

실리콘 미세가공 기술을 이용한 마이크로 진공 센서

이 광 만* · 고 성 태* · 김 영 민** · 고 희 선**

Micro-Vacuum Sensor Using Silicon Micromachining Techniques

Kwang-Man Lee*, Sung-Taek Ko*, Young-Min Kim** and Hee-Seon Ko**

ABSTRACT

A micro-vacuum sensor has been fabricated by using silicon micromachining techniques and platinum thin film. NON insulator was deposited by LPCVD and APCVD methods. The insulator diaphragm was fabricated by silicon anisotropic etching in TMAH solution. Thin film platinum heater and temperature detector were deposited by rf sputtering method and patterning was performed by means of lift-off method. Deposited platinum heater and temperature detector have been shown a linear I-V characteristics. TCR(temperature coefficient of resistance) of thin film platinum heater and temperature detector was about 0.0042/°C. Fabricated vacuum sensor was measured in the range of 1×10^{-3} Torr to 1×10^2 Torr, and shows a good linear operating characteristics in the range of 1×10^{-2} Torr에서 1×10^0 Torr.

Key words : Micro-vacuum sensor, Micromachining techniques, Platinum thin film

1. 서 론

센서란 각종 화학량이나 물리량을 신호로 받아들이 우리가 측정할 수 있는 양(전기적 신호 등)으로 바꾸어 이들 양을 검지하고 정량할 수 있는 소자를 말한다. 일상생활뿐만 아니라 모든 산업분야에 있어서 열의 역할은 매우 중요하기 때문에 온도를 정확히 측정하기 위한 노력은 오랫동안 지속되어 왔으며, 현재 널리 사용되고 있는 히터 및 온도감지 소자들은 측정 원리에 따라 써미스터, 열전대, 측온저항체

(RTD : resistance thermometer device), 다이오드, 트랜지스터 등 여러 가지 종류가 있다.

근래에 표준 CMOS 공정기술이나 표준 바이폴라 공정기술과 호환성이 있는 열트랜스듀서의 연구·개발을 위한 시도가 빈번히 이루어지고 있다¹⁾. 이러한 소자들은 다이어프램, 브릿지 및 캔틸레버 형태의 산화막이나 단결정 실리콘 구조로 되어있다. 열적으로 잘 격리되고 열용량이 매우 작은 구조가 가능하다면 이러한 구조는 국부적인 온도변화를 감지할 수 있으며 적외선 센서, 가스유량 센서, 진공 센서 및 교류전력 센서 등의 열센서 응용에 중요한 역할을 할 수 있을 것이다^{2)~6)}.

미소부위를 가열하여 특정온도를 유지하는 일은 진공도 측정, 가스감지 및 가스유량 측정과 같은 집적화된 여러 가지 다양한 마이크로센서의 응용에는 중

* 제주대학교 전자공학과

Dept. of Electronic Eng., Cheju Nat'l Univ.

** 제주대학교 대학원

Graduate School, Cheju Nat'l Univ.

요한 일이다. 적절히 단열을 하게 되면 그다지 큰 전력을 소모하지 않더라도 높은 온도를 얻을 수 있다. 또한 마이크로 히터의 열 용량을 줄여 작은 전력으로 높은 온도를 유지하며, 센서의 열감응도를 높이기 위해 EDP(ethylene diamine pyrocatechol)용액^{7,8)} 및 KOH용액^{9,10)}을 이용하여 왔다. 최근에 실리콘 마이크로센서는 고기능의 제어회로 및 구동회로를 센서와 같은 칩위에 집적할 수 있도록 집적회로의 공정 기술과 호환성이 요구되고 있다. 그러나 식각용액인 EDP용액 및 KOH용액은 표준 CMOS공정이나 표준 바이플라공정을 활용하여 센서 제조시 마스크패턴의 후면 정렬이 필요하고 이미 형성된 금속박막을 식각용액으로부터 보호해야 하는 문제점 때문에 최근에는 실리콘 미세가공을 위한 실리콘 이방성 식각액으로써 모든 공정이 마무리된 후에 후면 마스크정렬과 금속 박막을 보호하기 위한 추가적인 막이 없이 실리콘 식각을 할 수 있는 특징을 지닌 TMAH(tetramethyl ammonium hydroxide)용액^{11,12)}의 활용이 보고되고 있다.

본 논문에서는 제조 공정이 비교적 단순하고 응답 시간이 빠르며, 고온에서도 화학적으로 안정하여 오랜 시간 사용하여도 저항값이 변하지 않는 장점을 갖고 있는 백금을 사용하여 실리콘 미세가공 기술과 반도체 집적회로 제조 공정기술을 활용한 마이크로 진공 센서를 제조하였다. 이방성 식각액으로는 TMAH 용액을 사용하였으며, 단열특성과 기계적인 안정성이 우수한 NON ($\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$) 구조의 절연막을 실리콘 기판상에 형성하고 센서의 절연막으로 사용하였다. 그리고 백금박막을 이용하여 마이크로 히터 및 온도감지기를 제작하고 그 동작 특성을 측정하였다. NON 구조의 절연막 다이아프램과 백금박막 히터와 온도감지기를 조합하여 마이크로 진공 센서를 제조하여 그 동작 특성을 측정하였다.

II. 마이크로 진공 센서의 제작

그림 1은 본 논문에서 제조한 진공 센서의 제조 공정을 나타낸 것이다. 봉소가 도핑된 p형, (100), 4~6Ω·cm의 실리콘 웨이퍼를 기판으로 사용하였으

며, 먼저 Si_3N_4 (1,500 Å)/ SiO_2 (3,000 Å)/ Si_3N_4 (1,500 Å)의 적층 절연체 박막을 실리콘 기판위에 LPCVD(low pressure chemical vapor deposition) 및 APCVD(atmospheric pressure chemical vapor deposition)법을 이용하여 NON 구조의 절연막을 형성하였다¹³⁾⁻¹⁵⁾.

그다음 절연막 위에 고주파 스퍼터링법을 이용하여 백금박막을 약 5,000 Å 두께로 증착한 후 lift-off법을 이용하여 백금박막 패턴을 형성하였다. 그 후 500°C의 질소 분위기에서 30분 동안 열처리를 하였다. 표준 반도체 제조 공정이 끝난 웨이퍼를 이방성 식각액을 이용하여 후면 식각을 행하여 절연막 다이아프램을 형성하므로써 마이크로 진공 센서를 제조하였다. 이때 식각용액으로는 EDP용액과 유사한 특성을 지니면서, 보다 안전하고 시간에 따라 균일한 식각률을 가지며 집적회로공정과 호환성이 있는 TMAH 용액을 사용하였다. 본 논문에서는 TMAH 용액에 대한 식각 특성을 연구 보고한 결과를 토대로 10wt.%의 TMAH수용액으로 90°C에서 식각을 행하였다¹²⁾.

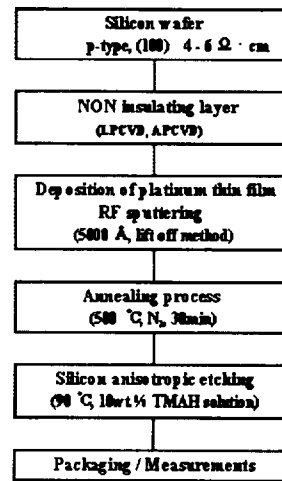


Fig. 1 Fabrication process of a micro-vacuum sensor.

그림 2는 실리콘 기판위에 CVD공정을 이용하여 증착한 NON절연막 및 다이아프램 제조 공정을 보여 주고 있으며, 본 연구실에서는 스트레스 진단용 시험 패턴 제작을 통하여 실리콘 기판에 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$

적층 절연체 박막을 형성하고 절연체 박막에 나타나는 응력 특성과 다이아프램의 열적 응력 특성에 대해 연구 보고한 바 있다¹³⁾. 본 논문에서는 실리콘 기판과의 스트레스 균형을 이루는 $\text{Si}_3\text{N}_4(1,500 \text{ \AA})/\text{SiO}_2(3,000 \text{ \AA})/\text{Si}_3\text{N}_4(1,500 \text{ \AA})$ 의 적층 절연체 박막을 형성하였다.

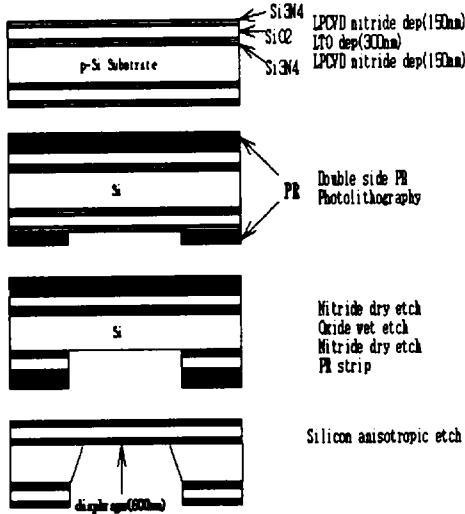


Fig. 2 Cross-sectional structure of insulator diaphragm using back-side silicon afabrication process of a micro-vacuum sensor.

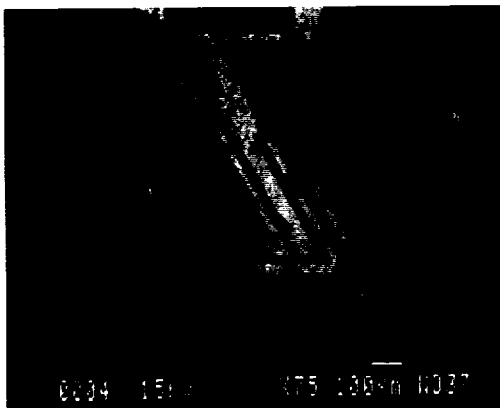


Fig. 3 SEM photograph for the thin insulating diaphragm of micro-vacuum sensor using platinum thin film.

그림 3은 제조한 얇은 절연막 다이아프램 위에 형성된 백금박막으로 이루어진 마이크로 진공 센서의 다이아프램 부위의 전자 현미경 사진이다. 이 다이아프램의 크기는 $1.5\text{mm} \times 2.1\text{mm}$ 이고 두께는 약 $1\mu\text{m}$ 정도였다.

그림 4는 본 논문에서 제조한 백금박막을 이용한 마이크로 진공 센서의 패키지 형태를 나타낸 것이다. 패키지를 통한 마이크로 히터의 열흐름으로 인한 손실을 방지하고자 센서칩과 패키지 사이에 세라믹 스페이서(spacer)와 세라믹 접착제를 사용하였다. 또한 센서칩과 패키지와의 전기적 연결은 금선($\phi = 25 \mu\text{m}$)을 사용하여 초음파 결선하였다.

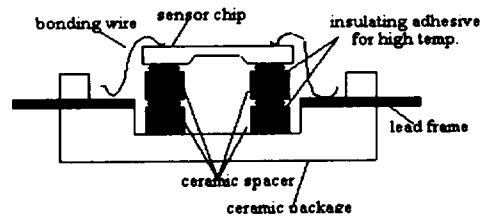


Fig. 4 Micro-vacuum sensor package for measurement.

III. 결과 및 고찰

3.1. 백금박막 히터와 온도감지기의 동작 특성

증착된 on-chip 백금박막 히터와 온도감지기의 저항은 $5,000 \text{ \AA}$ 의 두께에서는 각각 약 35Ω 및 84Ω 이었다. 백금박막 히터와 백금박막 온도감지기는 양호하게 동작하였으며 약 $6,000 \text{ \AA}$ 의 절연막 다이아프램 위에 형성한 경우 히터 전력을 0.4W 까지 공급하면서 동작시켰다. 그림 5는 백금박막 히터에 공급된 전압과 히터전류의 상관관계를 보여주고 있는데, 히터전압을 4V 까지 증가함에 따라 히터전류가 증가하는 좋은 선형성을 가짐을 알 수 있다.

그림 6은 백금히터에 공급된 전력과 백금박막 히터의 저항과의 상관관계를 보여준 것이다. 이 결과는 거의 직선관계를 보여주고 있다.

그림 7은 절연체 다이아프램 위에 형성한 백금박막 온도감지기의 온도 특성을 온도와 저항의 상관관

제로 나타내었다. 백금박막 온도감지기의 동작 특성을 측정하기 위하여 백금 리이드선을 칩에 연결하고 열전대와 함께 고온로에 넣은 후 질소분위기에서 로의 온도 상승에 따른 온도감지기의 저항변화를 측정하였다. 측정한 온도 범위는 실온에서 600°C 사이였으며 백금박막 저항은 약 146Ω에서 243Ω까지 변화하였으며 그림 7에서 알 수 있듯이 온도에 따른 저항 변화는 상당히 우수한 직선성을 보이고 있다.

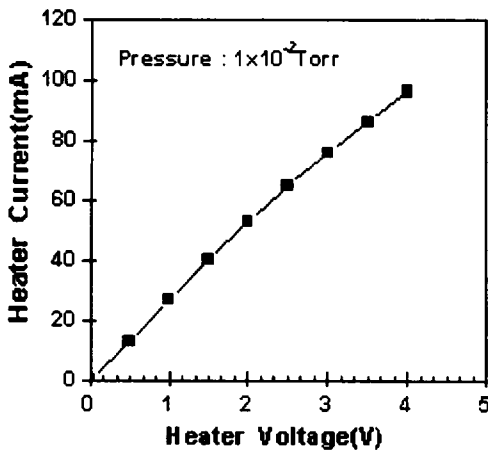


Fig. 5 Current-voltage characteristics of the platinum thin film heater with applied voltage of 0~4V at pressure of 1×10^{-2} Torr.

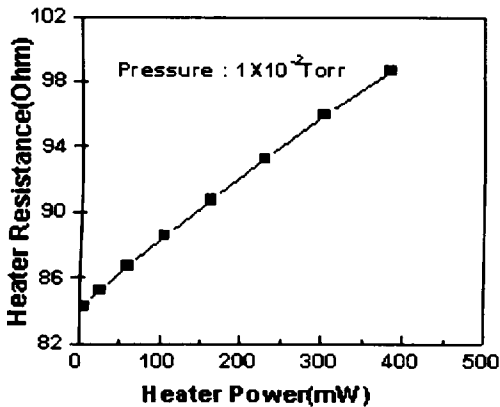


Fig. 6 Resistance of platinum thin film temperature detector as a function of heater input power up to 400mW at pressure of 1×10^{-2} Torr.

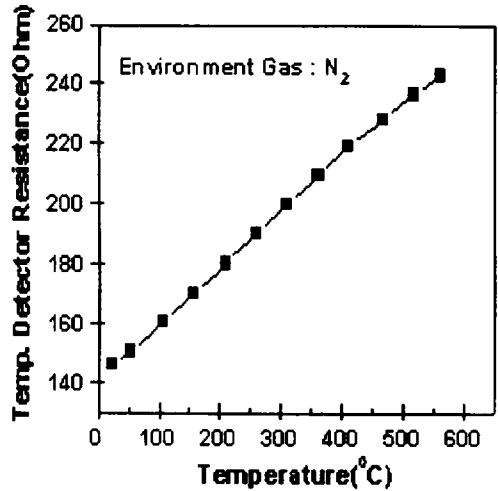


Fig. 7 Relationship between temperature and resistance of a platinum thin film temperature detector.

본 논문에서 제작한 백금박막 저항의 온도계수 (TCR)는 $TCR = 1/R_0(dR(T)/dT)$ 의 관계식으로부터 계산한 결과 벌크 백금저항의 온도계수 $0.0039/^\circ\text{C}$ 와 거의 일치하는 약 $0.0042/^\circ\text{C}$ 로 나타났다⁽¹⁶⁾.

3.2. 마이크로 진공 센서의 응답특성.

그림 8은 본 논문에서 제작한 마이크로 진공 센서의 동작 특성을 측정하기 위한 측정시스템이다. 이 시스템은 진공챔버와 진공펌프, 그밖에 가스공급기, MFC(mass flow controller) 및 계측시스템으로 구성 되어 있다.

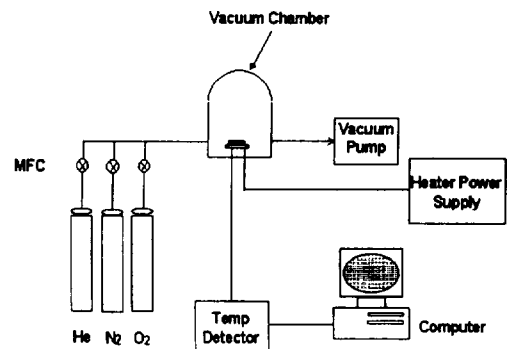


Fig. 8 Measurement system for micro-vacuum sensors.

제작한 진공 센서를 그림 4와 같이 패키징하여 측정 시스템의 진공 챔버내에 장착하였다. 백금박막 히터에 공급된 전압은 히터저항의 크기에 따라 수볼트에서 십여볼트까지 인가하였고, 히터에는 약 1W 내외의 작은 전력을 공급하였다. 위와 같은 시스템을 구성하여 진공 센서의 동작 특성을 측정하였다. 그림 8의 시스템을 이용하여 본 논문에서 제조한 백금박막을 이용한 마이크로 진공 센서의 진공도에 따른 특성을 측정하였다. 로터리펌프와 확산펌프를 이용하여 초기 진공을 5×10^{-5} Torr 일은 후 고순도의 질소가스(99.999%, 한국가스)를 MFC와 스톱(throttle)밸브를 병용하여 미량의 가스를 진공챔버로 주입하여 원하는 진공도를 유지하였다. 1×10^{-3} Torr에서 1×10^2 Torr의 측정 범위내에서 진공 센서의 동작 특성을 측정하였다.

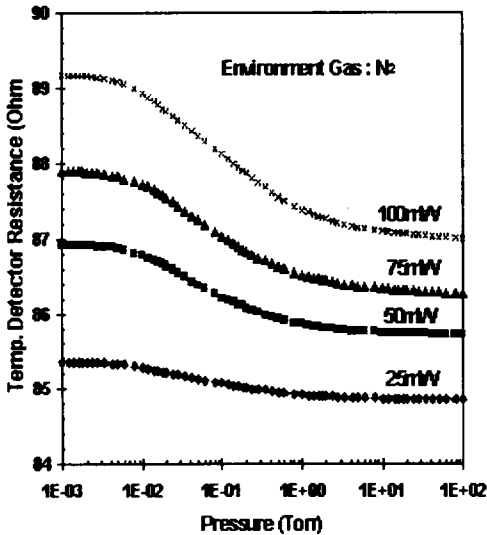


Fig. 9 Response of temperature detector of the micro-vacuum sensor on the various chamber pressure with various heater power.

그림 9는 히터의 공급전력을 25, 50, 75 및 100mW 일 때, 고순도 질소를 사용하여 온도감지기의 저항변화와 진공도의 상관관계를 보여주고 있다. 공급전력에 따른 효과는 공급전력이 높을수록 진공 센서의 감도, 즉 진공도에 따른 온도감지기의 저항변화가 커지

는 경향을 보이고 있다. 또한 같은 진공도에서 온도 감지기의 저항변화가 공급전력이 증가함에 따라 선형적으로 증가하며, 높은 진공도에서 더 큰 변화를 보여주고 있다.

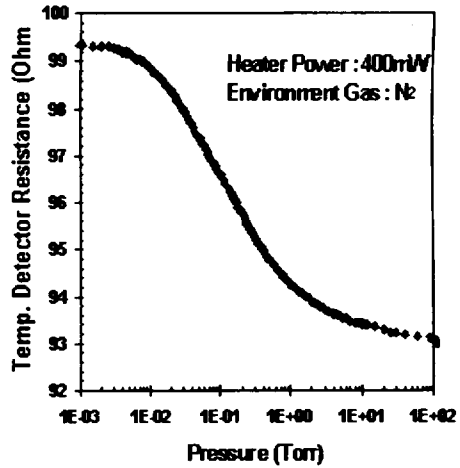


Fig. 10 Response of temperature detector of the micro-vacuum sensor on the various chamber pressure with 400 mW heater power.

그림 10은 히터의 공급전력이 400mW일 때, 주입 가스로 고순도 질소를 사용하여 진공도에 따른 온도 감지기의 저항변화를 나타내었다. 이 결과 진공도가 1×10^{-2} Torr에서 1×10^0 Torr의 측정 범위내에서 온도 감지기의 저항변화와 진공도 간의 기울기가 2.3Ω /dec를 가지는 좋은 반대수 관계를 보였다.

그림 11은 각각의 진공도에서 백금히터에 공급된 전력의 변화에 따른 저항변화를 보여준 것이다. 이 결과 각 진공도에서 히터 공급전력에 따른 저항변화는 거의 직선성을 보여주고 있으나, 직선과의 편차는 백금저항이 양의 값을 갖는 저항의 온도계수 (TCR : temperature coefficient of resistance)에 의한 것이라 생각된다. 또한 같은 진공도에서 온도감지기의 저항변화가 공급전력이 증가함에 따라 선형적으로 증가하였으며, 진공도와 무관한 특성을 보여 주고 있다. 히터에 공급된 전력과 온도와의 상관관계는 다이아램의 재질과 두께에 따라서 그리고 센서칩의 단열상태에 따라 현저한 차이가 있었다.

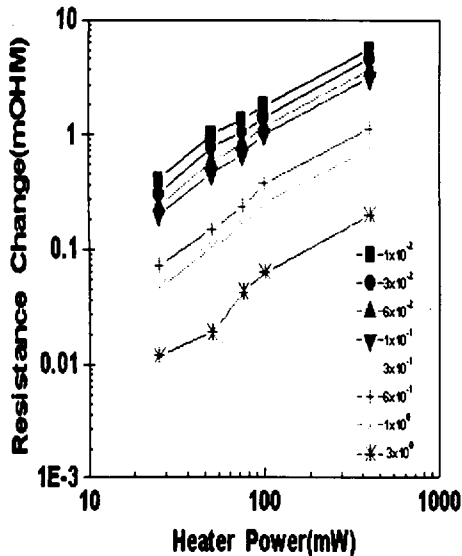


Fig. 11 Resistance change of platinum thin film temperature detector as a function of heater input power up to 400mW at the various pressure from 1×10^{-3} Torr to 3×10^0 Torr.

IV. 결 론

본 논문에서는 백금을 사용하여 실리콘 미세가공 기술과 반도체 집적회로 제조 공정 기술을 이용하여 백금박막 히터와 온도감지기가 조합된 마이크로 진공 센서를 제조하고 그 동작특성을 측정·분석하였다.

진공 센서로써 진공도의 따른 온도감지기의 저항 변화는 진공도가 1×10^{-2} Torr에서 1×10^0 Torr까지의 측정 범위에서 양호한 반대수관계를 보였다. 또한 공급전력에 따른 진공 센서에 미치는 영향은 공급전력이 증가함에 따라 진공 센서의 감도, 즉 진공도에 따른 온도감지기의 저항 변화가 증가함을 알 수 있었다. 같은 진공도에서 공급 전력이 증가함에 따라 온도감지기의 저항 변화가 선형적으로 증가함을 알 수 있었고, 진공도가 증가함에 따라 저항 변화도 증가함을 보여 주었다.

본 논문에서는 백금 박막을 이용한 마이크로 열센

서를 제조하고 진공 센서로써의 동작 특성을 관찰한 결과 좋은 특성을 보였음을 알 수 있었다. 본 논문의 결과로부터 고가의 진공 센서가 요구되는 다양한 분야에서 활용 가능하리라 생각되며, 향후 신호처리 회로나 구동 회로 등을 동일 칩에 집적하여 스마트 (smart) 센서를 구현함으로써 고성능, 다기능 및 높은 신뢰성을 가진 센서 구현이 가능할 것이다.

참고문헌

- 1) Moser, D. R. Lenggenhager and H. Baltes, 1991, "Silicon Gas Flow Sensors Using Industrial CMOS and Bipolar IC Technology," Sensors and Actuators, A, 25-27, pp. 577-581.
- 2) Lenggenhager, R. Henry Baltes, Jon Peer and Martin Forster, 1992, "Thermoelectric Infrared Sensors by CMOS Technology," IEEE Electron Device Letters, Vol. 13, pp. 454-456.
- 3) Qiu, L. Ernst Obermeier and Axel Schubert, 1995, "A Microsensor with Integrated Heat Sink and Flow Guide for Gas Flow Sensing Applications," The 8th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, and Eurosensors IX, Stockholm, Sweden, June 25-29, pp. 520-523.
- 4) Kalvester, E. L. Lofdahiand G. Stemme, 1994, "A small-size silicon microphone for measurements in turbulent gas flows," Sensors and Actuators A, 45, pp. 103-108.
- 5) Baltes H. and D. Moser, 1993, "CMOS vacuum sensors and other applications of CMOS thermopiles," The 7th Int'l Conf. Solid-State Sensors and Actuators, pp. 736-741.
- 6) Jaeggi, D.H. Baltes and D. Moser, 1992, "Thermoelectric AC power Sensor by CMOS technology," IEEE Electron Device Letters, Vol. 13, No. 7, pp. 366-368.
- 7) Finne R. M. and D. L. Klein, 1967, "A water soluble amine complexing agent system for

- etching silicon." J.E.C.S., Vol. 114, p.965.
- 8) Bean, K. D. 1978. "Anisotropic etching of silicon." IEEE Trans., Electron. Devices, Vol. ED-25, p.1185.
 - 9) Stoller, A. I. 1970. "The etching of deep, Vertical-walled patterns of silicon." RCA Rev., Vol. 31, p.271.
 - 10) Kedall, D. L. 1975. "On etching very narrow grooves in silicon." Appl. Phys. Lett, Vol. 26, p.195.
 - 11) Lenggenhager, R., D. Jaeggi, P. Malcovati, H. Duran, H. Baltes, E.Doering, 1994, "CMOS Membrane Infrared Sensors and Improved TMAHW Etchant." IEEE, pp. 20.5.1-20.5.4.
 - 12) 이광만, 도양희, 김영민, 1996, 마이크로 가스 유량 센서의 제조와 동작 특성, 제주대학교 산업기술연구소 논문집, Vol. 7, No. 2, pp .1-10.
 - 13) Volklein, F., 1990. "Thermal conductivity and diffusivity of a thin film $\text{SiO}_2\text{-Si}_3\text{N}_4$ sandwich system." Thin Soild Films, Vol. 188, pp. 27-33.
 - 14) Klonz, Manfred and Thomas Weimann, 1989. "Accurate thin film multijunction thermal converter on a silicon chip." IEEE Trans.on Instrumentation and Measurement, Vol. 38, No. 2, pp. 335-337.
 - 15) 김영민, 도양희, C.C. Liu, 이광만, 1996, 백금 박막을 이용한 마이크로 열센서, 센서기술학술대회 논문집, 제7권, 제1호, pp. 99-104.
 - 16) Weast, R. C. 1979, CRC handbook of Chemistry and Physics, 60th ed., CRC Press, Inc., Boca Raton FL, p. F-171.