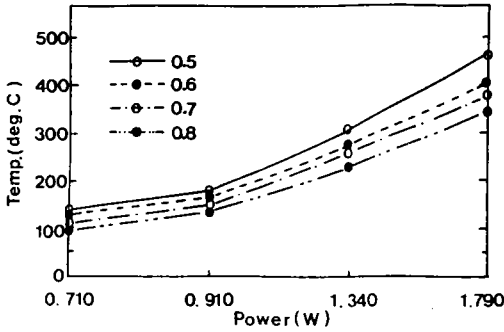


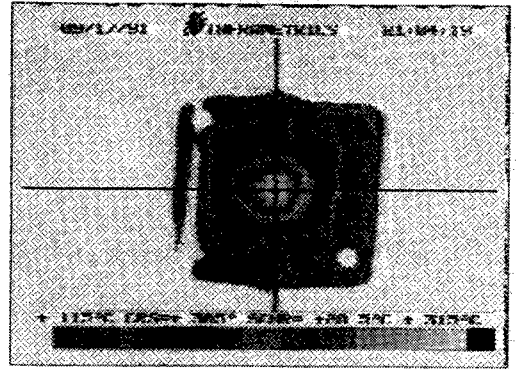
그림 3. 방사율의 변화에 따른 Pt/Cr 발열체의 인가 전력 대 온도특성

Fig. 3. Applied power vs. temperature properties of Pt/Cr hot plate according to the emissivity(ε)

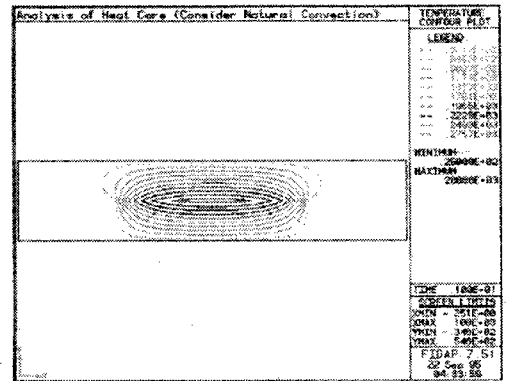
그림 3에서 인가전력이 1.3 watts에서 발열체의 표면온도는 방사율이 0.5인 경우 305 °C에서 방사율이 0.8인 경우 228 °C로 감소함을 볼 수 있는데, 이는 Stefan-Boltzmann 법칙<sup>(9)</sup>에 의하면 동일 인가전력에서 방사되는 에너지는 일정하기 때문에 방사율을 크게하면 실제 온도보다 낮은 값으로 측정이 됨을 의미한다. 따라서 표면의 온도를 정확히 측정하고, E-beam 증착된 산화막의 방사율을 구하기 위하여, 방사율을 변수로 하여 인가전력에 따른 발열체 중심부의 온도값과 k 형 열전대를 이용하여 측정한 결과와 비교하였다. 비교결과 방사율(ε)이 0.5 인 경우가 발열체 표면온도와 근사한 값을 갖고 있음을 알 수 있으며, 이로부터 E-beam 증착된 산화막의 방사율은 0.5 임을 알 수 있다.

그림 4는 Pt/Cr 이중층을 이용하여 제작한 발열체의 온도분포 측정결과와 FIDAP 모의해석을 통하여 얻은 발열체의 온도분포 및 시간적 변화에 따른 발열체 중심부의 온도변화를 나타낸 것이다. 그림 4 a)는 방사율을 0.5 로 고정한 뒤 1.3 watts의 전력을 인가한 경우 적외선 열화상 분석기를 통하여 측정한 결과를 나타낸 것이다.

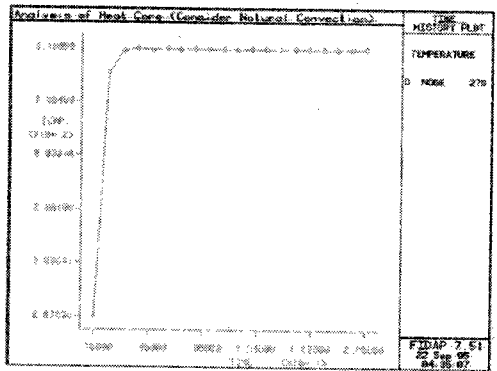
실험에서 발열체 중심부의 온도를 정확히 측정하기 위하여 측정 온도범위를 200 °C 로 설정하였는데, 이때 중심부의 온도는 약 305 °C 를 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 멤브레인 영역에서 방사상의 온도분포를 갖고 있으며, 멤브레인과 실리콘 기관의 경계부 온도는 급격히 감소함을 볼 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 4. Pt/Cr 발열체의 온도특성

- a) 적외선 열화상 측정결과(ε = 0.5)
  - b) FIDAP 모의해석
  - c) 시간적 변화에 따른 발열체의 온도변화
- Fig. 4. Thermal properties of Pt/Cr hot plate
- a) I.R. thermo-vision results(ε = 0.5)
  - b) FIDAP simulation results
  - c) Temperature variation of hot plate due to time(FIDAP simulation)

한편 그림 4 b)는 FIDAP 상용 S/W를 이용하여 인가전력을 1.3 watts 공급한 뒤 1초 후의 온도분포를 나타낸 것으로 중심부의 온도는 약 288 ℃ 까지 증가함을 알 수 있다. 또한 발열체의 온도는 멤브레인 중심부에서 방사상의 온도를 나타내고 있으며, 실리콘 기판과 접한 경계부는 상온과 같음을 알 수 있다.

그림 4 c)는 시간적 변화에 따른 발열체 중심부의 온도변화를 나타낸 것이다. 1.3 watts의 전력을 인가한 후 약 1초 후 중심부의 온도는 288 ℃ 를 나타내고 있으며, 약 5초 후 안정화되어 313 ℃의 온도를 나타내고 있음을 알 수 있다. 전술한 결과와 FIDAP 모의해석 결과를 비교하면 발열체는 방사상 온도분포를 나타내고 있음을 확인할 수 있으며, 발열체 중심부의 온도가 실험치 305 ℃ 와 모의해석 결과치 311 ℃ 가 잘 일치함을 알 수 있다.

3-2. 열처리 조건에 따른 Pt/Cr 이중층의 특성

Pt/Cr 이중층을 이용한 발열체를 MAF 센서나 가스 센서의 발열부로 이용하기 위해서는 열적 히스테리시스가 작아야 하며, 이러한 요구조건을 확보하기 위하여 열처리 온도에 따른 Pt/Cr 이중층의 전기적, 구조적 특성을 살펴보았다.

그림 5는 열처리 온도를 500 ℃에서 700 ℃로 증가시키면서 Ar분위기에서 1시간 동안 열처리한 Pt(300 nm)/Cr(80 nm)면저항 변화양상을 나타낸 것이다. 열처리 온도를 500 ℃에서 700 ℃로 증가시킴에 따라 Pt/Cr 이중층의 면저항은 500 ℃에서 2.193 Ω/□ 이나, 600 ℃, 700 ℃ 에서는 각각 0.7194, 0.6317 Ω/□ 값을 갖고 안정화됨을 볼 수 있다.

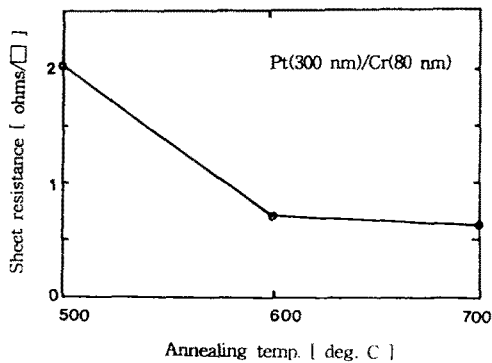
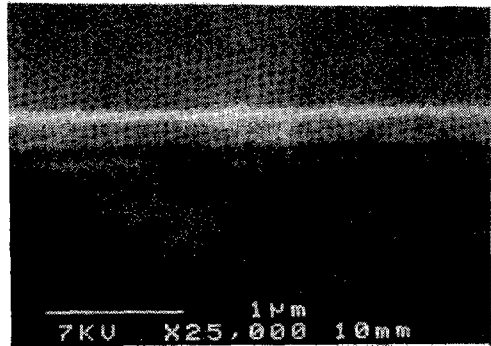


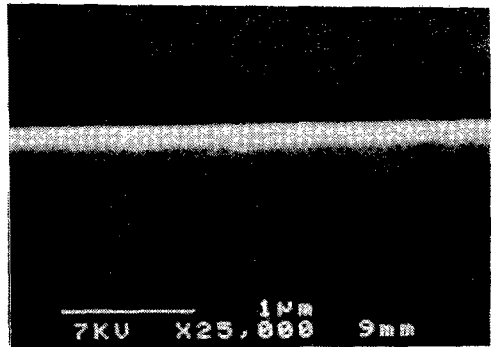
그림 5. 열처리 온도의 변화에 따른 Pt/Cr (이중층의 면저항)

Fig. 5. Sheet resistance of Pt/Cr bilayers due to annealing temperature

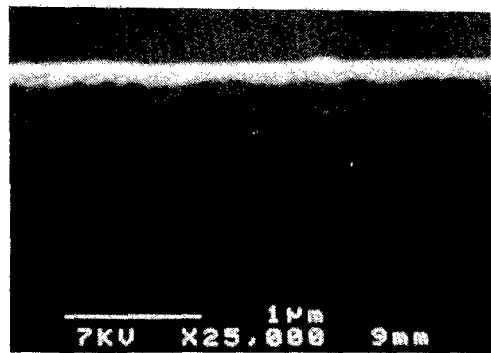
그림 6은 열처리 전/후 Pt/Cr 이중층의 단면 SEM 촬영 결과를 나타낸 것이다. 열처리 하자 않은 시료의 경우(a) Pt/Cr 층을 명확히 구분할 수 있으나, 열처리 온도가 증가할수록 Pt/Cr층의 구분은 불명확해지며, 500 ℃에서 열처리 한 경우(b) 열처리 전 시료에 비하여 두께가 감소되는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과와 면저항의 변화양상과 비교하면, 500 ℃ 열처리 한 시료의 면저항이 열처리 전보다 증가양상과 부합됨을 알 수 있다.



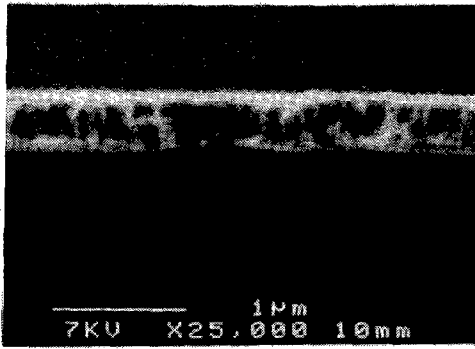
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 6. 열처리 온도의 변화에 따른 Pt/Cr 이중층의 단면 SEM 사진

- a) 열처리전      b) 500 °C  
c) 600 °C        d) 700 °C

Fig. 6. Cross-sectional SEM photographs of Pt/Cr bilayers due to annealing temperature

- a) as-deposited    b) 500 °C  
c) 600 °C        d) 700 °C

한편 600 °C에서 열처리한 시료의 경우(c), Pt/Cr/SiO<sub>2</sub> 계면에서 기판과 수직인 형태의 결정이 성장해감을 볼 수 있고, 표면에서는 이러한 형상이 미완된 상태로 있음을 볼 수 있으며, 700 °C에서 열처리한 경우(d) 산화막 표면에 수직인 주상구조(Column Structure)의 결정립이 형성되는 것을 볼 수 있다.

따라서 그림 5에 나타난 열처리 온도의 증가에 따라 Pt/Cr층의 면저항이 감소하는 현상은, 500 °C 열처리를 행함으로써 보다 밀한 박막 형성에 따른 두께감소에 따라 열처리전보다 면저항이 증가하고, 열처리 온도를 600 °C 이상 증가시킴에 따라 기판에 수직인 Pt 결정립의 성장에 따른 입계간 저항의 감소 및 두께증가에 기인하는 특성이라 사료된다.

한편 열처리 전, 후 Pt/Cr 이중층의 구조적 특성 변화를 살펴보기 위하여 XRD 분석을 실시하였다. 그림 7 a)는 열처리 전 Pt/Cr 이중층에 대한 XRD 피크를 2θ의 변화에 따라 보여주고 있다. 2번 피크는 산화크롬(CrO)을 나타내고 있으며, 피크 3은 Pt(200)이며, 피크 4는 Pt(220)를 나타내며, 피크 5는 Cr(211) 면을 나타내고 있다. 그림 6 b)는 500 °C에서 1시간 동안 열처리한 Pt/Cr 이중층의 XRD 결과를 나타내고 있다. 피크 2는 산화크롬(CrO)을 나타내고 있으며, 3, 4, 5번

피크는 각각 Pt(200), Pt(220), Cr(211) 피크를 나타낸다. 열처리전 결과(그림 7 a)와 비교하면 2, 3, 5번 피크의 크기는 상대적으로 감소하는 것으로 보아 열처리를 함에 따라 불안정한 결정상태를 나타내고 있으나, 4번 피크인 Pt(220) 면의 피크치가 증가하는 것을 보아 안정된 결정구조를 갖게되었음을 알 수 있다.

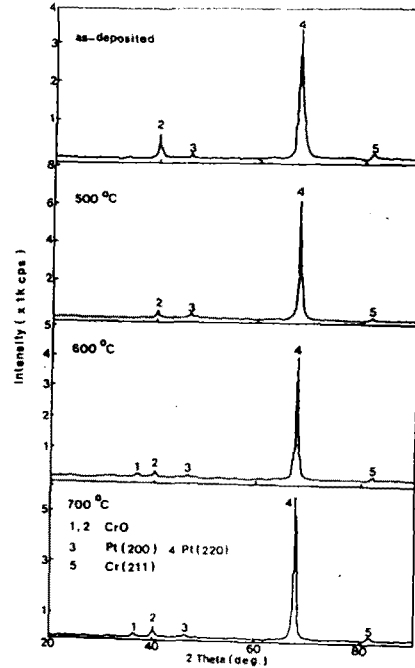


그림 7. 열처리 온도에 따른 Pt/Cr 이중층의 XRD 분석 결과

- a) as-deposited      b) 500 °C  
c) 600 °C        d) 700 °C

Fig. 7. XRD analysis data of Pt/Cr bilayers due to annealing temperature

- a) as-deposited      b) 500 °C  
c) 600 °C        d) 700 °C

또한 600 °C에서 1시간동안 열처리한 경우의 XRD 결과를 나타내면 그림 7 c)와 같다. 600 °C에서 열처리한 Pt/Cr 이중층의 경우 2θ가 36도 부근에서 새로운 결정면이 나타나고 있는데, JCPDS 자료에서 제시한 값과 실험치를 비교하면 산화크롬임을 알 수 있다. 그러나 1, 2번 피크에 해당하는 산화크롬(CrO)의 형성은 미약한 것을 알 수 있으며, 표 2에 제시한 바와 같이 4번 피크인 Pt(220) 면의 반가치폭(FWHM)은 열처리

하기 전 및 500 °C에서 열처리한 시료보다 감소하고 있는 것을 보아 Pt(220) 면의 결정립이 성장되고 있음을 알 수 있다.

이상의 결과와 면저항의 변화양상을 비교할때 600 °C 이상에서 열처리 한 경우 면저항이 급격히 감소하는 것은 Pt(220) 방향의 결정립의 성장에 의한 것으로 사료된다.

표 2. 열처리 온도에 따른 Pt/Cr 이중층의 d-value 와 FWHM

Table 2. d-value & FWHM of Pt/Cr bilayers due to annealing temperature

항목 피크	d-value		FWHM			
	JCPDS	측정치	as-deposit ed	500 °C	600 °C	700 °C
1	2.44	2.475	-	-	-	0.23 5
2	2.26	2.255	0.494	0.424	-	0.21 2
3	1.962	1.953	0.424	-	0.21	0.21 2 2
4	1.387	1.3814	0.659	0.541	0.42	0.42 4 4
5	1.1774	1.1798	0.612	-	0.25	0.37 9 6

한편 그림 7 d)는 700 °C에서 1시간동안 열처리한 경우의 XRD 피크를 나타내고 있다. 피크 1, 2는 산화크롬을 나타내며, 3, 4, 5번 피크는 각각 Pt(200), Pt(220), Cr(211)면을 나타낸다. 열처리 온도를 700 °C로 증가시킴에 따라 각 면의 결정화가 600 °C 열처리 시료보다 촉진됨을 표 2 를 통하여 확인할 수 있다.

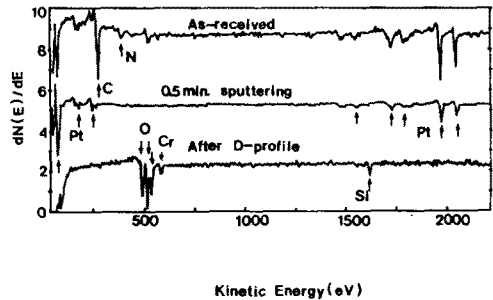
따라서 열처리 온도를 상승시킴에 따라 Pt(220) 결정립이 성장함을 알 수 있으며, 500 °C에서 1 시간동안 열처리 한 경우가 안정된 결정구조를 갖고 있음을 알 수 있다.

한편 열처리 전/후의 Pt/Cr 이중층에 대한 표면 및 Pt/Cr/SiO<sub>2</sub> 박막의 화학적 조성변화를 평가하기 위하여 AES 분석을 실시하였으며, 그림 8 a)는 as-deposited 된 Pt/Cr/SiO<sub>2</sub> 의 표면분석 결과로, 초기에 Pt/Cr/SiO<sub>2</sub> 표면에 존재하던 탄소와 질소는 30 초 정도 스퍼터링 하면 볼 수 없으며, 백금만이 존재하는 것을 볼 수 있다. 그러나 산화막 근처까지 스퍼터링한 경우 크롬과 산소가 동시에 검출됨을 볼 수 있다. 이

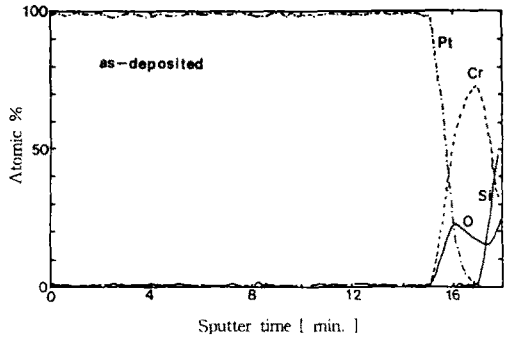
때 산소는 약 510 eV와 525 eV 근처에서 검출되었으며, 산화막을 구성하는 산소는 약 510 eV의 운동에너지를 갖고 있으므로 525 eV에서 검출된 산소는 Cr과 반응하여 산화크롬을 형성한 것으로 생각된다.

그림 8 b)는 as-deposited 된 Pt/Cr/SiO<sub>2</sub> 구조의 AES depth profile을 나타낸 것으로 표면에서는 Pt만이 존재하는 것을 볼 수 있고, Pt/Cr/SiO<sub>2</sub> 계면에서는 Cr과잉의 산화크롬과 Cr이 동시에 존재하고 있는 것을 볼 수 있는데, XRD 분석결과와 비교하면 2θ가 39.8인 피크는 산화크롬으로써 Cr의 증착시 형성된 것으로 사료된다.

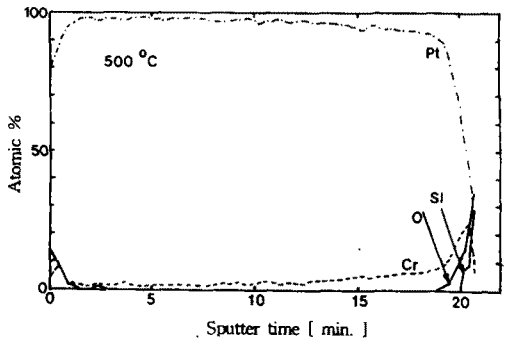
또한 그림 8 c)는 500 °C에서 1시간동안 열처리한 시료의 분석결과로 열처리를 함으로써 표면에도 산소



(a)



(b)



(c)

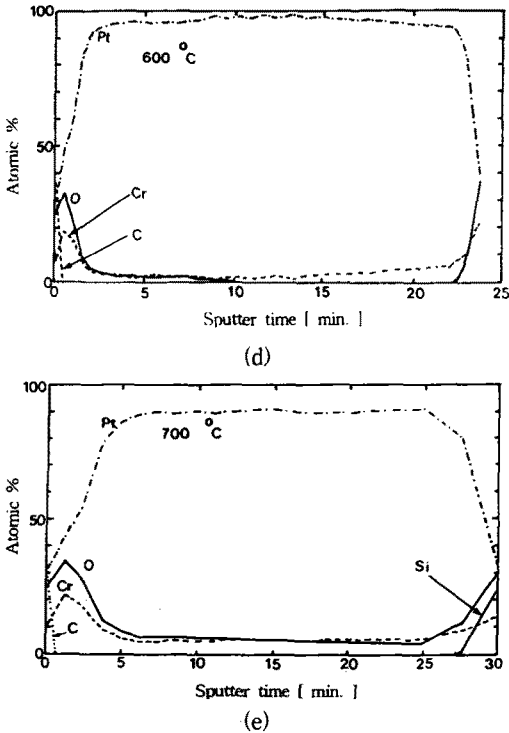


그림 8. 열처리 온도에 따른 Pt/Cr 이중막의 AES surface & Depth Profile

- a) 열처리 전 표면분석    b) as-deposited  
c) 500 °C    d) 600 °C    e) 700 °C

Fig. 8. AES depth profiles of Pt/Cr bilayer due to annealing temperature

- a) 표면분석    b) as-deposited  
c) 500 °C    d) 600 °C    e) 700 °C

과잉의 산화크롬이 형성됨을 볼 수 있는데, 이는 Pt/Cr/SiO<sub>2</sub>의 계면에 존재하던 산화크롬의 외부확산에 의해서 형성된 것으로 열처리를 행함에 따라 Pt 입계간 크롬의 외부확산에 따른 결과<sup>[10]</sup>와 잘 일치됨을 알 수 있다. 이상의 결과와 SEM 사진의 결과를 바탕으로, 그림 1과 5에서 500 °C에서 열처리 행함으로써 면저항이 급격히 증가하는 양상은 Pt/Cr/SiO<sub>2</sub>표면에 산소과잉의 산화크롬 형성과 Pt/Cr 박막의 두께가 열처리를 행함으로써 막이 치밀해져 열처리전보다 얇아지기 때문으로 사료된다. 한편 열처리 온도가 600 °C인 경우(d), 표면 및 계면에서 산소과잉의 산화크롬이 형성됨을 볼 수 있고, Pt/Cr/SiO<sub>2</sub> 계면근처에서는 Cr층

만이 존재하는 것을 볼 수 있다. 또한 Pt/Cr/SiO<sub>2</sub> 계면근처에서의 Cr의 농도는 500 °C에서 열처리한 시료의 농도보다는 작은값을 나타내는데, 이는 열처리온도가 증가함에 따라 Cr의 외부확산이 가속화되기 때문인 것으로 사료된다.

한편 700 °C에서 열처리한 경우 (e), 표면에서 산소과잉의 산화크롬이 형성됨을 볼 수 있으며, Pt/Cr 이중층 전 영역에 걸쳐 화학당량적인 CrO가 형성되고 있음을 알 수 있으며, XRD 분석결과와 비교하면 1번 피크에 해당하는 것으로 사료된다.

상술한 결과로부터 열처리 전의 Pt/Cr 이중층의 계면에 산화크롬이 형성되었음을 확인할 수 있으며, 열처리 온도를 증가시킴에 따라 크롬의 외부확산이 가속화되어 Pt/Cr 표면에 산화크롬이 형성됨을 확인할 수 있었다.

#### IV. 결론

미세 발열체 제작을 통한 온도분포 특성을 실험과 FIDAP 모의해석을 통하여, 제작된 발열체의 방사율은 0.5 임을 k형 열전대와 적외선 열화상 분석기의 실측을 통한 비교평가로 확인할 수 있었으며, 1.3 watts의 인가전력에서 발열체 중앙의 최고 온도는 실측결과 약 305 °C 였고, FIDAP 해석결과 311 °C 였으며 membrane을 중심으로 방사상 온도분포를 갖고 있음을 알 수 있었다.

또한 미세 발열체의 열적 히스테리시스 저감을 위한 목적으로 열처리 온도의 변화에 따른 Pt/Cr 이중층의 전기적, 구조적 특성분석을 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. Pt/Cr 이중층의 면저항은 Cr의 두께와 무관한 양상을 나타내고 있는데, 이는 Pt/Cr/SiO<sub>2</sub> 계면에 형성된 산화크롬에 의한 것으로 사료되며, 열처리 온도를 증가시킴에 따라 면저항은 감소하여 600 °C 이상에서 열처리한 경우 안정된 값을 갖고 있음을 확인할 수 있다.
2. 열처리 온도를 증가시킴에 따라 Pt/Cr 이중층은 기판에 수직인 구조로 성장함을 SEM 촬영 결과 확인할 수 있으며, XRD 분석 결과 열처리 온도를 증가시킴에 따라 Pt (220)면이 주도적으로 성장해 감을 확인할 수 있다. 그러나 결정구조면에서 500 °C에서 열처리한 경우 안정된 결정구조를 갖고 있음을 알 수 있었다.



3. AES 분석결과 Pt/Cr/SiO<sub>2</sub> 계면에 존재하던 Cr 이 열처리 온도를 증가시킴에 따라 외부확산해 감을 알 수 있으며, 열처리 온도를 증가시킴에 따라 면저항이 감소하는 것은 Pt(220)면의 결정립의 성장에 의한 것으로 사료된다.

상술한 결과를 바탕으로 열적 히스테리시스가 적은 발열체의 제작을 위해서는 500 ℃에서 열처리하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] Q.Wu et al., "Development of chemical sensors using microfabrication and micromachining techniques ", Sensors and Actuators B, vol.13-14, pp.1-6, 1993

[2] A.E.Perry, "Hot-Wire Anemometry ", Oxford : Clarendon Press, Ch.2, pp.10, 1982

[3] U.Dibbern, "A Substrate for Thin-Film Gas Sensors in Microelectronic Technology ", Sensors and Actuators B, no.2, pp.63, 1990

[4] P.Krebs et al., "A Low Power Integrated Catalytic Gas Sensor ", Sensors and Actuators B, vol.13-14, pp.155, 1993

[5] A.J.van der Wiel et al., "A Calorimetric Mass-Flow Sensor for Hostile Environments ", Transducers '93, pp.800, 1993

[6] J.Suehle et al., "Tin Oxide Gas Sensor Fabricated Using CMOS Micro-Hot plates and in-situ Processing ", IEEE EDL-14, no.3, pp.118, 1993

[7] T.Homma et al., "Preparation of polycrystalline SiC films for sensors used at high temperature", Sensors and Actuators A40, pp.93, 1994

[8] W.Y.Chung et al., "Tin Oxide Microsensor for LPG Monitoring", Transducers '93, pp.428, 1993

[9] F.P.Icropera et al., "Fundamentals of heat transfer ", John Wiley & Sons, chapter 1, 1983

[10] S.Danyluk et al., "Diffusion Studies in Cr-Pt Thin Film Using Auger Electron Spectroscopy", Thin Solid Film, 25, pp.483-489, 1975

著 者 紹 介



이 승 환 : 1965년생. 1988년 고려대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1993년 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 1993년 ~ 현재 만도기계 중앙연구소 근무. 주 관 심 분 야 : 기능성 박막 및 MEMS



成 英 權 ( 성 영 권 ) : 1932년생. 1964년 日本大阪大學 졸업(공학박사). 1966년~1967년 한양대학교 전기과 부교수. 1967년 ~ 현재 고려대학교 전기공학과 교수. 1981년~1982년 : 일본 동북대 초빙교수. 주 관 심 분 야 : 반도체 박막물성 및 다기능 센서등.



서 임 춘 : 1964년생. 1988년 인하대 금속공학과 졸업. 1993년 KAIST 전자재료 공학과 졸업(공학석사). 1993년 ~ 현재 만도기계 중앙연구소 근무. 주 관 심 분 야 : 마이크로센서, MEMS