

論文2003-40SD-1-2

마이크로 센서 어레이 제작 및 폭발성 가스 인식으로의 응용

(Micro Sensor Array and its Application to Recognizing Explosive Gases)

李大植*, 李德東*

(Dae-Sik Lee and Duk-Dong Lee)

요 약

폭발성 가스의 종류 및 그 양을 검지하기 위한 4 개의 개별 센서가 한 마이크로 열판 위에 집적된 센서 어레이를 개발했다. 이 센서어레이는 각종 가스에 대해 다양한 감도 패턴을 가지며, SnO₂를 모물질로 하는 4 개의 산화물 반도체 마이크로 가스센서로 구성하였다. 다공질에 큰 비표면적을 가진 모물질에 서로 다른 촉매를 첨가하여 감지물질을 제작함으로써 저농도에 대한 감도 및 재현성을 높였고, 센서어레이 전반에서 균일한 온도 분포가 되도록 설계하였다. 마이크로 열판은 N/O/N 박막을 가진 실리콘 기판을 이용하여, 열적 고립을 위해 Al 분당 와이어로 공기중에 부유되어 있고, CMP 공정으로 두께를 제어하여 소모 전력을 조절하였다. 400℃에서 동작하는 센서어레이로부터 얻은 감도를 이용하여 주성분 분석 기법을 통해 폭발 한 값의 범위에서 부탄, 프로판, LPG, 그리고 일산화탄소 등과 같은 폭발성 및 유독성 가스의 종류 및 양을 신뢰성 있게 식별할 수 있었다.

Abstract

A micro sensor array with 4 discrete sensors integrated on a microhotplate was developed for identifying the kinds and quantities of explosive gases. The sensor array consisted of four tin oxide-based thin films with the high and broad sensitivity to the tested explosive gases and uniform thermal distribution on the plate. The microhotplate, using silicon substrate with N/O/N membrane, dangling in air by Al bonding wires, and controlling the thickness by chemical mechanical process (CMP), has been designed and fabricated. By employing the sensitivity signal of the sensor array at 400℃, we could reliably classify the kinds and quantities of the explosive gases like butane, propane, LPG, and carbon monoxide within the range of threshold limit values (TLVs), employing principal component analysis (PCA).

Keyword : Micro sensor array, microhotplate, explosive gases classification, SnO₂ thin films

I. 서 론

지난 10 여년 동안 많은 연구자들에 의해서, 많은 마

* 正會員, 慶北大學校 電子電氣工學部

(School of Electronic and Electrical Engineering,
Kyungpook National University)

接受日字:2002年2月6日, 수정완료일:2002年12月31日

이크로 가스 센서어레이들이 가스 종들의 선택적 감지를 위하여 제작되었다^{1,2}. 마이크로 가스 센서 어레이의 상용화를 위해서, 저농도의 가스량에도 고감도를 가지는 감지 박막의 형성 기술, 그리고, 고온에서도 기계적으로 안정하면서도 전력 소모가 적은 마이크로 열판(microhotplate)의 제작 기술 등 시급하게 해결되어야 할 문제들이 있다.

특히, 마이크로 센서에 적용되는 반도체식 가스 감지용 박막은, 전류의 방향이 표면 공핍층과 평행하고 벌

크와는 다르게 매우 평탄한 표면 형상 때문에 가스 존재에 따른 전기 전도도 변화량이 적고, 벌크형이나 후막형 감지막에 비해 상대적으로 낮은 감도를 가지는 것으로 알려져 있다^[3]. 그래서, 대상 가스에 대해서 고 감도를 가지는 감지 박막 형성 기술 또한 절실히 요구되고 있다.

지금까지, 많은 연구자들이 다양한 마이크로 머시닝 기술을 도입하거나^[4], SiC와 같은 매우 견고한 박막을 이용하여^[6] 고온에서 전력 소모를 줄이면서도, 기계적인 강도를 가지는 여러 가지 마이크로 열판을 제작하여 보고하였다. 그러나, 이들 열판 구조에서는 주위 구조체인 실리콘 기판으로의 열 전도와 열 복사로 인해 열적 손실이 많다. 또한 이들 공정은 다른 공정과의 호환성에서의 문제점과 제작 단가가 비싼 단점을 가지고 있어서 집적화, 대량생산, 그리고 가격저하를 위해서는 풀어야 할 문제가 많은 상황이다.

그러므로, 본 논문에서는 집적화와 대량생산을 위해서, 백금 (Pt) 본딩 와이어 (bonding wire)로 공기 중에 부유된 구조를 가짐으로, 기판으로의 전도열과 복사열을 줄일 수 있는 새로운 형태로 설계된 마이크로 열판을 제작하여, 그 위에 귀금속 촉매들을 가지는 다공질의 주석산 산화물 박막을 증착한 새로운 형태의 마이크로 가스 센서 어레이를 제작하였다. 그리고 실험 폭발성 가스 종류와 농도별에 대한 어레이상의 센서들의 감도 신호를 주성분 분석 기법을 통해 분석함으로써, 대상 실험가스들의 종류별 농도별 인식 가능함을 확인하였다.

II. 센서제조 및 실험

마이크로 가스 센서 어레이의 제작을 위해, 600 μm 두께의 (100) 방향의 n 형의 4 인치 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 초기 세정 후에는, 스트레스를 줄인 6000 Å 두께의 N/O/N ($\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$) 유전막을 실리콘 기판 전면에 화학증기증착법(LPCVD : low-pressure chemical-vapor-deposition)와 APCVD(atmospheric-pressure chemical-vapor-deposition)로 형성하였다. 그리고 고온에서의 전력 소모를 줄이기 위하여, CMP (chemical mechanical polishing) 공정을 이용하여 기판의 두께를 조절하였다. 고주파 마그네트론 스퍼터링 장치를 이용하여 기판 양면에 Ti/Pt 박막을 증착하고, 왕수 (diluted aqua regia)로 습식 식각하여 앞면에는 히

터, 감지 전극, 그리고 온도 센서를 동시에 형성하였고 뒷면에는 소자간 분리를 위한 식각 창을 열었다. 감지막과 히터와 전기적인 절연을 위해서, 감지막 형성 부분에 SiO_2 를 증착하였다. 감지 박막 형성을 위해서, 주석 (Tin)을 고진공 분위기에서 1,000 Å 두께로 열증착하고 초박막의 서로 다른 촉매(Pt, Au, Pt/Au, and none)를 섀도우 마스크 (shadow mask)를 이용하여 선택적으로 스퍼터링 증착하였다. 그리고, 소자와 소자간의 분리를 위해, KOH 용액으로 뒷면의 Si면만을 식각하는 방법을 이용하였다. 최종적으로, SnO_2 계의 서로 다른 감지막 형성을 위해서 700 °C에서 1 시간동안 산소 분위기에서 열산화시켰다. 그 결과로, $1.9 \times 2.1 \text{ mm}^2$ 의 기판위에, $0.64 \times 0.24 \text{ mm}^2$ 의 면적을 가지는 4 개의 서로 다른 감지 박막 (SnO_2 , SnO_2/Pt , SnO_2/Au and $\text{SnO}_2/\text{Pt,Au}$)과 4개의 히터와 온도 센서를 가지는 마이크로 센서어레이를 제작하였다. 제작된 센서 어레이는 12개의 Al 본딩 선에 의해 공기중에 부유시켜, 보편적인 방법과는 달리 고온에서의 열적 스트레스와 기계적인 강도를 가지면서도 열적으로 고립된 구조로, <그림 1>과 같이 제작할 수 있었다. 센서의 가스에 대한 감도 측정을 위해 부하저항과 센서를 직렬로 연결된 회로에 전압을 인가하여, 그 부하저항에서 전압을 감지함으로써 센서의 저항 변화를 측정하는 전압 측정 방식을 이용하였다^[7]. 간단히 요약하면, 부하 저항 (RL)에서 전압을 측정하여 센서 어레이 상의 개별 센서의 저항을 다음 식 (1)을 이용하여 계산하였다. 센서 감도는 다음 식 (2)로 정의하였다. 식 (2)에서 Ra는 가스 주입 전 센서 어레이 상의 개별 소자 저항이며, Rg는 가스 주입 후 센서 어레이 상의 개별 소자 저항이다.

$$R_s = R_L \left(\frac{V_c}{V_{RL}} - 1 \right) \quad (1)$$

$$S(\%) = \frac{R_a - R_g}{R_a} \times 100 \quad (2)$$

III. 결과 및 고찰

1. 마이크로 열판의 특성

알루미늄 결합선 (bonding wire)에 의해 공기중에 전적으로 부유되는 구조를 가지는 마이크로 열판의 모양을 <그림 1>에 나타내었다. 기존의 마이크로 열판의 경우 <그림 2>에서 보는 바와 같이, 벌크 마이크로머시닝되거나 <Fig 2(a)>, 혹은 표면 마이크로 머시닝

<Fig 2(b)>된 Si 지지체를 갖는 얇은 절연층을 주로 이용하였다^[4,5]. 이와 같은 경우에, 큰 열전도율을 가지는 Si ($1.48 \text{ J/cm} \cdot \text{s} \cdot \text{K}$) 기판과 접촉하는 면적이 크기 때문에, Si 지지체가 전도나 복사의 형태로 열 방출을 촉진하는 역할 (heat sink)을 하게 된다. 그래서, 고온에서 동작하기 위해서는 큰 전력 소모가 필요하고, 절연층 열판과 주위 Si 지지체와의 열팽창 계수의 차이로 인해 연결 부위가 전력을 인가하고 제거할 때 급격한 온도 변화를 받게 되고 이로 인한 스트레스를 받기 쉽다. 또한 금속 전극을 통한 열판 표면으로의 열전달 또한 클 것으로 생각된다. 그래서, 본 연구에서는 실리콘 지지체를 사용하지 않고 12개의 Al 분당선($2.37 \text{ J/cm} \cdot \text{s} \cdot \text{K}$)만을 이용하여 공기 중에 부유시켜 열적 고립을 시킴으로 고온에서의 마이크로 열판의 열 손실을 줄이면서 기계적 강도를 향상시키는 방법을 제안했다. 전력 소모 제어를 위하여, 열판의 두께를 CMP 공정을 이용하여 제어하였다.

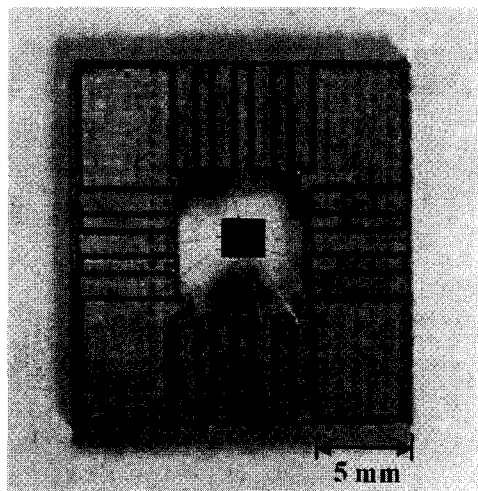
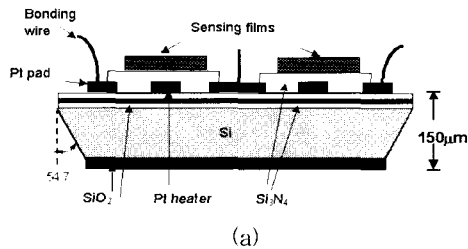
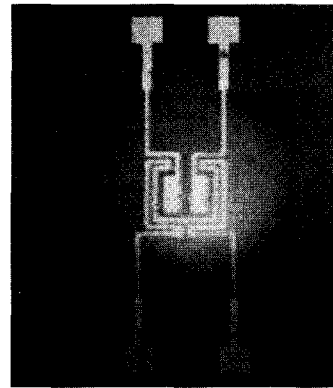
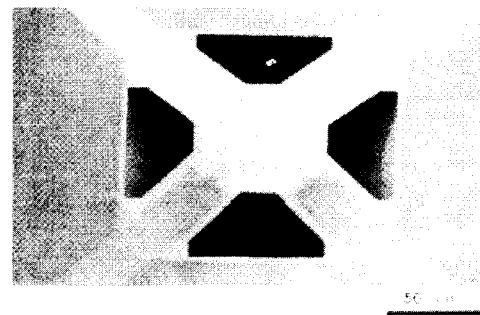


그림 1. 제작된 마이크로 센서 어레이;(a) 단면도, (b) 패키징후의 사진
Fig. 1. Fabricated micro sensor array; (a) cross-sectional view and (b) photograph after packaging.



(a)



(b)

그림 2. 기존의 마이크로 가스 센서 어레이에 사용된 열판들; (a) 후면 에칭된 센서, (b) 전면 에칭된 센서

Fig. 2. Pictures of the conventional micro-hot plates for gas sensor array; (a) backside-micromachined gas sensor [4] and (b) front-micromachined gas sensor [5].

기판 전체적으로 +5% 이내의 균일한 열분포를 가졌다. 그리고, <그림 2>에 보이는 구조로 말미암아, 개별 소자 각각을 만드는 데 비하여, 제작 공정이 간단하고 동작온도가 균일해짐으로 주변 온도 변화에 따른 영향이 모든 소자에 동일하게 미침으로, 센서들의 감도 패턴에서의 외란의 영향이 줄어들 것으로 예상되었다. 마이크로 열판의 소모 전력에 따른 온도 분포를 <그림 3>에서 나타내었다. 기판 두께가 얇아질수록 소모 전력이 급격하게 감소됨을 볼 수 있다. 즉, 기판의 두께에 따라 소모 전력이 선형적으로 감소하도록 제어 가능함을 알 수 있다. 그리고 $150 \mu\text{m}$ 두께의 열판의 경우에는 $400 \text{ }^\circ\text{C}$ 의 온도를 공급하는데 약 100 mW 정도의 전력 소모를 보였다.

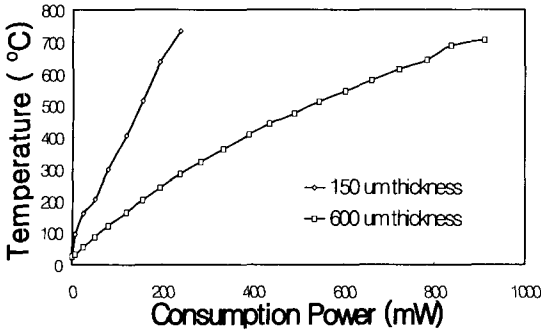


그림 3. 제작된 마이크로 열판의 소모 전력대 온도 분포
Fig. 3. The temperature versus power consumption of the micro-hotplate.

2. 다공질 감지 박막의 특성

(1) 표면 형상 및 결정 구조

감지 박막의 가스 감지 기구에서 크게 고려되고 있는 인자들은, 가스가 주로 반응을 일으키는 감지막 표면 상태(예를 들면 산소 공공, 흡착점), 결정립 경계 (grain boundary), 그리고 금속 전극과 감지 박막사이의 접촉 상태 등인 것으로 알려져 있다^[8]. 본 연구에서는 표면의 굴곡과 결정립 경계 분포를 극대화하기 위하여, 금속 주석과 Au와 Pt을 선택적으로 증착하여 열산화시키는 방법으로 Sn과 O가 큰 비화합물적인 비를 가지는 다공질의 SnO₂ 박막을 형성하였다. <그림 4>는 열산화법에 의해 형성된 다공질의 SnO₂ 박막과 백금 혹은 금을 박막으로 추가적으로 증착 후 열처리하여 증착한 SnO₂ 박막의 표면 AFM (atomic force morphology) 사진을 나타낸 것이다. 스퍼터링하여 형성한 박막에 의해 거친 표면 형성을 보이고 있어 가스와 반응시에 큰 흡착점 (gas sorption sites)들이 형성된 것을 확인할 수 있었다.

또한 30 Å 정도의 박막의 백금이나 금을 증착하고 열처리할 때, 표면 분포가 변화됨을 알 수 있고, 이런 변화가 가스의 센서 표면에서의 기공도 변화로 인한 반응 정도의 변화를 가져와서 그 감도의 차별화를 가져올 수 있을 것으로 생각되었다.

열산화 이후의 SnO₂ 감지 박막의 표면 조성을 XPS를 이용하여 0~1000 eV 범위에서 <그림 5>에서 조사하였다. 탄소가 표면에 널리 분포된 것을 알 수 있다. 그리고, 485.5 eV에서의 Sn-3d_{5/2}의 결합에너지가 485.5로 상용 SnO₂ (486.4 eV 이상)박막의 결합에너지 (Eb)와 가까움을 알 수 있었다. 또한, 주석과 산소와의

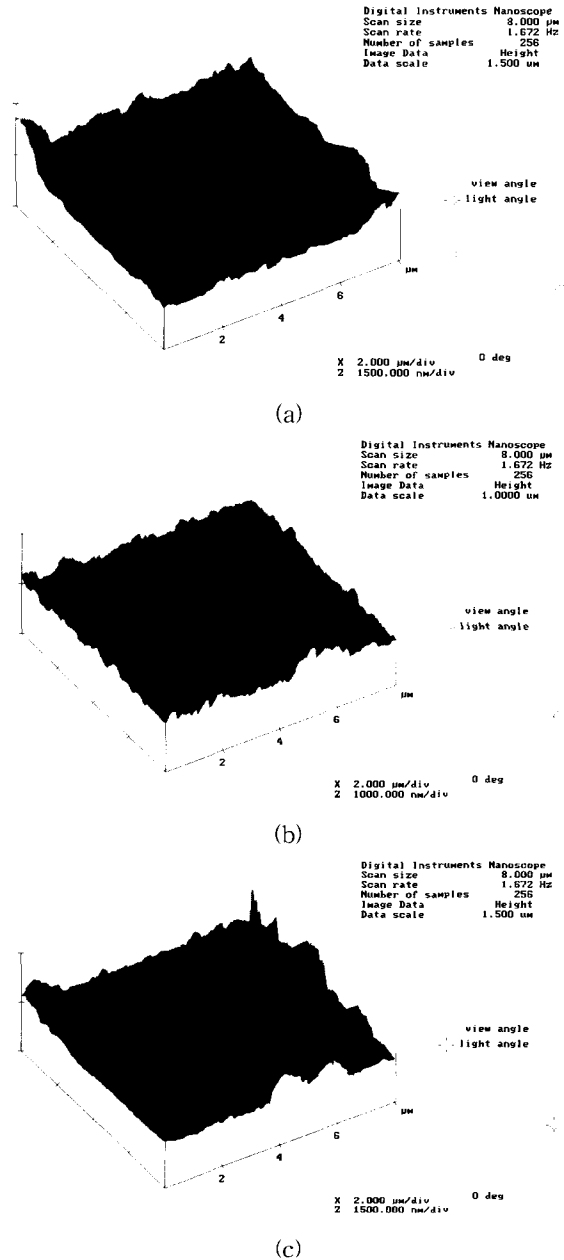


그림 4. 열산화법으로 제작된 SnO₂ 박막의 AFM 분석; (a) SnO₂, (b) Pt/SnO₂, 그리고, (c) Au/SnO₂.
Fig. 4. AFM surface morphology of the thermally-oxidized film SnO₂ thin films; (a) SnO₂, (b) Pt/SnO₂, and (c) Au/SnO₂.

원자량비를 상용 SnO₂ 분말을 기준으로 해서 조사한 결과, 대략적으로 화학량론적인 비율에 가까운 것으로 나타났다. 그러나, AES (Auger electron spectroscopy)를 통해 조사한 결과, 표면에서의 Sn과 O의 원자비가

약 1대 1.42로서 산소 공공 (oxygen vacancies)의 밀도가 아주 높은 것을 알 수 있었다. 이 결과로 볼 때에, 그 공공들로 인해 대기 중에서 많은 산소 분자들이 표면에 흡착하게 되고, 가스와의 반응 시에는 박막의 전자 밀도에 큰 변화를 가져와서 큰 가스 감응 특성을 가질 것으로 생각된다. 막 두께의 평균 편차(RMS)가 약 1800Å 정도로 큰 것을 확인할 수 있었다.

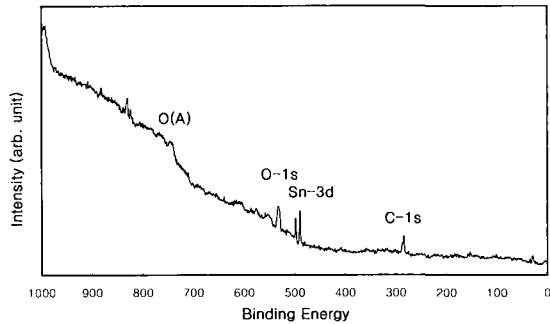


그림 5. 700°C에서 열처리된 SnO₂ 박막의 XPS 분석
Fig. 5. XPS survey scans of 700°C-annealed SnO₂ film.

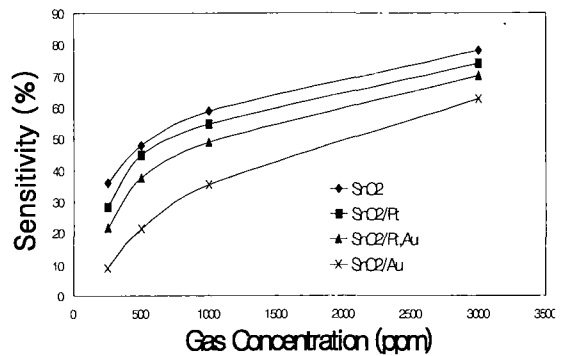
(2) 마이크로 센서 어레이의 폭발성 가스 감응 특성
마이크로 열판위에 있는 4 개의 다공질 박막 센서들은 측정에 이용한 폭발성 가스들(부탄, 프로판, LPG, 그리고 일산화탄소)에 대하여 뛰어난 감도 특성, 빠른 반응 및 복귀 특성을 보이는 것을 확인하였다. 측정된 폭발성 가스의 농도는 미국정부산업위생전문가 협의회 (ACGIH)의 노출기준책자 (TLV : Threshold Limit Values) Booklet)에서 정한 작업장에서의 노출기준치와 폭발 하한치 (LEL : Lower Explosion Level) 정도를 고려해서 100 ppm ~ 3000 ppm 정도로 정하였다. 주요 폭발성 가스의 종류, 분자식, 폭발 범위, 노출기준치, 그리고 폭발 등급을 <표 1>에 정리하여 나타냈다.

표 1. 폭발성 및 독성 가스들의 위해성

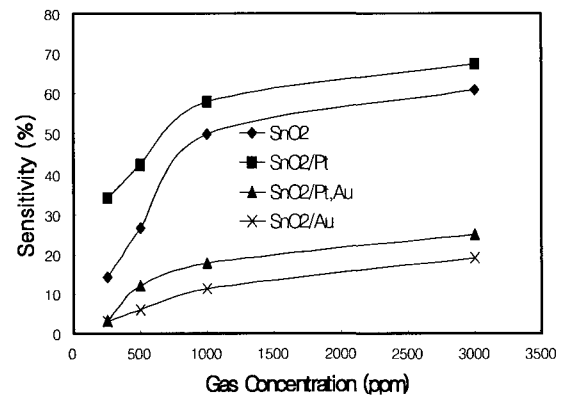
Table 1. Hazards of explosive and toxic Gases.

Gas/vapor	Molecular formula	Explosion ranges	TLV	Explosion grade
Propane	C ₃ H ₈	2.1~9.5	-	1
Butane	C ₄ H ₁₀	1.9~8.5	800	1
LPG		2~12	1,000	1
Carbon monoxide	CO	12.5~74	50	1
Methane	CH ₄	5.0~15.0	-	1

측정한 폭발성 가스들에 대해서, 가스 센서들은 농도 증가에 따라 센서 감도가 선형적으로 변하였고 촉매들에 따라 서로 다른 감도 특성을 나타내었다. 그 예로서, 일산화 탄소와 LPG 가스의 농도에 따른 다공질 가스 감지막들의 감도 변화를 <그림 6>에 나타냈다. 센서들의 폭발 하한치 이내의 범위에서도 높은 감도를 보이는 것을 볼 수 있다. 그리고 센서 마다 고유한 감도 특성을 보이며 전체적으로 넓은 범위의 감도 특성을 보이는 것도 관찰하였다. 이런 감도 패턴은 센서들의 실험 폭발성 가스들을 종류별 정량별로 인식하는데 이용될 수 있을 것으로 기대되었다.



(a)



(b)

그림 6. 마이크로 가스 센서어레이의 가스 농도에 따른 감도 예들

Fig. 6. Examples of sensitivity of micro gas sensor array to the tested gas concentration; (a) carbon monoxide and (b) LPG.

완성된 센서 어레이의 4 가지의 서로 다른 센서들의 폭발성가스에 대하여 얼마나 빨리 반응하는가 하는 것은 가스 검지 및 인식 시간과 직접적으로 관련되어 있

다. <그림 7>에서 일산화 탄소 500 ppm에 대한 시간 응답특성을 보면, 가스 주입 후에 약 5초의 반응 시간 후에 반응이 포화되기 시작하였으며, 탈착은 30 초 이내에 거의 끝나는 것을 확인할 수 있었고 센서들의 원래 신호로의 복귀성도 뛰어난 것을 확인할 수 있다.

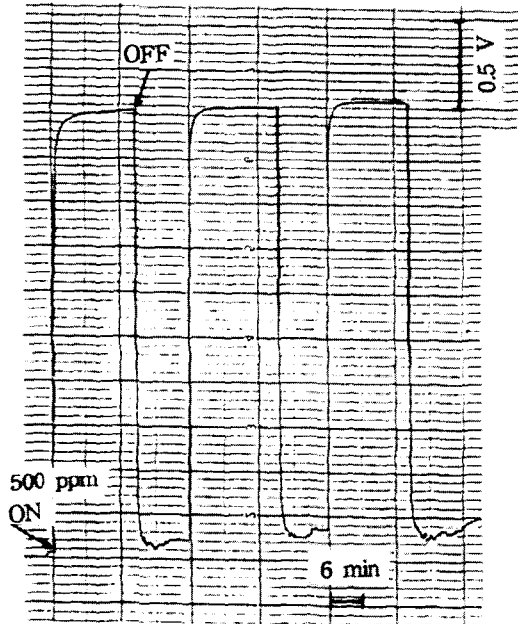


그림 7. SnO₂ 센서 박막의 일산화탄소 500 ppm에 대한 시간 응답 특성

Fig. 7. Time response of SnO₂ thin film to CO gas 500 ppm.

3. 마이크로 가스 센서 어레이를 이용한 대상 폭발성 가스 구별

가스 충전소나 지하 배관 등에서의 누출 가스에 의한 대형 폭발 사고를 사전에 검지 및 조치하는 것이 절실히 요구된다. 지금까지 상용화되는 가스센서는 단일 가스를 검지할 수 있는 단일 센서이다. 최근에는 여러 가지 가스를 선택적으로 인식하고 정량화하기 위하여 센서 어레이와 패턴 인식 기술을 이용하는 전자코 시스템 개발이 활발히 진행되고 있는 추세이다^[2,3]. 위에서 언급한 폭발성 누출 가스는 주로 발생하는 몇 가지 가스들이 정해져 있는데, 이들을 구별할 수 있으며 대략적으로나마 농도를 알아 낼 수 있는 휴대용 전자코 시스템의 개발이 가스 사용량 증가에 따른 안전사고의 증가로 더불어 절실히 요구되고 있는 실정이다.

본 논문에서는, 4가지 주요한 누출 폭발성 가스를 폭

발하한치 (LEL) 혹은 작업장 누출기준 (TLV)의 농도 범위에서 대략적으로 가스 종류 및 그 양의 인식을 위하여 선형 패턴인식 기법 중에 하나인 주성분 분석 기법 (PCA: Principal component analysis)을 도입하였다. PCA 기법은 다차원의 신호를 갖는 데이터를 최소한의 정보손실만 갖으며 저차원의 데이터로 적절히 나타내는데 가장 효과적인 방법중에 하나이다. 보통은 다차원으로 주어진 데이터를 제 1 주성분과 제 2 주성분의 2차원으로 나타내어, 가시화함으로써 대상 시스템의 특성 이해 및 분석에 유용한 수단으로 이용되고 있다.

이 실험을 위하여, 프로판, 부탄, LPG, 일산화 탄소의 4가지 가스 각각에 대하여서 250, 500, 1000, 그리고 3000 ppm 농도값에서 센서들의 감도값을 4 회 반복 측정하였고, 그 데이터를 주성분 기법으로 학습시켰다. 그 과정은 다음과 같다. 우선 모든 센서에서 받은 신호를 규정화 (Norm_i)하여 다음과 같은 센서 감도 데이터 베이스 (DB: Data Base) 행렬 X_k 로 나타내었다. 여기서 l 은 감지패턴의 수 그리고 k 는 센서의 수를 나타낸다. 주성분 분석기법을 적용시킨 과정은 다음 식들을 이용하여 가스의 종류 및 그 양에 따른 그룹화가 가능하였다. 우선 평균 (\bar{X}_k)을 다음 식과 같이 구하였다.

$$\text{Norm}_i = \frac{\Delta R_i}{R_i} \quad (3)$$

$$\bar{X}_k = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^m X_{ki} \quad (4)$$

여기서, i 는 현재센서지수, ΔR 는 저항 변화율, R 은 초기저항, n 은 센서의 갯수, m 은 실제 적용된 패턴 수이다. 그리고, 감도 DB (X_k)에 대한 공분산 (C)는,

$$C_{ij} = \sum_{k=1}^m (X_{ki} - \bar{X}_i)(X_{kj} - \bar{X}_j)^T / m \quad (5)$$

여기서 i, j 는 센서의 수를 나타낸다. 이렇게 구한 공분산을 이용하여 고유 벡터(μ_k)와 고유치(λ_k)를 다음 식을 이용하여 구하였다.

$$C_{\mu k} = \lambda_k \mu_k \Rightarrow \mu_k (C - \lambda_k I) = 0 \quad (6)$$

분산도가 가장 큰 두 개의 고유치(λ_1, λ_2)에 해당하는 고유벡터 (μ_1, μ_2)를 선택하여, 감도 DB값과 곱하여 두 개의 특징성분을 포함하는 주성분 (P_{jk})을 선택적

으로 구할 수 있었으며, 이를 2차원에 좌표계에 표현하여 <그림 8>과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$P_{ik} = \sum_{j=0}^m X_{ik} \mu_k \quad (7)$$

여기서 k 은 1, 2로 차원을 나타낸다.

<그림 8>에서 실험한 폭발성 가스의 종류별 농도별 그룹화(clustering)가 되는 것을 확인하였다. 실험 상에서 주변 습도 및 온도에 변동에 의해 보통 ±5% 정도의 감도의 변동이 있을 수 있다. 그래서, 원래의 측정 자료에 ±5% 내의 감도 차이를 준 다음에, 주성분 분석을 실시한 결과에서 대상 폭발성 가스의 폭발하한치 이내에서 종류별 농도별로 구별이 가능함을 확인할 수 있었다.

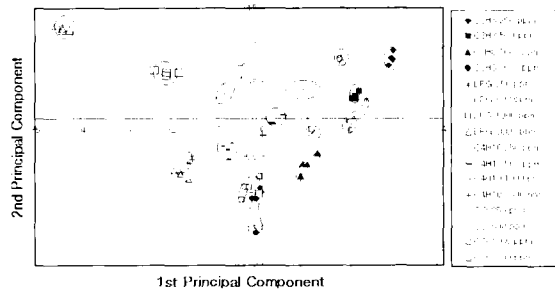


그림 8. 서로 다른 4 가지의 폭발성 가스의 종류별 및 농도별의 대한 주성분 분석 기법 적용 결과

Fig. 8. Principal component analysis of the response of sensor array exposed to combination of four different kinds and four different concentrations of explosive gases.

그리고 주성분에 따른 고유치의 분산도를 <표 2>에서 알아보았다. 제 1 주성분이 89.59 % 그리고 제 2 주성분이 7.71%의 상대적 분산도를 보였다. 결국 차원

표 2. 어레이상의 4개 센서를 이용한 폭발성 가스 자료에 대한 PCA 인식 결과

Table 2. PCA of explosive gas data from 4 microsensors in array.

Principal vector (eigen-vector)	Eigen value (autoscaled)	Variance (%)	Cumulative variance (%)
1	3.58	89.59	89.59
2	0.31	7.71	97.30
3	0.11	2.68	99.98

을 2차원으로 줄이더라도 원래의 센서 감도 자료의

97.3%의 정보를 가지는 것을 알 수 있어, 거의 손실 없이 정보를 가지는 것을 알 수 있다.

<그림 9>에서는 4개 센서 각각 감도들의 주성분에 미치는 상대적인 기여도를 고유 벡트 값을 이용하여 나타내었다. 여기에서는 원점에서 멀리 떨어질수록 그리고 제 2 주성분의 a2 보다는 큰 고유치를 가지는 1 주성분의 a1에서의 값에서 차이가 클수록, 그 해당 개별 센서가 가스인식에서의 기여도가 큰 것이라고 할 수 있다. 즉 감도는 비록 낮게 갖더라도, 가스의 종류별로 큰 감도차이를 나타낸 Au/Pt 첨가한 센서가 가장 큰 기여도를 나타내며, 대체적으로 고감도를 나타낸 Pt 첨가한 센서는 기여도가 낮은 것을 알 수 있다. 전체적으로는 차별화된 기여도를 보임을 알 수 있어, 비록 네 개의 센서를 사용하더라도, 대상 폭발성 가스들을 폭발하한치 이하의 농도에서 종류별로 정량별로 인식하는 것이 가능함을 확인할 수 있었다.

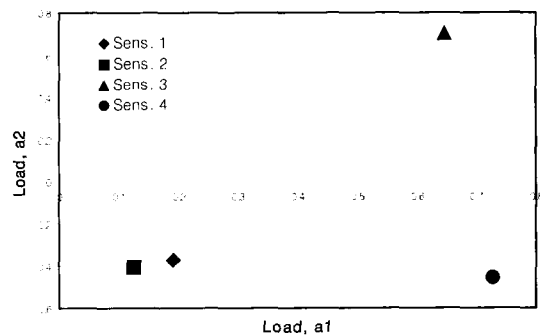


그림 9. 4 개 센서 감도들이 주성분에 미치는 상대적인 기여도

Fig. 9. Plot of principal loading showing the relative contribution of the four sensor to the principal components.

IV. 결 론

폭발성 가스들에 대하여 고감도를 가지는 4 종류의 다공질 SnO₂ 감지막, 히터 그리고 온도 센서가 마이크로 열판 위에 집적화된 새로운 형태의 마이크로 센서 어레이를 설계 제작하였다. 제안된 마이크로 열판은 알루미늄 본딩 선에 의해서 기판이 공중에 전적으로 부유시키는 방법을 사용함으로써, 공기를 통한 열적 단열 뿐만 아니라 기계적인 강도를 높일 수 있음을 확인했다. 그리고 파워 소모도 기판의 두께를 CMP 공정을 이용하여 두께를 조절하였으며, 소자간의 분리를 위해

서는 뒷면을 벌크 에칭하는 방법을 이용하는 새로운 형태의 마이크로 가스 센서 어레이를 제작했다.

다공질 SnO₂ 감지막이 폭발성 가스에 대하여 서로 다른 감응 패턴을 가지도록 하기 위하여, 금속 Sn을 열 증착한 이후에, Au와 Pt를 선택적으로 초박막으로 증착하여 700°C에서 1시간 동안 열산화를 실시하였다. 제작된 4 개의 다공질 감지막들은 폭발성 가스들(부탄, 프로판, LPG, 그리고 일산화탄소)에 대하여 작업장 노출 기준 (TLV)과 폭발하한치 (LEL) 정도의 저농도에 서로 뛰어난 감도 특성, 빠른 반응 및 복귀 특성, 그리고 고유한 감응 패턴을 보이는 것을 확인하였다. 이 감응 패턴에 주성분 분석법 (PCA)을 도입시켜 본 결과, 실험에 사용된 고폭발성 가스들의 종류 및 대략적인 농도를 선택적으로 구별 가능함을 알 수 있었다.

결과적으로 본 연구에서 제안된 마이크로 센서 어레이는 가스 저장고 혹은 배관에서 발생하는 누출 가스를 종류 및 대략적인 농도를 실시간으로 모니터링할 수 있는 휴대용 전자코 시스템에 응용 가능할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] J.W. Gardner, P.N. Bartlett, "Electronic noses: Principles and applications," Oxford university press, New York, pp. 210~218, 1999.
- [2] C.Hagleitner, A.Hierlemann, D.Lange, A.Kummer, N.Kerness, O.Brand & H.Baltes, "Smart single-chip gas sensor microsystem", *Nature*, Vol. 414, November, pp. 293~296, 2001.
- [3] D.-D.Lee and W.-Y. Chung, "Gas-sensing characteristics of SnO_{2-x} thin film with added Pt fabricated by the dipping method," *Sensors and Actuators B*, Vol. 20, pp. 301~305, 1989.
- [4] D.-S.Lee, J.-W. Lim S.-M. Lee, J.-S. Huh and D.-D. Lee, Fabrication and sensing characteristics of micro gas sensor for nitrogen oxide gas detection, *Transducers'99*, Vol. 2, pp. 1028~1031, 1999.
- [5] M. Tajima, T. Kakai, N. Yoshiike, Y. Mo, Y. Okawa and K. Natukawa, "Array-type micro-machined gas sensing system," *Transducers'99*, Vol. 2, pp. 1016~1019, 1999.
- [6] F. Solzbacher, C. Imawan, H. Steffes and E. Obermeier, "A new low power SiC/HfB₂-based microhotplate with integrated IDC for metal oxide gas sensors," *Transducers'99*, Vol. 2, pp. 1032~1035, 1999.
- [7] D.-D. Lee, Hydrocarbon gas sensors, "Chemical Sensor Technology," Vol. 5, Kodansha Ltd. pp. 79~99, 1994.
- [8] W. Gopel, K.D. Schierbaum, "SnO₂ sensors: current status and future prospects," *Sensors and Actuators B*, Vol. 26~27, pp. 1~12, 1995.
- [9] J.W. Gardner, P.N. Bartlett, "Electronic noses: Principles and applications," Oxford university press, New York, pp. 1~5, 1999.
- [10] 이대식, 정호용, 반상우, 이민호, 허중수, 이덕동, "반도체 가스센서어레이의 제작 및 폭발성 가스 감응 특성" *전자공학회 논문지* 제 37권 SD편 제 11호 893~902쪽, 2000년, 11월

[3] D.-D.Lee and W.-Y. Chung, "Gas-sensing

저 자 소 개



李大植(正會員)

1970년 7월 8일생, 1995년 경북대학교 전자공학과 공학사, 1997년 경북대학교 대학원 전자공학과 공학석사, 2000년 6월 경북대학교 대학원 전자공학과 공학박사, 2000년 8월~2000년 11월, 경북대학교 Postdoc.

연구원, 2000년 12월~현재, 한국전자통신연구원(ETRI) 반도체 원천기술연구소 BioMEMS 팀 선임연구원, <주관심분야 : 마이크로환경 가스 센서, BioMEMS, 마이크로 PCR>



李德東(正會員)

1942년 12월 21일생, 1966년 경북대학교 자연대 물리학과 이학사, 1974년 경북대학교 대학원 전자공학과 공학석사, 1984년 연세대학교 대학원 전자공학과 공학박사, 1974년 12월~현재, 경북대학교 공대 전자·

전기공학부 교수, 1979.11~1980.2 Stanford대 교환교수, 1980.8~1981.8 Cornell대 교환교수, 1987.7 일본큐슈대 연구교수, 1990.1~1990.3 플로리다대 교환교수, 1998.9~1999.0 대한전자공학회 반도체 재료부품연구회 위원장, 1999.6~1999.9 CWRU대 연구교수, 1991~1993 경북대 전자공학과 학과장, 1991~1995 센서기술연구소 연구본부장, 협력본부장, 1995~1997 경북대 전자기술연구소 소장, 1998.1~2001.12 한국센서학회 부회장, 1998.1~2000.7 한국센서학회 대구경북지부장, 2000.3~2002.4 경북대 공과대학장 겸 산업대학원장, 2002.1~현재 한국센서학회 회장, <주관심분야 : 환경 가스센서, 전자코시스템>