

## 힘과 온도 측정을 위한 생체모방형 촉각센서 감지부 설계

김종호\*(한국표준과학연구원), 이상현(한국표준과학연구원), 권휴상(한국표준과학연구원), 박연규(한국표준과학연구원), 강대입(한국표준과학연구원)

### Design of sensing element of bio-mimetic tactile sensor for measurement force and temperature

J.H. Kim\*(KRISS), S.H. Lee(KRISS), H.S. Kwon(KRISS), Y.K. Park(KRISS) and D.I. Kang(KRISS)

#### ABSTRACT

This paper describes a design of a tactile sensor, which can measure three components force and temperature due to thermal conductivity. The bio-mimetic tactile sensor, alternative to human's finger, is comprised of four micro force sensors and four thermal sensors, and its size being 10 mm x 10 mm. Each micro force sensor has a square membrane, and its force range is 0.1 N - 5 N in the three-axis directions. On the other hand, the thermal sensor for temperature measurement has a heater and four temperature sensor elements. The thermal sensor is designed to keep the temperature, 36.5 °C, constant, like human skin, and measure the temperature 0 °C to 50 °C. The MEMS technology is applied to fabricate the sensing element of the tactile sensor.

**Key Words** : Bio-mimetic tactile sensor(생체모방형 촉각센서), Micro force sensor(미세 힘센서), Thermal sensor(온도 센서), MEMS(미소기전집적시스템)

#### 1. 서론

인간에게 있어서 시각, 청각 그리고 촉각은 외부환경과의 상호작용을 위해 절대적으로 필요하다. 특히 접촉을 통한 주변환경의 정보 즉 접촉력, 진동, 표면의 거칠기, 열전도도에 대한 온도변화 등을 획득하고 있는 촉각기능은 차세대 정보수집 매체로 인식되고 있다. 이와 같은 촉각각을 대체할 수 있는 생체모방형 촉각센서는 혈관내의 미세 수술, 암진단 등의 각종 의료진단 및 시술에 사용될 뿐만 아니라 향후 가상환경 구현기술에서 중요한 촉각제시 기술에 적용될 수 있기 때문에 그 중요성이 더해 지고 있다.

현재 산업용 로봇의 손목에 사용되고 있는 6 자유도의 힘/토크 센서와 로봇의 그립퍼(gripper)용으로 접촉 압력 및 순간적인 미끄러짐을 감지할 수 있는 생체모방형 촉각센서가 개발되었으나 감지부 크기가 비교적 큰 관계로 민감도가 낮은 문제점을 가지고 있다<sup>(1)</sup>. 최근에는 반도체 집적회로 제조기술의 하나인 미소기전집적시스템(MEMS) 제작기술을 이용하여 촉각센서 개발 가능성을 보여 주고 있다. Kane<sup>(2)</sup>과 Mei 등<sup>(3)</sup>은 반도체 미세가공기술을 이용

하여 사각형박막 형태의 3 축 힘센서로 이루어진 촉각센서를 제작하여 물체의 형상인식 가능성을 보여 주었다. 한편 Wang 과 Beebe<sup>(4)</sup>는 사각형 박막형태의 전단력 측정용 미세 힘센서를 제작하여 로봇의 그립퍼로서의 가능성을 보여 주었다. 그러나 지금까지 제작된 촉각센서는 단지 접촉력에 대한 정보만을 획득할 수 있도록 제작되었기 때문에 외부 환경에 대한 정보수집면에서 제한적이다. 따라서 실질적인 생체모방형 촉각센서를 개발하기 위해서는 피부와 외부 물체와의 접촉 압력뿐만 아니라 접촉점의 열에 대한 정보를 감지할 수 있는 넓은 영역의 감각을 구현할 수 있는 센서사양이 필요하다. 또한 생체모방 센서가 주변과 원활한 상호작용을 하기 위해서는 센서 융합에 따른 다채널 어레이 센서들에 대한 고속 신호처리 시스템에 대한 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 유한사각형 박막을 가지는 네 개의 3 축 미세 힘센서 감지부와 네 개의 열전도도에 의한 온도를 측정할 수 있는 온도센서를 융합한 4 x 4 어레이형 생체모방형 촉각센서를 MEMS 기술을 이용하여 개발하고자 한다.

#### 2. 체감각 경로

피부 자극이 뇌에서 지각되는 과정인 체감각 경로를 Fig 1 은 보여준다. 피부를 어떤 형태로든 자극하면, 피부 수용기의 신경섬유에서 신경충동이 일어나고, 이 신경충동은 척수(spinal cord)로 입력된다. 피부기관에서 나온 체감각 신경섬유는 척수신경을 거쳐 중추신경계로 들어간다. 한편 Fig 2 는 평활피부의 구조로 대표적인 네 개의 수용기를 보여주고 있다. Meissner 소체는 피부감각기의 40% 이상을 차지하여 피부 움직임을 가장 잘 감지한다. Merkel 수용기는 손의 피부 감각기관중 25%를 차지하며 피부를 누르는 감각에 가장 잘 반응하며, 진동에 대한 인식 기능을 일부 담당한다. Pacinian 소체는 피부 감각 중 가장 크며, 손의 피부 감각기관 중 13%를 차지한다. 이들은 피부의 가장 깊은 곳인 진피에 위치하고, 운동감과 미세한 접촉, 진동을 인식한다. 압력과 온도변화를 인지하는 Ruffini 소체는 방추형 구조로 피부감각기 중 약 19%를 차지한다.

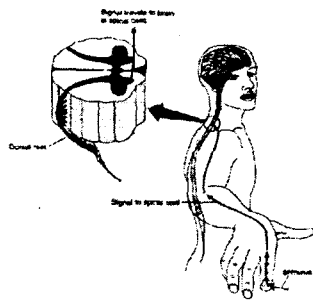


Fig. 1 The process of sensation responsive to stimulus

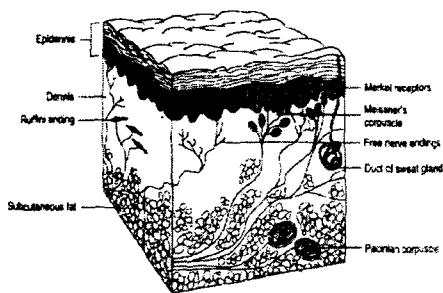


Fig.2 A cross-sectional perspective of glabrous skin

### 3. 촉각센서의 감지부 설계

#### 3.1 미세 힘센서 감지부

Fig. 3 은 촉각센서에서 미세 힘측정에 사용되는 세 하중  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ 를 받고 있는 사각형 모양의 박막형 힘센서 감지부를 보여준다<sup>(5)</sup>. 실리콘 미세 가공 기술로 제작한 힘센서 감지부는 하중블록(load block)과 전체 구조를 지지하는 지지블록(side block)으로 구성된다. 빔의 길이를  $L$ , 하중블록의 길이를  $d$ , 막의 두께를  $h$ , 막의 윗면에서 하중블록의 윗면까지의 높이를  $h_1$ 로 가정한 감지부 형상을 보여준다.

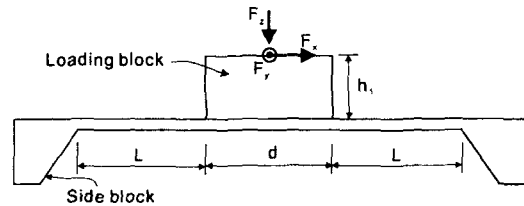


Fig. 3 Schematic diagram of a sensing element subjected to  $F_x$ ,  $F_y$  and  $F_z$  loadings

미세 힘센서의 감지부는 Fig. 4 에서 보는 바와 같이 500  $\mu\text{m}$  두께의 {100} 웨이퍼 위에 45 $\mu\text{m}$ 의 실리콘이 증착된 SOI(silicon on insulator) 웨이퍼를 사용하여 설계하였다. 미세 힘센서의 감지부 전체 크기는 2.404 mm  $\times$  2.404 mm, 박막두께  $h$ 는 45  $\mu\text{m}$ 으로 설정하였다. 그리고 각 하중의 용량은 사람이 손가락으로 질감을 느낄 때 필요한 0.1 N ~ 5 N 하중으로 설정하였다<sup>(6)</sup> {100} 실리콘 웨이퍼의 경우 미세가공기술인 KOH 용액으로 실리콘을 이방성 습식 식각할 경우 지지블록은 54.74°의 경사를 가진다<sup>(7)</sup>.

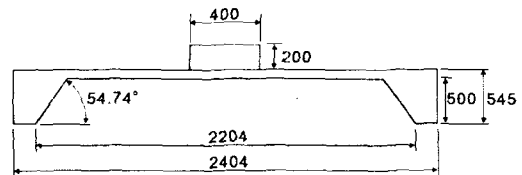


Fig. 4 Schematic diagram of the dimension for the designed force sensor(unit :  $\mu\text{m}$ )

미세 힘센서의 감도향상 및 온도보상을 고려한 설계를 하기 위해서 로드셀의 스트레인게이지에 해당하는 압전저항의 위치가 중요하다. 압전저항의 최적의 위치는 유한요소해석으로 얻은 스트레인 분포를 통해서 결정하였고 하중에 대한 출력을 높이기 위하여 압전저항의 모양을  $\pi$ 자형으로 설계하였다. 한편 압전저항의 위치를 고려하여 세 하중에 대한 상호간섭을 최소화 할 수 있는 완전브릿지회로(full bridge circuit)를 구성하였다<sup>(5)</sup>. 한편 압전저항들로 이루어진 완전브릿지회로를 MEMS 공정으로

제작하기 위해서는 lift-off 를 이용한 메탈공정이 필요하다. Fig 5 는 메탈공정에 필요한 네 개의 미세 힘센서에 대한 마스크(mask)도면을 보여준다. 촉각 센서의 감지부 크기는 5.8 mm x 5.8 mm 이고 와이어 본딩을 위한 금속패드를 포함한 촉각센서의 크기는 10 mm x 10 mm 이다. 여기에서 사용되는 메탈은 알루미늄으로 E-beam 장비를 이용하여 증착한다.

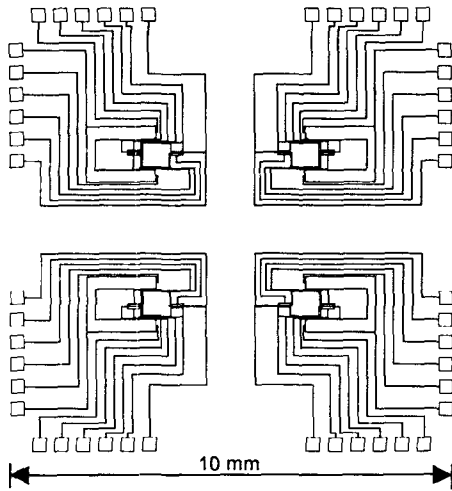


Fig. 5 Drawing of photo-mask for four micro force sensors

### 3.2 열전도도를 이용한 온도 센서

열전도도(thermal conductivity)를 이용한 온도센서는 히터(heater)와 열전도를 측정할 수 있는 금속선이 필요하다. Fig. 6 은 네 개의 온도센서를 만들기 위한 마스크 도면을 보여주고 있다. 히터와 센서의 메탈은 힘센서의 경우와 마찬가지로 237 W/mK 을 갖는 알루미늄을 사용한다. 한편 센서가 인간과 같은 피부온도 36.5 °C 를 갖도록 히터에 10 mW 를 공급한다. 그리고 온도 측정범위는 0 °C ~ 50 °C 가 되도록 설계하였다. 각각의 온도센서는 두개의 금속패드를 이용하여 전류 공급과 전압 측정을 수행한다.

Fig. 7 은 네 개의 미세 힘센서와 네 개의 온도센서를 이용한 촉각센서의 마스크 도면을 보여 준다. MEMS 제작기술을 이용한 촉각센서 감지부 제작은 500 μm 의 실리콘 두께를 가지는 4" 크기의 웨이퍼를 사용하며 공정설계는 다음과 같다. 사진공정(photolithography)과 열확산 과정을 통하여 압전저항을 형성한다. 다음은 메탈 lift-off 공정을 통하여 힘센서에 필요한 압전저항들간의 연결선 그리고 온도센서에 해당하는 히터와 온도측정용 금속선을 제작한다. 마지막으로 두꺼운 감광제 SU-8 를 이용하여 미세 힘센서의 하중블럭을 형성하고 KOH 식

각용액으로 촉각센서의 박막을 제작한다.

현재 설계된 촉각센서는 공정조건과 장비를 고려하여 한국과학기술원의 반도체동, 서울대학교 반도체 공동연구소 그리고 한국표준과학연구원 장비를 사용하여 제작 중에 있다.

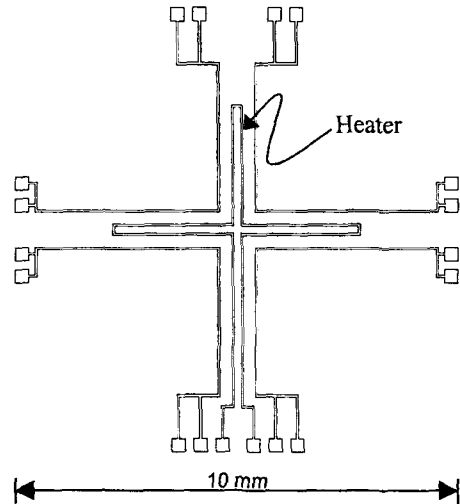


Fig. 6 Drawing of photo-mask for four thermal sensor based on thermal conductivity

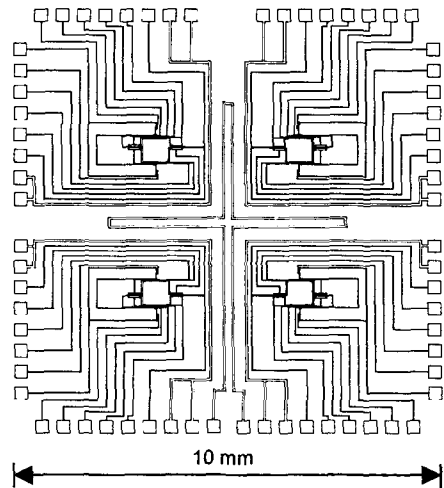


Fig. 7 Drawing of photo-mask for a tactile sensor with four micro force sensors and four thermal sensors

## 4. 결론

미세 힘과 열전도도에 의한 온도를 측정할 수

있는 10 mm x 10 mm 크기의 생체모방형 촉각센서 감지부를 설계하였다. 실제 인간의 손가락을 대체할 수 있도록 하기 위하여 미세 힘 감지부는 0.1 N ~ 5 N 용량을 그리고 온도센서는 36.5 °C 를 유지하면서 0 °C ~ 50 °C 범위를 측정할 수 있도록 감지부를 설계하였다. 향후 제작된 촉각센서는 수술 및 병 진단 등의 의료분야에 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 후 기

본 연구는 한국표준과학연구원의 신기술대응력 과제인 “센서융합기술을 이용한 생체모방형 촉각센서 개발”의 연구비 지원으로 이루어진 것으로서 이에 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. Jockusch, J., Walter, J. and Ritter, H., “A tactile sensor system for a three-fingered robot manipulator,” Proc. Int. Conf. on Robotics and Automation(ICRA'97), pp. 3080-3086, 1997.
2. Kane, B.J., Cutkosy, M.R. and Kovacs, G.T.A., “CMOS-compatible traction stress sensor for use in high-resolution tactile imaging,” Sensor and Actuators (A), Vol. 54, pp.511-516, 1996.
3. Mei, T., Li, W.J., Ge, Y., Chen, Y., Ni, L. and Chan, M.H., “An integrated MEMS three-dimensional tactile sensor with large force range,” Sensors and Actuators(A), Vol. 80, pp.155-162, 2000.
4. Wang, L. and Beebe, D.J., “A silicon-shear force sensor: development and characterization,” Sensor and Actuators(A), Vol. 84, pp.33-44, 2000.
5. 김종호, 조운기, 박연규, 강대임, “MEMS 제작기술을 이용한 미세 힘센서 설계 및 제작,” 춘계 정밀공학회, pp. 497-502. 2002
6. Pennywitt, K. E., Robotic tactile sensing, in Byte, pp. 177-200.
7. Petersen, K.E., “Silicon as a mechanical material,” Proc. IEEE, Vol.70, pp.420-457, 1982.