

## 흐름측정용 실리콘 소자의 제작 및 특성 평가(I)

이명복 · 주병권 · 이정일 · 김형곤 · 오명환 · 강광남

한국과학기술연구원 이공학연구원

### Fabrication and Characterization of Silicon Device for Flow Measurement(I)

Myoung-Bok Lee, Byeong-Kwon Ju, Jung-Il Lee, Hyoung-Gon Kim,

Myung-Hwan Oh and Kwang-Nham Kang

Div. of Applied Science and Engineering, KIST

**초 록** Si 기판상에 Ni 박막 저항체를 형성하여 hot wire anemometer형 흐름측정 소자를 제작하고 이의 특성을 평가하여 보았다. 니켈 박막 저항체의 온도계수는 박막의 두께가 얇아짐에 따라 감소하였으며, 제작된 흐름센서의 감도는  $111.3\mu\text{W}/(\ell\text{ pm})^{1/2}$ , 동적인 응답시간은 수 십초 정도로 평가되었다.

**Abstract** The hot wire anemometer-type flow sensor, which consisted of Ni thin film resistors evaporated on Si substrates, was fabricated and characterized. It was known that the temperature coefficients of Ni resistors were decreased as the film thickness was thinned and the operating characteristics of the fabricated flow sensor were determined as a sensitivity of  $111.3\mu\text{W}/(\ell\text{ pm})^{1/2}$  and a dynamic response time of several 10 seconds.

## I. 서 론

흐름측정을 위한 반도체 센서는 흐름의 속도와 방향을 동시에 측정할 수 있는 단계에서<sup>1)</sup> 속도, 방향, 유체의 종류, 압력등 다변수 측정 수준에 이르기까지 폭 넓게 보고되고 있으며 특히 기존의 발달된 마이크로 일렉트로닉스 기술과 마이크로머시닝 기술을 병용한 지능형 차원의 고기능 흐름센서도 최근 등장하고 있다<sup>2),3)</sup>. 즉, 기계적인 압력, 온도, 복사 에너지, 전자기장 그리고 화학성분등과 같은 외부의 신호량에 대한 반도체 소자 특성의 민감도를 이용하면 다양한 IC센서의 제조가 가능하며 실리콘 흐름센서도 이러한 특징을 근거로 한다.

본 논문에서는 가열된 저항체의 흐름에 따른 냉각 효과를 동작 원리로 한 센서(hot wire anemometer형)를 제작하기 위해 기초 실험으로서 IC공정을 이용하여 패터닝된 Ni박막 저항체를  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  기판상에 형성하고 온도,

흐름에 대한 전기적인 특성들을 평가, 비교하여 보았다. 또한, 온도센서로서 p-n 접합 다이오드의 온도특성도 간단하게 분석하였다.

## II. 실리콘 hot wire anemometer형 흐름센서의 제작과 특성 평가

### II-1. 소자의 제작 및 구조

본 연구에 사용된 흐름센서는 다음의 공정을 통하여 제작되었다. 사용된 기판은 4인치 n형, 저항율  $4\sim 5\Omega\text{cm}$ 인 (100) Si웨이퍼로 이 위에 100nm두께의 열 산화막을 건식 산화법에 의해 성장시켰다. 이어서 사진식각 공정과 불순물 확산에 의해 p형 및 n형 확산층을 연속적으로 형성하여 p/n-n<sup>+</sup> 구조의 접합 다이오드를 구성하였다. 확산원으로는 Carborundum사의 PDS BN-1100과 PH-1000N을 사용하였고, 확산 프로파일은 앞서 발표된 자료를 토대로 하였다<sup>4)</sup>.

다음으로, 열 산화막을 제거하고 다시 100nm 두께의 열 산화막을 재 형성한 뒤 접

측 창을 열고 Al 증착-패터닝 공정을 통해 다이오드 공정을 완료하였다. 이어서 50~200nm 두께의 Ni 박막을 열 증착법에 의해 증착하고 사진식각 공정에 의해 10 $\mu$ m의 선폭을 갖도록 패터닝한 뒤 저항체로 사용할 부분을 제외하고 와이어 본딩을 위해 Au plating을 행하였다. 보다 상세한 공정은 참고문헌에 수록한 바 있다<sup>5-7)</sup>.

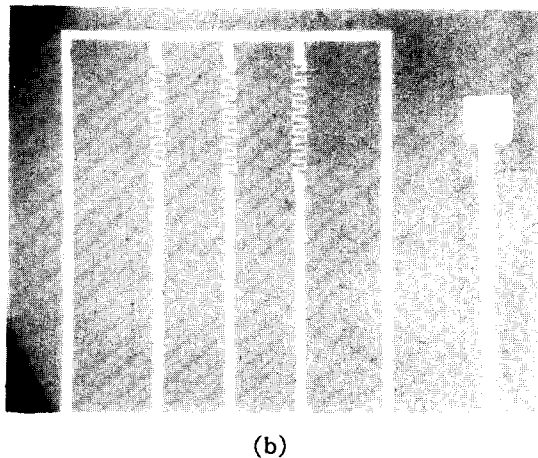
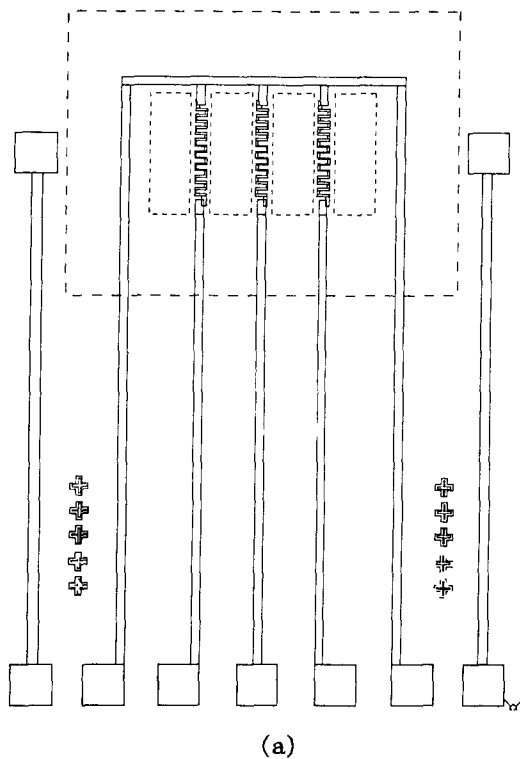


Fig.1. (a) Layout of Si flow sensor chip.  
(b) Fabricated chip structure.

상술한 칩의 레이아웃과 공정이 완료된 칩의 모양을 그림1에 나타내었다. 그림 1(a)에 있어서 좌우측의 패턴은 온도 센서용 다이오드이고 중간에 위치한 세 개의 Ni 저항 패턴이 흐름 측정용으로 사용되었으며 흐름 방향은 Ni 저항체들에 대해 수직으로 유지하였다.

## II-2. 다이오드의 온도감지 특성평가

pn접합 다이오드의 온도에 따른 전압-전류 특성은 잘 알려져 있으며 이는 유체의 온도를 측정하기 위해 실제 소자에서도 사용되고 있다<sup>8)</sup>. 일반적인 다이오드의 순방향 전압-전류 특성은 다음과 같다.

$$J_F = J_S \exp(qV_F/nKT) \quad (1)$$

위의 식으로부터 순방향 전압-전류 특성은 Kelvin온도의 역에 대해 지수적으로 변화함을 알 수 있으며 따라서 일정한 전압에서 전류밀도와 온도간의 지수적인 관계를 토대로 온도 변화를 측정할 수 있다.

본 실험에서는 주변 온도를 상온(25 $^{\circ}$ C)에서부터 32, 42, 46, 60 $^{\circ}$ C로 변화시키면서 제작된 다이오드의 순방향 및 역방향 전압-전류 특성을 측정하여 보았으며, 이를 통해 적은 온도 변화에도 비교적 큰 전류밀도의 변화가 나타남을 알 수 있었다<sup>8)</sup>. 그림 2는 일정한 순방향 전압(0.5V)에서 온도변화의 역과 그에 따른 순방향 전류밀도의 변화를 지수적으로 나타낸 것이다. 상온에서 측정된 초기 전류밀도는 약 211.2mA/cm<sup>2</sup>이었으며 온도의 역수와 지수적인 전류밀도간의 선형적인 관계

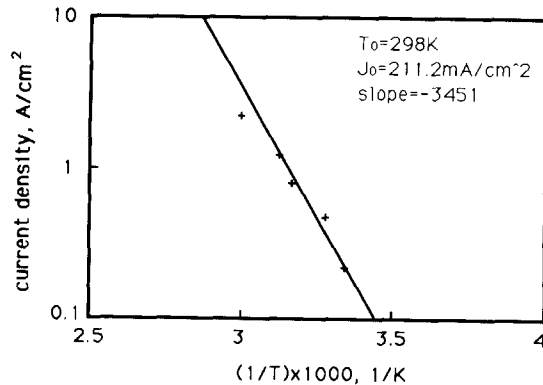


Fig.2. Temperature dependence of forward current in pn junction diode.

로 볼 때 온도센서로서 사용이 가능함을 알 수 있다.

II-3. 흐름에 대한 소자의 동작 특성 평가

고순도 Ni의 경우 100°C 이하의 온도에서 열 전도도가 88.5W/mK로서 Pt와 Cr의 중간 정도이고 열 팽창계수는 Al, Au, Cr, Pt 등에 비해 상대적으로 큰 값을 가지는 금속이다. 본 실험에 있어서 제작된 저항체의 값은 증착되는 Ni의 두께에 따라 달라져 실제 bulk Ni의 특성과는 상당히 다른 열-저항 특성을 보임을 알 수 있었다. 그림3은 bulk Ni을 기준으로 하여 저항체의 저항값이 증가되는 경우 즉, 동일 규격의 Ni박막 패턴에서 박막의 두께가 얇아짐에 따라 온도계수가 감소되는 현상을 보여주고 있다. 이를 통해 본 실험에서 제작된 저항체의 경우 7.914ppm/°C 정도의 변화율을 보임을 알 수 있다.

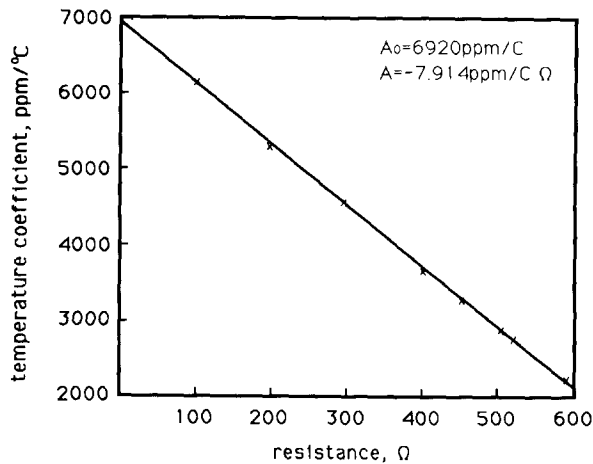


Fig.3. Relationships between temperature coefficients and film thickness in Ni resistors.

그림 4는 가열저항에 인가된 전력에 대한 열 변환 정도를 나타낸 것으로 인가전력의 증가에 대해 대체로 선형적인 변화를 보이고 있다. 인가전력이 0에서 300mW로 증가됨에 따라 저항치의 상대적인 변화는 약 10%이내이며 그에 대응하는 온도변화는 상온보다 대략 50°C이상 증가하는 결과를 볼 수 있다. 사용된 Ni 저항체의 초기 저항치는 725.9Ω이고 온도 측정에 사용된 온도계수는 1175ppm/°C

로 앞선 실험을 통해 추출한 값이다. 인가전력에 대한 온도변화 경향은 100~250mW의 범위에서 비직선성 10% 정도로 나타났다.

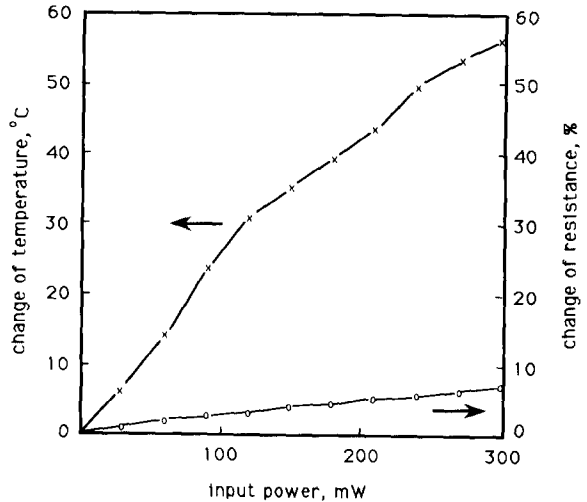
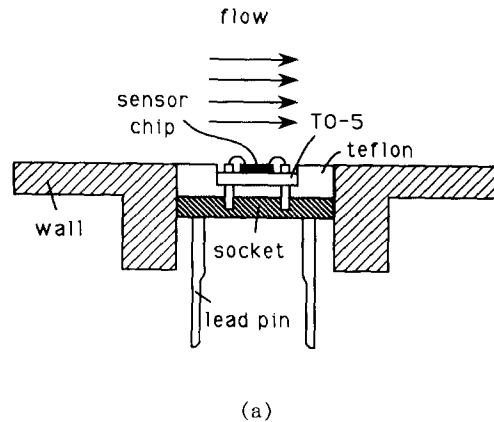
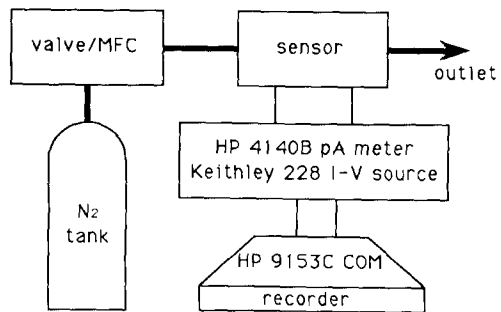


Fig.4. Power response curves of resistor.



(a)



(b)

Fig.5. (a) Illustration of sample holder.

(b) Block diagram of flow measuring system.

제작된 흐름센서는 그림 5(a)와 같은 구조로 측정용 홀더에 탑재되어 hot wire anemometer로서의 기본적인 특성이 평가되었다. 흐름 특성 측정장치는 그림 5(b)에 나타난 바와 같이 질소 실린더, MFC, 시편 홀더, HP 컴퓨터, 전기적 임-출력회로, plotter 등으로 구성되어 있다.

이러한 흐름에 대한 센서의 반응특성은 주로 흐름의 양이나 속도가 변화될 때 일정한 칩의 온도를 유지하기 위한 인가전력의 변화로 표현되고 있다. 즉, 열적 평형상태에 도달한 흐름센서를 통하여 흐름의 양이 증가됨에 따라 저항체의 온도 강하가 일어나고 뒤이어 온도 강하를 보상하기 위한 인가 전력의 증가가 연속적으로 일어나게 된다.

흐름의 양을 0에서 5 lpm으로 변화시킴에 따라 가열 저항체가 흐름의 온도에 비해 13.5 °C의 온도상승을 갖도록 인가되는 전력의 변화를 그림 6에 나타내었다. 본 그래프를 통해 계산된 흐름센서의 감도는  $111.3\mu W/(\text{lpm})^{1/2}$  인 것으로 나타났다.

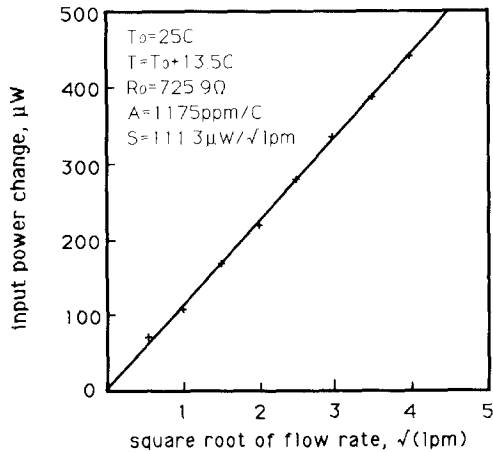


Fig.6. Flow response of fabricated Si flow sensor.

제작된 센서의 동적인 흐름에 대한 반응특성을 조사하기 위해 질소가스의 흐름을 5 lpm과 10 lpm으로 on/off시키면서 측정한 결과를 그림 7에 보였다. 그림에서 볼 수 있듯이 초기 100초 동안 일정한 전력을 인가하여 가열저항의 온도가 안정된 상태에 이르게 한 뒤, 흐름의 양을 5 lpm-off-10 lpm-off로

변환시키면서 반응시간을 측정한 결과 대략 수 십초 정도에 이르는 느린 동작특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 긴 응답속도는 저항체들을 미세가공된 얇은 실리콘 다이아프램이나 절연층만으로 이루어진 막 구조상에 위치시킴으로써 줄일 수 있다.

실제로 본 연구에서 10μm 두께의 실리콘막과 열 산화막으로 이루어진 기판 구조를 사용한 결과 수 초 정도의 응답속도를 얻을 수 있었는데<sup>7)</sup>, 이는 다음 단계의 연구에서 구체적으로 다루어질 것이다.

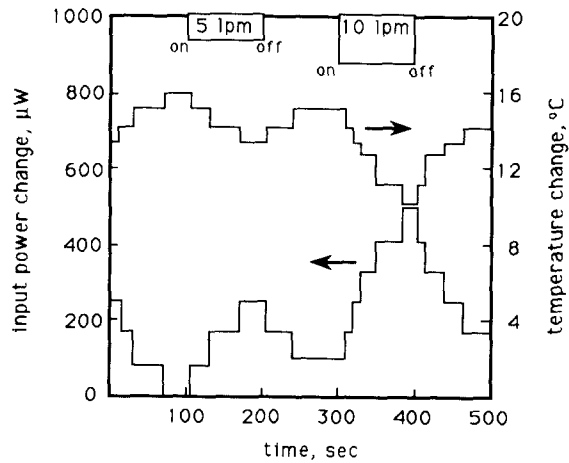


Fig.7. Dynamic flow response of the flow sensor.

### III. 결 론

본 연구에서는 hot wire anemometer형 흐름센서의 기본적인 모델을 제작하여 열-흐름-전기적 특성들간의 상관관계를 조사하여 보았다. 실리콘 마이크로 센서의 제조를 위해 SiO<sub>2</sub> 막상에 패터닝된 Ni 저항체를 구성하여 흐름특성을 조사한 결과  $111.3\mu W/(\text{lpm})^{1/2}$  정도의 감도를 얻을 수 있었으며 실리콘 기판상에 기계적인 구조들을 부가할 경우 감도 및 동작속도면에서 보다 향상된 특성을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

1. J. H. Huijsing, J. P. Schuddemat, and W. Verhoef, IEEE Tr. Electron. Dev., ED-29 (1), 133, (1982).

2. B. W. van Oudheusden and A. W. van Herwaarden, Sens. Actuat., A21-A23, 425,(1990).
3. E. Yoon and K. D. Wise, IEEE IEDM Tech. Digest, 161, (1990).
4. 과학기술처 연구보고서, N582(1~9)-3662-1, 230, (1989).
5. 과학기술처 연구보고서, N6572(2)-3948-1, 50, (1990)
6. 과학기술처 연구보고서, UCN718(4)-4204-4, 35, (1991).
7. 과학기술처 연구보고서, UCN871(4)-4555-4, 73, (1992).
8. G. Stemme, Sens. Actuat., 14, 293, (1988).