마이크로 핫플레이트를 갖는 마이크로 가스센서의 열적성능에 관한 연구

論 文
55C-5-10

A Study on Thermal Performances of Micro Gas Sensor with Micro Hotplate

朱 永 哲* · 任 俊 炯** · 李 周 憲*** · 金 昌 敎†
(Youngcheol Joo · Junhyoung Im · Joohun Lee · C.K. Kim)

Abstract - A micro hotplate for micro gas sensor was fabricated by MEMS technology. In order to heat up the gas sensing material to a target temperature, a micro hotplate was built on the gas sensor. The sensing material was deposited on the heater and electrodes, and did not contact with the silicon base to minimize the heat loss to the silicon base. The electric power to heat up the gas sensor was measured. The temperature distribution of micro gas sensor was analyzed by a CFD program. The predicted electric power to heat up the sensing material showed a good agreement with the measured data. The design of micro gas sensor could be modified to increase the temperature uniformity and to decrease the electric power consumption by optimizing the layout of micro hotplate and electrodes.

Key Words : Gas Sensor, Heat Transfer, MEMS, Micro Hotplate, Numerical Analysis

1. 서 론

산업이 발전하고 공해물질이나 유해물질의 배출이 늘어남에 따라 산업용이나 유해가스 검지용으로 가스센서의 활용이 늘어나고 있다. 여러 가지 방식의 가스센서가 개발되었지만 산화물 반도체식 가스센서가 가격과 감도 면에서 다른 방식의 가스센서에 비해 장점이 많아 최근에 많은 연구개발이 이루어지고 있다[1-4]. 특히, 실리콘을 기판으로 이용하는 마이크로 센서는 소형이고 경량이며, 제조단가가 낮은 장점이 있기 때문에 연구개발이 집중되고 있다. 이러한 마이크로 가스센서는 일반적으로 가스감지물질, 전극, 마이크로 히터와 실리콘을 기반으로 하는 기판으로 구성되어 있다. 가스센서의 가스감지물질에는 감지하고자 하는 가스의 종류에 따라 다른 종류의 물질이 사용된다. 산화물반도체에 사용되는 감지물질은 감지기구(*sensing mechanism*)에 따라 다음의 3가지로 분류될 수 있다[5]. 첫 번째는 SnO_2, WO_3, In_2O_3 등과 같은 전자전도물질(electron conduction material)로, 산화, 환원가스와 탄화수소가스를 감지하기 위해 사용된다. 전자전도물질을 이용하는 센서의 감지기구는 감지물질의 두께, 산화물반도체의 입자크기, Pt, Pd, Au 등과 같은 촉매 금속의 첨가, 전극의 기하학적 구조 및 동작온도에 따라서 영향을 받는다. 두 번째는 TiO_2, Nb_2O_3, Ga_2O_3와 같은 복합전도체(mixed conductor)이다. 500℃ 이하에서는 주로 전자전도체(electron conductor)로서 동작하나, 500℃에서 700℃사이의 온도에서는 전자전도체와 이온전도체(ionic conductor)의 복합체로서 동작을 한다. 700℃이상의 온도에서는 이온전도체가 주전도 기능을 한다. 세 번째는 O_2가스 감지를 위한 ZrO_2와 같은 재료이다. ZrO_2를 기초로 하는 소자는 700℃보다 높은 온도에서 동작을 한다.

산화물반도체를 감지물질로 이용하는 가스센서는 상기한 것과 같이 고온에서 동작이 가능하다. 그러므로 가스센서를 동작시키기 위해서는 감지물질을 200℃ 이상의 온도로 가열해주는 히터가 필요하고 많은 전력이 소모된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 마이크로 핫플레이트(MHP: micro hotplate)에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 마이크로 핫플레이트는 가스감지물질을 동작온도까지 가열해주는 역할을 하는데, 얇고 극소형이기 때문에 전력소모와 가스센서의 크기를 감소시킨다. 마이크로 핫플레이트를 설계할 때는 가스의 감도를 향상시키기 위해 감응물질의 온도를 균일하게 하는 것이 중요하며, 소비전력을 줄이기 위해 열적 손실을 최소화 하는 것이 중요하다. 센서의 크기가 줄어듦에 따라 마이크로 핫플레이트의 기하학적 구조에 의해서 기판으로 열흐름이(heat flux)이 열손실의 주요인이 되므로 이러한 열손실을 줄이기 위해 소자의 설계가 중요하다[6,7]. 마이크로 핫플레이트의 기판재료로 Si, SiO_2, Si_3N_4 등이 주로 사용된다. 최근에는 다공성 실리콘막의 열적 전도도가 실리콘보다 훨씬 적기 때문에 센서의 열적 고립을 얻기 위해서 사용되고 있다[8,9].

본 연구에서는 MEMS(micro electromechanical system) 공정을 이용하여 SnO_2를 가스 감응물질로 하고 마이크로 히터가 감응물질을 가열해 주는 마이크로 가스센서를 제작하였다. 마이크로 히터에서 발생한 열이 효율적으로 감응물질을 가열하는데 사용되고 실리콘 베이스로 누설되는 열방출을 줄이기 위하여 마이크로 히터와 전극을 공중에 다리 모양으로 뜨도록 제작하였다. 감응물질은 마이크로 히터와 전극위에 부착되어 실리콘 베이스와의 접촉을 완전히 차단하였다. 감응물질을 작동온도까지 가열하려면 마이크로 히터에 얼마만한 전류를 공급해 주어야 하는지,

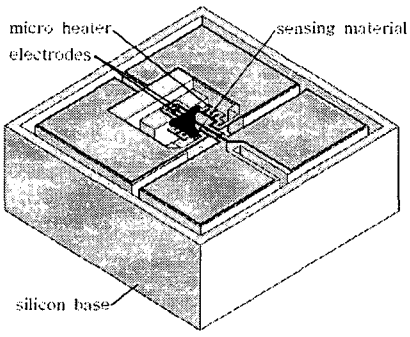
† 교신저자, 正 會 員 : 순천향대학교 정보기술공학부 교수
E-mail : ckkim@sch.ac.kr
* 正 會 員 : 순천향대학교 기계공학과 부교수
** 正 會 員 : 순천향대학교 기계공학과 공학석사
*** 正 會 員 : 순천향대학교 정보기술공학부 공학박사
接受日字 : 2005年 12月 6日
最終完了 : 2006年 3月 2日

마이크로 히터에서 발생한 열이 감응물질을 효과적으로 가열하였는지의 여부를 확인하기 위해 가스센서의 온도분포를 전산 프로그램을 이용하여 해석하고, 실험결과와 비교하였다.

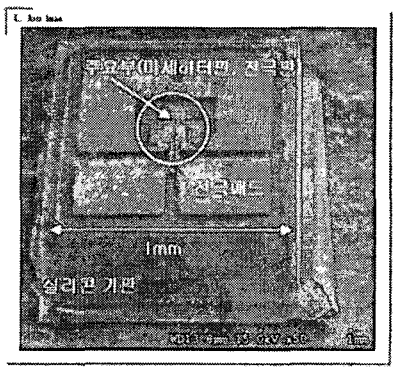
2. 가스센서 제작 및 측정

2.1 제작 공정

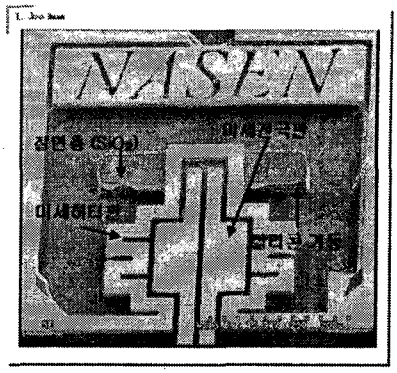
감응물질을 진공증착이나 스퍼터링법으로 제작한 박막형태 감응물질의 에너지는 벌크 형태나 후막형태 감응물질의 에너지에 비해서 높다. 그러므로 박막형태의 감응물질을 갖는 가스센서는 장기적 안정성 문제가 발생될 수 있다. 실리콘 웨이퍼를 이용하여 제작한 마이크로 가스센서는 감응물질 아래에 기판이 있고 면적이 작기 때문에 후막이나 벌크형태의 감응물질을 도포하기가 쉽지 않다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 기존의 마이크로 핫플레이트에서 일반적으로 이용되는 Si, SiO_2, Si_3N_4 같은 기판재료를 사용하는 것이 아니라 니켈 금속을 도금하여 구조를 형성한 후에 감응물질로 사용되는 산화물 반도체를 스크린프린팅법으로 도포하여 기판으로 사용하였다. 그림 1은 본 연구에서 제작한 가스센서의 구조와 SEM 사진을 보여주고 있다. 그림 1에서 보여지는 것과 같이 미세전극판과 미세히터판 사이에 공간이 존재하고 있다. 이 때문에 미세전극판과 미세히터판에 스크린프린팅법에 의해 감응물질을 도포할 경우에 감응물질이 미세전극판과 미세히터판 사이의 공간 아래에도 위치하게 된다. 이렇게 되면 가스센서의 장기적 안정성이 증대될 것으로 기대하고 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 1. MEMS 공정에 의해 제작된 마이크로 가스센서
(a) 마이크로 가스센서 구조 (b) 마이크로 가스센서 SEM 사진 (c) 주요부의 SEM 사진

Fig. 1 Micro gas sensor fabricated by MEMS technology
(a) Structure of micro gas sensor (b) View of micro gas sensor (c) Main parts of micro gas sensor

그림 2는 마이크로 가스센서의 제작 공정도를 보여주고 있다. 그림 2에서 보여지는 것과 같이 본 연구에서는 2장의 포토마스크와 1장의 실크스크린 마스크를 이용하여 마이크로 가스센서를 제작하였다. 베이스로는 (100) 방향의 4인치 n-type 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 이 웨이퍼의 양면에 1 μm 두께의 SiO_2 층을 열산화법에 의해 성장시켰다. 실리콘 베이스 위에 형성된 SiO_2 층에 첫 번째 마스크를 이용하여 미세전극판, 미세히터판과 실리콘 기둥 등의 패턴을 포토리소그래피법으로 제작하였다. 제작된 패턴위에 Ni 도금의 씨앗층으로 이용되는 Au/NiCr층을 증착한 후에 두 번째 마스크를 이용하여 미세전극판과 미세히터판 패턴을 포토리소그래피법으로 형성하였다. 씨앗층으로 이용되는 Au/NiCr층위에 6 μm 두께로 니켈을 도금하여 마이크로 히터와 전극을 만들었다. 도금용 씨앗층으로 이용된 Au/NiCr층은 습식식각법을 이용하여 제거하였다. 마이크로 히터에서 발생하는 열을 감응물질에 효율적으로 전달하고 실리콘 베이스로 누설되는 열을 최소화하기 위해 마이크로 히터와 미세 전극판, 미세히터판과 실리콘 기둥 등을 제외한 부분을 실리콘 식각액을 이용하여 습식식각법을 이용하여 제거하였다. 그림 1(c)에서 보여지는 것과 같이 미세히터판과 미세전극판이 실리콘 베이스와 닿지 않고 공중에 다리 형태로 떠 있도록 되어 있다. 마지막으로 감응물질을 마이크로 핫플레이트와 전극 위에 스크린프린팅법으로 형성하였다. 도포된 감응물질은 150℃에서 30분 동안 건조 공정을 거친 후, 질소 분위기 650℃의 고온에서 4시간 열처리 하였다. 감응물질은 마이크로 히터와 전극위에 올려져서 마이크로 핫플레이트를 구성하고 있고 실리콘 베이스와는 전혀 접촉하지 않는다. 또한 미세히터판과 미세전극판 사이의 공간을 통하여 감응물질이 아래 부분으로 이동하여 벌크형태를 갖게 된다. 벌크형태의 감응 물질은 박막형태에 비해서 에너지가 낮아서 장기적 안정성이 높을 것으로 예상할 수 있다. 제작된 가스센서의 전체 크기는 1mm×1mm, 실리콘 기둥 높이는 140μm, 미세히터판의 폭은 20μm 미세히터판의 두께는 6μm이다. 그림 3은 미세히터판과 미세전극판 위에 형성되어 있는 감응물질의 SEM 사진을 보여주고 있다.

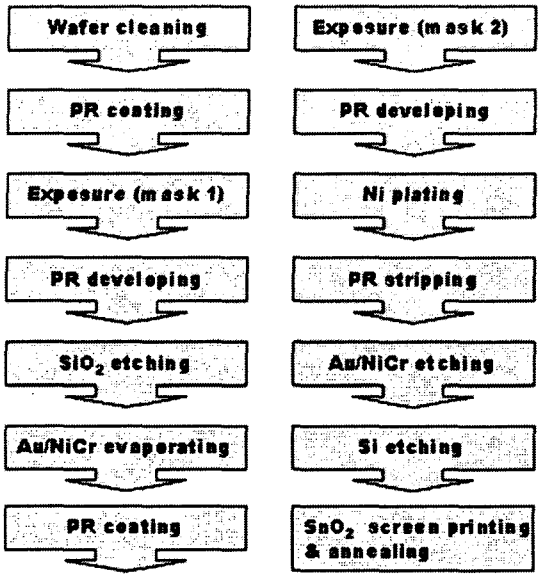


그림 2. 마이크로 센서의 제작 공정도
Fig. 2 Flowchart for fabrication of micro sensor

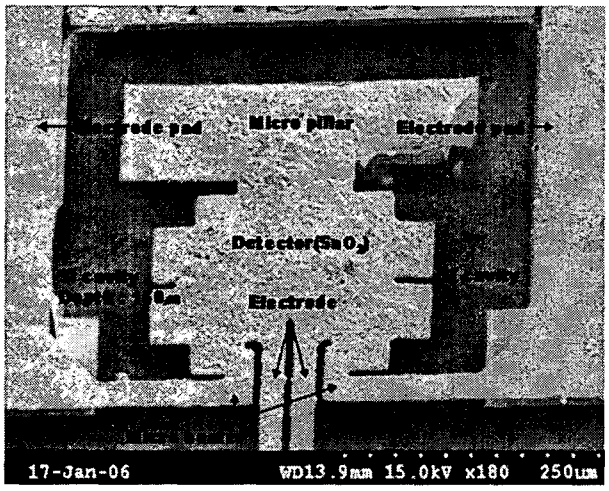


그림 3. 스크린프린팅법에 의해 도포된 감응물질을 보여 주는 마이크로 핫플레이트의 SEM 사진
Fig. 3 Scanning electron micrograph of the micro hotplate showing sensing material fabricated by screen printing method

2.2 소비전력 측정

일반적으로 가스센서의 감응물질이 250℃ 이상의 일정한 온도로 가열되었을 때 가스센서가 CO 가스를 가장 효율적으로 감지한다. 감응물질을 이 작동온도로 가열하기 위하여 마이크로 핫플레이트에 전류를 가해야 하는데, 동작온도에 도달하기 위한 전류의 크기를 아는 것이 필요하다. 본 연구에서 제작한 마이크로 가스센서의 전체 크기가 매우 작고 특히 감응물질의 면적은 190×170μm^{2}에 불과하므로 감응물질의 온도를 직접 정확하게 측정하는 것은 매우 어렵다. 따라서 마이크로 가스센서를 핫플레이트 위에 올려놓고 온도를 일정하게 유지시킨 후에 감지전극의 저항을 probe station을 사용하여 측정하였다. 마이크로 가스센서를 상온으로 식힌 후에 마이크로 핫플레이트에 인가한 전압을 변화시키면서 전류를 가하여 감지전극의 저항값이 마이크로 핫플레이트에서 측정한 저항값과 동일한 값을 나타날 때의 전압을 특정 온도에서의 히터 소비전력으로 규정하였으며 최종 적외선 카메라를 이용하여 확인하였다. 일반적으로 가스검출회로는 센서소자에 약한 정전류(~100μA)를 흐르게 하여 저항의 변화를 센서소자 양단의 전압의 변화로써 알아낼 수 있는 전압검출법과 센서소자의 저항변화를 직렬로 연결되어 있는 부하저항의 양단의 전압변화로써 검출하는 전류검출법이 있다. 본 논문에서는 그림 4에 보여주고 있는 전류검출법 회로를 이용하여 센서소자의 저항변화를 측정하였다. 그림 4에서 V_c는 동작전압, V_{out}는 출력전압, R_s는 센서 저항, R_L은 부하저항을 나타내고 있다.

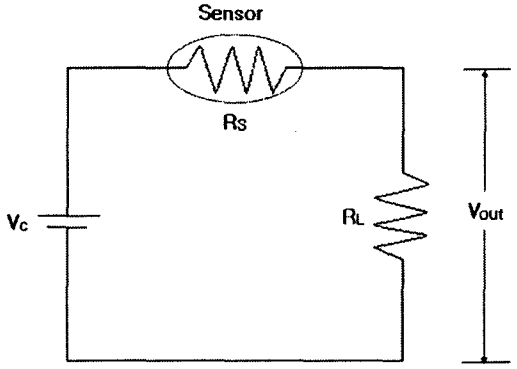


그림 4. 가스 측정 회로도
Fig. 4 Schematic diagram of measuring circuit for gas sensor

3. 결과 및 고찰

3.1 CO 가스 감도 특성

제작된 마이크로 센서의 가스 감도 측정을 위해 SnO_2에 Pd, V_2O_5, α-Fe_2O_5, Rh 등의 물질을 조합하여 첨가하여 제작한 감응물질을 스크린프린팅법을 이용하여 도포하여 마이크로 가스센서를 제작하였다. 그림 5는 촉매물질을 첨가한 감지물질의 감도(sensitivity)를 나타내는 그래프로서 동작온도 250℃에서 CO가스 농도를 다양하게 변화시키면서 실험하였다. 그 결과, V_2O_5등을 첨가한 감지물질이 CO가스에 대한 감도가 다른 촉매물질을 첨가한 센서보다 우수하였다. 반면, Pd 촉매물질만 첨가한 센서는 가스와 화학적 반응을 촉진시키는 기능이 다른 SnO_2/Pd/V_2O_5의 다양한 첨가물질로 구성된 센서보다 부족하여 CO가스 2000ppm 농도에서 포화 현상이 나타났으며, α-Fe_2O_5를 첨가한 센서는 3000ppm에서 포화 특성을 보여주면서 더 이상 CO가스에 대한 반응을 보이지 않는 저감도의 결과를 보였다. 그리고 Pd만을 첨가한 센서보다 V_2O_5 등을 첨가한 센서의 감도가 6배 이상의 감도를 보여주었다.

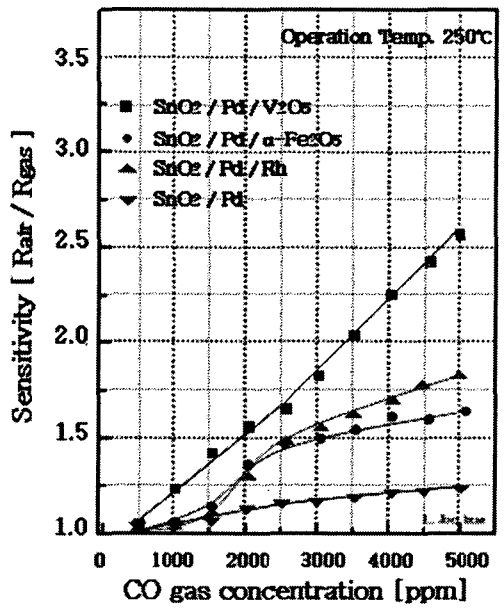


그림 5. CO 가스 농도 변화에 따른 마이크로 가스센서의 감도

Fig. 5 Sensitivity of the micro gas sensor vs. CO gas concentration

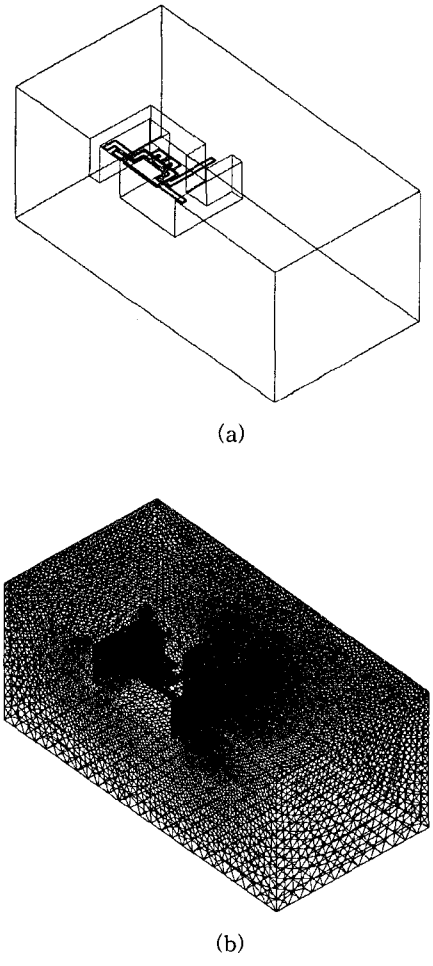
3.2 가스센서의 열전달 해석

마이크로 핫플레이트는 감응물질의 온도를 동작온도로 올려주는 역할을 하는 것으로 감응물질을 가열하는데 필요한 소모전력이 적을수록 저전력 가스센서가 된다. 또한 감응물질을 동작온도까지 가열하기 위하여 마이크로 핫플레이트에 공급하여야 하는 전류를 예측할 필요가 있다. 이를 위하여 상용 열유동해석 프로그램인 FLUENT를 이용하여 마이크로 핫플레이트와 전극, 감응물질, 실리콘 베이스의 온도분포를 해석하였다. 전산해석에서 가장 먼저 해야 할 일은 해석할 대상을 모델링하고 격자를 생성하는 것이다. 본 연구에서는 GAMBIT 프로그램을 이용하여 모델링과 격자를 생성하였다. 그림 1에서 보는 바와 같이 마이크로 가스센서는 좌우 대칭이므로 계산시간과 메모리를 절약하기 위해 그림 6(a)와 같이 오른쪽 반만 해석하였다. 마이크로 핫플레이트와 전극, 감응물질은 육면체의 각진 형태이므로 육면체 격자를 촘촘히 배치하였다. 실리콘 베이스는 마이크로 핫플레이트와 전극이 접촉하는 부분에서 온도구배도 클 것으로 예상되므로 그 부분에 격자를 촘촘히 배치하였고 이 부분에서 멀어질수록 격자의 크기가 점점 커지게 하여 격자밀도를 낮추었다. 그림 6(b)에 완성된 격자구조를 나타내었고 표 1에 각 부분의 격자 형태와 개수를 나타내었다. 마이크로 핫플레이트와 전극이 있는 주요부에는 격자가 조밀하게 배치된 반면 실리콘 베이스의 끝으로 갈수록 격자 밀도가 떨어지는 것을 볼 수 있다. 격자의 개수를 표 1에 나타낸 것 보다 10배를 늘려도 가스센서의 온도는 0.5K의 차이밖에 보이지 않아 표 1의 격자 밀도를 본 논문의 계산에 사용하였다.

마이크로 핫플레이트에서 전기 저항에 의해 발생한 열은 접촉해 있는 감응물질과 실리콘 베이스에 열전도 메커니즘으로 전달된다. 마이크로 핫플레이트와 감응물질, 전극, 실리콘 웨이퍼 베이스를 포함한 마이크로 가스센서의 모든 표면에서 대기 중으로 대류열전달과 복사열전달로 열이 방출된다. 실리콘 베이스의 밑면은 가스센서 지지구조물과 접촉되어 있으므로 온도가 300K로 고정되었다고 가정하였다. 히터의 발열량이 가스센서 표면에서 대기 중으로 방출되는 열량과 실리콘 베이스 밑면을 통하여 지지구조물로 방출되는 열량과 균형을 이룰 때 가스센서의 온도 분포는 정상상태가 된다. 마이크로 가스센서 내부는 다음과 같은 3차원 정상상태 열전달 방정식에 의해 지배를 받는다.

$$k\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right)+\dot{q}=0 \quad (1)$$

가스센서에 사용된 여러 재질의 열전도율을 표 2에 나타내었다.



(a)

(b)

그림 6. 마이크로 가스센서의 격자구조 (a) 모델링, (b) 격자구조 그림

Fig. 6 Mesh structure of micro gas sensor (a) Modeling (b) Mesh structure

표 1. 각 부분의 격자 형태와 갯수
Table 1. Mesh type and number of each parts

Parts	Mesh type	Number	Material
Micro heater	hexahedral	2790	Ni
Sensor electrode	hexahedral	2049	Ni
Sensing material	hexahedral	2064	SnO_2
Silicon base	tetrahedral	120233	Si
Total		127136	

표 2. 가스센서에 사용된 물질의 특성
Table 2. Material properties

Material	Density kg/m^3	Specific heat J/kg · K	Thermal conductivity W/m · K	Emissivity
SnO_2	7310	227	4.5	0.5
Ni	8900	444	90.7	0.11
Si	2330	712	148	0.3
SiO_2	2220	745	1.38	0.7

$\dot{q}$은 단위체적당 에너지 발생률로 마이크로 핫플레이트를 제외한 부분에서는 0이다. 마이크로 핫플레이트에서는 전기저항에 의해 열이 발생하는데 여기서 $\dot{E}_g$: 에너지 발생률(W)는

$$\dot{q} = \frac{\dot{E}_g}{V} = \frac{I^2 R_e}{V} \tag{2}$$

에 의해서 발열량을 구할 수 있다[10]. 마이크로 핫플레이트에서는 열이 균일하게 발생한다고 가정하였다.

가스센서 표면에서는 주변의 대기에 자연대류에 의한 열전달과 복사열전달로 열이 방출되는데, 이때의 대류열전달계수는 다음과 같은 실험식으로 구할 수 있다[10].

$$Nu = \frac{hL}{k} = CRa^n \tag{3}$$

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \tag{4}$$

여기서 Nu : Nusselt 수, h : 대류열전달계수(W/m^2 • K), L : 대표 길이(m), k : 열전도율(W/m • K) Ra: Rayleigh 수, α : 열확산율(m^2/s), β : 체적 열팽창계수(K^{-1}), ν : 동점성계수(m^2/s)를 의미한다.

표 3. 가스센서 표면 각 부분의 C값
Table 3. C value of each surface

Surfaces	C
Vertical surface	0.56
Upper surface of horizontal plate	0.52
Lower surface of horizontal plate	0.26

n과 C는 자연대류상수 실험적으로 구해지는데 층류흐름일 때 n=0.25가 적용되며 C의 값은 표 3의 값을 사용하였다[11].

그림 7에 마이크로 핫플레이트와 전극, 감응물질의 온도분포를 나타내었고, 그림 8에 마이크로 가스센서 전체의 온도분포를 나타내었다. 열이 발생되는 마이크로 핫플레이트의 온도가 가장 높게 나타났다. 이 열은 바로 위에 접촉되어 있는 감응물질에 전달되어, 전극 주변의 감응물질 온도가 작동온도인 470K~530K를 보이고 있다.

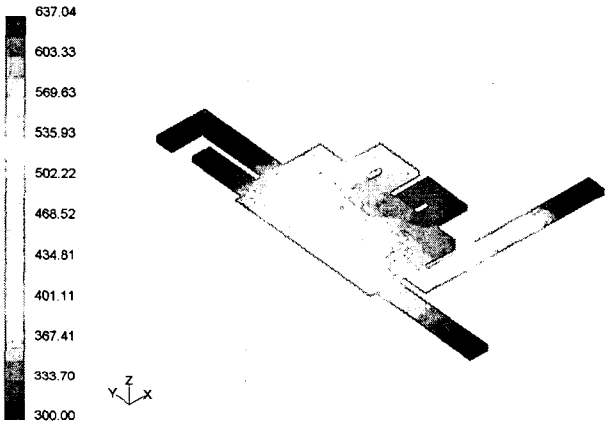


그림 7. 미세히터판과 미세전극판의 온도분포 (단위: K)
Fig. 7 Temperature distribution of micro heater and sensor electrode (unit: K)

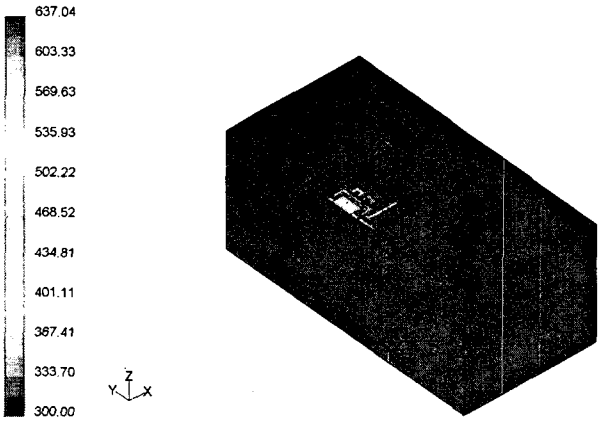


그림 8. 마이크로 가스센서의 온도분포 (단위: K)
Fig. 8 Temperature distribution of micro gas sensor (unit: K)

이 열은 다시 감지전극으로 전달되어 감지전극의 온도도 상승시킨다. 마이크로 핫플레이트와 감지전극은 지지를 위하여 실리콘 베이스에 아주 일부분이 접촉되어 있다. 이 접촉부분을 통하여 열이 빠져나가는데 접촉부위를 줄임으로서 열의 방출을 줄이도록 노력하였다. 가스감응물질은 오른쪽 아래 부분에서 제일 높은 온도를 보이고 위쪽 중앙부는 비교적 낮은 온도분포를 보인다. 이는 오른쪽 아래 부분은 실리콘 베이스에서 멀리 떨어져서 열손실이 적은 반면, 위쪽의 중앙부분은 실리콘 기둥과의 거리가 15μm에 불과하여 마이크로 핫플레이트에서 발생한 열이 감응물질로 전달되기 보다는 실리콘 기둥으로 누출되는 부분이 많기 때문이다. 이를 개선하기 위해서 가스감응물질과 실리콘 기둥과의 거리가 좀 더 떨어지도록 마이크로 핫플레이트의 회로를 변경하였으며 온도분포 해석 결과 감응물질의 온도 균일도가 많이 향상되었다.

3.3 열분포 특성

그림 9는 실제 가스센서의 발열을 열화상 카메라로 촬영한 것으로 마이크로 히터의 인가전압이 1V일 때 가스센서의 전극부를 덮고 있는 감지부에서의 온도가 250℃인 것을 확인하였으며, 열화상 분석 그래프를 통해 마이크로 히터에서 발열되는 열이 실리콘 하부로 방출되지 않음을 확인하였다. 마이크로 히터의 열이 감지물질의 중앙에 전달되어 15%의 열손실을 갖는 220-230℃의 온도를 유지하고 있음을 확인하였다.

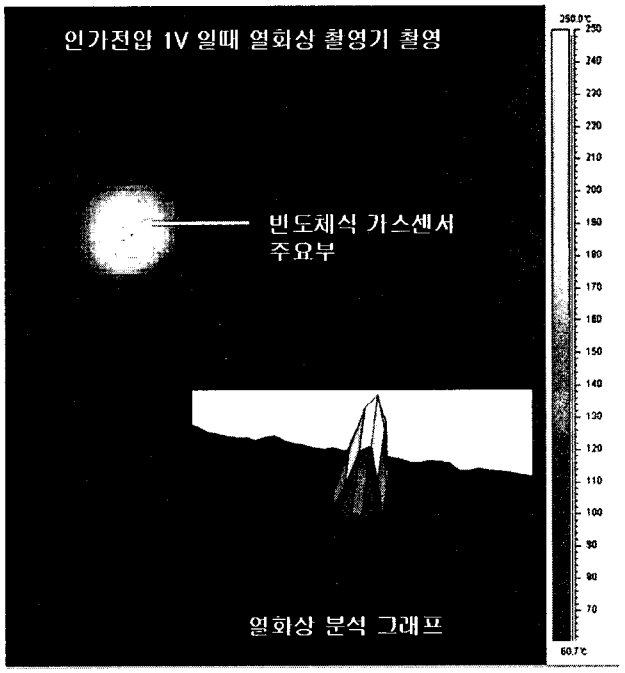


그림 9. 열화상 카메라로 촬영한 마이크로 센서의 열분포 특성

Fig. 9 IR camera view of micro gas sensor temperature distribution

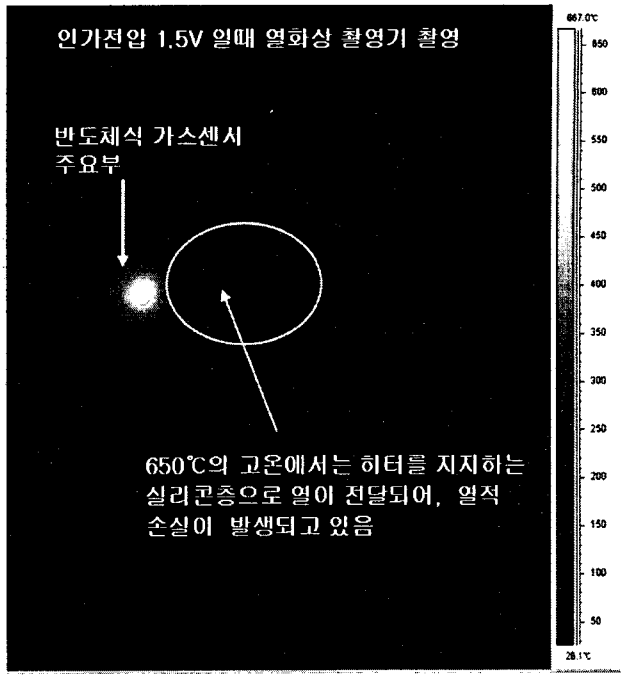


그림 10. 열화상 카메라로 촬영한 마이크로 가스센서

Fig. 10 IR camera view of micro gas sensor

그림 10은 마이크로 히터부에 1.5V의 인가전압을 주었을 때의 발열상태를 나타내고 있으며, 마이크로 가스센서의 감지부에서의 온도가 650℃이었다. 이는 반도체식 가스센서가 1.5V의 낮은 구동전압으로 고온 동작이 가능할 수 있다는 것을 확인시켜주었다. 그러나 650℃의 고온에서는 마이크로 히터와 전극선을 지지하는 실리콘 하부로 열 손실이 발생되는 것을 보여 주고 있다.

3.4 소비전력 비교

감응물질의 온도가 작동온도에 이르도록 하는 마이크로 핫플레이트의 단위체적당 에너지 발생률 $\dot{q}$을 시행착오법으로 구하한 후, 식 (2)에 의해서 마이크로 핫플레이트에 가하여야 할 전력을 산출하였다. 그림 11은 그림 9에 2.2절에 나타낸 소비전력 측정법으로 측정한 전력값과 전산해석으로 예측한 값을 비교하였다. 예측치와 측정치는 약 20~30% 정도의 차이를 보인다. 이는 측정치가 마이크로 핫플레이트에 직접 전류를 가하면서 감응물질의 온도를 측정한 것이 아니라 핫플레이트에서 가열하는 간접적인 측정법으로 소비전력을 산정한 것이기 때문에 정확한 소비전력을 측정하지 못하였기 때문으로 사료된다. 이 비교로 전산해석을 통한 예측치가 감응물질을 가열하는데 소요되는 소비전력을 20~30% 의 오차로 예측할 수 있다는 것을 알았으므로, 가스센서의 구조가 바뀌어도 가스센서의 소비전력을 해석을 통하여 어느 정도 예측할 수 있었으며, 실제 CO 가스를 이용하여 가스 감도 실험을 할 때 마이크로 핫플레이트에 가할 전력의 실험 범위를 정할 수 있었다.

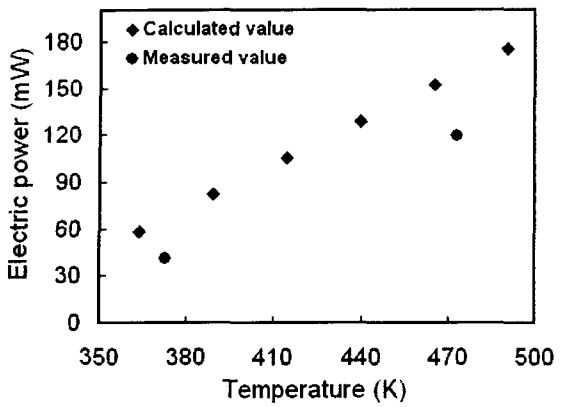


그림 11. 감응물질의 온도와 소비전력
Fig. 11 Electric power and temperature of sensing material

4. 결 론

MEMS 공정을 이용하여 감응물질을 균일한 온도로 유지해주는 마이크로 핫플레이트가 장착되어 있는 CO 마이크로 가스센서를 제작하였다. 마이크로 가스센서의 열전달 현상을 상용 열유동 해석 프로그램을 이용하여 해석하였다. 해석 결과 실리콘 웨이퍼 베이스의 온도가 거의 상온에 가까워 마이크로 핫플레이트에서 발생한 열이 감응물질을 효과적으로 가열하였음을 알 수 있었다. 또한 감응물질의 온도를 작동온도로 가열하기 위해 마이크로 핫플레이트에 가하여야 하는 전류의 양을 예측할 수 있었다. 마이크로 핫플레이트와 전극의 배열을 바꿈으로써 감응물질의 온도분포를 균일하게 하고 소비전력을 적게 하도록 가스센서의 설계변경을 할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(D00090(접수번호 : R05-2004-000-10171-0)).

참 고 문 헌

[1] H. Meixner, J. Gerblinger, U. Lampe and Feischer, 1995, "Thin-film gas sensors based on semiconducting metal oxides," *Sensors and Actuators B*, Vol. 23, pp.119-125.

[2] V. Demarne, A. Grisel, "An integrated low-power thin-film CO gas sensor on silicon," Sensors and Actuators, Vol. 13, pp. 301-303, 1988.

[3] I. Sayago, J. Gutierre, L. Ares, J. I. Robla, M. C. Horrillo, J. Getino, J. Rino and J. A. Agapito, "The effect of additive in tin oxide on the sensitivity and selectivity to NOx and CO," Sensors and Actuators B, Vol. 26-27, pp. 19-23, 1995.

[4] J. Wollenstein, J. A. Plaza, C. Cane, Y. Min, H. Bottner and H. L. Tuller, "A novel single chip thin film metal oxide array," Sensors and Actuators B, Vol. 93, pp. 350-355, 2003.

[5] J. Cerda Belmonte, J. Puigcorbe, J. Arbiol, A. Vila, J. R. Morante, N. Sabate, I. Gracia, C. Cane, "High-temperature low-power performing micromachined suspended micro-hotplate for gas sensing applications," Sensors and Actuators B, to be published.

[6] I. Simon, N. Barsan, M. Bauer, U. Weimar, "Micromachined metal oxide gas sensors: opportunities to improve sensor performance," Sensors and Actuators B, Vol. 73 pp. 1-26, 2001.

[7] A. Vergara, E. Llobet, J. Brezmes, P. Ivanov, X. Villanova, I. Gracia, C. Cane, X. Corrig, "Optimised temperature modulation of metal oxide micro-hotplate gas sensors through multilevel pseudo random sequences," Sensors and Actuators B, Vol. 111-112, pp. 271-280, 2005.

[8] G. Kaltsas, A. G. Nassiopoulou, "Novel C-MOS compatible silicon gas flow sensor with porous silicon thermal isolation," Sensors and Actuators A, Vol. 76, pp. 133-138, 1999.

[9] A. G. Nassiopoulou, G. Kaltsas, "Porous silicon as an effective material for thermal isolation on bulk crystalline silicon," Phys. Stat. Sol., (a) Vol. 182, pp. 307-312, 2000.

[10] F.P. Incropera and D.P. DeWitt, 2002, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 5th ed., John Wiley and Sons.

[11] K.D. Hagen, 1999, *Heat Transfer with Applications*, Prentice Hall, pp. 337-371.

저 자 소 개

주 영 철(朱 永 哲)

1985년 한양대학교 기계공학과 졸업(학사), 1987년 한국과학기술원 기계공학과 졸업(석사), 1994년 University of California, Los Angeles 기계공학과 졸업(박사), 1995년~1999년 삼성자동차 중앙연구소 책임연구원, 1999년~현재
순천향대학교 기계공학과 부교수

임 준 형(任 俊 炯)

2004년 순천향대학교 기계공학과 졸업(학사), 2006년 순천향대학교 기계공학과 졸업(석사)

이 주 헌(李 周 憲)

1997년 순천향대학교 전기공학과졸업(학사), 1999년 순천향대학교 전기공학과 졸업(석사), 2006년 순천향대학교 전기공학과 졸업(박사)

김 창 교(金 昌 敎)

1981년 연세대학교 전기공학과 졸업(학사), 1983년 연세대학교 전기공학과 졸업(석사), 1992년 밴터빌트대학교 전기공학과 졸업(박사). 1993년~현재 순천향대학교 정보기술공학부 교수