

논문 98-7-5-09

## 가스센서용 마이크로 히터의 발열특성

최우창, 최혁환, 권태하, 이명교

## Thermal Characteristics of Microheater for Gas Sensors

Woo-Chang Choi, Hyek-Hwan Choi, Tae-Ha Kwon and Myong-Kyo Lee

## 요 약

유한요소법을 이용한 수치해석의 결과를 바탕으로 실리콘기판위에 스트레스균형이 이루어진  $\text{Si}_3\text{N}_4(150 \text{ nm})/\text{SiO}_2(300 \text{ nm})/\text{Si}_3\text{N}_4(150 \text{ nm})$  다이아프램을 증착한 후, 히터의 물질로 Pt를 사용하고, 마이크로머시닝 기술로 뒷면의 실리콘기판을 식각하여 열손실이 개선된 마이크로히터를 제작하였다. 또한, 히터의 온도를 측정하기 위해서 온도센서를 내장하였다. 온도에 따른 온도센서의 저항값 및 히터의 소비전력을 측정·계산하고, IR thermoviewer로 다이아프램의 열분포를 측정하여, 유한요소법으로 수치해석한 온도분포특성과 비교·분석하였다. 히터의 저항온도계수는 약  $0.00379/^\circ\text{C}$ 였고, 약  $300^\circ\text{C}$ 의 온도에서 51 mW정도의 전력이 소모되었으며, 히터위의  $\text{SiO}_2$ 층에서의 온도분포는 비교적 균일하였다.

## Abstract

Using the results analyzed by FEM(Finite Element Method), the microheaters with the stress-balanced  $\text{Si}_3\text{N}_4(150 \text{ nm})/\text{SiO}_2(300 \text{ nm})/\text{Si}_3\text{N}_4(150 \text{ nm})$  diaphragms were fabricated by silicon micromachining techniques. Pt was used as microheater materials. Pt temperature sensor was fabricated to measure the temperature of microheaters. Resistance of temperature sensor and power dissipation of microheater were measured and calculated at the various temperatures. The thermal distribution of heater was examined by a IR thermoviewer. Measured and simulated results are compared and analyzed. The temperature coefficient of resistance of heater was about  $0.00379/^\circ\text{C}$ . Pt heater showed the power dissipation of about 51 mW at  $300^\circ\text{C}$  and a uniform thermal distribution on the surface.

## 1. 서 론

미세전자공학 기술의 발전으로  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{WO}_3$  및  $\text{MoO}_3$ 등과 같은 산화물을 각자 물질로한 마이크로형 반도체 가스센서에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.<sup>1)~7)</sup>

이러한 가스센서의 감도와 선택성은 감지막과 동작

온도에 의존하며, 감지막에서 가스와의 화학적 반응은 비교적 높은 온도에서 이루어지므로 히터의 이용은 대부분의 가스센서에서 절대적으로 필요하다.

히터의 소비전력을 줄이기 위해서는 발열부에서 외부로의 열차단이 잘 되어야 한다. 다이아프램형 마이크로히터의 경우 열차단을 위한 유전체 다이아프램에 작용하는 스트레스의 불균형으로 인하여 표면이 평탄하지 못하거나 깨어지므로, 적당한 다이아프램 물질의 선택은 매우 중요하다<sup>1)~7)</sup>. 1993년 독일의 B. W. van

부경대학교 전자공학과 (Dept. of Electronic eng., Pukyong National University)

<접수일자 : 1998년 7월 3일>

Oudheusden 등<sup>11)</sup>은 SiO<sub>2</sub>만으로 제작한 다이아프램형의 히터는 스트레스의 불균형때문에 표면이 팽탄하지 못하거나 깨어진다고 보고하였다. 1998년 프랑스의 C. Rossi 등<sup>12-3)</sup>은 여러물질의 다이아프램을 이용한 수치해석의 결과를 바탕으로 스트레스가 적은 SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub> 다이아프램을 이용하여 230 °C에서 50 mW의 소비전력을 가지는 마이크로히터를 제작하였다.

본 연구에서는 SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>등을 다이아프램물질로 사용하고, 그 두께를 조절하여 설계된 마이크로히터의 모델에 대하여 유한요소법으로 수치해석을 하였다. 또한, 히터위의 SiO<sub>2</sub>층의 두께를 변화시키면서 수치해석하여 SiO<sub>2</sub>상에서의 열분포와 선폭사이에서의 열분포를 분석하였다. 그 결과를 바탕으로 스트레스균형이 이루어진 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>(150 nm)/SiO<sub>2</sub>(300 nm)/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>(150 nm) 다이아프램위에 RF 마그네트론 스퍼터링 방법으로 Pt 온도센서 및 Pt 히터를 형성한 후, 마이크로머시닝 기술로 뒷면의 실리콘 기판을 식각하여 전력소모가 적은 마이크로히터를 제작하였다. 수치해석한 히터의 열분포와 IR thermoviewer를 이용하여 측정된 히터의 열분포를 비교·분석하였다.

## II. 열해석과 마이크로히터의 제작

### 1. 유한요소법에 의한 열해석

ANSYS 5.3 프로그램의 유한요소법을 이용한 수치해석에서는 3차원 열고체모델(3-D thermal solid model)을 이용하였다. 열전달방식에는 전도, 대류 및 복사의 세가지가 있으며, 다음은 일반적인 열전달에서의 원리 및 본 수치해석에서 사용된 방정식이다<sup>18)</sup>.

Fourier의 열전달법칙에 의해서 등방성열전도도에 대한 3차원방정식은 (1)식과 같이 주어진다.

$$q'' = -kA \left( \vec{a}_x \frac{\partial T}{\partial x} + \vec{a}_y \frac{\partial T}{\partial y} + \vec{a}_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (1)$$

여기서  $q''$ 는 열이 전달되는 x, y, z방향으로의 열흐름이고, A는 막표면의 단면적이며, k는 열전도도이다.

대류효과는 Newton's cooling law에 의해서 식 (2)와 같이 표현된다. 본 수치해석에서는 자연대류만을 가정하였고, 자연대류에 의한 대류열전달계수는 식 (3), (4) 및 (5)로 간략하게 표현된다. 식 (3)은 가열된 수직판의 경우이고, 식 (4)는 윗면이 가열되면서 아래면이

냉각되는 수평평판의 경우이며, 식 (5)는 아래면이 가열되면서 윗면이 냉각되는 수평평판의 경우에서의 대류열전달계수를 나타낸다.

$$q'' = hA(T_w - T_\infty) \quad (2)$$

$$h = 1.42 \left( \frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4} \quad (3)$$

$$h = 1.32 \left( \frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4} \quad (4)$$

$$h = 0.59 \left( \frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4} \quad (5)$$

여기서 h는 대류열전달계수이고,  $\Delta T = T_w - T_\infty$ 이다.  $T_w$ 는 막표면의 온도이고,  $T_\infty$ 는 유체의 온도로서 27 °C(300 K)로 가정하였다. 또한  $L = A/P$ 이며 A는 면적, P는 면적을 감싸고 있는 표면둘레이다.

열복사는 유한한 온도의 물질로부터 방사되는 전자기 에너지이며, 표면에서의 복사는 Stefan-Boltzmann 법칙에 의해서 식 (6)과 같이 주어진다.

$$q'' = \epsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \quad (6)$$

여기서  $\epsilon$ 은 복사율,  $\sigma$ 는 Stefan-Boltzmann 상수 ( $5.67 \times 10^{-12}$  W/cm<sup>2</sup>·K<sup>4</sup>)이고, T<sub>1</sub>은 표면 1의 절대온도, T<sub>2</sub>는 표면 2의 절대온도이며, 주위의 온도는 27 °C로 가정하였다. 히터내에서는 위의 세가지 열전달방식이 동시에 발생하고 히터에서 발생한 열이 전도되어 대류와 복사로 모두 방출된다면, 그 관계식은 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$-kA \left( \vec{a}_x \frac{\partial T}{\partial x} + \vec{a}_y \frac{\partial T}{\partial y} + \vec{a}_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = hA(T_w - T_\infty) + \epsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \quad (7)$$

본 수치해석에서는 PC용 소프트웨어를 사용함으로써 생기는 요소(element)의 부족 현상을 방지하기 위하여 마이크로히터의 일부분에 전도, 대류 및 복사효과를 모두 고려하여 열분석을 하였다. 리드선에 의한 영향은 고려하지 않았으며, 마이크로히터의 구조와 물질에 적

당한 물질계수를 대입하였다<sup>[8,9]</sup>. 히터의 온도는 일정한 체적에 전력을 가하는 방식(heat generation rate)을 이용하였고, ZnO를 기본물질로 사용하는 TMA (trimethylamine), DMA(dimethylamine), 암모니아등의 가스센서에 적합한 300 °C로 고정하였다.

2. 마이크로히터의 제작

그림 1은 마이크로히터의 제작공정을 나타낸 것이다. 그림 1의 (a)에서 기판은 비저항이 2~10 Ω·cm, 직경이 4인치, 두께가 510 μm, 결정방향이 (100)이며, 양면이 경면처리된 n형 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 그림 1의 (b)~(g)와 같이 기판 양면에 다이아프램을 증착하고<sup>[10]</sup>, lift-off용 감광제와 양면 마스크 얼라이너를 이용하여 앞면의 Pt 온도센서와 뒷면의 다이아프램을 식각할 마스크의 패턴을 현상하였다. 그런 다음 기판의 양면에 RF 마그네트론 스퍼터링 방법으로 실온에서 30 nm두께의 Ti 및 250 nm두께의 Pt를 증착한 후, 아세톤 용액에 넣고 초음파세척기로 10초간 패터닝을 하여 앞면의 Pt 온도센서와 뒷면의 다이아프램을 식각할 마스크의 패턴을 완성하였다. 이 때 Ti는 Pt 박막의 부착력을 개선시키기 위한 것이다. 그런 다음 기판앞면의 Pt 온도센서와 Pt 히터를 절연시키기 위해서 RF 마그네트론 스퍼터링 방법으로 300 °C의 기판온도에서 400 nm 두께의 SiO<sub>2</sub>를 증착하였다<sup>[10]</sup>. 증착된 SiO<sub>2</sub> 위에 RF 마그네트론 스퍼터링 방법으로 실온에서 Pt(250 nm)/Ti(30 nm) 히터를 증착하고, 그 위에 다시 SiO<sub>2</sub>층을 증착시켜 보호층으로 사용하였다. 위와 같은 온도센서와 히터의 배열은 히터와 히터위에 증착될 감지막의 거리를 최소화하여 균일한 온도분포의 감지막을 형성하기 위한 것이다.

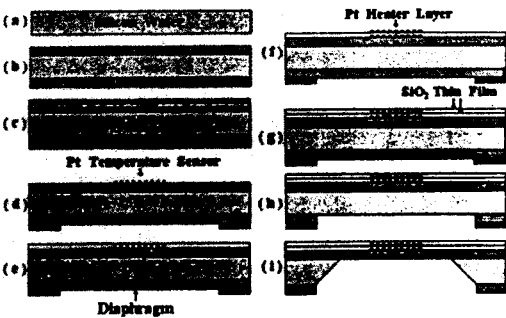


그림 1. 마이크로히터의 제작공정 순서  
Fig. 1. Fabrication steps of a microheater

그림 1의 (h)~(i)에서는 다이아프램이 형성되어 있는 기판의 뒷면을 이미 증착되어 있는 Pt/Ti를 식각마스크로 이용하여 다이아프램층을 건식식각 방법으로 식각하였다. 그런 다음 Si 기판으로의 열손실을 줄이기 위해 기판 뒷면의 Pt/Ti/다이아프램층을 식각마스크로 사용하여 히터 뒷부분의 Si를 약 83 °C의 KOH용액으로 습식식각하였다<sup>[10]</sup>.

제작된 히터와 온도센서의 선폭은 50 μm, 면적은 0.85×0.85 mm<sup>2</sup>이고, 다이아프램의 면적은 2×2 mm<sup>2</sup>였다. 그림 2는 제작된 마이크로히터의 단면도와 평면도를 나타낸 것이다.

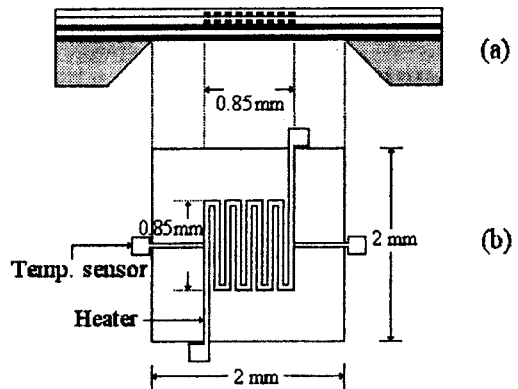


그림 2. 마이크로히터의 (a)단면도와 (b)평면도  
Fig. 2. (a)Cross-sectional view and (b)top view of a micrometer

III. 결과 및 고찰

1. 유한요소법에 의한 열분석

그림 3은 히터의 온도를 약 300 °C로 하였을 때, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>를 다이아프램으로 하고, 기판 뒷면의 실리콘을 식각하지 않은 경우에 대해 마이크로히터의 열분포를 수치해석한 것이다. 소비전력은 2 W 정도였고, 선폭사이의 온도는 70 °C정도의 차이가 있었으며, 측면으로의 열전달이 많이 발생하였다. 또한, 히터내의 온도분포가 균일하지 못하고, 열차단이 좋지 않았다. 이는 실리콘의 큰 열전도도로 인하여 기판 뒷면의 실리콘쪽으로 많은 열손실이 발생하였기 때문이다.

그림 4는 히터의 온도를 약 300 °C로 하고, SiO<sub>2</sub>(600 nm)를 다이아프램으로 이용한 마이크로히터의 온도분포를 수치해석한 것이다. 소비전력은 38 mW정도였고,

선폭사이의 온도차이가 약 15 °C정도로 온도분포가 비교적 균일하였으며, 열차단이 우수하였다. 이는 뒷면의 Si를 식각하여 외부로 빠져나가는 열손실이 크게 감소하였기 때문이다. SiO<sub>2</sub>의 두께를 1 μm와 2 μm로 하여 수치해석한 결과 온도분포특성이 좋지 못했고, SiO<sub>2</sub>의 두께가 얇을수록 마이크로히터의 온도분포특성이 우수함을 알 수 있었다. 하지만, SiO<sub>2</sub> 다이아프램의 경우에는 온도상승시 SiO<sub>2</sub>의 압축스트레스(compressive stress)로 인하여 히터가 파괴되거나, 뒤틀림이 발생하기 때문에 마이크로히터의 제작시 다이아프램의 물질로 사용하기에는 적합하지 않다<sup>[1]</sup>.

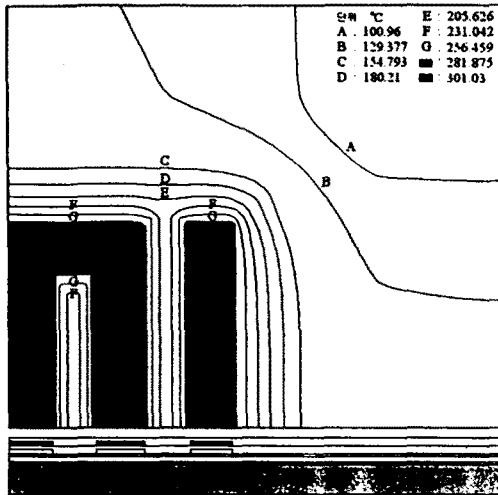


그림 3. 실리콘 벌크형 마이크로히터의 온도분포  
Fig. 3. Temperature diagram of silicon bulk-type microheater

그림 5는 히터의 온도를 300 °C로 하고, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>(150 nm)/SiO<sub>2</sub>(300 nm)/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>(150 nm)를 다이아프램으로 이용한 마이크로히터의 온도분포를 수치해석한 것이다. 소비전력은 43 mW정도였고, 선폭사이의 온도차이는 20 °C정도로 비교적 균일하였으며, 히터내의 열차단이 우수하였다. 또한, 히터상층의 온도분포가 비교적 균일하기 때문에 SiO<sub>2</sub> 위에 증착될 가스센서용 감지막의 온도분포도 균일할 것이라 생각된다. 그림 4의 SiO<sub>2</sub> 다이아프램보다는 온도분포특성이 우수하지 못하지만, SiO<sub>2</sub>의 압축스트레스(compressive stress)와 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>의 인장스트레스(tensile stress)가 서로 상쇄되어 다이아프램의 스트레스균형이 잘 이루어지기 때문에 마이크

로히터의 다이아프램물질로 적합하다<sup>[6]</sup>. 또한, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>의 두께(nm)를 200 nm/400 nm/200 nm으로 조정하여 수치해석한 결과 150 nm/300 nm/150 nm 두께의 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>보다 큰 열손실을 보였다.

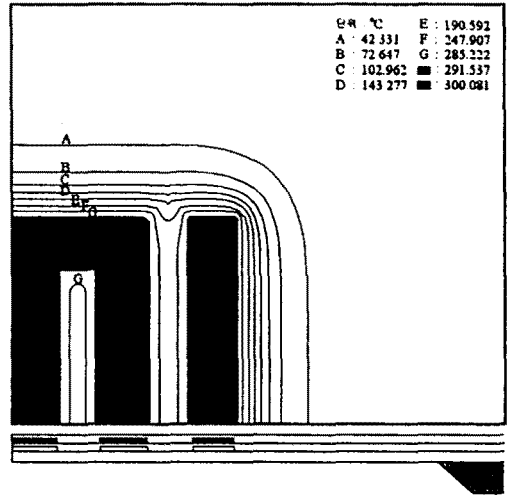


그림 4. SiO<sub>2</sub>(600 nm) 다이아프램형 마이크로히터의 온도분포  
Fig. 4. Temperature diagram of SiO<sub>2</sub>(600 nm) diaphragm-type microheater

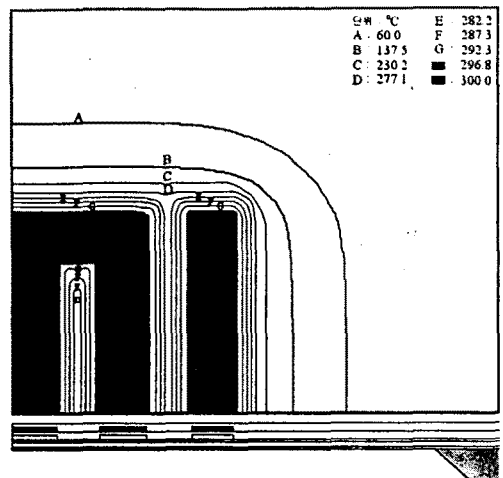


그림 5. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>(150 nm)/SiO<sub>2</sub>(300 nm)/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>(150 nm) 다이아프램형 마이크로히터의 온도분포  
Fig. 5. Temperature diagram of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>(150 nm)/SiO<sub>2</sub>(300 nm)/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>(150 nm) diaphragm-type microheater

그림 6은 히터의 온도를 300 ℃로 하였을 때, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>(150 nm)/SiO<sub>2</sub>(300 nm)/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>(150 nm) 다이아프램의 마이크로히터에서 히터위의 SiO<sub>2</sub>층의 두께에 따른 선폭 사이의 온도분포를 수치해석한 것이다. 그림 6의 (a)~(d)를 비교하면 SiO<sub>2</sub>의 두께를 두껍게 할수록, 선폭사이의 온도분포가 균일하게 나타났다. 이는 SiO<sub>2</sub>의 두께가 두꺼울수록 SiO<sub>2</sub>를 통한 모든 방향으로의 열흐름이 증가하기 때문에 선폭사이의 온도분포가 균일한 것이다. 하지만, 그림에서와 같이 SiO<sub>2</sub>의 두께가 두꺼울수록 다이아프램을 통한 열손실이 많고, 일정한 온도까지 발열하는데 더 많은 시간이 소요되므로 온도 분포가 비교적 균일하고 열손실이 적은 400 nm 두께의 SiO<sub>2</sub>층이 가스센서용 마이크로히터에 가장 적합하다고 생각된다.

그림 7은 그림 6의 (b)에서 마이크로히터의 일부분을 확대하여 히터내의 온도분포를 나타낸 것이다. 히터의 소비전력을 약 43 mW정도로 하였을 때, 히터의 온도와 히터위의 SiO<sub>2</sub>층의 온도는 약 300 ℃정도를 나타내었다.

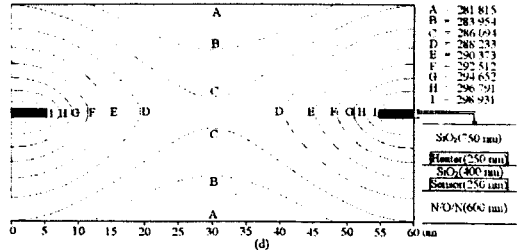
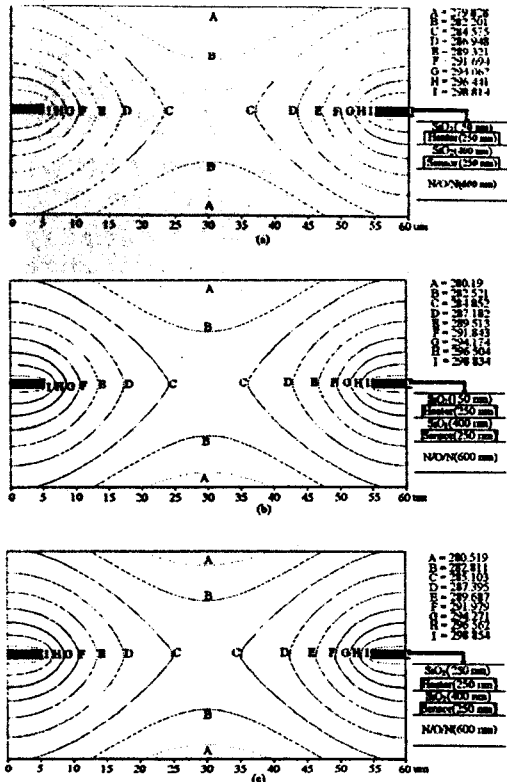


그림 6. 히터위의 SiO<sub>2</sub>층의 두께에 따른 선폭사이의 측면온도분포

(a) 300 nm (b) 400 nm (c) 500 nm (d) 1 μm

Fig. 6. Cross-sectional temperature diagram of line width as a function of upper SiO<sub>2</sub> thickness

(a) 300 nm (b) 400 nm (c) 500 nm (d) 1 μm

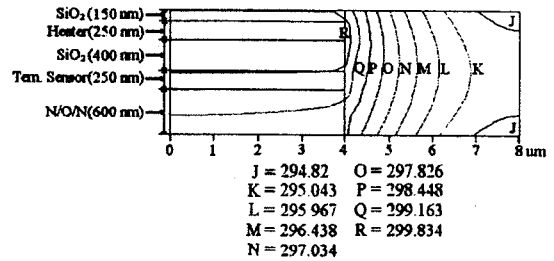


그림 7. 히터 내에서의 측면온도분포

Fig. 7. Cross-sectional temperature diagram of inside the microheater

## 2. 마이크로히터의 발열특성

수치해석된 결과를 바탕으로 마이크로히터의 다이아프램으로 적합한 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>(150 nm)/SiO<sub>2</sub>(300 nm)/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>(150 nm) 박막을 이용하고, 히터위의 SiO<sub>2</sub> 두께를 400 nm로 하여 마이크로히터를 제작하였다. 제작된 마이크로히터의 경우, 400 nm의 SiO<sub>2</sub> 두께로 Pt 온도센서와 Pt 히터의 절연이 가능하였다. 그림 8은 Pt 온도센서의 온도변화에 대한 저항특성을 나타낸 것이다. Pt 온도센서의 온도와 전기저항값은 Pt 히터에 전압을 가하면서 디지털 멀티미터와 일렉트로미터를 이용하여 각각 측정하였다. 상온에서 약 102 Ω의 저항을 갖는 Pt 온도센서는 400 ℃의 온도에서 약 234 Ω 정도의 저항값을 나타냈다. 이 온도센서의 저항온도계수는 약 0.00379 /℃였다. 본 연구에서 제작한 Pt 온도센서의 저항온도계수는 온도측정용 표준저항으로 사용되는 Pt의 저항온도계수 0.003925 /℃보다 작은 값을 나타냈는데, 이는 Pt 박막의 순도때문인 것으로 생각된다.

다. 일반적으로 Pt 박막의 저항온도계수는 박막의 순도에 크게 의존하고 순도가 높을수록 저항온도계수는 증가한다. 그림 8에서 나타낸 바와 같이 Pt 온도센서의 저항은 온도에 따라 우수한 선형성을 보였다.

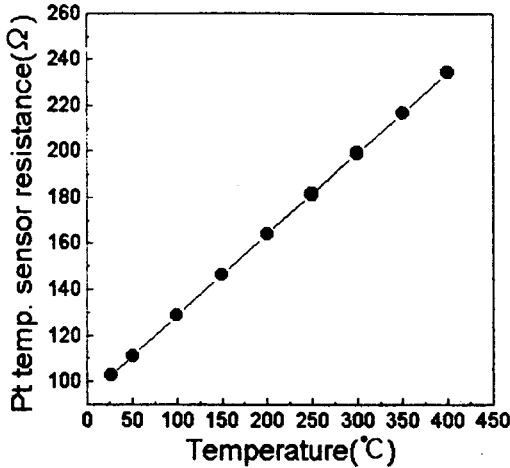


그림 8. Pt 온도센서의 저항 대 온도비교

Fig. 8. Pt temperature sensor resistance vs. temperature

그림 9는 제작된 소자와 수치해석된 소자의 소비전력의 변화에 대한 온도변화를 나타낸 것이다. 소비전력의 변화에 대한 온도값은 히터에 전압을 변화시키면서 온도를 측정하여 그림 8에서의 온도에 해당되는 저항과 전압으로 소비전력을 계산한 것이다. 본 연구에서 제작한 마이크로히터는 400 °C의 온도에서 약 79 mW 정도의 소비전력을 나타내었다. 그림 7에서 히터위의 SiO<sub>2</sub>가 약 300 °C 정도로 되기 위해서 수치해석상으로는 약 43 mW의 소비전력이 필요하고, 실제로는 약 51 mW의 전력이 소비되었다. 그 차이는 약 8 mW 정도였으며, 이와 같은 차이는 수치해석시 모델의 단순화와 접촉저항 및 리드선의 효과를 무시하여 생긴 것으로 생각된다.

그림 10은 소비전력이 약 51 mW에서 다이아프램상에서의 열분포를 IR thermoviewer로 측정된 것이다. 사용된 IR thermoviewer(Inframetric Co. U.S.A)의 파장은 8~12 μm였으며, 소자 전체에 적용되는 방사율(emissivity)은 히터를 구성하는 각각 다른 물질의 방사율을 고려하여 0.8로 고정하였다<sup>[3]</sup>. 그림 10에서 알 수 있듯이 다이아프램상에서의 열차단이 우수하였다.

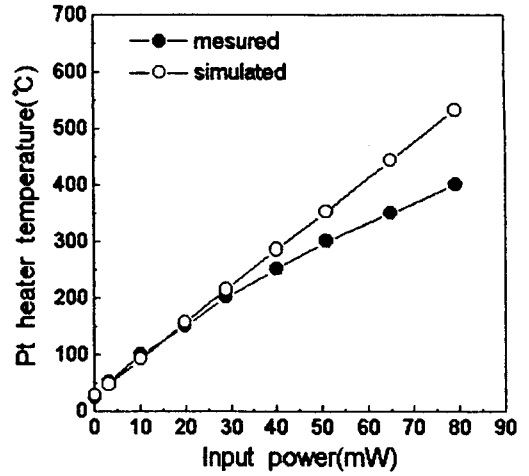


그림 9. 제작된 히터와 수치해석된 히터의 온도 대비 전력 비교

Fig. 9. Pt heater temperature vs. input power

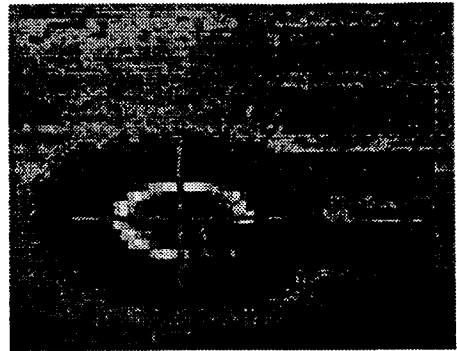


그림 10. 소비전력이 51 mW일 때 다이아프램상의 적외선 측정사진

Fig. 10. Infrared diagram of diaphragm at the power of 51 mW

#### IV. 결 론

수치해석의 결과로 스트레스균형이 이루어진 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>(150 nm)/SiO<sub>2</sub>(300 nm)/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>(150 nm) 다이아프램상에 Pt 히터와 Pt 온도센서를 내장하여 마이크로히터를 제작하였고, 발열특성을 분석하였다. 실리콘기판으로의 열손실을 개선하기 위하여 기판은 이방성으로 습식식각하였다.

다이아프램의 열차단효과에 의해서 온도분포가 비교

적 균일하였고, 온도센서의 저항온도계수( $\alpha$ )는 약 0.00379 / $^{\circ}$ C를 나타내었다. 가스센서의 동작에 적합한 300  $^{\circ}$ C의 히터온도에서 소비전력이 약 51 mW였으며, 히터위의 SiO<sub>2</sub>층의 온도는 300  $^{\circ}$ C정도의 균일한 분포를 보였다. 수치해석 및 측정결과와 히터의 적외선 측정사진을 통해 다이아프램상에서의 열차단이 우수함을 확인하였다.

**감사의 글**

※ 본 연구는 서울대학교 반도체공동연구소의 교육부 반도체분야 학술연구조성비 (과제번호 : ISRC 96-E-5001) 및 1998년도 부경대학교 기성회 학술연구조성비에 의해 수행되었음.

**참고문헌**

[1] B. W. van Oudheusden, "Silicon thermal flow sensors," *Sensors and Actuators A* 30, pp. 25-26, 1992.

[2] C. Rossi, P.E. Scheid and D. Esteve, "theoretical and experimental study of silicon micromachined microheater with dielectric stacked membranes", *Sensors and Actuators A* 63, pp. 183-189, 1997

[3] C. Rossi, P. Temple-Boyer and D. Esteve, "realization and performance of thin SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub> membranes for microheater applications", *Sensors and Actuators A* 64, pp. 241-245, 1998

[4] 이승환, 서임춘, 성영권, "미세 발열체의 발열특성과 열처리 온도에 따른 Pt/Cr 이중층의 특성", *한국센서학회지*, 제5권, 제5호, pp. 69-77, 1996.

[5] F. Volklein, "Thermal conductivity and diffusivity of a thin film SiO<sub>2</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> sandwich system," *Thin Solid Films*, Vol. 188, pp. 27-33, 1990

[6] 김명규, 박동수, 김창원, 김진섭, 이정희, 이종현, 손병기, "스트레스균형이 이루어진 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 유전체 멤베레인의 제작", *한국센서학회지*, 제4권, 제3호, pp. 51-59, 1995.

[7] 안영배, 김진섭, 김명규, 이종현, 이정희, "스트레스균형이 이루어진 멤베레인 및 박막 열전대를 이용한 유체센서" *한국센서학회지*, 제5권, 제6호, pp. 51-59, 1996

[8] 李正五, 朴喜鎔, 熱傳達, 汎韓書籍株式會社, p. 349, 1992

[9] 정완영, 임준우, 이덕동, 노보루 야마조에, "마이크로 가스센서를 위한 저전력 마이크로 히터의 제조. I. 유한요소법에 의한 열분포해석", *한국센서학회지*, 제6권, 제4호, pp. 86-93, 1997

[10] 박성현, 김성우, 최우창, 류지열, 최혁환, 이명교, 권태하, "TMA 가스센서용 마이크로히터의 발열특성 연구", *센서기술학술대회 논문집*, 제8권, 제1호, pp. 168-173, 1997

[11] E. S. Toon, "Electrothermal Modeling of Micromachined Planar Diaphragm Structures", *센서기술학술대회논문집*, 제7권, 제1호, pp. 171-176, 1996

著 者 紹 介

**최 혁 환(Hyek Hwan Choi)**

『센서학회지 제6권 제4호』 논문 97-6-4-03, p. 14참조  
현재 부경대학교 전자공학과 조교수

**권 태 하(Tae Ha Kwon)**

『센서학회지 제6권 제4호』 논문 97-6-4-03, p. 14참조  
현재 부경대학교 전자공학과 교수

**이 명 교(Myong Kyo Lee)**

『센서학회지 제6권 제4호』 논문 97-6-4-03, p. 14참조  
현재 부경대학교 전자공학과 교수



**최 우 창(Woo Chang Choi)**

1975년 2월 19일생. 1997년 부경대학교 전자공학과 졸업(공학사), 1997년~ 현재 부경대학교 전자공학과 석사과정, 주관심분야 : 반도체 센서, 마이크로머시닝 기술, 강유전 메모리