

논문 2003-12-3-01

유전체($\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$) 멤브레인 위에 제작된 크로멜-알루멜 열전 유량센서

이형주¹, 김진섭², 김여환³, 이정희⁴, 최용문⁵, 박세일⁶

Chromel-Alumel Thermoelectric Flow Sensor Fabricated on Dielectric($\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$) Membrane

Hyung-Ju Lee¹, Jin-Sup Kim², Yeo-Hwan Kim³, Jung-Hee Lee⁴, Yong-Moon Choi⁵ and Se Il Park⁶

요 약

$\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 열차단막을 이용한 크로멜-알루멜(chromel-alumel) 열전(thermoelectric) 유량센서를 제작하였다. 백금 박막 히터의 저항온도계수는 약 $0.00397/^\circ\text{C}$ 이었고, 크로멜-알루멜 열전쌍(thermocouple)의 Seebeck 계수는 약 $36 \mu\text{V}/\text{K}$ 이었다. 기체의 열전도도가 증가할수록 유량센서가 나타내는 열기전력은 감소하였으며, 히터의 온도가 증가하거나 히터와 열전쌍 사이의 간격이 감소할수록 유량센서의 N_2 유량에 대한 감도는 증가하였다. 히터 전압을 약 2.5 V로 하였을 때 유량센서의 N_2 유량에 대한 감도는 약 $1.5 \text{ mV}/\text{sccm}^{1/2}$ 이었고, 열 응답시간은 약 0.18초이었다. 크로멜-알루멜 열전 유량센서의 유량감도에 있어서 선형 범위가 Bi-Sb 유량센서의 것보다 더 넓게 나타났다.

Abstract

A chromel-alumel thermoelectric flow sensor using $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ thermal isolation membrane was fabricated. Temperature coefficient of resistance of thin film Pt-heater was about $0.00397/^\circ\text{C}$, and Seebeck coefficient of chromel-alumel thermocouple was about $36 \mu\text{V}/\text{K}$. The sensor showed that thermoelectric voltage decreased as thermal conductivity of gas increased, and N_2 -flow sensitivity increased as heater voltage increased or the distance between heater and thermocouple decreased. When heater voltage was about 2.5 V, N_2 -flow sensitivity and thermal response time of the sensor were about $1.5 \text{ mV}/\text{sccm}^{1/2}$ and 0.18 sec., respectively. Linear range in flow sensitivity of the flow sensor was wider than that of Bi-Sb flow sensor.

Key Words : Chromel-alumel thermoelectric flow sensor, $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ thermal isolation membrane

¹ 경북대학교 대학원 센서공학과(Dept. of Sensor Engineering, Graduate School, Kyungpook National University)

² 인제대학교 전자정보통신공학부(School of Electronic and Telecommunication Engineering, Inje University)

³ 관동대학교 멀티미디어학부(School of Multimedia, Kwandong University)

⁴ 경북대학교 전자전기컴퓨터학부(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

⁵ 한국표준과학연구원 유체유동그룹(Fluid Flow Group, Korea Research Institute of Standards and Science)

⁶ 한국표준과학연구원 전자소자그룹(Electronic Devices Group, Korea Research Institute of Standards and Science)

<접수일자 : 2002년 11월 18일>

1. 서 론

기체나 액체의 흐름량을 측정하는 마이크로 유량센서는 기상관측, 의료진단 및 환경분야 뿐만 아니라 자동차 엔진 및 반도체 공정설비 등의 분야에 크게 활용되고 있다. 이러한 유량센서는 크게 비 열 유량센서(non-thermal flow sensor)와 열 유량센서(thermal flow sensor)로 나뉘며, 열 유량센서에는 감온저항(thermoresistive) 유량센서, 열전(thermoelectric) 유량센서, 열전자(thermoelectronic) 유량센서, 초전

(pyroelectric) 유량센서 및 주파수 애널로그(frequency analog) 센서로 세분화된다^[1].

이들 중 열전 유량센서는 발열부로서 히터 및 온도 감지부로서 열전쌍 또는 열전퇴(thermopile)로 구성된다. 또한 유체 흐름에 의한 열 손실 외의 발열부 열 손실을 줄이기 위해 발열부 및 온도 감지부를 실리콘 기판 위에 있는 멤브레인 위에 형성시키고, 실리콘 기판의 표면 마이크로머시닝 또는 체적 마이크로머시닝을 통해 실리콘 기판으로부터 발열부 및 온도 감지부를 열적으로 격리시킨다^[2,3]. 본 저자도 발열부 및 온도 감지부로서 각각 백금 박막 히터 및 Bi-Sb 열전쌍을 사용하고, 유전체 멤브레인 위에 형성된 백금 히터와 Bi-Sb 열전쌍이 실리콘 체적 마이크로머시닝으로 실리콘 기판과 열적으로 격리된 유량센서를 제조하여 발표한 바 있다^[4,5].

본 연구에서는 발열부 및 온도 감지부로서 백금 박막 히터 및 크로멜-알루멜 열전쌍을 사용하고, 실리콘 체적 마이크로머시닝을 통해 얻은 150 nm-Si₃N₄/300 nm-SiO₂/150 nm-Si₃N₄(이하 N/O/N이라고 함) 멤브레인 위에 히터 및 열전쌍을 형성함으로써 실리콘 기판과 열적으로 격리시켰다. 크로멜-알루멜 열전쌍을 사용한 유량센서의 특성을 알아보기 위해 열전쌍의 감응도, 유량센서의 유량 감도, 전압 일정 모드(constant voltage mode) 및 온도 일정 모드(constant temperature mode), 그리고 열 응답시간 등에 대해 논의하였고, Bi-Sb 열전쌍을 사용한 유량센서와의 차이점에 대해서 언급하였다.

II. 유량센서의 설계

백금 박막 히터의 설계는 발생하는 열량이 유량센서의 중앙부분에 집중되도록 메안더링 형태로 하였다. 히터 패턴의 선폭은 30 μm 이었고, 선폭과 선폭 사이의 간격도 30 μm 이었으며, 히터 패턴의 □(square) 수는 188개로 하였다. 실제 제작된 200 nm 두께의 백금 박막 히터의 저항값은 약 76.2 Ω 이었다.

크로멜-알루멜 열전쌍은 히터를 중심으로 유량센서의 상류 및 하류에 각각 4개씩 배치하였으며, 선폭은 30 μm 로 하였고 각 열전쌍의 가장자리들 사이의 간격은 200 μm 로 하였다. 또한 히터와 인접하는 상류 및 하류의 열전쌍의 경우는 히

터의 가장자리와 열전쌍의 가장자리 사이의 간격이 100 μm 되게 하였다.

히터 및 열전쌍과 실리콘 기판 사이의 열 차단을 위해서는 실리콘 기판 위에 증착된 N/O/N 유전체 멤브레인 위에 히터 및 열전쌍을 형성하고, 이들 아래에 있는 실리콘 기판을 기판의 뒷면으로부터 체적 마이크로머시닝을 하였다.

III. 유량센서 및 유관의 제작

기판으로는 결정면이 (100), 비저항이 7~21 $\Omega \cdot \text{cm}$, 두께가 약 600 μm 인 양면이 경면으로 연마된 직경 5인치의 p형 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 우선 공정용 웨이퍼를 초기 세척한 후, 히터 및 열전쌍과 실리콘 기판 사이의 열차단막으로 사용될 N/O/N 박막을 증착하였다. Si₃N₄ 막은 780 $^{\circ}\text{C}$ 의 고온 LPCVD 방법으로 기판의 앞면 및 뒷면을 증착하였고, SiO₂ 막은 440 $^{\circ}\text{C}$ 의 저온 LPCVD 방법으로 역시 기판의 앞면 및 뒷면에 증착하였다.

그 다음 기판 앞면의 N/O/N 박막 위에서는 히터 및 본딩 패드로 사용하고, 기판 뒷면에서는 KOH 식각용액으로 실리콘 기판을 이방성 식각할 때 식각 마스크로 사용하기 위해, 기판의 앞면과 뒷면에 공히 약 40 nm 두께의 Ti 및 약 200 nm 두께의 Pt를 각각 DC 마그네트론 스퍼터링하였다. 그리고 HNO₃:HCl:H₂O=1:7:8의 비율로 혼합하여 약 80 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 Pt/Ti를 식각하여 기판의 앞면에는 히터 및 본딩 패드를 기판의 뒷면에는 실리콘 이방성 식각 마스크의 패턴을 각각 형성하였다. 이 공정에서는 기판의 앞면과 뒷면의 패턴을 동시에 정렬하기 위해 양면 정열기를 사용하였고, 뒷면의 N/O/N 박막은 RIE 방법으로 약 1시간 10분 동안 건식 식각하였다.

다음은 열전쌍을 형성하기 위한 공정으로써 기판의 앞면에 먼저 감광액으로 패턴을 형성하고, 그 위에 크로멜을 약 200 nm의 두께로 DC 마그네트론 스퍼터링한 후 lift-off 공정으로 크로멜 패턴을 형성하였다. 알루멜 패턴 형성과정도 크로멜 패턴 형성과정과 같은 공정순서로 두께 약 200 nm의 알루멜 패턴을 형성하였다.

유량센서 제작을 위한 마지막 공정으로서 실리콘 웨이퍼의 뒷면을 KOH 수용액으로 이방성 식각하여 그림 1과 같이 백금 박막 히터와 크로멜-

알루멜 열전쌍 어레이가 N/O/N 멤브레인 위에 놓이게 되고, 또한 이들이 실리콘 기판과는 열적 차단이 되는 구조가 되게 하였다. 여기서 사용한 80 °C의 KOH 수용액은 KOH:H₂O=120 g :400 ml의 혼합용액이었고, 유량센서의 앞면이 이 용액으로부터 부식되는 것을 방지하기 위해 특별히 고안된 지그(jig)를 사용하였으며, 이 용액의 실리콘 기판에 대한 수직방향의 식각률이 분당 약 1.6 μm이었다. 실제 만들어진 N/O/N 멤브레인의 크기는 약 2,230×680 μm²이었다. 그림 2는 상기한 공정으로 제작된 유량센서의 칩 사진이다.

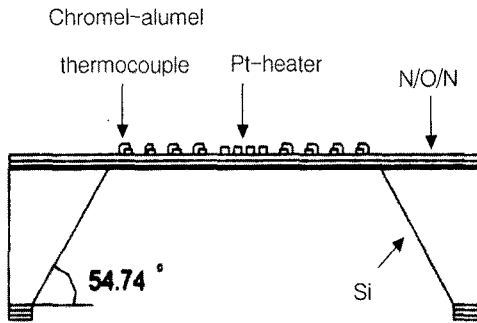


그림 1. 유량센서의 단면도
Fig. 1. Cross-sectional view of a flow sensor.

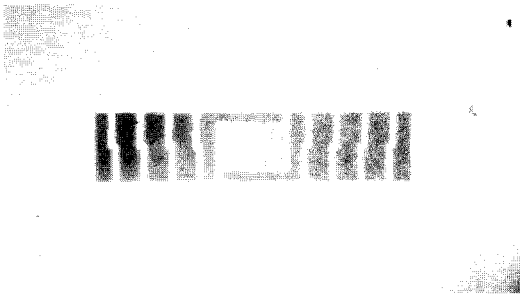


그림 2. 유량센서의 칩 사진
Fig. 2. Microphotograph of a flow sensor chip.

다음은 유량센서의 유관을 만드는 공정으로서 본 실험에서는 멤브레인 뒷면에 유관을 만들었다⁽⁶⁾. 우선 센서 칩을 부착하여 칩의 본딩 패드와 와이어 연결할 본딩 포스터를 만들기 위한 기판으로 구리가 증착된 베이클라이트(bakelite) 기판을 사용하였다. 기판을 약 3 cm×3 cm로 자른 후 감광액으로 본딩 포스터의 패턴을 형성하였고, 구리의 식각은 HNO₃:H₂O=1:4의 용액으

로 하였다. 기판에 있는 유량의 입력과 출력을 위한 유관의 직경은 각각 약 0.5 mm로 하였다. 그림 3(a) 및 그림 3(b)는 유관을 형성하기 위한 알루미늄 블록의 평면도 및 단면도이다. 유량센서의 유관을 형성하기 위하여 그림 3(c)와 같이 유량센서와 베이클라이트 기판을 에폭시로 접착하고, 또한 기판과 알루미늄 블록 사이를 에폭시로 접착시켰다. 이렇게 하여 유관이 만들어진 유량센서의 사진을 그림 4에 나타내었다.

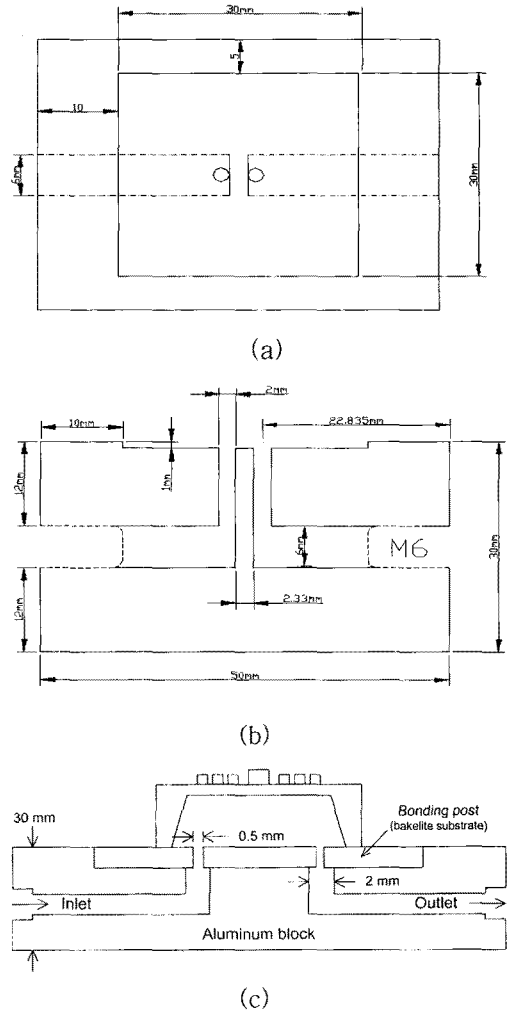


그림 3. 알루미늄 블록의 (a) 평면도, (b) 단면도 및 (c) 유관이 만들어진 유량센서의 단면도
Fig. 3. (a) top view, (b) cross-sectional view of aluminum block and (c) cross-sectional view of a flow sensor mounted on the flow path tube.

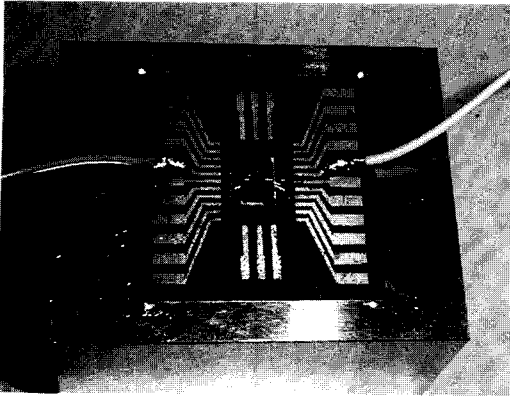


그림 4. 유관이 만들어진 유량센서
Fig. 4. Photograph of a flow sensor mounted on the flow path tube.

IV. 유량센서의 특성

1. 백금 히터

멤브레인 위에 백금 박막 히터를 형성한 후, 평판 가열기(hot plate)를 사용하여 실리콘 기판의 온도를 서서히 증가시키면서 온도에 따른 백금 히터의 저항을 그림 5에 나타내었다. 그림 5로부터 계산한 히터의 저항온도계수는 약 $0.00397/^\circ\text{C}$ 이었다. 본 연구에서 얻은 백금 히터의 저항온도계수와 온도 측정용 표준저항으로 사용되는 백금의 저항온도계수 $0.003925/^\circ\text{C}$ 와 비교해 보면, 본 연구에서 얻은 저항온도계수가 표준저항으로 사용되는 백금의 저항온도계수 보다 더 크다는 것을 알 수 있는데, 이것은 본 연구에

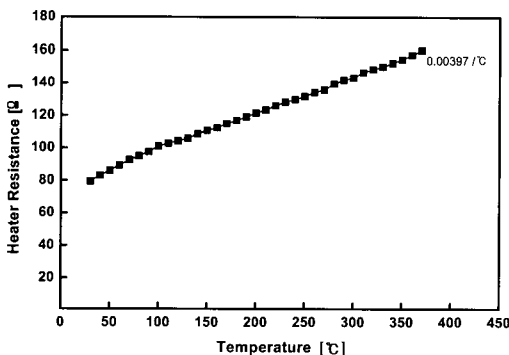


그림 5. 백금 히터의 저항-온도 특성
Fig. 5. Resistance-temperature characteristics of Pt-heater.

서 사용한 백금 저항은 박막 저항인데 반해서 온도 측정용 백금 저항은 벌크(bulk) 저항이기 때문이다. 또한 본 연구에서 얻은 백금 박막의 저항온도계수와 지난번 연구에서 얻었던 저항온도계수 약 $0.00378/^\circ\text{C}$ 와 비교하면, 본 연구의 저항온도계수가 지난번 연구의 저항온도계수보다도 더 크다는 것을 알 수 있는데, 이것은 본 연구에서의 백금 두께가 지난번 연구에서의 백금 두께보다 더 얇기 때문인 것으로 사료된다^[5].

2. 크로멜-알루미늄 열전쌍

본 연구에서 제작한 열 흐름을 이용한 유량센서는 히터를 중앙에 두고 히터로부터 상류 및 하류에 각각 $100\ \mu\text{m}$, $300\ \mu\text{m}$, $500\ \mu\text{m}$ 및 $700\ \mu\text{m}$ 의 위치에 있는 크로멜-알루미늄 열전쌍의 온도분포를 측정하는 구조를 하고 있다. 여러 가지 히터의 온도에 대해 히터로부터 열전쌍의 거리가 영일 때 즉 히터의 위치와 열전쌍의 위치가 같을 때 열전쌍의 열기전력을 각각 외삽하여 구하고, 이들을 나타낸 그림 6의 기울기로부터 크로멜-알루미늄 열전쌍의 Seebeck 계수를 구하였다^[7]. 히터에 대한 박막 열전쌍의 Seebeck 계수는 $36\ \mu\text{V}/\text{K}$ 로서 벌크 열전쌍의 Seebeck 계수 $41\ \mu\text{V}/\text{K}$ 보다 약간 작은 값을 나타내고 있다.

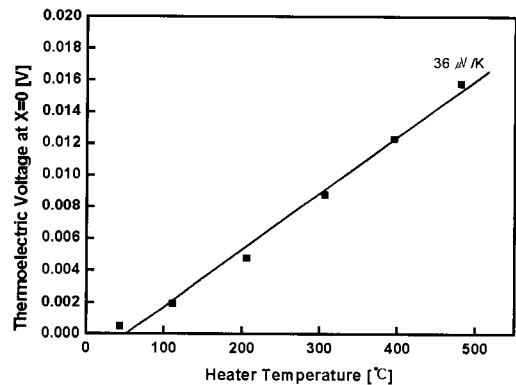


그림 6. 열전쌍의 열기전력-히터의 온도 특성
Fig. 6. Thermoelectric voltage of thermocouple-temperature of heater characteristics.

그림 7은 공기 중에서 히터의 입력 전력에 대한 열전쌍의 열기전력을 나타낸 것이다. 그림 7의 기울기가 열전쌍의 열 감응도로 정의되고, 히터로부터 열전쌍이 $100\ \mu\text{m}$, $300\ \mu\text{m}$, $500\ \mu\text{m}$ 및 $700\ \mu\text{m}$ 떨어짐에 따라 열 감응도는 각각 $0.084\ \text{mV}/\text{mW}$,

0.034 mV/mW, 0.015 mV/mW 및 0.006 mV/mW로 감소하여, 히터에서부터 열전쌍까지의 거리가 증가할수록 열 감응도가 감소함을 알 수 있다.

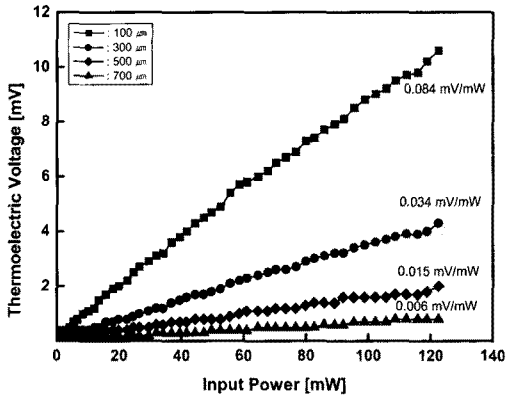


그림 7. 열전쌍의 열기전력-히터의 입력 전력 특성
Fig. 7. Thermoelectric voltage of thermocouple-input power of heater characteristics.

3. 흐름이 없는 기체 내에서의 유량센서

대기압의 N₂ 가스로 채워진 유량센서에 히터 전압을 1 V, 1.5 V, 2 V, 2.5 V 및 3 V로 인가하였을 때 열전쌍의 위치에 따른 온도분포를 그림 8에 나타내었다. 기체의 흐름이 없으므로 히터를 중심으로 상류 및 하류의 열전쌍이 대칭인 온도분포를 나타내고 있다. 온도($T_{hot}-T_{cold}$)는 열전쌍의 기전력(V)을 측정하여 다음 열전쌍의 기전력과 온도와의 관계식 $V=(\alpha_A-\alpha_B) \cdot (T_{hot}-T_{cold})$ 에 대입하여 구하였다. 여기서 T_{hot} 과 T_{cold} 는 열전쌍의 고온 접합부 및 저온 접합부

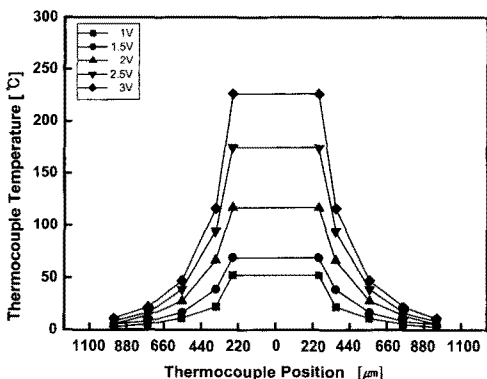


그림 8. 유량이 없을 때 열전쌍의 온도-위치 특성
Fig. 8. Temperature-position characteristics of thermocouple without flow.

의 온도이고, $\alpha_A-\alpha_B$ 는 크로멜-알루멜의 Seebeck 계수 36 $\mu\text{V/K}$ 이다.

그림 9는 유량센서의 히터에 2.5 V의 전압을 인가하여 히터의 온도를 약 260 °C로 일정하게 유지시키고, 약 5.6×10^{-6} Torr의 진공 상태로 하거나 또는 Ar, N₂, O₂ 및 He를 채워가면서 열전쌍의 위치에 따른 열기전력을 측정하여 나타낸 것이다. 그림 9로부터 알 수 있듯이 기체의 열전도도가 크고 작용에 따라 히터에서부터 열전쌍으로 대류되는 열량이 달라져 온도분포가 변하게 된다. Ar, N₂, O₂ 및 He의 열전도도는 각각 1.77 mW/m·K, 2.59 mW/m·K, 2.66 mW/m·K 및 15.10 mW/m·K로서, 히터에서 열전쌍으로 대류되는 열기전력이 기체들의 열전도도 크기의 역순으로 나타났는데, 이것은 기체의 열전도도가 클수록 히터의 열량이 기체로 전달되어 외부로 손실되는 열량이 증가하기 때문이다⁽⁷⁾.

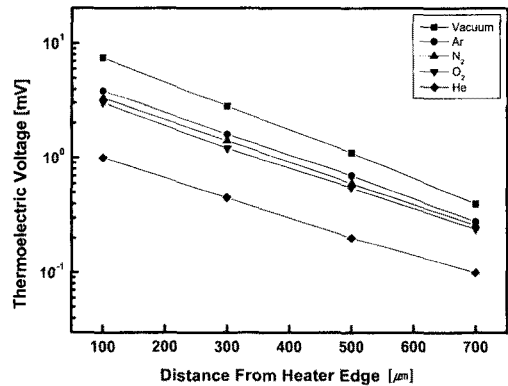


그림 9. 열전쌍의 열기전력-히터 가장자리로부터의 거리 특성

Fig. 9. Thermoelectric voltage-distance from heater edge characteristics of thermocouple.

4. 흐름이 있는 기체 내에서의 유량센서

히터 전압을 2.5 V로 인가하여 히터 온도를 260 °C의 전압 일정 모드로 유지시키고, 0, 50 sccm 및 100 sccm의 N₂ 유량에 대하여 히터에서 100 μm 떨어진 상류 및 하류의 온도를 각각 측정하여 결과를 그림 10에 나타내었다. 유량이 증가할수록 히터의 온도가 낮아지고, 그림 8에서 나타났던 상류 및 하류에 있는 열전쌍의 온도분포가 대칭이 아니라 비대칭으로 변하였다. 이러한 비대칭의 열전쌍 온도를 근거로 흐름 방향을 결

정하는 것이 열전 유량센서이다.

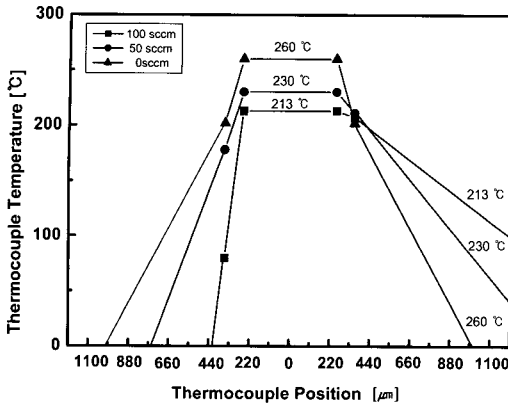


그림 10. 유량이 있을 때 열전쌍의 온도-위치 특성
Fig. 10. Temperature-position characteristics of thermocouple with flow.

N₂ 유량이 0에서 300 sccm까지 변하는 상태에서 유량센서의 감도를 측정하였다. 그림 11은 히터에 인가하는 전압을 일정하게 유지하는 전압 일정 모드에서 유량에 따른 히터의 가장자리로부터 상류 및 하류 쪽으로 100 μm 떨어진 열전쌍의 열기전력 차이($V_{up}-V_{down}$)를 나타내고 있다. 여기서 V_{up} 및 V_{down} 은 각각 상류 및 하류에 있는 열전쌍의 열기전력이다. 유량센서의 감도는 그림 11의 선형 영역에서 그래프의 기울기로 정의할 수 있으며, N₂ 유량에 대한 센서의 감도는 히터 전압을 2 V, 2.5 V 및 3 V로 하였을 때 각각 0.13 mV/sccm^{1/2}, 1.5 mV/sccm^{1/2} 및 1.8 mV/sccm^{1/2}으로서 히터 전압에 따라 증가하였다. 크로멜-알루멜 열전쌍을 갖는 유량센서와 Bi-Sb 열전쌍을 갖는 유량센서의 (유량)^{1/2}에 따른 열기전력에서 감도의 선형 영역을 비교하면, 크로멜-알루멜 열전쌍을 갖는 유량센서가 Bi-Sb 열전쌍을 갖는 유량센서보다 약 5배정도 더 크게 나타났다^[5]. 이것에 대한 이유는 Bi-Sb 열전쌍의 용융점은 271 °C이고 크로멜-알루멜 열전쌍의 용융점은 1,250 °C이므로 온도에 대해서 크로멜-알루멜 열전쌍이 Bi-Sb 열전쌍 보다 더욱 안정되어 있기 때문으로 사료된다.

그림 12에서는 히터 전압을 2.5 V로 인가한 상태에서 유량에 대한 히터의 가장자리에서 상류 및 하류 쪽으로 각각 100 μm씩 떨어진 열전쌍의 열기전력을 측정하여 하류 및 상류에 있는 열전쌍의 열기전력 차이를 나타내었다. 히터에 2.5 V

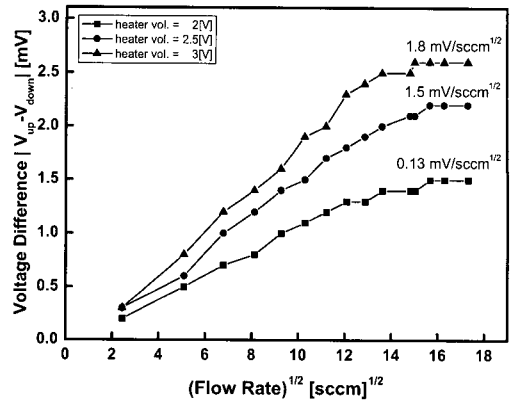


그림 11. 유량센서의 열기전력 차이-(유량)^{1/2} 특성
Fig. 11. Thermoelectric voltage difference-(flow rate)^{1/2} characteristics of flow sensor.

의 전압을 인가하였을 때 히터의 온도는 약 260 °C이었고, 유량이 증가함에 따라 히터의 온도는 점차 감소하여 300 sccm 흘렸을 때 히터의 온도는 약 205 °C정도로 감소하였다. 유량이 흘러 들어가는 상류에 있는 열전쌍은 히터에서 발생한 열량이 유량에 의해 잃게 되어 열기전력이 감소하는 특성을 나타내고, 이외는 반대로 하류에 있는 열전쌍은 히터에서 발생한 열량이 유량에 의해 전달되어 열기전력이 증가하는 특성을 나타내고 있다. 그러나 하류에 있는 열전쌍의 열기전력은 유량이 증가함에 따라 계속 증가하는 것이 아니라 일정한 값으로 포화되는데, 이는 유량에 의해 유실되는 열량을 히터가 제대로 공급하지 못하기 때문이다.

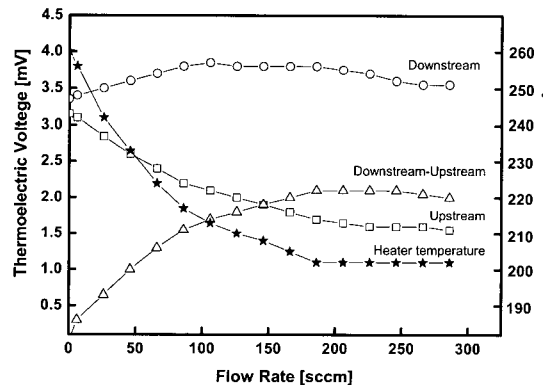


그림 12. 열전쌍의 열기전력 및 히터의 온도-유량 특성

Fig. 12. Thermoelectric voltage of thermocouple and temperature of heater-flow rate characteristics.

그림 13은 전압 일정 모드와 히터의 온도를 일정하게 유지하는 온도 일정 모드의 특성을 나타내고 있다. 온도 일정 모드는 히터의 온도를 250 °C로 일정하게 유지시키기 위하여 유량이 변화할 때 히터의 전류를 보상하기 위해 전압을 조절해 가면서 히터의 온도를 일정하게 유지시켰다. 그림 13이 보여주는 바와 같이 전압 일정 모드보다 온도 일정 모드가 감도의 선형 영역이 더 넓어짐을 알 수 있다.

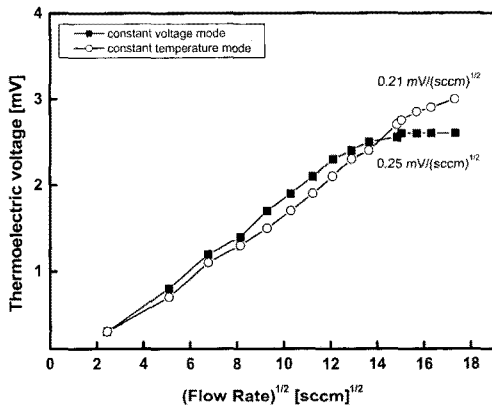


그림 13. 전압 및 온도 일정 모드의 비교

Fig. 13. Comparison between constant voltage and temperature modes.

그림 14는 히터 양단에 3 V의 전압을 인가하고, Ar, N₂ 및 He 유량(0~300 sccm)을 흘렸을 때 히터의 가장자리로부터 100 μm 떨어진 상류 및 하류에 있는 열전쌍의 열기전력 차이를 온도로 표시하여 나타내었다. He은 Ar이나 N₂보

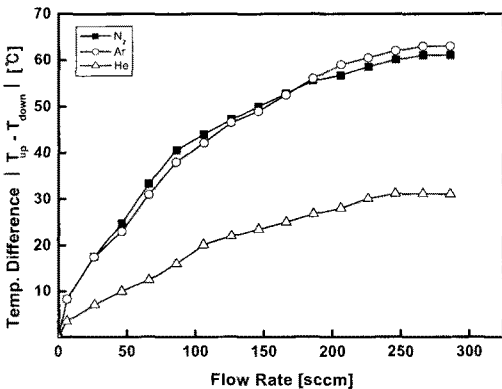


그림 14. He, Ar 및 N₂에서의 온도 차이-유량 특성
Fig. 14. Temperature difference-flow rate characteristics in He, Ar and N₂.

다 열전도도가 큰 기체이므로 상류 및 하류에 있는 열전쌍의 온도 차이가 더 작게 나타났고, Ar과 N₂의 열전도도는 큰 차이가 없으므로 상류 및 하류에 있는 열전쌍의 온도 차이도 비슷하게 나타났다.

유량센서의 응답시간을 추정하기 위하여 히터의 가장자리에서부터 100 μm 떨어진 하류의 열전쌍에 대한 열기전력을 측정하여 그림 15에 나타내었다. 히터에 2.5 V의 전압을 인가하고, N₂ 유량이 영일 때 열전쌍의 열기전력이 3.2 mV이었고, 그림 12에서 알 수 있듯이 하류에 있는 열전쌍의 최대 열기전력이 최대가 되는 약 100 sccm의 N₂ 유량에서 열기전력은 3.8 mV이었다. 이러한 두 값으로부터 구한 유량센서의 응답시간(rising time)은 약 0.18초이었다. Bi-Sb 열전 유량센서에서는 크로멜-알루멜 열전 유량센서와 같이 히터에 2.5 V의 전압을 인가한 후, N₂ 유량이 영일 때 열전쌍의 열기전력은 8.7 mV였고, 약 34 sccm의 N₂ 유량에서 열기전력은 10.21 mV로 증가하였다. 여기서 구한 유량센서의 응답시간은 약 0.13초였다. 응답시간은 두 종류의 센서가 비슷한 값을 나타내고 있다.

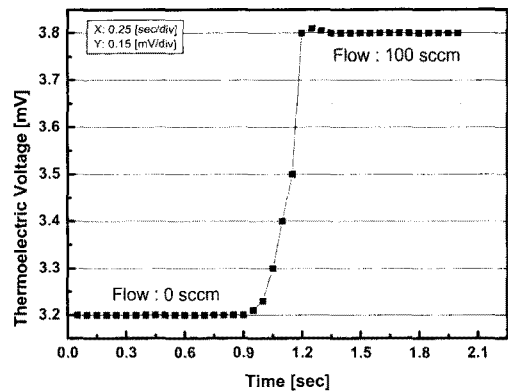


그림 15. 유량센서의 열기전력-시간 특성
Fig. 15. Thermoelectric voltage-time characteristics of flow sensor.

V. 결론

본 연구에서는 백금 박막 히터와 크로멜-알루멜 열전쌍을 각각 발열부와 온도 감지부로 사용하고, 실리콘 기판의 마이크로머시닝을 통해 N/O/N 멤브레인 위에 있는 발열부와 온도 감

지부의 열을 실리콘 기판과 차단하는 열전 유량 센서를 제작하였다. 백금 박막 히터의 저항온도 계수는 약 $0.00397/^{\circ}\text{C}$ 로서 표준저항으로 사용되는 백금의 벌크 저항온도계수보다 약간 더 큰 값을 나타내었다. 크로멜-알루멜 열전쌍의 Seebeck 계수는 $36 \mu\text{V}/\text{K}$ 로서 벌크 상태의 것보다 약간 더 작은 값을 나타내었고, 열전쌍의 열 감응도는 히터로부터 열전쌍의 거리가 증가할수록 감소하였다.

흐름이 없는 기체 내에서 크로멜-알루멜 열전 유량센서는 히터 전압에 대해 상류 및 하류에 있는 열전쌍의 위치에 따른 온도분포가 대칭으로 나타났고, Ar, N₂, O₂ 및 He에서 유량센서의 열기전력은 기체의 열전도도 크기의 역순으로 나타났다. 흐름이 있는 기체 내에서 유량센서의 감도는 히터 전압에 따라 증가하였고, 크로멜-알루멜과 Bi-Sb 열전 유량센서의 (유량)^{1/2}에 따른 열기전력에서 감도의 선형 영역을 비교하면 크로멜-알루멜 열전 유량센서가 Bi-Sb 유량센서보다 약 5배 더 크게 나타났으며, 유량센서는 전압 일정 모드보다 온도 일정 모드에서 감도의 선형 영역이 더 넓게 나타났다. 또한 열전도도가 큰 기체에서는 상류 및 하류에 있는 열전쌍의 온도 차이가 더 작게 나타났다.

상기한 연구결과와 Bi-Sb 열전쌍을 사용한 유량센서의 연구결과를 비교해보면, 유량센서의 (유량)^{1/2}에 따른 열기전력에서 감도의 선형 영역이 크로멜-알루멜을 사용한 센서가 Bi-Sb를 사용한 센서보다 더 큰 장점이 있다.

감사의 글

본 연구는 2002년도 한국표준과학연구원의 위탁연구비 지원에 의하여 수행되었음.

참고문헌

- [1] N. T. Nguyen, "Micromachined flow sensors-a review," *Flow Meas. Instrum.*, Vol. 8, No. 1, pp. 7-16, 1997.
- [2] 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.
- [3] U. Dillner et al., "Thermal simulation of a micromachined thermopile-based thin-film gas flow sensor," *Microelectronics Journal*, Vol. 29, pp. 291-297, 1998.
- [4] 김명규 등, "스트레스균형이 이루어진 Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄ 유전체 멤브레인의 제작," 한국센서학회지, 제4권, 제3호, pp. 51-59, 1995.
- [5] 안영배 등, "스트레스균형이 이루어진 멤브레인 및 박막 열전대를 응용한 유체센서," 한국센서학회지, 제5권, 제6호, pp. 51-59, 1996.
- [6] Lieh-hsi Lo et al., "A silicon mass flow control micro-system," *Mec. Ind.*, Vol. 2, pp. 363-369, 2001.
- [7] 김진섭 등, "Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄ 열차단막을 이용한 유속센서 개발," 2002 기본사업 위탁연구보고서, 한국표준과학연구원, 2002.

著 者 紹 介

이 형 주

1975년 9월 4일생.
 2001년 2월 경일대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사).
 2003년 2월 경북대학교 대학원 센서공학과 졸업(공학석사).
 2003년 3월~현재 하이닉스 반도체주식회사(청주) 근무.
 주관심 분야 : 진공 미세전자공학(FED), 열전 변환기 및 열전 유량센서 등임.



김 진 섭

1957년 1월 23일생.
 1979년 2월 경북대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사).
 1982년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사).

1985년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사).
 1985년 9월~1992년 4월 한국전자통신연구원 반도체연구단 선임연구원/실장.
 1992년 4월~현재 인제대학교 전자정보통신공학부 부교수.
 주관심 분야 : 반도체 소자 및 공정, 열 센서, 적외선 센서, 열전변환기 및 MEMS 등임.

김 여 환

1957년 5월 18일생.
 1979년 2월 경북대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사).
 1981년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사).
 1993년 2월 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사).
 1981년~1988년 한국전자통신연구원 반도체연구단 선임연구원.
 2003년 5월 현재 관동대학교 멀티미디어학부 부교수.
 주관심 분야 : OTFT(organic thin film transistor), 표시기 구동 소자 및 multimedia contents design 등임.

이 정 희

1957년 6월 30일생.
 1979년 2월 경북대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사).
 1983년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사).
 1986년 6월 Florida Institute of Technology 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(공학석사).
 1990년 3월 North Carolina State University 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(공학박사).
 1990년 9월~1993년 2월 한국전자통신연구원 반도체연구단 선임연구원.
 1993년 3월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수.
 주관심 분야 : 3족 질화물 반도체 성장, GaN 전자 및 광 소자, 진공 미세전자공학(FED) 및 원자층 에피택시 등임.

최 용 문

1959년생.
 1985년 2월 인하대학교 공과대학 기계공학과 졸업(공학사).
 1987년 2월 인하대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학석사).
 1999년 2월 한국과학기술원 기계공학과 졸업(공학박사).
 2003년 5월 현재 한국표준과학연구원 유체유동그룹 선임연구원.
 주관심 분야 : 국가 속도 표준 시스템의 유지/보수 및 microfluidics 등임.

박 세 일

1961년 9월 30일생.
 1985년 2월 서울대학교 자연과학대학 물리학과 졸업(이학사).
 1987년 2월 한국과학기술원 물리학과 졸업(이학석사).
 1990년 2월 한국과학기술원 물리학과 졸업(이학박사).
 1990년 3월~현재 한국표준과학연구원 전자소자그룹 책임연구원.
 주관심 분야 : 초전도 전자공학 응용소자, 센서 및 MEMS 등임.