

## 실리콘 마이크로 가스센서의 열해석

### Thermal Analysis of Silicon Micro-Gas Sensor

정 완 영, 엄 구 남\*  
(Wan-Young Chung, Ku-Nam Um)

#### Abstract

Thermal simulation of typical stack-type and newly proposed planar-type micro-gas sensors were studied by FEM method. The thermal analyses for the proposed planar structure including temperature distribution over the sensing layer and power consumption of the heater were carried using finite element method by computer simulation and well compared with those of typical stack-type micro-gas sensor. The thermal properties of the microsensor from thermal simulation were compared with those of a actual device to investigate the acceptability of the computer simulation.

**Key Words(중요용어)** : Gas Sensor(가스센서), Silicon Sensor(실리콘 센서), Thermal Analysis(열해석), FEM Simulation(FEM 시뮬레이션)

#### 1. 서 론

마이크로가스센서의 열해석은 그 중요성에 비해 지금까지 그다지 주목을 받지 못하였다. 1990년대 들어 시작된 대부분의 열해석은 상업용의 소프트웨어 제품에 의해 수행되어오고 있다<sup>[1-5]</sup>. 컴퓨터에 의해 수행되어진 대부분의 열해석은 유한요소법(FEM: Finite Element Method)이나 차분법(FDM: Finite Differential Method)을 이용한 소프트웨어에 의해 이루어지고 있다. 본 연구에서는 실리콘기판의 뒷면으로부터 이방성에칭된 마이크로센서구조에서 히터, 절연층과 감지막이 순서적으로 쌓여진 구조인 '적층형구조'의 센서<sup>[2]</sup>와 히터와 감지막이 동일면위에 존재하는 '평면형구조'의 센서<sup>[6]</sup>의 열해석을 시도하고 두 센서구조의 열특성의 차이점을 조사, 비교하여서 본 연구그룹에 의해 제안된 평면형구조 마이크로 가스센서의 열분포특성을 조사하고자 하였다.

#### 2. 열해석을 위한 이론 및 물질정수

본 연구에서 소자에서의 열분포와 열소비전력 등의 열특성을 시뮬레이션하기 위해서 유한요소법을 이용하는 상업용 범용소프트웨어인 ANSYS (Swanson Analysis Systems, Inc., U.S.A.)를 이용하였다. 이 시뮬레이션에서 마이크로센서소자의 가열전력은 히터 부하(열생성을, 즉 히터의 단위체적에 일정한 전력을 부과하는 방식)에 의해 히터에 부과되었다. 또한 이 시뮬레이션에서는 마이크로센서소자가 주위의 어떤 고체와도 접촉하지 않은 상태의 완전히 독립적으로 27°C 주변의 공기만으로 둘러 쌓여있다고 가정한다. 즉, 소자의 패키지에 의한 열적 손실을 고려에 넣지 않았다.

#### 3. 실 험

##### 3.1 소자 모델의 설계 및 소자의 제조

본 시뮬레이션에서 연구된 소자는 전형적인 마이크로센서구조인 두 가지 형태의 적층형구조와 새롭

표 1. 시뮬레이션에서 사용된 열 계수들

Property	Si	SiO <sub>2</sub> (PSG)	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	Pt
Thermal conductivity [W/cm · K]	1.5	0.0109~0.0145 (293~573K)	0.2092	0.734~0.719 (273~600K)
Emissivity	0.3	0.7		0.1

게 제안되고 있는 평면형구조이다. 적층형구조 I의 경우, 히터 최외곽의 크기(즉, 감지막의 크기)가 다이아프램의 크기의 1/3으로 고정되었고 이 히터의 크기는 평면형히터외곽의 크기와 같다. 이러한 히터의 크기는 실리콘 벌크로의 열전도를 줄이기 위한 이상적인 크기로 알려져 있다. 그러나 적층형구조 II의 경우에는 히터와 감지막의 크기가 평면형구조의 감지막과 같은 크기로 설계되었다. PC용 소프트웨어의 요소수의 제한(500개 이하) 때문에 본 연구에서는 소자의 완전한 대칭구조를 가정하여 소자의 1/4만을 시뮬레이션 하였고 전체의 소비전력을 계산할 때는 그 일부에서 소비되는 전력의 4배로 계산하였다.

평면형 소자의 제조된 모습을 그림 1에 보였다. 폭 3.7×3.7 mm, 두께 320 μm의 실리콘 칩이 뒷면으로부터 에칭되어 1.5×1.5 mm폭과 950 nm 두께의 사각형 다이아프램을 형성하였다. 그 위에 Pt 히터와 감지막을 위한 전극쌍과 260×260 μm<sup>2</sup>의 SnO<sub>2</sub> 감지막이 형성되어 있다. 절연층 다이아프램은 APCVD(atmosphere pressure chemical vapor deposition)에 의한 PSG(phosphorous silica glass) 800 nm, LPCVD(low pressure chemical vapor deposition)에 의한 150 nm 두께의 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 막이 사용되었다. 제조공정은 간단히 다음의 3개의 마스크공정으로 이루어져 있다.

(1) Mask 1은 저항제히터와 감지막을 위한 전극쌍의 형성을 위해, (2) Mask 2는 실리콘벌크의 후면에 에칭을 위해, (3) Mask 3은 감지막의 패터닝을 위한 것이다.

센서의 제조공정의 상세한 설명은 다른 논문에 다루어져 있다.<sup>[6]</sup>

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 마이크로 가스센서의 열특성

전형적인 적층형구조에서는 감지막은 그것의 바로 아래에 있는 히터에 의해 가열되어지지만 평면형의 경우 감지막은 감지막 바깥에 위치하는 백금 히터에 의해 가열되어진다. 그림 2는 각각 56.6 mW, 47.7 mW 및 25.1 mW의 전력으로 가열된 평면형구조, 적층형구조 I과 적층형구조 II 소자의 열 흐름도이다. 평면형 마이크로히터의 경우 히터의 대부분의 히팅에너지는 열전도에너지의 형태로 감지막의 측면에 있는 히터로부터 다이아프램을 거쳐 가스감지막에 전달되기 때문에 히터와 감지막사이의 다이아프램에서의 대류와 복사에 의한 열 전력의 소모가 비교적 클 것으로 예측된다. 전체의 열전력에 대한 3가지 열전달기구의 기여에 대한 시뮬레이션 결과를 감지막의 평균온도의 함수로서 그림 3에 나타내었다. 여기에서 감지막의 평균온도는 감지막의 중앙부위와 가장자리부분의 1/2이되는 위치에서의 온도로 정의하였다. 소자가 다른 어떤 부양부분과도 접촉하지 않은 완전히 27℃온도의 주변공기로 고립되어있다고 가정하므로써 패키지 부분으로의 전도에너지에 의한 부분은 고려되지 않았다. 감지막의 온도를 150℃에서 400℃로 증가시킴으로써 복사에너지의 부분이 평면형구조의 경우 5.6%에서 10.0%로, 적층형 I의 경우는 7.5%에서 13.7%로 적층형구조 II의 경우는 7.8%에서 12.4%로 선형적으로 증가되었음을 볼 수 있다.

그림 4는 평면형구조, 적층형구조 I과 적층형구조 II의 시뮬레이션된 가열특성을 보인 것이다. 평면형구조에서 감지막은 감지막의 외곽을 둘러싼 백금 히터에 의해 가열된다. 따라서 가열에너지는 그림 3

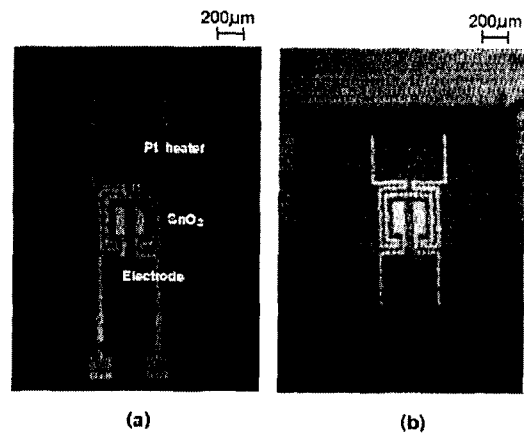


그림 1. 평면형 마이크로센서의 구조.  
(a) 윗면 (b) 뒷면

에서와 같이 열전도에 의해 주로 전달된다. 따라서 평면형구조에서 히터로부터 감지막으로의 열전도동안에 약간의 대류에너지가 소비되어질 것이다. 그러나 적층형구조에서는 가스감지막이 감지막 바로 아래에 있는 히터에 의해 가열되기 때문에 히터로부터 감지막으로의 열전도동안 대류에너지의 손실은

전혀 없는 것으로 생각되어진다. 이러한 대류에너지에서의 소비에너지의 차이가 감지막의 동작온도를 증가시키는 데에 필요한 전력에 크게 효과를 미치

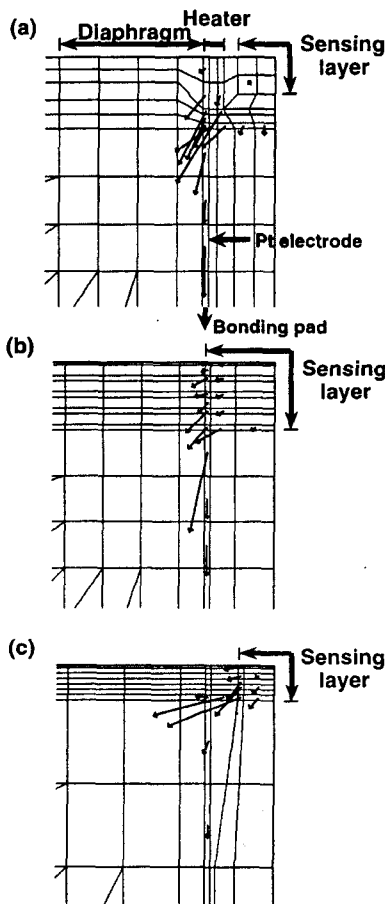


그림 2. 각각 56.5, 47.7 및 25.1 mW의 가열전력에 대한 열흐름도. (a) 평면형구조 (b) 적층형구조 I (c) 적층형구조 II

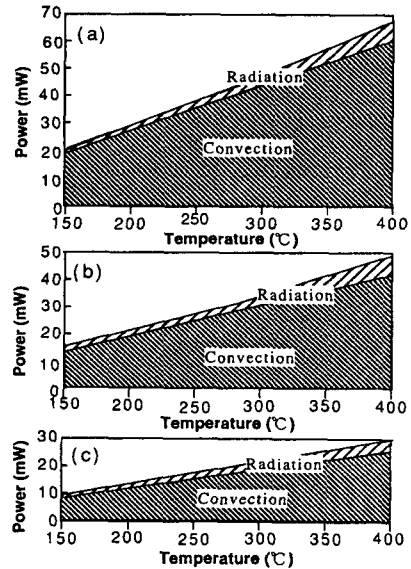


그림 3. 가열전력과 감지막의 평균온도와의 시뮬레이션 결과. (a)평면형구조 (b)적층형구조 I (c) 적층형구조 II

는 것으로 생각된다.

적층형구조의 감지막에서의 온도분포는 거의 같은 감지막온도의 평면형구조에서의 온도분포와 비교하여 그 온도변화폭이 각각 6.9배와 5.8배 크다는 것을 알 수 있다. 평면형구조의 마이크로센서에서는 비록 감지막에서의 온도변화가 히터전력(또는 온도)을 증가시키기에 따라 증가하는 경향이 있으나(그림 5) 본 연구에서 시뮬레이션된 최대의 히터전력(약 397.1°C에 대한 67.1 mW)에서조차도 매우 작은 8.6°C의 온도 편차를 보였다. 그러한 감지막에서의 온도의 균일성이 동일 다이아프램위에서 가열히터에 의해 둘러싸인 감지막을 가지는 제안된 평면형구조의 특성을 잘 표현해주고 있다.

#### 4.2 실제소자에서의 온도평가

히터전력에 대한 시뮬레이션된 감지막이 온도값( $T_s$ )와 실제소자의 감지막의 온도값( $T_D$ )을 비교하였다. 히터전력이 20mW까지는  $T_D$ 값과  $T_s$ 값이 매우 일치하지만 가열전력이 증가하면서 그 차이가 조금씩 커지는 것을 알 수 있다. 예를 들면 347.2°C

## 5. 결 론

마이크로가스센서의 열특성을 FEM법을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 분석하였다. 시뮬레이션 결과 평면형구조는 적층형구조보다 동일한 감지막의 온도를 위해 보다 많은 전력을 필요로 함을 알았다. 그러나 동일 평면위에 백금 히터와 감지막을 가지는 평면형구조는 전형적인 적층형구조가 5~6개의 마스크를 필요로 하는 공정에 의해 제작되는데 비해 3개의 마스크를 이용하는 단순공정에 의해 이루어진다는 장점을 가지고 있다. 또한 감지막의 온도균일성이 적층형보다 훨씬 균일하다는 장점을 가지고 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] N. Yamazoe, Y. Kurokawa and T. Seiyama, "Effects of additives on semiconductor gas sensors", Sensors and Actuators, Vol. 4, pp.283-289, 1983.
- [2] W. -Y. Chung, C. -H. Shim, S. -D. Choi and D. -D. Lee, "Tin oxide microsensor for LPG monitoring", Sensors and Actuators B, Vol. 20, pp.139-143, 1994.
- [3] 임준우, 김현호, 강봉휘, 정완영, 이덕동, "Suspended-type micro gas sensor", 제5회 한국반도체학술대회 논문집, pp.187-188, 1998년 2월, 서울대학교.
- [4] N. R. Swart and A. Nathan, "Coupled electrothermal modelling of microheaters using SPICE", IEEE Transactions on electron devices, Vol. 41, No. 6, pp.920-925, 1994.
- [5] W. Kriegl, P. Steiner, B. Fokmer, W. Lang, "Microtherm: a program for thermal modelling of microstructures", Sensors and Actuators A, Vol. 46-47, pp.637-639, 1995.
- [6] W. -Y. Chung, D. -D. Lee, N. Miura, N. Yamazoe, "Fabrication of new planar-type microsensor attached with spin-coted thin film of tin dioxide and its thermal and CO sensing characteristics", Trans. IEE of Japan, Vol. 118-E, No. 92, pp.147-153, 1998.

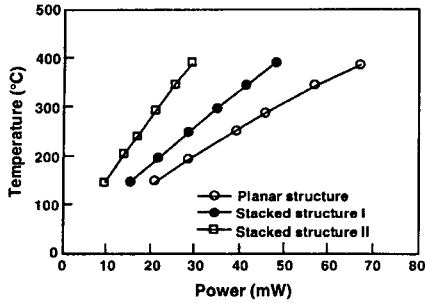


그림 4. 마이크로센서의 시뮬레이션된 열 특성.

의 동작온도를 위해서는  $T_s$ 의 관점에서는 56.6 mW의 전력이 필요하지만  $T_b$ 의 관점에서는 36%가 큰 76.9 mW의 전력이 필요하였다.

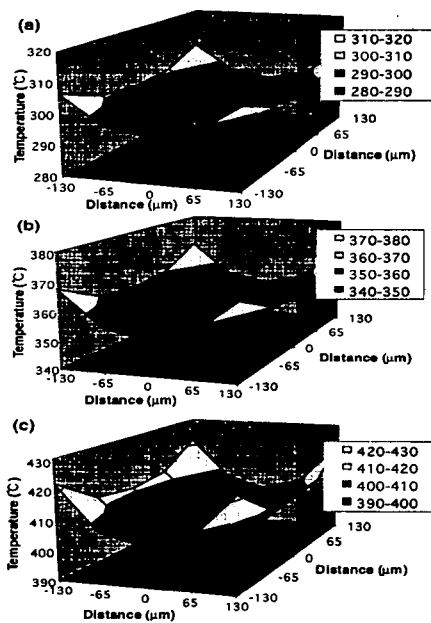


그림 5. 각기 다른 가열전력에 의한 평면형 구조에서의 감지막 위에서의 3차원 온도분포.

(a) 45.5 mW (b) 56.6 mW (c) 67.1 mW