

논문 96-5-6-07

## 스트레스균형이 이루어진 멤베레인 및 박막 열전대를 응용한 유체센서

安永培\*\*, 金鎮燮\*, 金明奎\*\*, 李鍾玄\*\*, 李正熙\*\*

## Flow sensor using stress-balanced membrane and thin film thermocouple

Yeong-Bae Ahn\*\*, Jin-Sup Kim\*, Myung-Gyoo Kim\*\*, Jong-Hyun Lee\*\*, and Jung-Hee Lee\*\*

## 요 약

실리콘기판과의 스트레스균형이 이루어진 150 nm-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/300 nm-SiO<sub>2</sub>/150 nm-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 다이아프래임위에 백금 박막히터 및 Bi-Sb 열전대배열을 형성하여 히터에서 실리콘기판으로 전달되는 열량의 차단효과가 현저히 개선된 유체센서를 제작하였다. 백금 박막히터는 유전체 다이아프래임의 열차단효과때문에 비선형 전류-전압 특성을 나타내었고, 이 히터의 저항온도계수는 약 0.00378 /°C였으며, 또한 Bi-Sb 열전대의 Seebeck계수는 약 97 μV/K였다. 기체의 열전도도가 증가할수록 유체센서가 나타내는 열기전력은 감소하였으며, 히터온도가 증가하거나 히터와 열전대사이의 거리가 감소할수록 센서의 감도는 증가하였다. 히터전압을 약 2.5 V로 하였을 때 유체센서의 N<sub>2</sub> 유량에 대한 감도는 약 1.27 mV · (sccm)<sup>-1/2</sup>였고, 열응답시간은 약 0.13 초였다.

## Abstract

A flow sensor has been fabricated by preparing thin film Pt-heater and Bi-Sb thermocouples array on 150 nm-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/300 nm-SiO<sub>2</sub>/150 nm-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> dielectric diaphragm which has low thermal conductivity and balanced stress with silicon substrate for the purpose of improving the thermal isolation between heater and silicon substrate. Pt-heater showed nonlinear I-V characteristics due to the thermal isolation effect of the diaphragm. Its temperature coefficient of resistance was about 0.00378 /°C and Seebeck coefficient of Bi-Sb thermocouple was about 97 μV/K. The sensor showed that thermoelectric voltage decreased as thermal conductivity of gas increased, and flow sensitivity increased as heater voltage increased or as the distance between heater and thermocouple decreased. When heater voltage was about 2.5 V, N<sub>2</sub>-flow sensitivity and thermal response time of the sensor were about 1.27 mV · (sccm)<sup>-1/2</sup> and 0.13 sec., respectively.

## 1. 서론

발열부에서 열감지부로 열전달원리를 이용하는

실리콘 유체센서(flow sensor)의 감도를 증가시키기 위해서는 발열부와 열감지부사이의 열차단(thermal isolation)이 매우 중요하다. 다이아프래임구조의 실리콘 멤베레인을 사용하는 대부분의 유체센서에서는 실리콘의 높은 열전도도 및 비교적 두꺼운 멤베레인의 사용때문에 열차단효과가 우수하지 못하여 유체에 의해 발열부에서 열감지부로 전달되는 열량에 대한 감도가 떨어지며, 센서를 동작시키기 위하여 높은 전력을 공급해야 하는 문제가 있다. 또한 열전도도가 실리콘보다 훨씬 낮은 SiO<sub>2</sub> 또는 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>만으로 제작한 다이아프래임구조의 멤베레인은 이들 유전체 멤베레인과 실

\* 인제대학교 전자공학과  
(Dept. of Electronic Engineering, Inje University)

\*\* 경북대학교 전자·전기공학부  
(School of Electronic and Electrical Engineering,  
Kyungpook Nat'l University)

※ 이 논문은 1995년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

<접수일자 : 1996년 11월 20일>

리온기판사이에 작용하는 스트레스의 불균형때문에 표면이 평탄하지 못하거나 깨어지므로 센서의 열차단막으로 사용하기에 적합하지 못하다[1-6].

상기한 바와 같이 열차단막에서 발생하는 스트레스 문제를 개선하기 위하여 최근에는  $\text{Si}_3\text{N}_4$  및  $\text{SiO}_2$ 막을 적층한 샌드위치구조의  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$  멤베레인에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다[6-9]. 이와 같은 적층구조에서는 실리콘기판에 의해  $\text{SiO}_2$ 층에 나타나는 압축스트레스(compressive stress)와  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 층에 나타나는 인장스트레스(tensile stress)가 서로 상쇄되어 결과적으로 적층된 멤베레인에서 스트레스의 균형이 이루어지게 되므로 기계적으로 안정된 평탄한 멤베레인을 제조할 수 있고, 또한 이 적층 유전체 멤베레인의 수평방향(lateral) 열전도도는 약  $2.4 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$ 로서 실리콘의 약  $140 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$ 보다 훨씬 작으므로 열차단효과가 실리콘에서보다 월등히 우수하다[7,8]. 우수한 스트레스특성 및 열차단특성을 갖는 샌드위치구조의  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$  유전체 멤베레인은 유체센서의에도 열전변환기, 熱電堆센서 및 적외선센서 등에서 열차단막으로 현재 매우 광범위하게 사용되고 있다[9-11].

본 연구에서는 실리콘기판위에 열차단막으로서 상기한  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$  다이아프레이를 제조하여 그 위에 열량을 발생시키는 백금(Pt) 박막히터 및 유체에 의해 히터로부터 전달된 열 또는 온도를 감지하는 Bi-Sb 열전대배열(thermocouples array)을 형성시켜 유체센서를 제작하였고, 기체의 흐름이 없을 때 및 기체의 흐름이 있을 때 기체의 종류에 따른 열전대배열에 나타나는 온도분포, 감도 및 열응답시간 등 유체센서의 주요특성에 대하여 논의하였다.

## II. 유체센서의 제작

그림 1은 유체센서의 제작공정을 나타낸 것이다. 기판으로는 비저항이  $5-7 \Omega \cdot \text{cm}$ , 직경이 5 인치, 두께가 약  $610 \mu\text{m}$ , 결정방향이 (100)인 p형 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 우선 실리콘기판위에 샌드위치구조의  $150 \text{ nm-Si}_3\text{N}_4/300 \text{ nm-SiO}_2/150 \text{ nm-Si}_3\text{N}_4$  적층 유전체 멤베레인을 형성하였다[7]. 여기서  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 막 및  $\text{SiO}_2$ 막은 각각 LPCVD 및 APCVD방법으로 증착하였다.

그 다음 기판앞면의  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$  유전체 멤베레인위에서는 히터 및 본딩패드로 사용하고 기판뒷면

에서는 KOH 식각용액으로 실리콘기판을 이방성식각할 때 식각마스크로 사용하기 위하여, 기판앞면의 멤베레인위 및 기판뒷면에 공히 약 40 nm두께의 Ti 및 약 230 nm두께의 Pt를 각각 고주파 스퍼터링후 히터, 본딩패드 및 식각마스크의 패턴을 형성하였다. 이 공정에서는 기판앞면 및 뒷면의 패턴을 동시에 정렬하기 위하여 양면정렬기를 사용하였으며, 기판의 뒷면에는 Pt/Ti 식각마스크의 패턴을 형성한후 건식 및 습식식각방법을 혼합하여  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 층을 각각 식각하였다.

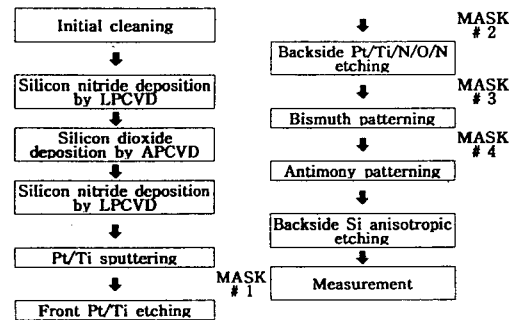


그림 1. 유체센서의 제작공정 순서

Fig. 1. Process sequence for the fabrication of flow sensor.

기판뒷면에 있는  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 층의 식각이 끝난 후, 기판앞면의 유전체 멤베레인위에 Bi 및 Sb를 진공 증착하고 lift-off 방법으로 유체에 의해 히터로부터 전달되는 열량 또는 온도를 감지하는 Bi-Sb 열전대배열의 패턴을 형성하였다. 이때 Bi 및 Sb 박막의 두께는 모두 약 200 nm로 하였다. 히터 및 열전대배열의 형성 후, 센서의 활성영역 즉 본딩패드를 제외한 히터의 발열부분 및 온도를 감지하는 열전대배열의 접합부분과 실리콘기판사이에 열차단을 위하여 기판뒷면에 형성된 Pt/Ti/ $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 층을 식각마스크로 하여 활성영역의 아래부분에 있는 실리콘을 약  $83^\circ\text{C}$ 의 KOH용액으로 이방성식각하여, 그림 2와 같이 센서의 활성영역이 유전체 다이아프레이위에 놓이게 하였다[12]. 그림 2(a)는 유체센서의 구조에 대한 개략도이고, 그림 2(b)는 센서의 표면을 주사형 전자현미경으로 촬영한 사진이며, 또한 그림 2(c)는 유체의 흐름에 대한 센서의 특성을 측정하기 위하여 와이어 본딩(wire bonding)을 한후 센서전체를 촬영한 사진이다.

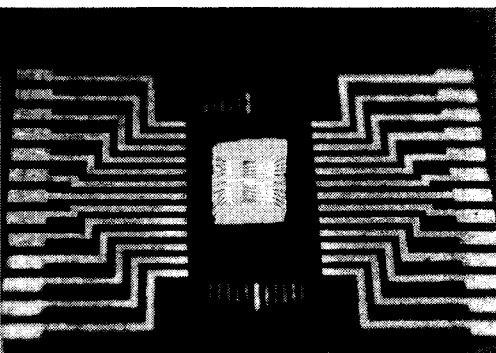
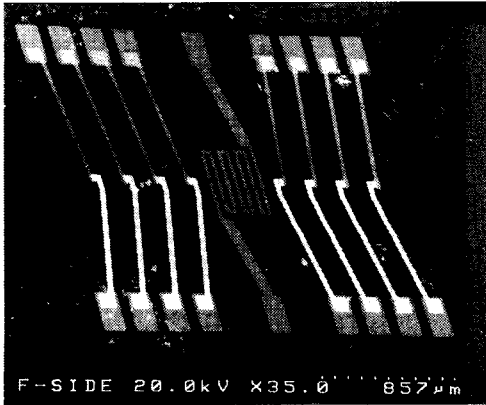
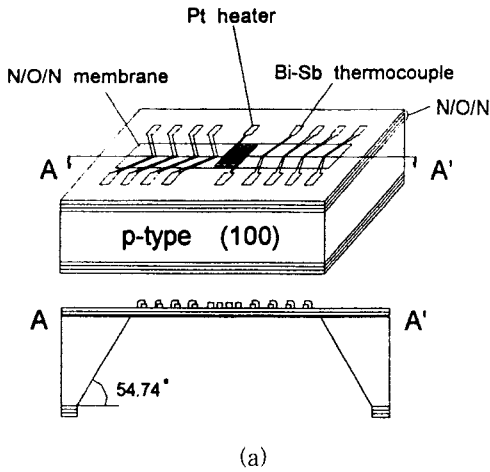


그림 2. 유체센서의 (a) 구조도, (b) 주사형 전자현미경 사진 및 (c) 와이어 본딩후의 전체 사진  
 Fig. 2. (a) schematic diagram, (b) scanning electron microphotograph of flow sensor and (c) full photograph of flow sensor after wire-bonding.

실리콘 이방성식각시 기관의 앞면에 형성된 히터 및 열전대배열의 패턴이 KOH 용액에 의해 손상되지 않도록 하기 위하여 특별히 고안된 식각장치를 사용하였다. 실리콘 이방성식각시 깊이방향의 식각율은 분당 약 1.4  $\mu\text{m}$ 였으며, 본 실험에서 제조한 유전체 다이아프램의 크기는 약  $600 \times 2,410 \mu\text{m}^2$ 이었다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 백금 박막히터의 특성

그림 3은 백금히터의 전류-전압 특성을 나타낸 것이다. 그림 3(a)는 유전체 멤베레인의 아래에 있는 실

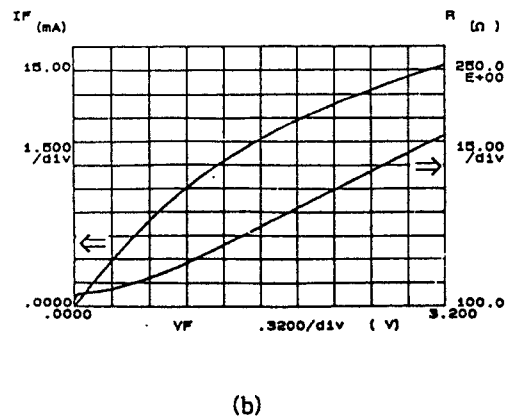
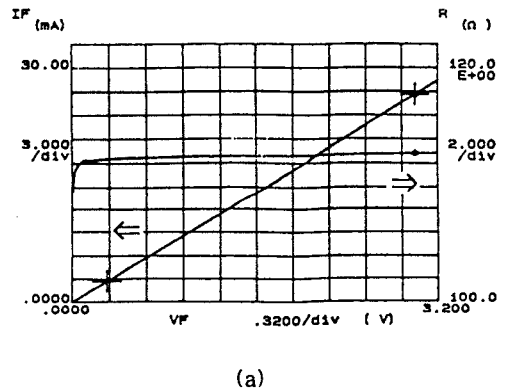


그림 3. 백금 박막히터의 전류-전압 특성: (a) 유전체 다이아프램의 형성전 및 (b) 유전체 다이아프램의 형성후  
 Fig. 3. I-V characteristics of thin film Pt-heater : (a) before diaphragm formation and (b) after diaphragm formation.

리콘을 식각하지 않았을 경우의 특성이고, 그림 3(b)는 유전체 멤베레인의 아래에 있는 실리콘을 식각하여 유전체 다이아프레이미위에 히터를 형성하였을 경우의 특성이다. 그림 3으로부터 유전체 다이아프레이미를 형성하기 전에는 히터에서 발생한 열량의 대부분이 실리콘 기판으로 전달되어 히터의 저항값이 인가전압과 거의 무관하게 일정한 값을 나타내고 있으나, 유전체 다이아프레이미위에 형성된 히터의 경우는 다이아프레이미의 열차단효과에 의해 히터에서 발생한 열량이 히터내에 축적됨으로서 히터저항과 인가전압의 관계가 비선형성을 나타냄을 알 수 있다.

백금히터의 온도에 따른 저항특성을 측정하기 위하여 유전체 멤베레인위에 백금히터를 형성하고, 평판가열기(hot plate)를 사용하여 실리콘기판의 온도를 서서히 증가시키면서 온도에 따른 백금히터의 저항을 측정 한 결과를 그림 4에 나타내었다. 기판의 온도를 실온에서부터 약 350 °C까지 변화시켰을 때 백금히터의 저항은 약 112 Ω에서 약 235 Ω까지 변화하였다. 그림 3(b) 및 그림 4의 결과로부터 히터의 동작온도를 얻기 위한 인가전압을 결정할 수 있으며, 또한 그림 4의 기울기 및  $R_T = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot T)$ 의 관계식으로부터 계산한 백금 박막히터의 저항온도계수  $\alpha$ 는 약 0.00378 /°C였다. 여기서  $R_T$  및  $R_0$ 는 각각 온도  $T$  °C 및 0 °C에서의 저항값이다. 그러나 본 실험에서 제작한 백금히터의 저항온도계수는 온도측정용 표준저항으로 사용되는 백금의 저항온도계수 0.003925 /°C보다 다소 작은 값을 나타내었는데, 이것은 백금박막의 순도때문인 것으로 생각된다. 일반적으로 백금박막의 저항온도계수  $\alpha$ 는 박막의 순도에 크게 의존하고 순도가 높을수록 저항온도계수는 증가한다[13]. 본 실험에서는 백금 스퍼터링시 백금박막과 멤베레인사이의 접착력을 증가시키기 위해 백금박막 아랫층에 Ti막을 스퍼터링하였기 때문에 결과적으로 백금박막의 순도가 저하되어 백금히터의 저항온도계수가 표준저항으로 사용되는 백금의 것보다 작게 나타난 것으로 본다.

그림 5는 히터에 인가하는 전압을 0에서 4 V까지 변화시키면서 히터의 전류-전압 특성을 측정하고 이것으로부터 각각 계산한 히터의 저항값에 대응하는 온도를 그림 4에서 구하여, 히터에서 발생한 온도와 히터에 인가된 전력의 관계로 나타낸 것이다. 그림 5의 기울기로부터 구한 히터의 입력전력변화에 대한 온도변화의 비( $\Delta T/\Delta P$ )는 약 5.5 °C/mW였다.

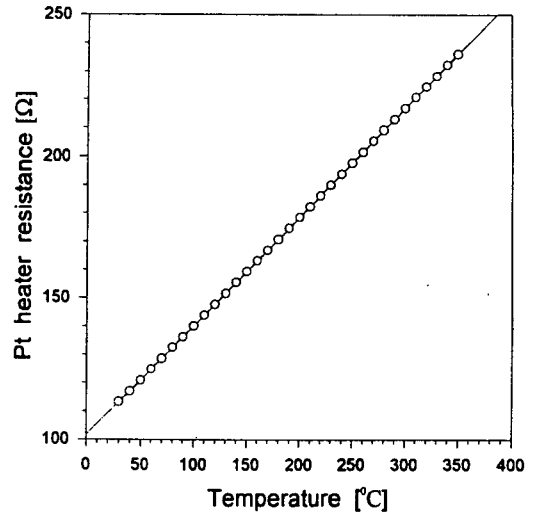


그림 4. 백금히터의 저항-온도 특성

Fig. 4. Resistance-temperature characteristics of Pt-heater.

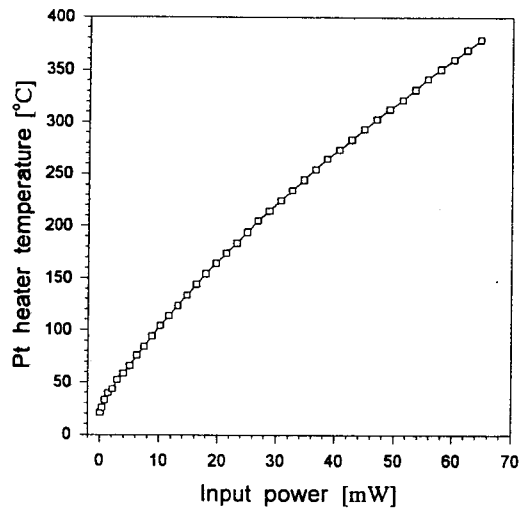


그림 5. 백금히터의 온도-인가전력 특성

Fig. 5. Temperature-input power characteristics of Pt-heater.

## 2. Bi-Sb 열전대의 특성

본 실험에서 진공증착법으로 유전체 다이아프레이미위에 형성한 Bi-Sb 열전대의 내부저항은 대개 580-610 Ω 범위의 값을 나타내었다. 흐름이 없는 1 기압의 N<sub>2</sub> 분위기에서 히터에 인가하는 전압을 약 0.8 V에서부터 약 3.2 V까지 변화시켜, 히터에서 발생한 각각의 온도

에 의해 Bi-Sb 열전대배열에 나타나는 온도분포를 열전대의 위치별로 각각 측정된 결과를 그림 6에 나타내었다.

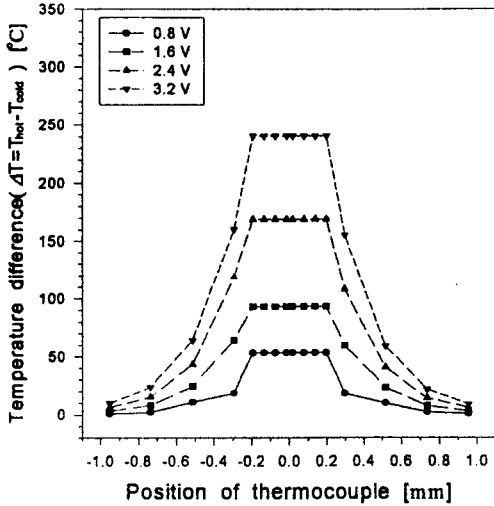


그림 6. 히터전압 및 열전대의 위치에 따른 열전대 배열의 온도분포

Fig. 6. Temperature distribution dependence of thermocouples array on heater voltage and thermocouple position.

그림 6에서 열전대의 위치는 히터의 가장자리로부터 좌우 동일한 거리에 배치된 각 열전대 접합부의 가장자리까지의 거리로 표시하였으며, 이들 거리는 각각 100, 320, 540 및 760  $\mu\text{m}$ 였다. 히터에 3.2 V를 인가하였을 때 실온을 고려한 히터의 실제 온도는 약 280  $^{\circ}\text{C}$ 였으며, 각각의 동일한 히터온도에서 히터를 중심으로 좌우대칭이 되는 위치에 있는 각 열전대에서 발생하는 열기전력을 비교해 보면 히터의 좌측에 있는 열전대들의 열기전력이 우측에 있는 열전대들의 열기전력보다 약간 높게 나타난 것을 알 수 있는데, 이것은 센서제작시 열전대배열의 패턴이 히터를 기준으로 다소 오른쪽으로 이동되었기 때문인 것으로 생각된다.

히터를 중심으로 하여 좌우로 동일한 거리에 각각 4개씩 배치된 열전대들에서 발생한 열기전력은 히터로부터 각 열전대까지의 거리에 대해 지수함수적으로 감소함을 알 수 있었고, 이 측정결과를 히터의 위치까지 외삽하여 구한 Bi-Sb 열전대의 Seebeck계수는 약 97  $\mu\text{V}/\text{K}$ 로서 공기중에서 측정하여 구한 Seebeck계수와

도 잘 일치하였으며, 또한 타 연구자들이 보고한 결과와도 비교적 잘 일치하였다[10,11].

### 3. 흐름이 없는 기체에 대한 센서의 특성

약  $2 \times 10^{-5}$  torr의 진공, 흐름이 없는 1 기압의 Ar, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 및 He 분위기에서 히터의 온도를 약 280  $^{\circ}\text{C}$ 로 하였을 때 유체센서의 열전대배열에 나타나는 열기전력의 분포를 그림 7에 각각 나타내었다. 여기서 Ar, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 및 He의 열전도도는 각각 1.77, 2.59, 2.66 및 15.10  $\text{mW} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$ 이다.

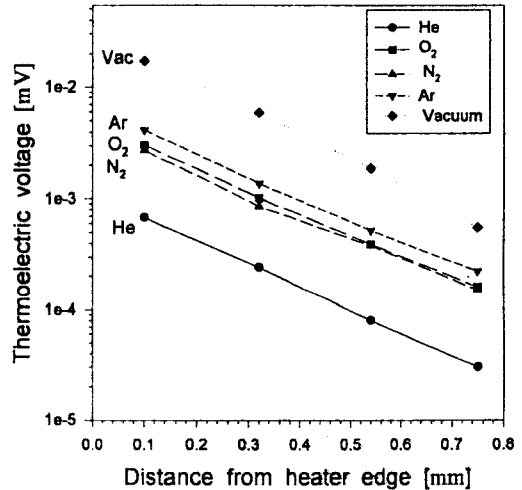


그림 7. 기체의 열전도도 및 히터로부터 열전대의 거리에 따른 열전대배열의 열기전력분포

Fig. 7. Thermoelectric voltage distribution dependence of thermocouples array on the thermal conductivity of gas and the distance of thermocouple from heater.

진공의 경우에 열전대에서 발생한 열기전력의 분포가 가장 높게 나타났고, He의 경우에 열기전력의 분포가 가장 낮게 나타났다. 진공에서는 기체의 전도 및 대류에 의한 히터에서 외부로의 열전달을 거의 무시할 수 있고, 또한 히터에서 발생한 열량의 대부분이 열전도도가 매우 작은 유전체 다이아프래임만을 통하여 전달되어 히터에서 발생한 열량의 손실이 현저히 감소하게 되므로, 진공에서 측정된 열기전력이 기체분위기에서 측정된 열기전력보다 높게 나타나는 것으로 본다. 기체분위기에서는 기체의 열전도도가 클수록 히터에서

기체로 전달되어 외부로 손실되는 열량이 증가하게 되므로, 측정에 사용한 기체들중 열전도도가 가장 큰 He 분위기에서 열전대의 열기전력이 가장 작게 나타났다.

4. 흐르는 기체에 대한 센서의 특성

그림 8은 흐르는 기체에 대한 센서의 특성을 측정하기 위해 센서에 내장시킨 유관에 대한 개략도이다. 센서의 앞면에 형성된 열전대배열 및 히터가 측정기체에 의해 오염되거나 또는 측정기체와 반응하는 것을 방지하고, 또한 기체를 흘리는 유관의 제작을 손쉽게 하기 위해서 유전체 다이아프래임의 아랫부분으로 기체를 흘려주었다. 유량은 MFC(Model: UFC-1100, Unit Instruments)를 사용하여 조절하였다. 본 실험 전반에 걸쳐서 히터를 중심으로 흐르는 기체의 상류 및 하류에 각각 1 개씩 있는 히터로부터 가장 가까운 2 개의 열전대에서 발생하는 열기전력의 차이로부터 유량에 따른 센서의 각종 특성을 측정하였다. 측정에 사용한 기체는 N<sub>2</sub>였으며, 기체의 온도는 실온으로 유지하였고, 유량은 최대 200 sccm까지 변화시켰다.

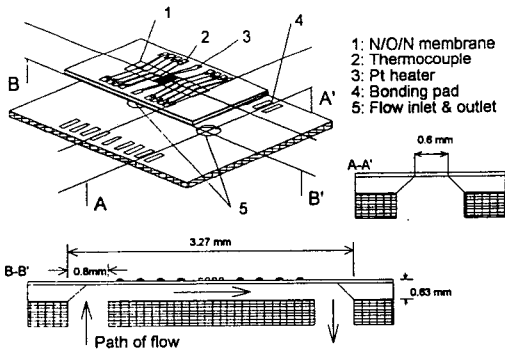


그림 8. 센서에 내장된 유관의 개략도  
Fig. 8. Schematic diagram of gas-flow path in the sensor.

먼저 히터전압에 따른 센서의 감도변화를 측정하였다. 그림 9는 백금히터에 전압을 1.5, 2.0 및 2.5 V로 각각 변화시켜 유량에 따른 상류 및 하류에 있는 열전대의 열기전력차( $\Delta V = |V_{up\ stream} - V_{down\ stream}|$ )를 나타낸 것이다. 유량에 대한 센서의 감도는 그림 9의 선형 특성영역에서 그래프의 기울기로 정의할 수 있다. N<sub>2</sub> 유량에 대한 센서의 감도는 히터전압을 1.5, 2.0 및 2.5 V로 하였을 때 각각 0.61, 0.94 및 1.27 mV · (sccm)<sup>-1/2</sup> 정도였으며, 히터에 인가하는 전압이 증가

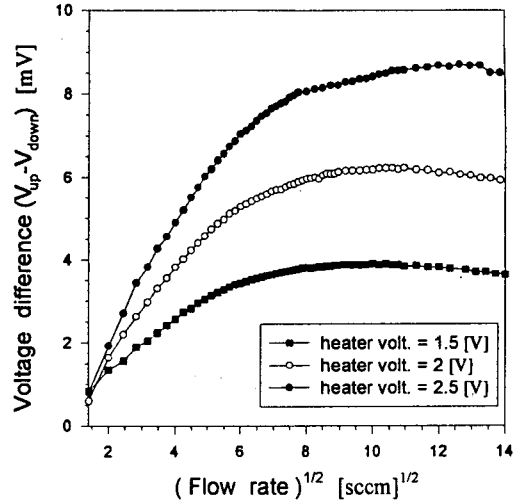


그림 9. 히터전압에 따른 열기전력차-유량 특성  
Fig. 9. Dependence of thermoelectric voltage difference-flow rate characteristics on heater voltage.

할수록 감도도 증가함을 알 수 있다. 그러나 히터에서 소모전력의 증가 및 열전대를 구성하는 Bi의 낮은 용점으로 인하여 히터에 더 높은 전압의 인가는 불가능하다. 이러한 이유때문에 본 실험에서는 히터의 인가 전압을 약 2.5 V로 하였다.

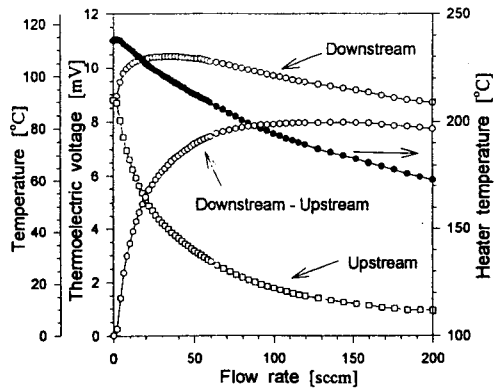


그림 10. 유량에 따른 상류 및 하류에 있는 열전대의 열기전력 및 히터의 온도 특성  
Fig. 10. Thermoelectric voltage of thermocouple in up and down streams and heater temperature-flow rate characteristics.

그림 10은 히터전압을 약 2.5 V로 유지한 상태에서 유량에 따른 상류 및 하류에 있는 열전대의 열기전력 및 히터의 온도를 각각 나타낸 것이다. 히터전압이 약 2.5 V이고 유량이 없을 때 히터의 온도는 약 240 °C 정도였다. 그러나 히터의 온도는 유량이 증가함에 따라 발생한 열량을 기체에 빼앗겨 감소하게 되며, 유량이 약 200 sccm일 때 170 °C까지 감소하였다. 상류에 있는 열전대의 열기전력 또는 온도는 히터에서 발생한 열량이 흐르는 기체에 의해 빼앗기게 되므로 유량이 증가함에 따라 감소하게 되고, 반면에 하류에 있는 열전대의 열기전력은 히터에서 발생한 열량의 흐르는 기체에 의한 강제대류(forced convection)때문에 하류의 열전대로 전달되어 상류에 있는 열전대의 기전력보다 훨씬 높아짐을 알 수 있다. 그러나 유량이 계속 증가하게 되면 하류에 있는 열전대의 열기전력도 어떤 임계 유량이상에서 감소하게 되는데, 이것은 유량의 증가에 의한 손실열량을 보상할 수 있을 정도로 충분한 열량을 히터가 공급하지 못하기 때문이다. 히터전압을 약 2.5 V로 하였을 때 센서의 하류에 있는 열전대가 가장 큰 열기전력을 나타내는 유량은 약 34 sccm였으며, 이 조건에서 흐르는 기체에 대한 센서의 열응답시간을 그림 11에 나타내었다.

히터전압을 약 2.5 V로 일정하게 유지한 상태에서 약 34 sccm의 유량을 갑자기 흘렸을 때, 하류에 있는 열전대에서 발생하는 열기전력의 시간응답을 측정하였다. N<sub>2</sub>가 흐르지 않는 상태에서 발생한 열기전력은 약 8.70 mV정도였고, 약 34 sccm으로 N<sub>2</sub>를 흘렸을 때 열기전력은 약 10.21 mV로 증가하였으며, 이때 N<sub>2</sub> 유량에 대한 센서의 열응답시간은 약 0.13 초였다.

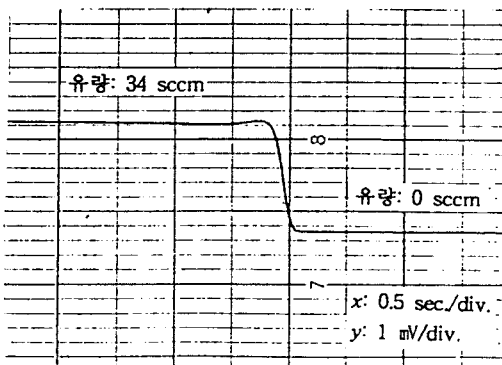


그림 11. 센서의 N<sub>2</sub> 흐름에 대한 열응답시간  
Fig. 11. Thermal response time of the sensor in N<sub>2</sub>-flow.

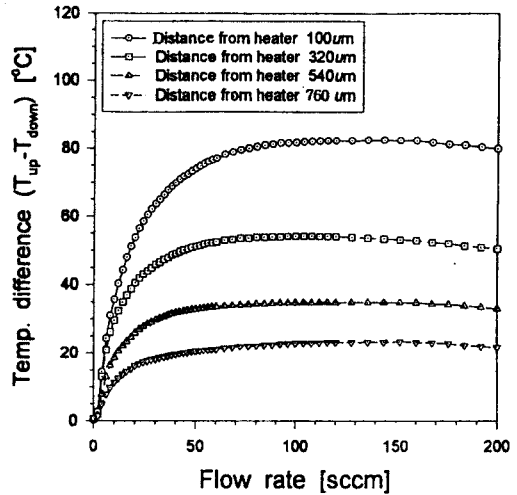


그림 12. 히터로부터의 거리에 따른 상류 및 하류에 있는 열전대들의 온도차-유량 특성

Fig. 12. Dependence of temperature difference between thermocouples in up and down streams-flow rate characteristics on the distance of thermocouple from heater.

그림 12는 히터의 가장자리로부터 각각 100, 320, 540 및 760 μm 떨어진 하류 및 상류에 있는 열전대들의 N<sub>2</sub> 유량에 따른 온도차이를 나타낸 결과이다. 그림 12로부터 히터와 열전대사이의 거리가 증가할수록 열전대가 감지하는 온도의 차이가 감소하게 되고 따라서 센서의 유량에 대한 감도도 감소함을 알 수 있다.

### 5. 기체의 종류에 따른 센서의 특성

He 및 N<sub>2</sub> 등과 같이 열전도도의 차이가 큰 기체들에 대하여 유체센서의 기체종류에 대한 식별 가능성을 검토하였다. 그림 13은 히터에 인가되는 전압을 약 2.5 V로 고정시키고, He 및 N<sub>2</sub> 기체에 대하여 유량을 최대 200 sccm까지 변화시키면서 히터와 가장 인접한 상류 및 하류의 열전대에 나타나는 온도의 차이를 각각 나타낸 것이다.

그림 13이 보여주는 바와 같이 유체센서는 He 및 N<sub>2</sub>를 미지의 기체로 할 때 각각 상이한 특성곡선을 나타내게 되는데, He의 경우는 히터의 열량손실이 흐르는 기체에 의한 강제대류보다 오히려 전도에 의해 주로 일어나므로 작은 온도차이를 나타내었으나, He에

비해 열전도도가 낮은  $N_2$ 의 경우는 히터의 열량손실이 주로 강제대류에 의해 일어나서 He의 경우에서보다 더 큰 온도차이를 나타내었다. 상기한 실험결과로 미루어 볼 때, He 및  $N_2$ 와 같이 열전도도의 차이가 큰 기체들이 혼재할 때도 기체종류에 따른 열전대배열의 온도분포변화로부터 유체센서의 기체식별에 대한 가능성을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

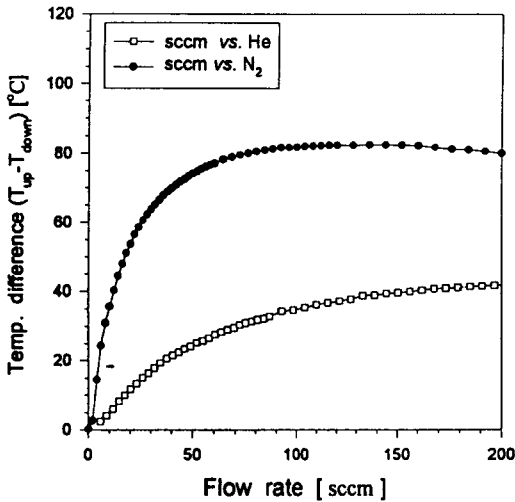


그림 13. He 및  $N_2$  기체에 대한 열전대의 온도차-유량 특성

Fig. 13. Temperature difference between thermocouples-flow rate characteristics in He and  $N_2$  gases.

#### IV. 결론

본 연구에서는 LPCVD, APCVD 및 실리콘 이방성 식각방법으로 실리콘기판과의 스트레스균형이 이루어진 전체두께가 약 600 nm인  $Si_3N_4/SiO_2/Si_3N_4$  유전체 다이아프레이름을 제조하고, 이 다이아프레이름위에 백금 박막히터 및 Bi-Sb 열전대배열을 형성하여, 히터에서 실리콘기판으로 전달되는 열량의 차단효과가 현저히 개선된 유체센서를 제작하였다.

유전체 다이아프레이름위에 형성된 백금히터는 다이아프레이름의 열차단효과에 의해 히터에서 발생한 열량이 히터내에 축적되어 비선형 전류-전압 특성을 나타내었으며, 이 히터의 저항온도계수  $\alpha$  값은 약 0.00378/°C 정도였다. Bi-Sb 열전대의 Seebeck계수는 약 97

$\mu V/K$ 로서 타 연구자들의 실험결과와 비교적 잘 일치하였다.

히터의 열량에 의해 발생된 열전대배열의 기전력분포는 흐름이 없는 1 기압의 기체분위기에서보다 진공속에서 더 높게 나타났고, Ar,  $N_2$ ,  $O_2$  및 He속에서는 기체의 열전도도가 클수록 기전력분포가 낮게 나타났으며, 또한 이들 실험결과로부터 본 연구에서 제조한 유전체 다이아프레이름의 열차단효과를 입증할 수 있었다.

흐르는 기체의 경우 히터의 온도가 증가할수록 센서의 감도도 증가하였으며, 또한 히터와 열전대사이의 거리가 증가할수록 센서의 감도는 감소하였다. 본 연구에서 얻을 수 있었던  $N_2$  유량에 대한 센서의 최대감도는 히터전압을 약 2.5 V 로 하였을 때 약  $1.27 \text{ mV} \cdot (\text{sccm})^{-1/2}$ 였으며,  $N_2$  유량에 대한 센서의 열응답시간은 본 연구에서 얻은 최대감도로 센서를 동작시켰을 때 약 0.13 초였다.

He 및  $N_2$ 와 같은 열전도도차이가 큰 기체가 혼합된 경우 기체의 열전도도 차이에 의한 열전대배열의 온도분포변화로부터 유체센서의 기체식별에 대한 가능성을 검토하였으나, 이부분에 대한 연구는 향후 지속적으로 수행해야 할 과제인 것으로 생각된다.

#### 참고문헌

- [1] B. W. van Oudheusden, "Silicon thermal flow sensors," *Sensors and Actuators A*, Vol. 30, pp. 5-26, 1992.
- [2] Theo S. J. Lammerink et al., "Micro-liquid flow sensor," *Sensors and Actuators A*, Vol. 37-38, pp. 45-50, 1993.
- [3] A. J. van der Wiel et al., "A liquid velocity sensor based on the hot-wire principle," *Sensors and Actuators A*, Vol. 37-38, pp. 693-697, 1993.
- [4] N. T. Nguyen and R. Kiehnscherf, "Low-cost silicon sensors for mass flow measurement of liquids and gases," *Sensors and Actuators A*, Vol. 49, pp. 17-20, 1995.
- [5] 이영주 등, "유속감지를 위한 실리콘 유량센서의 설계 및 제작," *전자공학회 논문지*, 제31권 A편, 제5호, pp. 113-120, 1994.
- [6] Helmut Dintner et al., "AC-DC-mV-transfer



- with highly sensitive thin-film multijunction thermal converters," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, Vol. 42, No. 2, pp. 612-614, 1993.
- [7] 김명규 등, "스트레스균형이 이루어진  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$  유전체 멤브레인의 제작," *센서학회지*, 제4권, 제3호, pp. 51-59, 1995.
- [8] F. Völklein, "Thermal conductivity and diffusivity of a thin film  $\text{SiO}_2$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$  sandwich system," *Thin Solid Films*, Vol. 188, pp. 27-33, 1990.
- [9] Manfred Klonz and Thomas Weimann, "Accurate thin film multijunction thermal converter on a silicon chip," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, Vol. 38, No. 2, pp. 335-337, 1989.
- [10] F. Völklein et al., "High-sensitivity radiation thermopiles made of Bi-Sb-Te films," *Sensors and Actuators A*, Vol. 29, pp. 87-91, 1991.
- [11] J. Schieferdecker et al., "Infrared thermopile sensors with high sensitivity and very low temperature coefficient," *Sensors and Actuators A*, Vol. 46-47, pp. 422-427, 1995.
- [12] D. B. Lee, "Anisotropic etching of silicon," *J. Appl. Phys.*, Vol. 40, No. 11, pp. 4569-4574, 1969.
- [13] Willis J. Tompkins et al., "Interfacing sensors to the IBM PC," *Prentice-Hall, Inc.*, pp. 183-224, 1988.

---

 著 者 紹 介
 

---



## 安永培

1969년 4월 21일생, 1995년 강원대학교 전기공학과 졸업(공학사), 1995년~1996년 11월 현재 경북대학교 대학원 전자공학과 석사과정, 주관심분야: 실리콘 마이크로머시닝 및 유체센서 등임.

## 金 鎮 燮

「센서학회지 제4권 제3호」 논문 95-4-3-08, p.9 참조.  
현재 인제대학교 공과대학 전자공학과 조교수.

## 金 明 奎

「센서학회지 제4권 제2호」 논문 95-4-2-04, p.28 참조.  
현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정.

## 李 鍾 玄

「센서학회지 제1권 제1호」 논문 92-21, p.194 참조.  
현재 경북대학교 전자·전기공학부 교수, 학부장.

## 李 正 熙

「센서학회지 제4권 제2호」 논문 95-4-2-04, p.28 참조.  
현재 경북대학교 전자·전기공학부 조교수.