

Pt/Cr 이중층을 이용한 미세 발열체의 제작과 발열특성

이 승환^o, 서 임춘, * 성 영권
만도 중앙연구소, * 고려대학교 공과대학 전기공학과

A thermal properties of micro hot-plate fabricated by using the Pt/Cr bilayer

Seung Hwan Yi^o, Im Choon Suh, * Yong Kwon Sung
MANDO R & D Center, * Dept. of Elec. Eng., Korea Univ.

Abstract

In this paper, we have evaluated the physical characteristics of the Pt/Cr bilayer, fabricated the micro hot plate by using the Pt/Cr bilayer and E-beam evaporated oxide as a passivation layer, and simulated the thermal distribution by using the commercial software FIDAP.

From the researches, the sheet resistance of Pt/Cr bilayer didn't be affected by the Cr layer thickness. This results was considered due to the Cr-oxide resided at the interface between Pt and Cr layer. After manufacturing the hot plate, we measured its temperature by type k thermo-couple and I.R. thermo-vision system. In those experiments, the emission coefficient (ϵ) of the E-beam evaporated oxide was 0.5 and the temperature of central region was reached about 305 °C at 1.3 watts. The temperature simulation obtained by FIDAP commercial package showed that the temperature of central region was about 311 °C after 5 sec.

1. 서 론

최근 센서 및 그 응용 시스템의 정량화에 따라 각종 물리, 화학적 센서 및 시스템은 실리콘 반도체를 기본물질로 신호처리 계통을 단일 기판에 집적한 smart sensor를 요구하고 있다.

이에 따라, 최근 실리콘 반도체 기술을 접목한 실리콘 미세가공기술 (Si-Micromachining)을 이용한 micro 센서의 연구가 활발히 진행되고 있는데, 이는 실리콘 반도체를 이용하면 소형, 정량화가 가능하고, 소비전력이 작으며, 고속의 응답성 확보가 용이하며, 대량생산이 가능하기^[1] 때문이다.

한편 자동차 산업에의 응용과 관련한 실리콘 반도체 센서의 가장 대표적인 응용예로는 MAF(Mass Air Flow) 센서와 자동차 내기 유해가스 검출을 위한 가스센서^{[2][3][4]} 등을 들 수 있다. 실리콘 반도체를 이용한 박막형 MAF(Mass Air Flow)센서는 기존의 열선(Hot-Wire) 방식^[5]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-Sensor^[6]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 Joule 열 발생을 위해 사용되는 발열체 물질의 종류에 따라 Poly-Si^[6], SiC 박막^[7], NiFe Alloy^[8] 및 Pt/Ti 저항층^[9] 등에 관한 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 자동차용 MAF 센서와 가스센서에의 응용을 위해 Pt와 비교하여 열전도도가 유사하고, 열팽창계수가 작은 Cr을 부착층(adhesion layer)으로 증착시켜, Cr 부착층 및 Pt/Cr층의 두께변화에 따른 전기적 특성을 살펴 보았으며, 인가전력의 변화에 따른 온도변화를 k형 열전대와 적외선 열화상 분석기(IR Thermo-Vision system)를 통하여 실측, 비교하였다. 또한 상용 FIDAP S/W를 이용하여 발열체를 근사화시켜 온도분포를 모의해석(simulation)한 뒤 실험결과와 비교하였다.

2. 시료의 제작 및 측정

본 연구에 사용된 기판은 비저항이 약 10 ~ 50 Ωcm , 두께 510 μm 의 P(100)형 DPS(Double-sided Polishing Silicon) 웨이퍼를

이용하였다. 산화막을 성장 전에 반도체 공정에서 사용되는 전제적 과정을 통해 자연 산화막을 제거 하였으며, 자연 산화막을 제거한 실리콘 기판은 습식산화(1000 °C)를 통해 약 1.5 μm 의 산화막을 성장시켰다. 성장된 산화막은 Ellipsometer를 이용하여 두께를 측정하였으며, 실리콘 기판의 전면에 산화막과 백금(Pt)의 부착을 위해 크롬(Cr)을 E-Beam Evaporation(VKE-760, Varian Korea) 장치를 이용하여 370, 450, 800 Å 증착 시켰다. 또한 발열체 금속으로 백금을 DC-Magnetron Sputtering장비(VKA-35, Varian Korea)를 이용하여 기판온도 100 °C에서 2000, 3000 Å 증착 시켰으며, 증착막의 두께는 Veeco Instruments사의 Dektak 3 두께 측정기를 이용하여 박막의 두께를 측정 하였다. 또한 증착된 각 금속막의 면저항은 4-단침법에 의해서 측정하였으며, 박막증착 후 Pt/Cr 이중층의 결정성 및 표면에서 Pt/Cr/SiO₂ 계면으로의 화학적 조성변화를 살펴보기 위하여 XRD 분석, AES Surface & Depth Profile을 실시하였다.

XRD분석에는 Rigaku사의 RINT/DMAX-2000 X선회절 분석기를 이용하였고, AES Surface & Depth Profile은 Perkin-Elmer ϕ -670를 사용하였다.

한편 증착된 Pt/Cr 이중층은 사진공정(photolithography)에 의해서 일정형상의 발열체 패턴을 형성하였다. 이때 Pt 및 Cr의 식각율은 각각 450 Å/min, 700 Å/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 °C, 챔버압력 2e-5 mbar에서 5000 Å의 산화막을 증착시켰다. 이때 산화막의 증착율은 약 9 - 12 Å/sec였으며, 산화막의 증착후 전극의 형성을 위한 접촉창(Contact Window)을 습식 식각법에 의해 형성하였다.

발열체의 열적격리(thermal isolation)를 위한 Membrane의 제작은 수산화칼륨(KOH), 이소프로필 알콜(iso propyl alcohol)과 순수(D.I. water) 혼합용액을 이용하여 이방성(Anisotropic) 식각장치 내에서 식각을 함으로써 제작하였다.

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 산출하였다. 또한 발열체 표면온도와 방사율(emission coefficient; ϵ)은 적외선 열화상 분석기(Infra-Red thermo-vision system)를 이용하여 측정하였다. 이때 발열체의 표면온도는 방사율에 의존하기 때문에 열전대로 측정된 발열체의 온도와 열화상 분석기로 측정된 값과 비교함으로써 발열체 표면의 방사율(ϵ)을 결정 하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1 은 Cr층의 두께변화에 따른 면저항의 변화 및 Pt 증착막의 두께가 2000 Å, 3000 Å로 일정한 경우 Pt/Cr 이중층의 면저항의 변화양상을 나타낸 것이다. 그림 1에서 알 수 있듯이 Cr막의 두께가 370 Å에서 450 Å으로 증가할수록 면저항의 값이 370 Ω/\square 에서 90.8 Ω/\square 로 감소하는 것을 볼 수 있으며, Cr 두께가 450 Å 이상인 경우 그 변화양상이 둔화되어 800 Å의 경우 17.7 Ω/\square 인 것을 볼 수 있다.

그러나 Pt층의 두께가 2000에서 3000 Å으로 증가하면 Pt/Cr층의 면저항은 다소 감소하는 양상을 나타내고 있으나, 역시 Cr층의 두께

와는 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 2는 산화막위에 형성시킨 Cr층의 2θ의 변화에 대한 XRD 피크를 나타내고 있다. 2θ가 44.6, 44.8, 64.8, 81.7인 피크는 각각 Cr(110), 산화크롬, Cr(200) 및 Cr(211)을 나타낸다. 그림 2에서 알 수 있듯이 형성된 막은 Cr과 산화크롬 모두 형성되고 있음을 볼 수 있으며, 산화크롬은 Cr의 증착시 Cr 입자에 일부 포획되어 있던 산소와 Cr의 반응에 따라 형성된 것으로 사료된다.

한편 그림 3은 Pt/Cr(2000 Å/800 Å) 이중층에 대한 XRD 피크를 2θ의 변화에 따라 보여주고 있다. 2θ가 39.8인 첫번째 peak는 Pt/Cr 계면에 형성된 산화크롬을 나타내고 있으며, 2θ값이 46.6인 피크는 Pt(200)이며, 2θ가 67.6인 피크는 Pt(220)를 나타내며, 2θ가 81.6인 피크는 Cr(211) 피크를 나타내고 있다.

전술한 결과로부터 Cr 및 Pt/Cr 계면에 형성된 산화크롬과 산화막위에 증착시킨 Pt/Cr 이중층 및 Pt/Cr/SiO₂ 계면에서의 화학적 조성변화를 살펴보기 위하여 AES 분석을 하였다. 그림 4 a)는 Pt/Cr/SiO₂ 구조의 AES 표면분석 결과를 나타낸 것으로, 초기에 Pt/Cr/SiO₂ 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. 이때 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 4 b)는 Pt/Cr/SiO₂ 구조의 AES depth profile을 나타낸 것으로 표면에서는 Pt만이 존재하는 것을 볼 수 있고, Pt/Cr/SiO₂ 계면에서는 Cr과 Pt의 산화크롬과 Cr이 동시에 존재하고 있는 것을 볼 수 있다. 백금과 크롬의 계면에 형성된 산화크롬은 Cr 증착시 형성된 산화크롬으로, XRD 분석결과와 비교하면 2θ가 39.8인 피크로써 Pt/Cr/SiO₂ 구조에서 백금과 크롬의 계면에 형성된 산화크롬임을 확인할 수 있다.

그림 5는 Pt/Cr 이중층을 이용하여 제작한 미세 발열체의 인가전력의 변화에 따른 발열체의 저항과 발열부의 온도측정 결과를 나타낸 것이다. 상온에서 약 100 Ω의 저항을 갖고 있던 발열체는 인가전력의 증가에 따라 자기발열에 의하여 저항값은 증가하여 1.3 watts에서 약 240 Ω으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 한편 발열체 중심부의 온도를 k형 열전대를 이용하여 측정할 결과 인가전력이 1.3 watts에서 290 ℃, 1.7 watts에서 약 420 ℃ 나타내고 있었다.

미세 발열체 중심부의 온도와 텡브레인과 실리콘 기판상의 온도분포를 정확히 살펴보고, 방사율의 확보 후 보다 신뢰성 있는 열전달 해석의 기초자료를 확보하기 위해 적외선 열화상 분석기를 이용하여 온도를 측정하였으며, 그 결과를 제시하면 그림 6과 같다.

적외선 열화상 분석기를 이용하여 온도를 측정하는 경우 발열체의 표면온도는 발열체 표면의 표면 방사율(surface emission coefficient)에 의해 결정되기 때문에 방사율을 파라미터로 하여 인가전력의 변화에 따른 발열체 표면온도를 측정하였다. 그림에서 알 수 있듯이 방사율이 증가할수록 발열체 표면온도는 감소함을 알 수 있는데, 이는 방사율이 증가할수록 산화막을 투과하여 방사되는 에너지 손실이 증가되기 때문이다. 그림 6에서 인가전력이 1.3 watts에서 발열체의 표면온도는 방사율이 0.5인 경우 305 ℃에서 방사율이 0.8인 경우 228 ℃로 감소함을 알 수 있다. 상술한 방사율을 변수로 하여 인가전력에 따른 발열체 중심부의 온도값과 k형 열전대를 이용하여 측정된 결과와 비교하면, 방사율(ε)이 0.5인 경우가 발열체 표면온도와 근사한 값을 갖고 있음을 알 수 있다.

그림 7은 Pt/Cr 이중층을 이용하여 제작한 발열체의 온도분포 측정 결과와 FIDAP 모의해석을 통하여 얻은 발열체의 온도분포 및 시간적 변화에 따른 발열체 중심부의 온도변화를 나타낸 것이다. 그림 7 a)는 방사율을 0.5로 고정된 뒤 1.3 watts의 전력을 인가한 경우 적외선 열화상 분석기를 통하여 측정된 결과를 나타낸 것이다. 실험에서 발열체 중심부의 온도를 정확히 측정하기 위하여, 측정 온도범위를 200 ℃로 설정하였는데, 이때 중심부의 온도는 약 305 ℃를 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 텡브레인 영역에서 방사상의 온도분포를 갖고 있으며, 텡브레인과 실리콘 기판의 경계부 온도는 급격히 감소함을 볼 수 있다.

한편 그림 7 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 텡브레인 중심부에서 방사상의 온도를 나타내고 있으며, 실리콘 기판과 접한 경계부는 상온과 같음을 알 수 있다.

그림 7 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 발열체의 온도분포가 방사상 형상을 나타내고 있음

을 확인할 수 있으며, 발열체 중심부의 온도가 실험치 305 ℃와 모의해석 결과치 311 ℃가 잘 일치함을 알 수 있다.

4. 결론

미세 발열체 제작을 위해 Cr 및 Pt의 두께 변화에 따라 Pt/Cr 이중층을 제작하여 전기적, 구조적 특성을 살펴보고, 미세발열체 제작을 통한 온도분포 특성을 실험과 FIDAP 모의해석을 통하여 살펴보았다.

발열체 제작에 부착층(adhesion layer)으로 Cr과 발열체 금속으로 백금을 이용하여 Cr 두께와 Pt 두께에 따른 전기적 특성을 살펴본 결과 Cr의 두께가 증가할수록 면저항은 급격히 감소하여 800 Å의 경우 17.7 Ω/□을 나타내었으며, Pt/Cr 이중층의 전기적 특성은 Cr층의 두께와는 무관하였다.

이러한 양상은 부착층으로 사용된 Cr의 증착시 Cr 박막의 표면에 산화크롬의 형성에 의한 것으로 사료된다. 이러한 결과는 XRD 분석결과 산화크롬에 해당되는 피크검출과 AES 분석시 Pt와 Cr층 계면에 존재하는 산화크롬을 통하여 확인할 수 있었다.

한편 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 ℃였고, FIDAP 해석결과 311 ℃였으며 Membrane을 중심으로 방사상 온도분포를 갖고 있음을 알 수 있었다.

참고 문헌

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", Transducer '93, pp.428, 1993

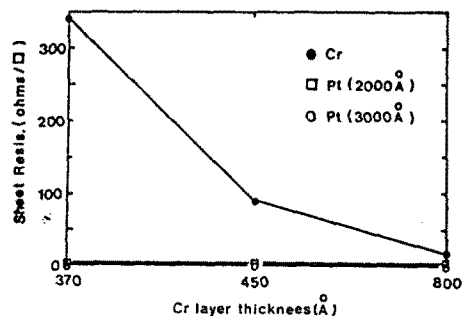


그림 1 Cr의 두께에 따른 Cr & Pt/Cr 이중층의 면저항

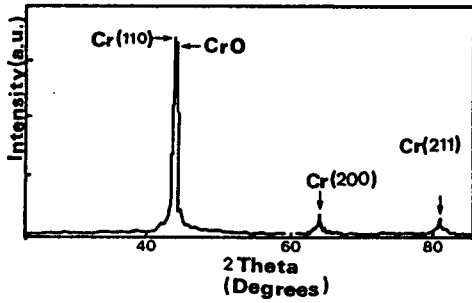


그림 2 Cr/SiO₂ 구조의 XRD DATA

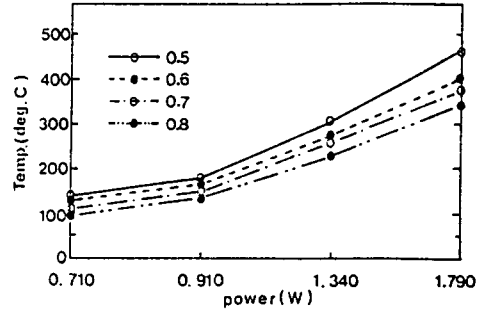


그림 6 방사율의 변화에 따른 Pt/Cr 발열체의 인가전력 대 온도특성

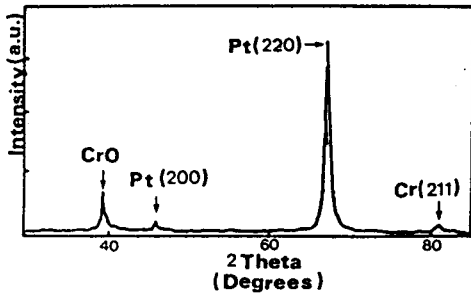
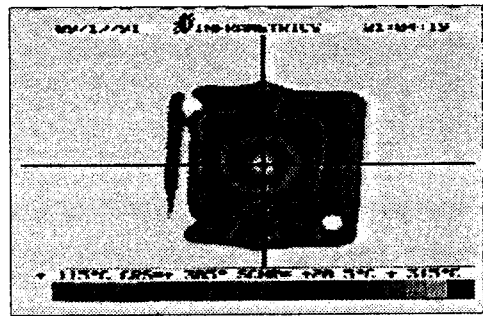


그림 3 Pt/Cr/SiO₂ 구조의 XRD DATA



a)

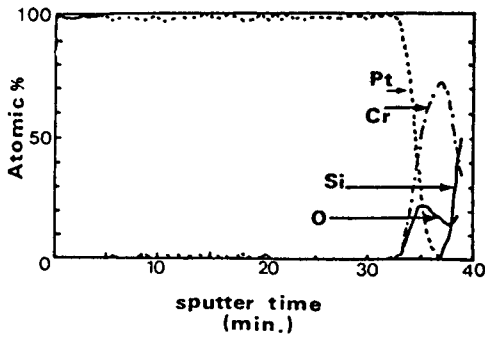


그림 4 Pt/Cr/SiO₂ 구조의 AES Depth Profile

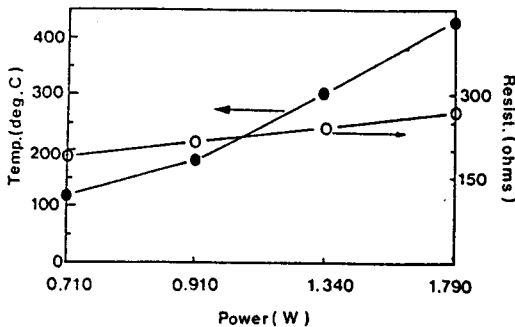
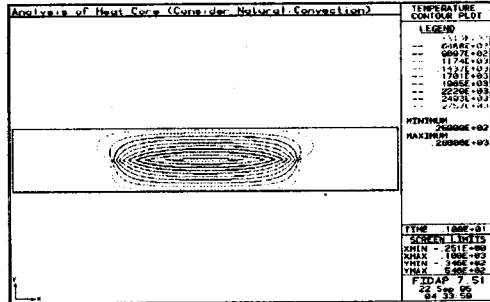
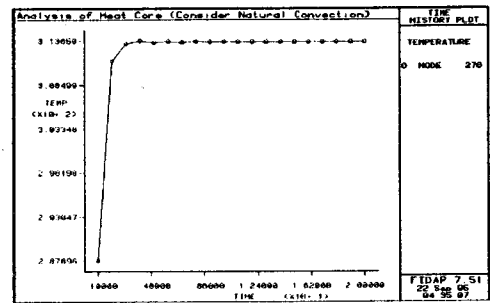


그림 5 인가전력의 변화에 따른 Pt/Cr 발열체의 저항-온도특성



b)



c)

그림 7 Pt/Cr 발열체의 온도특성

- a) 적외선 열화상 측정결과($\epsilon = 0.5$)
- b) FIDAP 모의해석
- c) 시간적 변화에 따른 발열체의 온도변화