

## 마이크로 가스센서의 열전달 해석

주영철·이창훈·김창교\*

순천향대학교 기계공학과, \*순천향대학교 정보기술공학부

### Heat Transfer Analysis for Micro Gas Sensor

Youngcheol Joo, Changhoon Lee, and Changkyo Kim\*

Department of Mechanical Engineering, Soonchunhyang University  
\*Division of Information Technology Engineering, University of Seoul

#### 요 약

마이크로 가스센서를 개발하기 위하여 가장 핵심적인 부품인 마이크로 핫플레이트에 대한 열전달을 해석하였다. 상용 열유동 해석 전용 프로그램인 FLUENT를 이용하여 발열부와 주위의 실리콘 기판의 온도분포를 구하였다. 발열부에서는 전기저항에 의해서 일정한 양의 열이 균일하게 발생한다고 가정하고 그 열이 실리콘 기판의 끝을 통하여 빠져나간다고 가정하여 정상상태의 온도분포를 구하였다. 해석한 온도분포를 이용하여 균일한 온도분포를 얻을 수 있도록 발열선의 배치를 변화시켜가며 마이크로 핫플레이트의 설계를 완성하였다.

#### 1. 서 론

현대 사회에서 가스의 사용이 날로 늘어나면서 가스는 우리의 일상생활에 도움이 되기도 하지만 잘못 사용하였을 경우에는 심각한 피해를 입히기도 한다. 피해를 사전에 예방하기 위하여 가연성 또는 독성 가스를 조기에 감지하여야 하며, 이를 위해 가스 센서의 활용이 늘고 있다.

가스 센서의 검지대상이 되는 가스는 LNG, LPG, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>와 같은 폭발성 가스나 CO, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> 등과 같은 유독가스 뿐만 아니라 환경제어를 위한 습도, 연기, 알콜 등 다양하다[1-3]. 이중 CO는 자동차 배기가스로 인한 공해물질의 주성분 중의 하나일 뿐만 아니라 탄광이나 지하 작업장 등에서 인명 피해를 일으키는 주요한 검출 대상 가스이다.

Fig. 1에서 보여지는 것과 같이 가스 센서는 크게

고체 전해질, 접촉 연소식, 전기 화학식, 반도체식 등으로 분류된다[4-7]. 이중에서 가장 많이 연구되고 있는 반도체식 가스 센서로는 세라믹형, 후막형, 박막형이 있다. 최근에는 실리콘을 이용한 MOSFET, MOS capacitor 또는 다이오드 형태의 가스 센서나 [8-10] MEMS(micro electro mechanical system) 기술을 이용하여 저항형 마이크로 센서의 개발이 활발히 이루어지고 있다[7].

산화물 반도체에 이용되는 재질로는 SnO<sub>2</sub>, ZnO, TiO<sub>2</sub> 등 여러 가지가 있지만 이중에서 SnO<sub>2</sub>를 이용한 가스 센서는 안정성이 매우 뛰어나기 때문에 많은 연구가 이루어지고 있다. 이러한 산화물 반도체를 이용한 가스 센서는 공기 중에서 특정 가스를 감지할 경우에 가스의 흡착이나 반응에 의하여 산화물 반도체 표면의 저항 변화를 일으키고 이를 감지하여 가스 양이나 종류를 판단한다. CO 가스를 선택적으

로 감지하기 위한 시도로 SnO<sub>2</sub>에 In, Cd, Pd, Pt 같은 고가의 물질을 첨가하는 연구가 많이 진행되고 있으며[11-13], 이 방법이 특정한 가스만을 선택적으로 감지하거나 특정 가스 감도를 높이기 위한 최선의 방법으로 알려져 있다. 그러나 첨가물의 가격이 비싸기 때문에 대량 생산시 경제적인 어려움이 따른다.

특정 가스를 선택적으로 감지하는데 있어서 가장 중요한 변수는 산화물 반도체의 조성비로 알려져 있다. 박막 제조 방법으로는 thermal evaporation법, sputtering법, CVD (chemical vapor deposition)법 등 여러 가지가 있다. 이중 laser ablation법이 박막의 조성비를 정확하게 제어할 수 있어서 특정 가스를 선택적으로 감지할 수 있고, 낮은 온도에서도 박막의 제조가 가능하다는 장점이 있다. 또한 laser ablation으로 박막을 형성할 경우에 그레인 크기가 나노급인 박막을 쉽게 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다[14]. 감지막의 그레인 크기를 나노급 크기로 만들면 감지막의 최대 공평층 크기와 같기 때문에 센서의 가스 감도를 극대화 할 수 있을 뿐만 아니라 그레인을 따라서 형성되는 공평층으로 인해 가스 흡착 면적을 크게 하는 효과도 얻을 수 있어 감도를 크게 향상시킬 수 있는 것으로 보고되어 있다. 본 연구에서 사용될 laser ablation법을 이용하여 제작한 박막 센서는 플라즈마를 이용하여 저온 증착이 가능하기 때문에 가스감지 특성에 결정적 영향을 주는 결정의 입자 성장을 in-situ 공정을 통해 100Å 이하의 나노급 미세구조를 얻기가 용이하며 특히 첨가물이나 감지막의 조성비 조절이 우수하다고 알려져 있다[15].

대부분 산화물 반도체를 이용한 가스 센서는 100-500℃까지의 고온에서 동작하고 동작 온도에 따라서 가스 감도의 변화가 크므로 동작 온도를 정확하게 제어하는 것이 매우 중요하다[3, 5]. 또한 고온에서 동작하기 때문에 소비되는 전력을 줄일 필요가 있다. 이를 위하여 MEMS 기술을 이용하여 MHP(micro-hotplate)를 제작하여 열원으로 사용하고 MHP 위에 가스 감응 물질을 증착하여 센서의 반응 온도를 저전력으로 매우 정확하게 제어할 수 있는 마이크로 가스 센서에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그러나 현재까지 MHP의 열적 성능에 대한 연구는 범용 구조해석 패키지를 이용하여 히터 라인을 단순화하여 온도 분포를 구하고 있고 복사와 대류 열전달에 대한 고려를 하지 않고 있다.

본 연구에서는 CO 가스를 선택적으로 감지하기 위하여 고가의 귀금속 촉매 대신에 SnO<sub>2</sub>에 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>나 CuO와 같은 저가의 산화물 반도체를 첨가하여서 가스 감응 특성을 조사하고자 한다. 이를 위하여 가스 센서의 가장 핵심부분인 MHP를 설계하고, 열유동 해석 전용 프로그램인 FLUENT를 이용하여 MHP의 열전달 현상을 해석하였다.

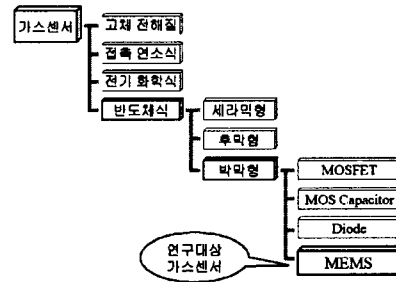


Fig. 1 가스센서의 분류

## 2. 가스센서의 열전달 해석

가스센서는 실리콘 기판위에 전기 저항에 의한 발열선을 만들고 주위에 특정 가스의 농도에 따라 저항이 변하는 감응막의 센서부를 설치한다. 발열선의 재료로는 백금(Pt)이 가장 성능이 우수하나 니켈도 가격 대비 성능에서 상당히 우수한 재료이다. 본 연구에서는 니켈을 이용하여 발열선을 만들었다. 발열선에 전류가 흐르면 그 주위의 온도가 400℃~500℃까지 올라가고, 센서부가 작동하게 된다. 이때 적은 전류로 원하는 발열부의 온도를 얻기 위해서 발열부가 설치되어 있는 실리콘 기판을 얇게 비등방성 식각(anisotropic etching)하여 열용량을 작게 한다. 이 가스센서를 개발할 때 가장 중요한 점은 전력 소모량이 적어야 하며 발열부의 온도가 균일해야 한다는 점이다. 이를 위하여 상용 열유동해석 프로그램인 FLUENT를 이용하여 발열부와 실리콘 기판의 온도 분포를 해석하였다.

발열부는 전기 저항에 의해서 열이 발생되므로

$$\dot{q} = \frac{I^2 R_e}{V} \quad (1)$$

에 의해서 발열량을 구할 수 있다[16]. 여기서

$\dot{q}$  : 단위 부피당 발열량 ( $W/m^3$ )

$I$  : 전류

$R_e$  : 발열체의 전기저항

$V$  : 발열체의 체적

이다. 발열부에서는 열이 균일하게 발생한다고 가정하였다.

발열체에서 발생한 열은 접촉해 있는 실리콘 기판에 전도로 흐르게 되고 또한 주변의 공기에 대류열 전달로 빠져나간다. 발열체의 온도가 높으므로 복사열 전달에 의한 손실도 있다. 그러나 이중에서 실리콘 기판에 conduction으로 빠져나가는 열량이 가장 크며 이는 80% 정도인 것으로 보고되고 있다[17].

실리콘 기판에 전달된 열은 기판의 끝부분을 통해서 밖으로 빠져나가는 것으로 가정하였다. 발열부에서 발생된 열량과 기판을 통해서 빠져나가는 열이 균형을 이루게 함으로써 전체의 온도분포는 정상상태가 되게 하였다.

해석한 온도분포를 이용하여 균일한 온도분포를 얻을 수 있도록 발열선의 배치를 변화시켜가며 마이크로 핫플레이트의 설계를 완성하였다.

### 3. 결론

마이크로 가스센서를 개발하기 위하여 가장 핵심적인 부품인 마이크로 핫플레이트에 대한 열전달을 해석하였다. 상용 열유동 해석 전용 프로그램인 FLUENT를 이용하여 발열부와 주위의 실리콘 기판의 온도분포를 구하였다. 발열부에서는 전기저항에 의해서 일정한 양의 열이 균일하게 발생한다고 가정하고 그 열이 실리콘 기판의 끝을 통하여 빠져나간다고 가정하여 정상상태의 온도분포를 구하였다. 발열부에서 발생한 열의 대부분이 실리콘 기판을 통해서 빠져나가는 하지만 일부분의 적은 양의 열이 공기를 통한 대류열전달로 빠져나가므로 향후 더욱 정확한 해석을 위하여 대류열전달도 고려할 계획이다.

### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 순천향대학교 차세대 BIT 무선부품연구센터(과제번호: R-12-2002-052-04003-0)의 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

- [1] N. Yamazoe and N. Miura, "Environmental gas sensing", *Sensors and Actuators B*, Vol. 20, pp.95-102, 1994.
- [2] N. O. Korolkoff, "Survey of toxic gas sensors and monitoring systems", *Solid State Tech.*, Vol. 32, No. 12, pp.49-64, 1989.
- [3] N. Yamazoe(Editor), *Chemical Sensor Technology* Vol. 1-5, Kodansha Ltd., Tokyo, 1989-1994.
- [4] G. Sberveglieri, S. Groppelli and P. Nelli, *Sensors and Actuators*, 11 (1991) 457.
- [5] G. Sberveglieri, S. Groppelli, P. Nelli, V. Lantto, H. Torvela, P. Romppainen and S. Leppavuori, *Sensors and Actuators*, 10 (1990) 79.
- [6] T. Ishihara, H. Fujita, S. Sato, T. Fukushima, H. Nishiguchi and Y. Takita, edited by J. L. Gaptista, J. A. Labrincha and P. M. Vilanrino, *Electroceramics V* (Artes Graficase Servi os de Pre-Press, Portugal, (1996) 67-170.
- [7] Duk-Dong Lee, "Hydrocarbon gas sensor," *Chemical Sensor Technology*, Vol. 5, pp. 79-99, 1994.
- [8] C. K. Kim, J. H. Lee, Y. H. Lee, N. I. Cho and D. J. Kim, "A study on a platinum-silicon carbide Schottky diode as a hydrogen gas sensor", accepted for publication to *Sensors and Actuators B*.
- [9] W. P. Kang and C. K. Kim, "Performance analysis of a new metal-insulator-semiconductor capacitor incorporated with Pt-SnO<sub>2</sub> catalytic layers for the detection of O<sub>2</sub> and CO gases", *J. Appl. Phys.* vol. 75, pp. 4237-4242, 1994.
- [10] Chang Kyo Kim, Weng Poo Kang, Young Ho Kim and Nam Ihn Cho, "Electric field-induced adsorption/desorption of oxygen on a Pd-SnO<sub>2</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-SiO<sub>2</sub>-Si-Al capacitor", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 37, pp. L255-L257, 1998.
- [11] G. S. V. Coles and G. Williams, *Journal of Math. Chem.*, 2, 23 (1992).
- [12] G. Sberveglieri, S. Groppelli and P. Nelli, *Sens. Actuators*, B4, 457 (1991).
- [13] G. S. V. Coles, G. Williams, *Sens. Actuators*, B15, 345 (1993).
- [14] W. S. Hu, Z. G. Liu, J. G. Zheng, X. B. Hu, X. L. Guo, W. Gopel, *J. Material Science: Materials in Electronics*, 8, 155 (1997).
- [15] G. Williams and G. V. Coles, "Gas sensing properties of nanocrystalline metal oxide powders produced by a laser evaporation technique, *J. Mater. Chem.*, 8, 1657, (1998).
- [16] F.P. Incropera and D.P. DeWitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 5th ed., John Wiley and Sons, 2002.
- [17] T.Y.T. Lee, R. Sharma, A. Peyre-Lavigne, "Transient and Steady-State Thermal Design Evaluation of a Carbon Monoxide Gas Sensor Using CFD Tool," *Journal of Electronic Packaging*, Vol. 120, pp.135-140, 1998.