

ICP-RIE 기술을 이용한 차압형 가스유량센서 제작

이영태[†] · 안강호* · 권용택** · Hidekuni Takao*** · Makoto Ishida***

[†]안동대학교 정보전자공학교육과, *한양대학교 기계공학과
현대교정인증기술원, *Toyohashi University of Technology

Fabrication of a Pressure Difference Type Gas Flow Sensor using ICP-RIE Technology

Young Tae Lee[†], Kang Ho Ahn*, Yong Taek Kwon**, Hidekuni Takao*** and Makoto Ishida***

[†]Dept. of Information Technology & Electronics Education, Andong National University

*Dept. of Mechanical Eng., Hanyang University, **R&D Center, HCT,

***Dept. of Electrical & Electronic Eng., Toyohashi University of Technology

ABSTRACT

In this paper, we fabricated pressure difference type gas flow sensor using only dry etching technology by ICP-RIE(inductive coupled plasma reactive ion etching). The sensor's structure consists of a common shear stress type piezoresistive pressure sensor with an orifice fabricated in the middle of the sensor diaphragm. Generally, structure like diaphragm is fabricated by wet etching technology using TMAH, but we fabricated diaphragm by only dry etching using ICP-RIE. To equalize the thickness of diaphragm we applied insulator(SiO₂) layer of SOI(Si/SiO₂/Si-sub) wafer as delay layer of dry etching. Size of fabricated diaphragm is 1000×1000×7 μm³ and overall chip 3000×3000 μm². We measured the variation of output voltage toward the change of gas pressure to analyze characteristics of the fabricated sensor. Sensitivity of fabricated sensor was relatively high as about 1.5mV/V · kPa at 1kPa full-scale. Nonlinearity was below 0.5%F.S. Over-pressure range of the fabricated sensor is 100kPa or more.

Key Words : Flow sensor, Diaphragm, Orifice, Piezoresistor, Deep RIE, SOI, Etch-stop

1. 서 론

마이크로 가스 유량 센서는 자동차의 전자 연료 주입 시스템, 기체 역학, 생체 분석, 토목, 교통, 반도체 공정, 환경 공학, 의용 공학, 가정용 기구 분야 등 폭 넓게 응용되고 있다. 최초로 마이크로머시닝 기술로 제작된 유량센서는 약 30년 전에 Van Putten[1], Van Riet[2] 등에 의해 제작되었다. 이들이 제작한 유량센서는 열(thermal)을 이용하는 방식으로, 최근에도 가스유량센서로 많이 사용되는 방법이다. 하지만, 센서 주위의 온도에 의한 노이즈(noise)가 많은 것과 히터를 사용하기 때문에 고온 분위기에서 반응에 의한 성능 저하가 문제

점으로 지적되고 있다. 열을 사용하지 않는 형태의 가스유량센서에는, 외팔보(cantilever)[3] 또는 패달(paddle)[4] 형태의 구조물을 이용하여 가스 흐름의 끄는 힘(drag force)을 측정하는 방식, 가스에 의해 회전하는 터빈의 토크를 측정하는 방식[5], 가스가 통과하는 채널 양단의 차압을 압력센서로 측정하여 가스 유량을 측정하는 방식[6] 등 다양한 방식의 유량센서가 개발되어있다. 외팔보 또는 패달을 이용한 가스 유량센서의 경우 제작 공정이 비교적 복잡하고, 반복적으로 가해지는 힘에 대한 기계적 강도가 문제가 될 수 있으며, 터빈을 이용한 가스유량센서도 제작 공정이 복잡하다는 것이 문제점으로 지적된다. 압력센서를 이용한 차압형 가스 유량센서의 경우에는 압력센서의 감도가 매우 높아야 하고, 차압을 측정하기 위한 패키지가 복잡하여 단가가 높아질 수 있다.

[†]E-mail : ytle@andong.ac.kr

본 논문에서는 이러한 문제점들을 개선하기 위하여, 얇은 다이아프래임의 중앙에 오리피스가 있는 구조의 기계식 가스유량센서[7,8]를 개발했다. 오리피스가 있는 다이아프래임 제작에 ICP-RIE(Inducted Coupled Plasma Ion Reactive Etching)를 이용한 드라이 에칭만을 사용했으며, 정확한 두께 제어를 위하여 SOI(Silicon On Insulator) 웨이퍼를 사용한 에칭 지연 기술을 같이 사용하여, 제작공정을 매우 단순화 시켰을 뿐 아니라 공정의 재현성 및 신뢰성도 향상시킬 수 있었다.

2. 가스유량센서

2.1. 센서의 구조

가스유량센서의 구조를 Fig. 1에 나타냈다. 센서는 얇은 다이아프래임(diaphragm) 중앙에 가스가 통과할 수 있는 오리피스(orifice)가 있는 구조로 되어 있으며, 다이아프래임 가장자리에 전단응력에 감도를 나타내는 소자인 single-element four-terminal gauge가 배치되어 있다[9]. 이 센서는 SOI(silicon-on-insulator) 웨이퍼를 사용하고, ICP-RIE(inductive coupled plasma ion reactive etching)를 이용한 드라이 에칭 방법으로 제작되기 때문에 Fig. 1(b)에 나타 낸 것과 같이, 다이아프래임의 단면이 SiO₂/Si/SiO₂구조로 구성 되어 있으며, 수직으로 에칭된 것이 특징이다. 다이아프래임 윗면의 실리콘 산화막은 TEOS 공정으로 형성된 절연막이며, 아랫면의 실리콘 산화막은 드라이에칭 정지막으로 사

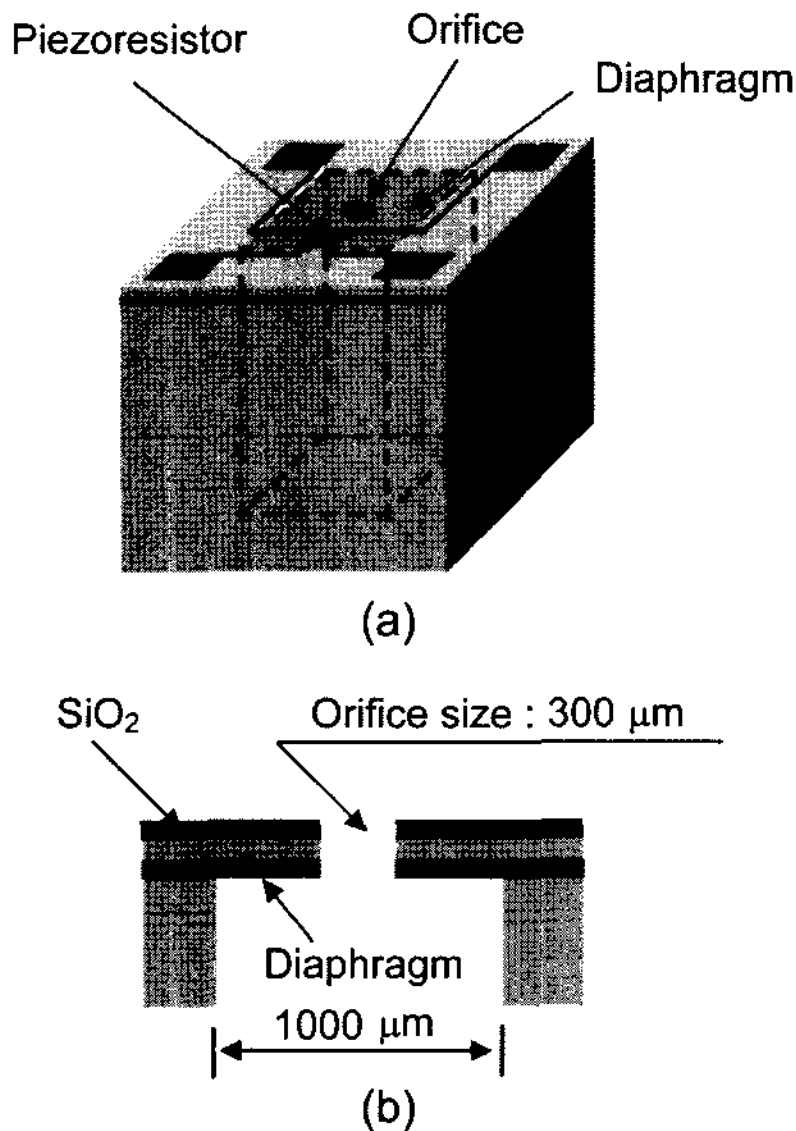


Fig. 1. Sensor structure.

용된 SOI 웨이퍼의 매몰 산화막 층이다. 실리콘으로 제작되는 얇은 다이아프래임의 양면에 실리콘 산화막이 있는 샌드위치 구조로 되어 있기 때문에, 실리콘 다이아프래임 위쪽에만 실리콘 산화막이 있는 구조에 비해서 재료의 열팽창계수 차에 의한 변형 및 잔류응력을 줄일 수 있는 것이 특징이다.

실리콘 (100)면을 습식에칭에 의해서 제작할 경우에 55°의 경사면이 발생하지만, ICP-RIE를 사용하여 에칭할 경우에는 수직으로 에칭이 가능하기 때문에 센서의 사이즈를 줄일 수 있다. 센서의 사이즈는, 다이아프래임 1000×1000×7 μm³, 오리피스 300 μm 이다.

2.2. 동작원리

가스유량센서의 동작원리를 Fig. 2에 나타냈다.

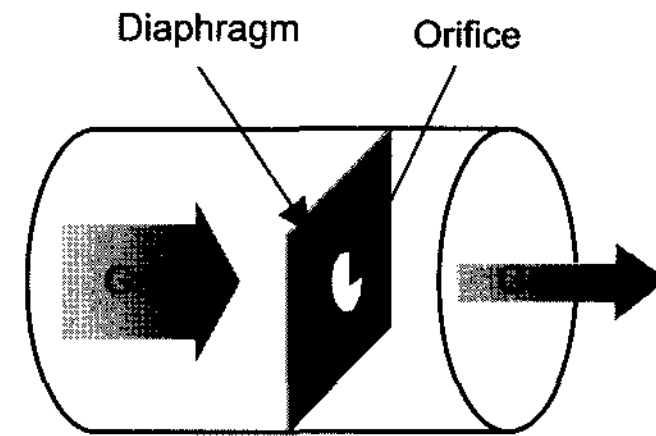


Fig. 2. Principle of gas flow sensor.

본 가스유량센서는 기본적으로 압력차를 측정하는 차압센서이다. Fig. 2에서 가스가 센서의 오리피스를 통과할 때, 다이아프래임 전, 후에 발생하는 압력차에 의하여 다이아프래임의 변형이 발생한다. 다이아프래임 위에 배치된 압저항의 저항 변화의 형태로 다이아프래임의 변형을 센싱 하여 가스의 유량을 측정한다. 만약 오리피스의 지름이 다이아프래임의 두께보다 충분히 클 경우, 압력강하는 가스 흐름의 가속도에 의해서 결정 된다. 오리피스를 통과하는 유량은 다음 식으로 나타낼 수 있다[7].

$$Q = \mu A \sqrt{\frac{2\Delta P_a}{\rho}} \tag{1}$$

식 (1)에서, μ 는 flow number, A 는 오리피스 면적, ρ 는 밀도, ΔP_a 는 압력차이다. 식(1)에서 알 수 있는 것과 같이 유량은 차압의 평방근에 비례한다.

3. 센서 제작

차압형 가스유량센서의 제작 공정을 Fig. 3에 나타냈다. 센서 제작에는, Si(n-type:7 μm) /SiO₂ (0.5 μm)/ Si-sub(525 μm) 구조의 SOI웨이퍼를 사용했다. 먼저,

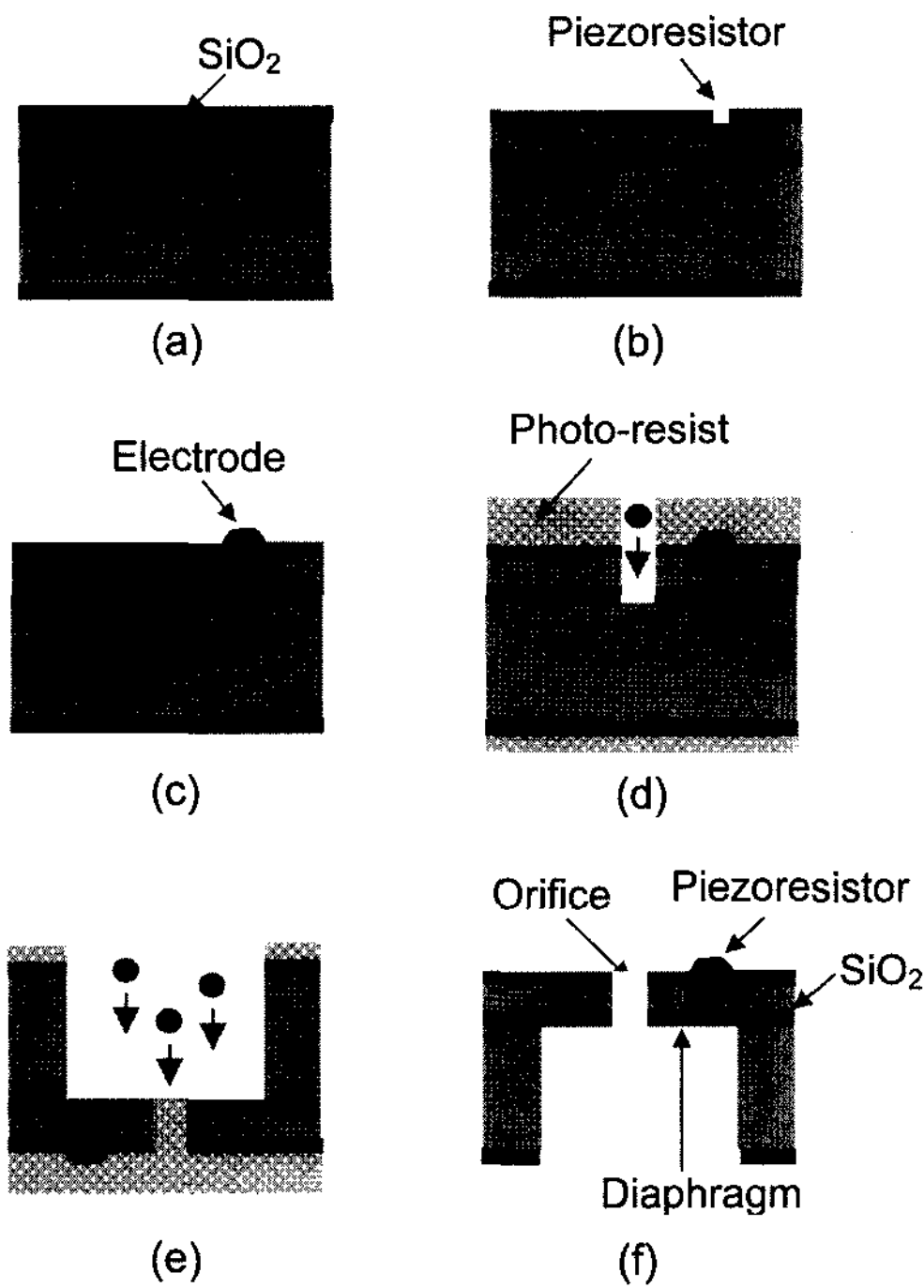


Fig. 3. Process sequences for the fabrication of a silicon flow sensor.

산화공정으로 1 μm 의 실리콘 산화막을 형성했다. P형 압저항을 형성하기 위하여, 윗면의 실리콘 산화막을 패턴을 만든 후에 이온주입공정으로 붕소를 주입하여, 불순물 농도를 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 로 조절했다(Fig. 3(b)). TEOS 공정으로 0.5 μm 의 실리콘 산화막을 형성하고, 콘택(contact)을 형성한다(Fig. 3(b)). 전극을 형성하기 위하여, 스퍼터(sputter)로 0.5 μm 의 알루미늄을 증착하고, 본딩패드를 형성했다(Fig. 3(c)). 오리피스를 형성하기 위하여, 웨이퍼 윗면에 포토레지스트를 도포하고, 패턴을 만든 후에, ICP-RIE를 이용하여 실리콘을 에칭한다. 이 때, SOI 웨이퍼의 매몰 실리콘 산화막 층이 에칭 지연막으로 작용하게 된다. 오리피스 부에 남아있는 실리콘 산화막을 제거 한다(Fig. 3(d)). 마지막으로, 웨이퍼 뒷면에 포토레지스트를 도포하고 패턴을 만든다. ICP-RIE를 이용하여 다이아프레임을 형성한다. 이 때, 웨이퍼 윗면에서 에칭되어 있는 오리피스부는 관통되고, 나머지 부분은 실리콘 산화막에 의해서 에칭이 정지된다(Fig. 3(e)).

Fig. 4에 제작된 센서의 사진을 나타냈다. 다이아프레임 사이즈는 $1000 \times 1000 \times 7 \mu\text{m}^3$, 오리피스는 지름 300 μm , 전체 칩사이즈는 $3000 \times 3000 \mu\text{m}^2$ 이다.

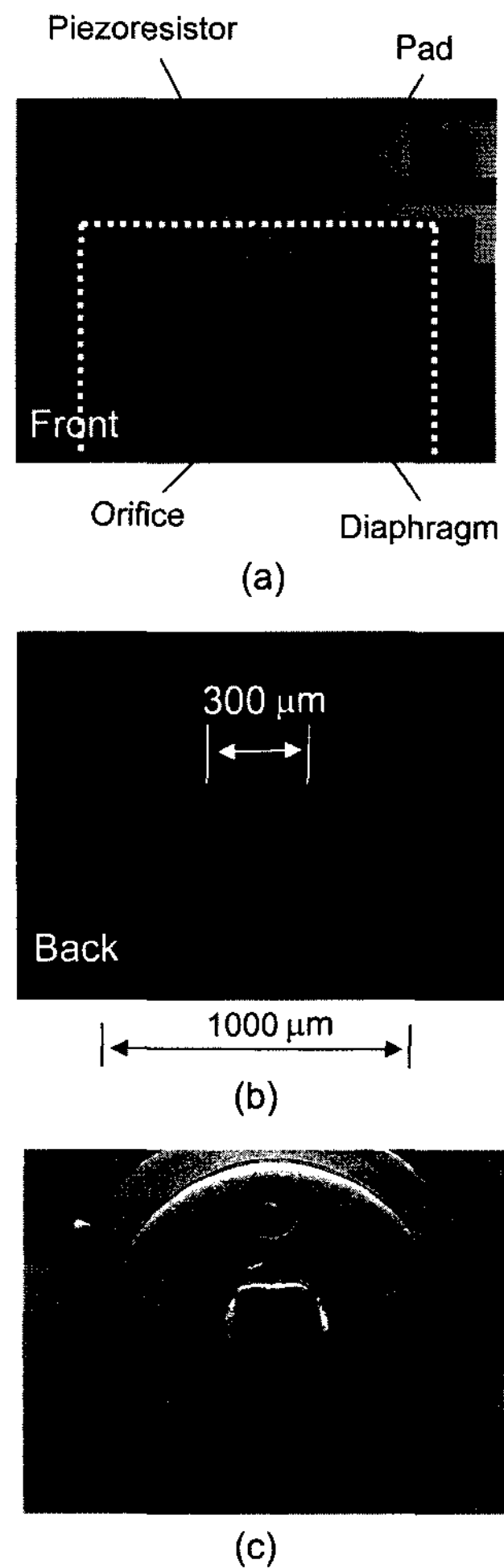


Fig. 4. Photograph of fabricated flow sensor. (a) front side of flow sensor chip, (b) back side of flow sensor chip, and (c) packaged flow sensor.

4. 결과 및 고찰

제작된 유량센서의 특성을 확인하기 위하여, 센서가 장착된 가스관에 질소가스를 인가하면서 출력특성을 분석했다. 센서의 전원 단자에 DC 3V를 인가하면서 출력을 멀티미터로 측정했다. 센서 상하단의 압력차에 대한 출력전압 특성을 Fig. 5에 나타냈다. 1kPa 범위에서 압력감도는 $1.5 \text{ mV/V} \cdot \text{kPa}$ 였고, 비직선성은 0.5%F.S. 이하였다. 측정 가능 분해능이 20~30Pa로 매우 우수한 특성을 나타냈다. 센서가 우수한 특성을 나타내는 것은, 다이아프레임 두께가 7 μm 로 얇기 때문이며, Fig. 1에 나타낸 것과 같이, ICP-RIE로 제작된

수직 프레임에 다이아프레임이 연결되어 있기 때문에, 다이아프레임 가장자리에 응력이 집중되는 현상이 나타나, 감도가 상승하는 효과를 얻을 수 있다.

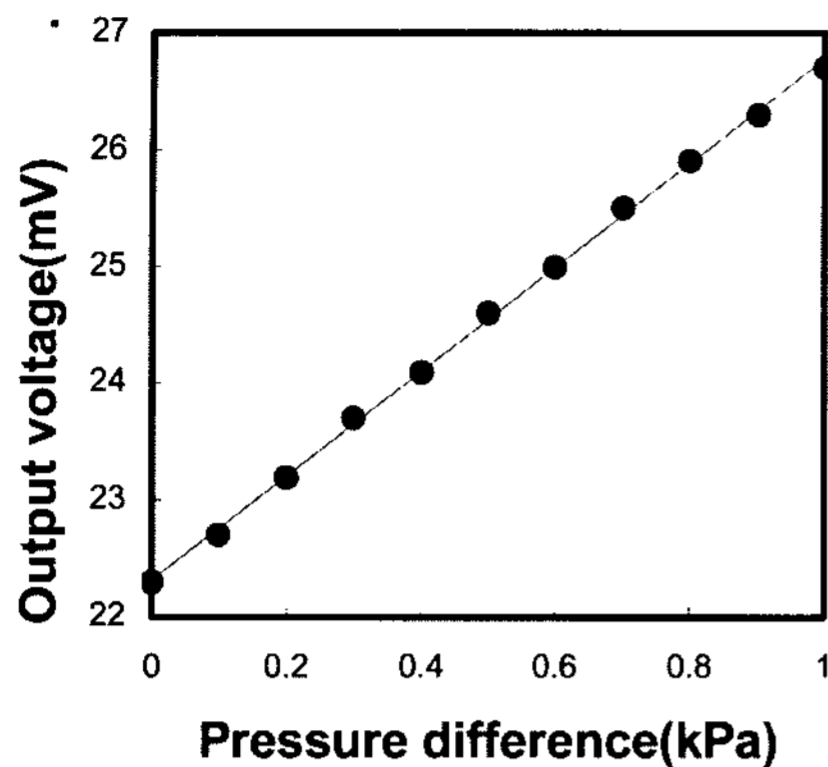


Fig. 5. Output voltage versus pressure difference.

수직 프레임의 경우, 감도가 상승하는 반면에 파괴강도가 낮아지는 단점도 있지만, 1kPa 이하의 미소 압력 영역에서 사용하기에는 전혀 문제가 되지 않는다. Fig. 6에는 가스 유량에 대한 출력전압 특성을 나타냈다. 식 (1)에서 알 수 있는 것과 같이, 센서 상하단의 압력차는 가스유량의 제곱에 비례하기 때문에, Fig. 6과 같은 곡선을 나타내게 된다.

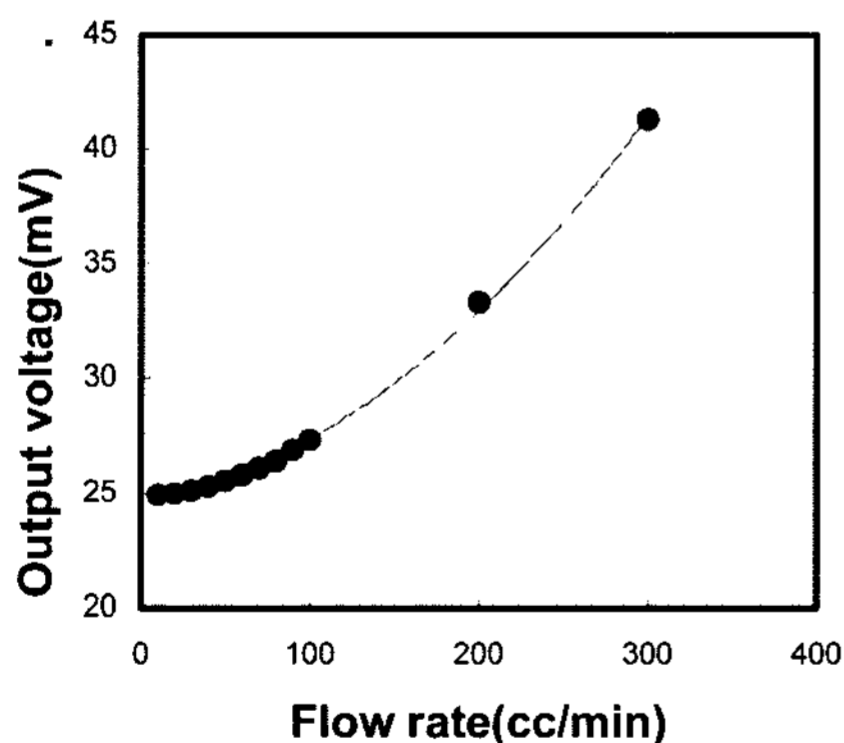


Fig. 6. Output voltage versus flow rate.

제작된 가스유량센서는, 1kPa 측정 범위에서 우수한 감도를 나타내고 있으며, 분해능도 우수하여 미소 가스 유량 측정용으로 응용이 기대되고, 측정 최대 압력 값이 100kPa 이상으로 높기 때문에 비교적 넓은 범위의 가스 유량 측정이 가능할 것으로 생각된다. 또한 미소 가스 유량 측정이 가능하기 때문에 의료용으로도 응용도 기대할 수 있다.

본 논문에서 제작한 차압형 가스 유량 센서는 ICP-

RIE를 이용한 드라이 에칭 공정만으로 다이아프레임을 제작하기 때문에, 에칭 시에 이미 제작된 회로부의 보호에 포토레지스트 도포 정도의 간단한 공정으로 가능하다. 따라서 대단위 신호처리 회로 등과 집적화가 용의하여, 센서의 고성능, 고기능화가 비교적 간단한 공정으로 가능하다. 최근에 관심이 높아지고 있는 유비쿼터스 센서 네트워크(USN: ubiquitous sensor network) 등에 사용되는 소형, 고성능 센서 개발에 유용할 것으로 기대된다.

5. 결 론

ICP-RIE를 이용한 드라이에칭만으로 가스유량센서를 제작했다. 다이아프레임의 두께를 정확하게 제어하기 위하여 SOI 웨이퍼를 이용한 에칭 지연 기술을 ICP-RIE기술과 같이 사용함으로써 비교적 간단한 공정으로 소형의 우수한 센서를 제작할 수 있었다. 제작된 센서의 특성은 1kPa 측정 범위에서 감도가 1.5 mV/V · kPa, 비직선성이 0.5% F.S. 이하를 나타냈다. 최대측정 압력은 100kPa 이상으로, 비교적 넓은 범위의 가스유량을 측정할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 측정 분해능이 20~30Pa 정도이기 때문에 미소가스유량 정밀 측정용으로 응용을 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 논문은 안동대학교 2005년도 해외파견 연구의 지원으로 연구되었음.

참고문헌

1. van Putten, A. F. P. and S. Middelhoek, "Integrated silicon anemometer," IEE Electronics Letters, Vol. 10, pp. 425-426, 1994.
2. van Riet, R. W. M. and J. H. Huysing, "Integrated direction-sensitive flow-meter," IEE Electronics Letter, Vol. 12, pp. 647-648, 1976.
3. Fan, Z. *et al.*, "Design and fabrication of artificial lateral line flow sensor," Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 12, 2002, pp. 655-661.
4. Gass, V., B. H. van der Schoot, and N. F. de Rooij, "Nanofluid handling by microflow sensor based on drag force measurement," Proc. IEEE Micro Electro Mechanical Systems, Fort Lauderdale, FL, 1993, pp. 167-172.
5. Svedin, N. E. Stemme, G. Stemme, "A static turbine flow meter with a micromachined silicon torque sen-

- sor," Proc. International Conference on Micro Mechanical Systems(MEMS), Interlaken, Switzerland, 2001, pp. 208-211.
6. Oosterbroek, R. E., *et al.*, "A micromachined pressure/ flow sensor," Sensors and Actuators, Vol. A77, 1999, pp. 167-177.
 7. M. Richter, M. Wackerle, P. Woias, and B. Hillerich, "A novel flow sensor with high time resolution based on differential pressure principle," in Proceedings of the IEEE Micro Electro Mechanical Systems, 1999.
 8. Y. T. Lee, K. H. Ahn, Y. T. Kwon, H. Takao, M. Ishida, "Fabrication of the gas flow sensor using ICP-RIE," The 9th Korean MEMS Conference, Jeju, April 5-7, pp. 515-518, 2007.
 9. Y. T. Lee, H. Takao, and M. Ishida, "Fabrication of high-temperature silicon pressure sensor using SDB-SOI technology," Sensors and Materials, Vol. 17, No. 5, pp. 269-276, 2005.