가스센서 어레이 열해석

정 완 영, 임 준 우*, 이 덕 동*
동서대학교 인터넷공학부, *경북대학교 전자전기컴퓨터공학부
전화 : 051-320-1756 / 핸드폰 : 016-466-3615

Thermal Analysis of Gas Sensor Array

Wan-Young Chung, Jun-Woo Lim*, Duk-Dong Lee*
School of Internet Eng., Dongseo Universiy
*School of Electronic, Electrical and Computer Eng., Kyungpook Nat'l University
E-mail : wychung@dongseo.ac.kr

Abstract

A sensor array (35mm^2 in diaphragm dimension) of 12 sensing elements with different operating temperatures was optimized with respect to thermal operation. This sensor array with single heater on a glass diaphragm over back-etched silicon bulk realizes a novel concept of a sensor array: an array of sensor elements operated at different temperatures can yield more information than single measurement. The proposed micro sensor array could provide well-integrated array structure because it has only single heater at the center of the diaphragm and used the various sensing properties of two kinds of metal oxide layers with various operating temperatures.

I. 서론

반도체형 가스센서의 가장 큰 단점 중의 하나는 특정한 가스의 감지를 위한 센서임에도 불구하고 여러 가지 가스에 대해 비교적 반응을 많이 한다는 사실이다. 이러한 반도체형 가스센서의 단점을 극복하기 위하여 지금까지는 단일소자의 선택성을 향상시키는 연구가 많이 이루어져 왔다. 그러나 최근에는 다양한 특성을 가지는 센서어레이를 구성하고 이로부터 들어오는 신호를 적당히 처리하여 특정한 가스를 인식하려는 노력이 많이 이루어지고 있다. 이러한 최근의 연구경향은 보다 더 진보되어 가스를 반정량적으로 인식하는 "전자코"의 개발에도 활발한 연구가 이루어지게 하고 있다.

본 연구에서는 이러한 전자코 등에 사용될 수 있는 입력센서어레이로서 더욱 가능성이 높은 집적형 어레이센서에 관해 연구한 내용이다. 실리콘을 이용한 가스센서어레이에서 해결해야할 중요한 기술적인 문제는 (1) 적당한 가스감지박막의 형성과 패턴닝, (2) 실리콘 기판에 영향을 주지 않으면서도 원하는 동작온도를 유지할 수 있는 히터의 형성이다. 이 중에서 히터의 온도제어문제는 중요한 문제임에도 불구하고 많은 가스센서어레이 연구자들이 거의 연구를 하지 않은 분야이다. 본 연구에서는 상업용 유한요소 시뮬레이터인 ANSYS를 사용하여 실리콘 기판위에 적당히 다른 온도에서 동작하는 센서어레이를 형성할 수 있도록 열해석을 하는 방법을 보여준다.

II. 센서어레이의 설계와 제조

금속산화물 감지막을 가지는 반도체형 가스센서는 보통 가스와 감지박막이 반응하여 가스감응특성을 보이기 위해 가스감지박막이 100~500℃로 가열되어야

한다. 이러한 사실은 실리콘을 기판으로 하는 가스센서의 마이크로화에 큰 장애요인으로 작용하고 있다. 실리콘 마이크로센서에서는 저전력화와 실리콘 기판위에 위치하는 다른 회로들을 보호하기 위해 센서의 감지박막이 있는 활성부분을 열절연막 위에 올리게 된다. 전형적인 마이크로 가스센서의 경우에는 이방성 에칭에 의해 가스센서가 위치하는 부분의 뒷면이 에칭되고 그위에 SiO_2, Si_3N_4 또는 이들로 구성되는 다층 절연층인 실리콘절연층(다이아프램)이 형성되고 그 위 중앙부분에 감지박막을 가열하기 위한 마이크로 히터가 위치하게 된다. 또한 대부분의 센서는 분리된 절연 멤브레인위에 각각 떨어져있는 단위 센서로 구성되어 전체적인 센서어레이 구조를 이루고 있다[1].

본 연구에서는 각기 다른 감지특성을 가지는 센서로 이루어지는 센서어레이의 집적도를 높이면서도 그 각기 다른 가스 감지특성을 잘 제어할 수 있는 형태의 소자를 구상하게 되었다. 감지특성이 다른 센서를 만들기 위해서는 감지박막을 각기 다른 물질로 만드는 방법과 동일한 감지박막을 사용하되 동작온도를 다르게 하는 방법이 있을 수 있다. 이 논문에서는 위의 두 가지 방법을 사용하는 고집적도 마이크로 가스센서 어레이를 제작하는 방법을 개발하였다. 또한 전형적인 실리콘 산화막을 사용한 멤브레인이 열적인 안정성이 떨어져서 온도가 동작온도까지 오르내리면서 열스트레스에 의해 쉽게 파손되는 단점을 보완하기 위해서 상용의 유리기판을 사용하는 방법을 강구하였다.

먼저 본 실험에서는 두께가 125 ㎛인 코닝 7740 유리판을 기판으로 사용하여 마이크로가스센서를 제작해서 그 특성을 조사했다. 그리고 물리적인 충격이나 장기간의 사용에 의한 소자특성의 열화가 일어나지 않도록 하였다. 열적으로 고립된 멤브레인상의 중앙에 하나의 히터를 배치하고 그 양측면에 여러개의 감지막을 동일면상에 형성함으로써 소자 제조를 단순화하였고, 하나의 히터가 발생시키는 열로써 서로 다른 온도에서 소자가 각각 동작하도록 하였다.

그림 1 에 마이크로가스센서의 제작 공정 순서도를 나타내었다. 제작 공정은 다음과 같다.

(a) 센서 제작을 위한 기판으로 두께가 125 ㎛인 코닝 7740 유리판을 사용하였다. 이것은 열팽창 계수가 실리콘 지지대와 비슷하여 양극 접합에 용이한 장점이 있다.
(b) 초기 세척한 후 전면에 r.f. 마그네트론 스퍼터를 이용하여 in-situ로 Ti를 0.03㎛, Pt를 0.23㎛ 증착하였다. 여기서 Ti층은 Pt와 절연물층간의 접착성을 좋게 하기 위한 것이다.
(c) 마스크 #1을 이용하여 Pt를 습식식각(식각액 = 70HCl : 10HNO_3 : 80H_2O, 85℃)해서 Pt 히터와 감지전극을 형성하였다.
(d) 마스크 #2를 이용하여 열증착기로 증착된 1,500Å Sn을 lift-off법으로 감지막 패턴을 형성하였다.
(e) 증착된 Sn을 650℃에서 3시간 동안 산소분위기에서 열산화시켜 SnO_2 감지막을 형성하였다.
(f) 또한 히터의 한쪽에 있는 감지막에만 반응성을 향상시키기 위해 이온증착기로 Pt를 30Å 증착한 후, 600℃에서 30분간 질소분위기에서 열처리해서로써 코닝 7740 유리판에 마이크로가스센서어레이의 주요 구성요소들을 형성하였다.

코닝 7740 유리판의 크기는 3×5mm^{2}이다. 감지막의 크기는 히터와 가까운 쪽에서부터 살펴보면 가로는 100㎛로 동일하고, 세로는 1600, 1300, 1000, 700, 400, 100㎛로 설계하였다. 마이크로머시닝된 실리콘 지지대에 양극접합이 될 소자의 전체 사이즈는 9×7mm^{2}이다.

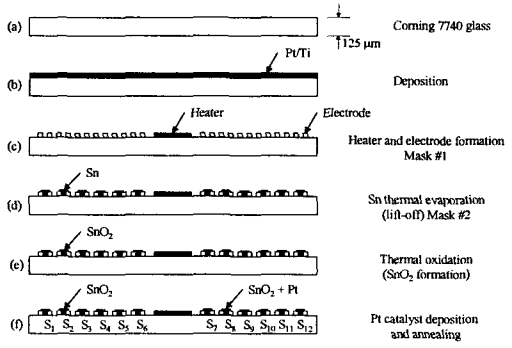
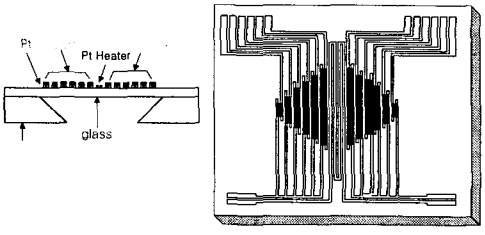
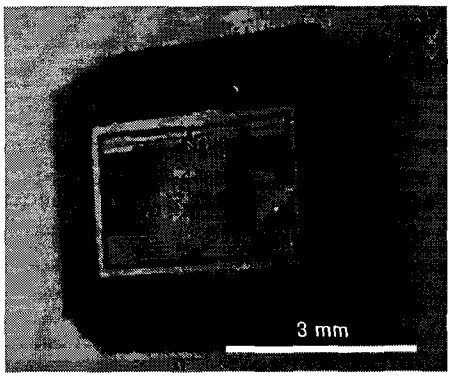


그림 3. 마이크로 가스센서 어레이의 공정순서도.



(a)



(b)

그림 2. 제안된 구조의 센서어레이(a)와 제조된 센서어레이 구조(b).

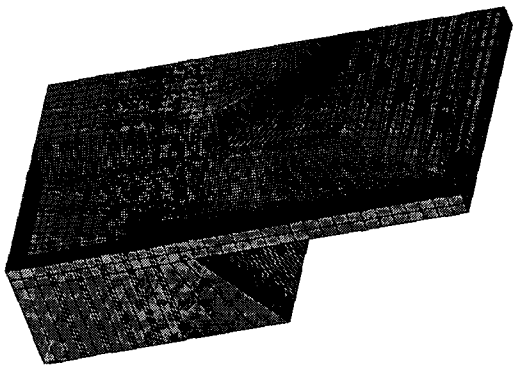


그림 3. 센서어레이 1/4부분에 대한 메쉬된 FEM 모델.

III. 센서의 열해석

본 연구에서의 열해석은 널리 사용되고 있는 상용 FEM 열해석 소프트웨어 패키지인 ANSYS를 사용하였다. 시뮬레이션에 사용된 각 센서구성 물질의 열전도계수, 복사능(emissivity)가 표 1에 요약되어 있다. SnO_2와 같이 파라메터의 참고가 불가능한 경우에는 SiO_2와 같다고 가정하여서 시뮬레이션했다.

표 5. 열시뮬레이션에 사용된 각종 파라메터들

Properties	Si	Glass	SnO2	Pt
Thermal conductivity [W/cmK]	1.5	0.0078	0.045	0.734~ 0.719 (273~600K)
Emissivity	0.3	0.7	0.5	0.1

열해석은 전체소자의 형태가 완전대칭인 것을 가정하여서 전체 어레이 소자의 1/4만에 대해 수행되었다. 그림 3은 전형적인 FEM 모델을 보여주고 있다.

열해석의 정밀성 향상을 위해 해석 단위가 되는 셀을 나누는 메쉬간격을 다양화하였다. 즉, 가스감지박막이나 히터가 있는 부분은 세밀하게 메쉬형태가 되게 하였고 그에 반하여 실리콘 벌크 등의 부분은 메쉬의 형태가 커지도록 하였다.

IV. 결과 및 고찰

마이크로 센서의 감지막 어레이를 위한 히터의 위치를 실리콘벌크에로의 열차단과 그에 따르는 저전력화의 필요성에 의해 열절연막(유리기판) 중앙에 두도록 설계하였다. 즉, 센서어레이가 위치하는 부분의 열고립을 위해 실리콘 위쪽으로부터 이방성에칭에 의해 실리콘 벌크 부분이 에칭되었다. 에칭 후에 얇은 유리기판이 놓이고 그 이전에 이 유리기판에는 히터의 양쪽에 각각 6개의 완전 대칭형 감지박막 어레이가 형성되어 있게 된다. 센서어레이(감지박막 어레이)의 열분포를 확인하기 위해 중앙의 히터를 500℃ 까지 가열한 다음에 각 감지박막의 온도를 조사한 결과를 그림 4에 보였다.

또한 히터의 온도가 동일한 상태에서 각 센서감지박막 어레이의 온도분포와 센서어레이 소자의 단면에 대한 온도분포를 조사하여 그림 5와 6에 요약하였다. 그림 5와 6에서 대부분의 온도기울기가 얇은 유리기판에서 이루어지며 실리콘 기판 자체의 온도는 열해석에서 대입한 실온인 27℃를 유지하는 것을 확인할 수 있었

다. 즉 센서어레이의 구조에서 가장 중앙에 위치한 히터를 중심으로 대칭 형태로 위치한 가스감지박막의 온도는 히터로부터 떨어질수록 온도가 낮아지지만 유리기판을 지지하는 실리콘벌크의 온도는 실온이라는 사실을 확인할 수 있었다.

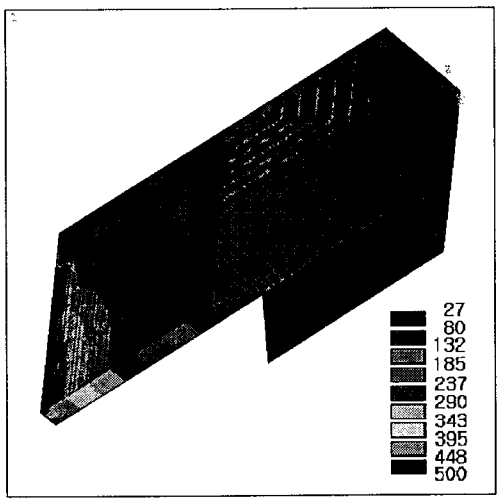


그림 4. 히터의 온도가 500℃ 일때의 센서어레이의 전형적인 온도분포.

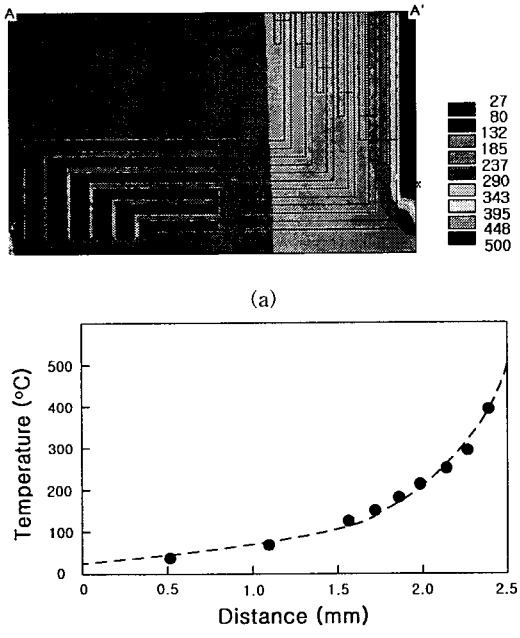


그림 5. 히터의 온도가 500℃ 일때의 센서어레이에서의 온도분포도.

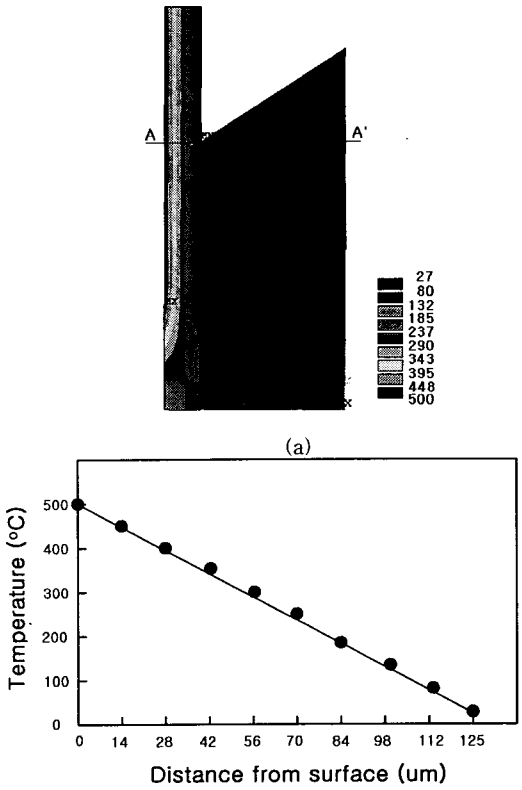


그림 6. 히터의 온도가 500℃ 일때의 센서어레이 단면의 온도분포도.

V. 결론

중앙에 히터를 두고 양쪽에 서로 다른 성분을 가지는 감지박막을 가지는 고집적형 가스센서 어레이를 설계, 제작하고 센서어레이의 열적인 안정성을 위해 얇은 유리기판을 센서지지판으로 사용하는 새로운 형태의 센서어레이를 제작하였다. 감지박막 어레이의 동작온도 분포를 FEM 시뮬레이션으로 확인한 결과 센서어레이의 동작특성이 서로 선형적으로 차이가 나는 센서어레이 구조가 증명되었다.

참고문헌

[1] W.-Y. Chung et. al., Thermal and gas-sensing properties of planar-type micro gas sensor, Sen. Actuators B 64 (2000) 118-123.