

# 열전효과를 이용한 열유속 센서의 설계 및 노이즈 분석 Design of heat flux sensor using Seebeck effect and noise analysis

\*남성기<sup>1</sup>, #이선규<sup>1</sup>

\*S. K. Nam<sup>1</sup>, #S. K. Lee(skyee@gist.ac.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>광주과학기술원 기전공학부

Key words : heat flux sensor, Seebeck effect, Thermoelectric noise

## 1. 서론

최근 마이크로 제조기술의 발달과 함께 반도체 제조 기술을 이용한 초소형 센서들이 등장하고 있다. CMOS(Complementary metal-oxide semiconductor) 공정을 통해 제작된 온도/열유속 센서들은 자체 열용량을 줄일 수 있어서 빠른 응답속도와 고분해능의 정밀도를 확보할 수 있다. 특히 열전현상(Seebeck effect)을 이용한 열전대(Thermocouple)의 경우 냉접점과 온접점을 열류방향에 나란히 제작하면, 하나의 센서로 열유속(Heat flux)를 측정할 수 있다. 또한 열전대의 낮은 출력전압을 증폭시키기 위해 직렬로 연결한 열전쌍(Thermopile)의 형태로 제작하여 적외선 측정센서<sup>(1)</sup>, 가스 센서<sup>(2)</sup> 그리고 질병의 진단 및 세포의 신진대사량 측정<sup>(3)</sup>에 이용 가능하다. 본 연구에서는 센서의 노이즈 관점에서 구조 설계 및 원인 파악을 하고자 한다.

## 2. 설계과정에서의 노이즈 감소

그림 1은 열전쌍을 이용한 열유속 센서의 단면도를 나타낸다. 박막의 절연층 위에 온접점(Th)과 냉접점(Tc)이 보정용 히터의 일직선상에 위치하게 된다.

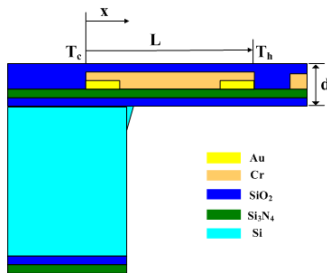


Fig. 1 Schematic of heat flux sensor

보정용 히터부분에 열원이 위치하게 되면, 박막에 전도를 통해 열이 퍼져나가면서 온/냉 접점사이에 온도차이를 만들게 되고, 이를 통해 열유속을 측정 할 수 있다.

$$\frac{d^2\theta(x_1)}{dx_1^2} - m_1\theta(x_1) = 0 \quad (1)$$

$$m = \sqrt{\frac{A}{k_e d}}, A = h_0 + 4\sigma_B(\epsilon_U + \epsilon_L)T_a^3 \quad (2)$$

하지만, 미세 열유속 측정을 위해 온/냉접점사이의 거리를 늘릴 경우 열전쌍의 자체 저항이 증가하게 되어서 Nyquist 식에 의해 노이즈가 증가하게 된다. 그러므로, 열유속 측정을 위한 온/냉접점 사이의 거리, 즉 열전쌍의 다리 길이와 이에 따른 노이즈 증가의 비율을 Detectives(D)값으로 표현하였고, 그림 2와 같이 최적의 열전쌍 길이를 설계하였다.

$$D = \frac{\text{Sensitivity}}{\text{NEP per unit frequency}} = \frac{zS \times \frac{\sinh(mL)}{m \cosh(mL)kdb} \sqrt{\Delta f}}{\sqrt{4k_e T_a R_{TP}}} \quad (3)$$

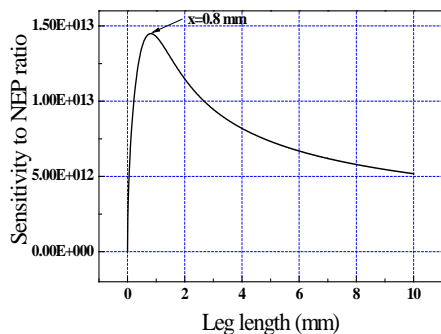


Fig. 2 Optimum leg length

### 3. 제작과정에서의 노이즈 감소

CMOS 공정을 통한 열유속 센서의 제작과정을 살펴보면, 두 번의 금속 패터닝 공정을 통해 온/냉접점을 형성하게 된다. 이때 대부분의 열전재료들이 접합성이 좋지 않으므로, Cr 이나 Ti 등의 접합층을 먼저 증착하게 된다. 열전대의 원리에서는 제 3의 물질이 접점사이에 존재하더라도 양단의 온도만 같다면, 성능에는 영향을 미치지 않지만, 박막형 접점에서는 중간층의 유무에 따라서 전체 저항 및 노이즈에 영향을 미치게 된다. 이를 실험하기 위해 그림 3 과 같은 비교 샘플을 만들어서 센서 구조에 따른 저항은 동일한 대신, 접점의 상태만 다르게 하여, 전체 저항을 비교하였다.

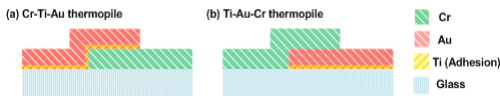


Fig. 3 Comparison samples for adhesion layer

Table 1 Comparison of measured resistance

	With adhesion	Direct contact
Total resistance	32.64±0.8 kΩ	24.49 ±1.5kΩ

표 1 과 같이 30 개의 Au-Cr 로 된 열전쌍을 제작하여 동일한 두께와 패턴크기로 증착순서만 변경하여 샘플을 비교하였다. 그 결과 열전쌍 접점 중간에 접합층이 있는 경우, 더 높은 저항을 확인하였다. 이는 두 샘플이 동일한 형상을 가지므로, 접합점에서의 접촉저항의 차이에 기인한다. 그림 3 과 4 는 두 샘플의 접점에서의 표면 프로파일을 AFM 과 SEM 으로 측정한 결과이다. Ti 접합층의 경우 열전재료로 쓰이는 금속과 비교하여 1/10~1/20 의 비율로 사용된다.

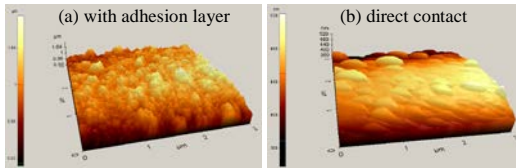


Fig. 4 Surface profiles of comparison samples

이로 인해 접합층이 접점중간에 존재할 경우 표면 Roughness 와 real contact area 의

문제로 인해 전체 저항 및 노이즈 증가로 작용할 수 있다.

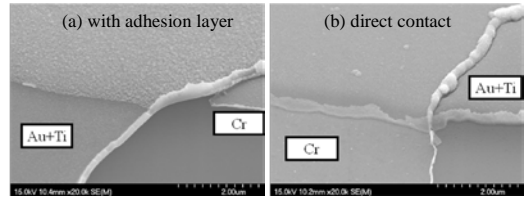


Fig. 5 Surface images of comparison samples

### 4. 결론

반도체 공정을 통해 제작된 마이크로 스케일의 열유속 센서를 제작시 노이즈 감소를 통한 분해능 향상이 중요한 설계/제작 관점이다. 설계부분에서는 Detectives 값을 이용하여 온/냉접점의 온도차이와 센서 저항증가를 비교하여 최적의 열전쌍 다리 길이를 구하였고, 제작과정에서는 접합층으로 사용되는 Ti 의 유무에 따라서 센서 전체저항이 바뀌게 되고, 나아가 노이즈에도 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다.

### 후기

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government (MEST) No.20110018621)and partially the Core Technology Development Program for Next-generation Solar Cells of Research Institute for Solar and Sustainable Energy(RISE),GIST

### 참고문헌

1. S. J. Lee, Y. H. Lee, S. H. Suh, Y. J. Oh, T. Y. Kim, M. H. Oh, C. J. Kim and B. K. Ju, "Uncooled thermopile infrared detector with chromium oxide absorption layer", Sens. Actuators, A **95**, 24-28, 2001
2. W. Shin, M. Matsumiya and N. Izu, N. Murayama, "Hydrogen-selective thermoelectric gas sensor", Sens. Actuators, B **93**, 304-308, 2003
3. J.Lerchner et al., "Nano-calorimetry of small-sized biological samples", Thermochemica Acta **477**, 48-53, 2008