

<技術論文>

半導體 熱電材料를 利用한 熱流束測定 센서의 性能

黃東源* · 鄭坪錫** · 朱海浩***

(1987年 9月 18日 接受)

Performance of the Heat Flux Sensor Using Thermoelectric Semiconductor Material

Dong Weon Hwang, Pyung Suk Jung and Hea Ho Joo

Key Words : Heat Flux Sensor(熱流束 센서), Thermoelectric Material(熱電材料), Seebeck Coefficient(시백係數), Heat Flux Generator(熱流束發生裝置)

Abstract

In order to improve the sensivity of the wafer type heat flux sensor, some heat flux sensors were manufactured and examined by using thermoelectric semiconductor material (bismuth telluride) whose Seebck coefficient is much larger than those of metallic thermocouple materials. Because the thermoelectric element cannot be bended or welded, a peculiar sensor structure and manufacturing process were designed. As a result, it is revealed that the characteristic sensivity of the manufactured sensor is about 10 times larger than that of marketed sensor even though there are some troubles in stiffness for reciprocal use. If we make this kind of sensors smaller and thinner, it will be a useful method to measure the local heat flux from the surface of complex configuration.

記 號 說 明

E : 電壓, V

Gr_x : Grashoff 數 = $\beta g x^3 (T_w - T_\infty) / V^2$

k : 熱傳道係數, $W/m-k$

n : 素子數

Pr : Prandtl 數 = $\nu Cp / k$

q : 熱流速, W/m^2

S : 感度, Vm^2/W

s : 特性感度, Vm/W

T : 溫度, K

t : 두께, m

α : Seebeck 係數, V/K

β : 體積熱膨脹係數, $/K$

η : 無次元 變數 = $(Gr_x/4)^{1/4} y/x$

θ : 無次元 變數 = $(T_w - T) / (T_w - T_\infty)$

ν : 動粘性係數, m^2/s

1. 서 론

蒸發器나 凝縮器 등의 熱器機는 물론 建築이나 環境, 化學工程에 있어서 熱傳達量의 算定의 重要성은 두말할 필요도 없으며, 보다 효과적이고 精確한 熱的 調節이나 設計를 위하여서는 溫度와 함께 熱傳達量을 직접 測定하여야 하는 경우가 허다하다. 이러한 熱傳達量의 測定은 單位面積을 통하여 單位時間當 通過하는 熱量을 의미하는 熱流束으로서 표시되며, 溫度의 경우와 달라서 熱流束의 測定은 感知部로서의 센서가 測定하고자 하는 熱流動에

*영남대학교 대학원, 현재 금성정밀연구소

**정희원, 영남대학교 공과대학 기계공학과

***정희원, 영남대학교 공과대학 기계설계학과

영향을 미치므로 많은 어려움과 誤差가 발생하게 된다.

현재 널리 사용되고 있는 熱流束 센서는 薄板形과 슬러그 形으로 大別할 수 있다^(1,2). 슬러그 形은 熱電對가 부착된 여러가지 형태의 슬러그를 測定面에 갑자기 접촉시켰을 때 시간에 따른 슬러그의 溫度上昇率에 의하여 熱流束을 산정하는 원리로서 구조가 간단하고 補正이 불필요하다는 長點이 있으나 슬러그 자체가 熱流動을 교란시키고 측정값의 解釋이 어렵다는 點과 熱流束이 時間에 따라 변화하는 경우 連續測定이 불가능한 短點이 있다. 그러나 測定對象의 形態에 대하여 융통성이 크고 小形으로 제작할 수 있어서, 固體材料의 熱傳達係數의 測定을 겸할 수 있도록 製品化 되어 있는 경우가 많다⁽³⁻⁸⁾.

薄板形 센서는 熱傳道性이 낮은 薄板의 兩面에多數의 熱電對를 直列로 연결한 서모파일(thermofile) 形態이거나 抵抗式溫度 센서를 부착하는 形態로서 조작성이 간단하고 정밀도가 높으며, 건물벽에서의 熱損失 등과 같이 장시간에 걸친 連續測定에 편리하다. 그러나 이것 역시 測定時 센서가 熱流動에 영향을 미치며, 이것을 줄이기 위하여 接點雙의 수를 증가시켜야 하는데 이때 센서의 面積이 넓어져서 局所部位의 熱流束을 測定하기 어렵게 된다^(8-11,16,17).

본 연구에서는 薄板形 熱流束 센서의 感度를 높임과 동시에 두께와 면적을 줄이기 위한 방안으로서 시벡 계수(Seebeck coefficient)가 일반 熱電對材料보다 월등히 큰 半導體 熱電材料를 이용하여 薄板形 센서를 제작하고 그 性能을 조사하였다. 센서의 제작에 사용한 熱電材料는 Melcor 社에서 熱電 熱펌프 생산에 사용하기 위하여 개발한 素子로서 통상 텔루루화 비스무스(bismuth telluride)라

불리우며 그 組成은 비스무스, 텔루륨, 셀레늄, 안티몬의 4가지 合金에 微量의 不純物(dopent)이 첨가된 것으로 不純物의 종류에 따라 전기적인 P형 또는 N형의 半導體가 되는 것으로 알려져 있으며 Table 1에 物性値가 나타나 있다^(12,13).

2. 測定原理 및 센서의 製作

2.1 測定原理

Fig. 1의 (a)와 같이 두께 t , 熱傳道率 k 이고 양면의 溫度差가 ΔT 인 薄板을 통하여 熱이 一次元的으로 전달되는 경우를 고려하면, 熱流束은 Fourier의 熱傳道 法則에 의하여 다음과 같이 표시된다.

$$q = -k \frac{dT}{dx} \cong k \frac{\Delta T}{t} \quad (1)$$

여기에 Fig. 1의 (b)와 같이 熱電對를 n 接點 直列로 연결하면, 서모파일 양단에 나타나는 轉位差는 시벡 계수의 定義에 의하여

$$\Delta E = n\alpha\Delta T \quad (2)$$

이므로 식 (1)에 대입하면 다음이 된다.

$$q = \frac{k}{n\alpha} \Delta E \quad (3)$$

여기서 k, α 와 t 를 일면 電位差를 測定하여 熱流束을 算定할 수 있으며, 우변 계수의 逆數가 클수록 주어진 熱流束에 대하여 큰 轉位差가 발생되므로 이것이 곧 센서의 感度가 된다⁽⁹⁾.

熱電材料는 材質이 非金屬으로서 接點을 만들기 어려우므로 본 연구에서는 Fig. 1의 (c)와 같이 양면의 接續을 電氣 傳道成 페인트로서 단순히 연결하는 구조로 제작하였다. 이것은 原理적으로 (b)와 전혀 차이가 없으며 熱電素子가 電位를 發生함과 동시에 熱抵抗 役割을 하게되는 점이 특이하다.

Table 1 Property of the bismuth telluride element

Property	Data
Thermal conductivity, K	1.5 W/m K
Electric resistivity, R	10.5 ohm m
Seebeck coefficient, α	220×10^{-6} V/K
Density, ρ	7300 kg/m ³
Specific heat, C	544 kJ/kg K
Coefficient of volume expansion, β	Length; 22.2×10^{-6} K ⁻¹ Width; 12.9×10^{-6} K ⁻¹

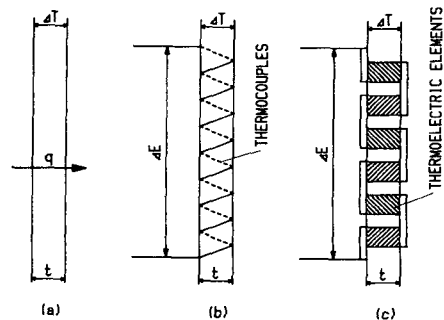


Fig. 1 Principle of the wafer type heat flux sensor.

2.2 센서의 製作

센서의 제작은 먼저 모눈종이 등으로서 적당한 크기의鑄型틀을 만들고, 그 속에 P形과 N形의素子(1.40mm×1.40mm×1.52mm) 및 리드線端子用 구리선을 Fig. 2와 같이 交互로 배열한 다음, araldite 樹脂(CT-200, Ciba Geigy社, 스위스)를 130°C의 一定 溫度로 1.5時間 加熱하여 녹인 뒤 hardener(HT-901, Ciba Geigy社, 스위스)를 잘 혼합하여 에폭시 溶液을 만들고 다시 1時間 정도 加熱하였다가鑄型틀에 서서히 부어넣고, 다시 130°C로 약 10시간 동안 硬化시킨 뒤 서서히 冷却시킨다. 이와같이 하므로서 에폭시의 脆性을 줄이고 내부에 氣胞가 생기는 것을 방지할 수 있었다⁽¹⁴⁾.

에폭시가 완전히 硬化하면 砂布로서鑄型틀을 제거하고 일정한 두께와 형태로 研削하며, 이렇게 모양이 갖추어진 센서를 한쪽 리드線 端子로부터 시작하여 다른 쪽 端子에 이르기까지素子 전체가 P

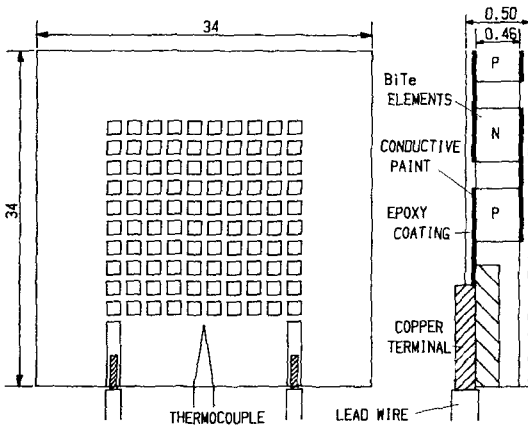


Fig. 2 Structure of a heat flux sensor using thermoelectric elements. (sensor-H)

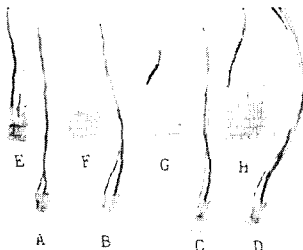


Fig. 3 Manufactured heat flux sensors using thermoelectric elements

형과 N형이 교대로 直列連結되도록 電氣傳導性 페인트로서 連結한 다음 양면을 보호하기 위하여 다시 에폭시 溶液을 얇게 칠하였다.

본 연구에서 최종 완성되어 성공적으로 補正이 끝난 센서는 8개로서 각각素子の數와 두께를 다르게 제작하였으며, Fig. 3은 제작된 8개의 센서이다.

3. 센서의 補正

熱流束 測定 센서의 感度는 熱流束에 대한 電位差의 比로서 定義되며 식 (3)으로부터 다음 식으로 計算할 수 있다.

$$S = \frac{tna}{k} \tag{4}$$

그러나 본 연구의 센서는 熱抵抗 부분이 에폭시와 熱電材料로 되어 있어 精確한 有效 熱傳導率을 산정할 수 없고 기존 센서와 마찬가지로 熱流動을 攪亂하므로 誤差가 발생한다. 따라서 제작된 센서들은 補正用 熱流束에 대하여 測定한 特性曲線 또는 補正常數가 결정되어야 실제 사용이 가능하며 본 연구에서도 이와같이 하므로서 他 센서와 性能을 비교하였다.

3.1 熱流束發生裝置

제작한 센서의 性能을 조사하고 실제 사용을 위한 特性曲線을 만들기 위하여서는 補正用 熱流束發生裝置가 필요하다. 補正用 熱流束의 發生은, 電氣에너지가 消散되어 進량 熱로 變換되는 것을 이용하는 것이 보통이며, 壁面에서의 對流熱傳達을 이용하는 것과 粉末 속에 埋設하는 것의 두가지 방법이 있다^(15,16). 본 연구에서는 熱流束에 대한 理論解가 알려져 있는, 垂直壁面에서의 均一熱流束에서의 均一熱流束에 의한 自然對流 熱傳達을 이용한 형태로서 Fig. 4과 같이 제작하였다.

熱流束發生裝置의 主加熱板은 固有抵抗 5.15Ω/m, 幅 1.6mm, 두께 0.16mm의 니크롬線을 운모판 사이에 2.8mm 간격으로 卍字 형태로 배열하였고, 여기서 발생하는 熱이 모두 前面을 통하여 防熱되도록 하기 위하여 主加熱板 뒤쪽에 같은 규격의 補助加熱板을 설치하고, 그 사이에 5mm 두께의 石膏板에 C-C熱電對 100接點雙을 가지는 補助熱流束計를 설치하여 熱損失을 감지하도록 하였다. 主加熱板의 電力은 電壓調節器에 의하여 一定하게 공급되고, 補助加熱板의 電力은 補助熱流束計의 出力電

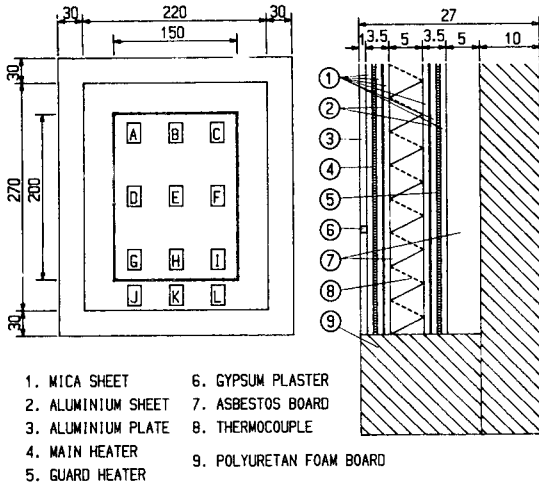


Fig. 4 Structure of the heat flux generator with guard heater

위가 0으로 收斂되도록 位相制御 方式으로 自動調節되게 하였으며 그 결과 換算된 溫度差가 0.05°C 이내로 유지되었다. 補助加熱板 뒷면에는 補助加熱량을 줄이기 위하여 5mm 석고판과 100mm 發泡 우레탄 板을 덧붙였으며, 裝置의 側面에도 發泡 우레탄으로 300mm씩 확장 단열하였다. 裝置의 前面 즉 熱流束試驗面은 平面性和 凹凸을 방지하기 위하여 1mm 두께의 알루미늄 板으로 처리하였고 板과 평행한 방향의 열손실을 줄이기 위하여 알루미늄 板 中間에 가로 15cm, 세로 20cm의 試驗面을 1mm

Table 2 Relative local heat flux from trest section measured by sensor-D, $q_{in}=725W/m^2$

Position	Output voltage mV	Deviation $x_i - x_m$, mV	$(x_i - x_m) / x_m$ %
A	2.040	-0.0377	-1.814
B	2.078	0.0003	1.014
C	2.089	0.0113	1.543
D	2.074	-0.0037	-1.178
E	2.085	0.0037	0.351
F	2.065	-0.0127	-0.611
G	2.086	0.0083	0.399
H	2.092	0.0143	0.688
I	2.089	0.0113	0.543
J	2.072	-0.0057	-0.274
K	2.084	0.0063	0.303
L	2.078	0.0003	0.014

$x_m = 2.078, a^2 = 1.875 \times 10^{-4}, a = 0.0137$

간격으로 구분하고 석고로 메웠다. 또한 壁面의 溫度를 測定하기 위하여 알루미늄 板 뒷면에서 0.5~0.9mm 깊이로 구멍을 뚫고 5 개의 C-C熱電對를 試驗面 中間地點에 2cm 간격으로 심었으며 실험결과 구멍의 깊이에 따른 溫度差는 意味가 없었으므로 가운데 地點의 熱電對의 測定值를 壁面溫度로 취하였다.

이와같이 제작된 裝置의 發生熱流束이 均一한가 알아보기 위하여, 垂直으로 세운 상태에서, Fig. 4에 表示된 12 地點에 대하여 製作된 传感器 중의 하나(D)로서 熱流束을 檢證하였다. 즉, 主加熱器에 45W (725W/m²)의 電力을 供給하여 出力電位가 定常狀態에 이룬 후, 각 지점에 대하여 30分 간격으로 3회씩 測定하여 平均값을 취한 결과가 Table 2에 나타나 있다. 그 결과 最大誤差 1.81%, 標準偏差 0.66%로서 試驗面에는 均一한 熱流束이 發生하는 것으로 간주할 수 있음을 확인하였다.

3.2 熱流束發生裝置의 熱流束 算定

센서를 補正하여 사용하기 위하여서는 發生되는 熱流束을 精確히 알 수 있는 補正用 熱流束이 필요하며, 본 연구에서 제작한 熱流束發生裝置는 上記와 같이 뒷면과 측면에 斷熱條件을 形成하였으므로 主加熱板의 電力이 全量 試驗面을 통하여 放熱되기를 期待하였으나, 數次에 걸친 여러가지 형태의 熱流束發生裝置의 製作 및 豫備實驗 결과 完전한 斷熱은 極히 어려웠다. 즉 熱損失이 전혀없는 理想的인 경우의 電氣의 入力을 試驗面 面積으로 나눈 값 (ideal line)과 表面溫度 測定에 의한 理論值 및 商用의 熱流束 測定裝置에 의한 測定值 등의 비교가 Fig.5와 Table 3에 나타나 있으며, 본 연구에서는

Table 3 Comparison of heat fluxes measured by wattmeter and calculated with wall temperature

Electric power input, W	10	20	30	40
Heat flux generated, W/m ²	160	321	482	642
Room temperature, K	290.0	290.4	290.2	290.6
Wall temperature, K	314.8	333.8	352.8	368.9
Heat calculated, W/m ²	104	207	318	422
q_{out}/q_{in}	0.650	0.645	0.659	0.657
Heat flux by THERM-2088, W/m ²	109	209	325	-

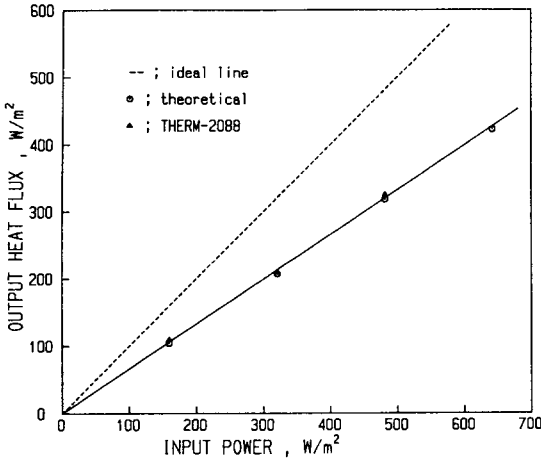


Fig. 5 Comparison of the input power and measured heat fluxes

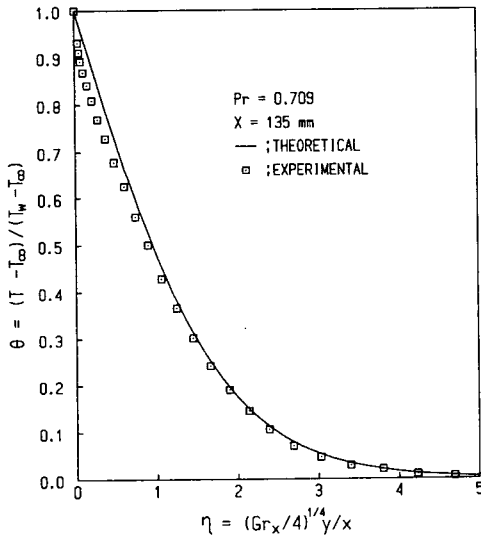


Fig. 6 Comparison of temperature distributions measured and calculated in the thermal boundary layer

정확한 補正 자체가 目的이 아니므로 일단 壁面 溫度 測定에 의한 理論值를 代表값으로 취하여 다음의 설명에 사용하였다. 그 이유로서 비교적 高級製品인 THERM-2088(THERM社, 서독)과 결과가 근사한 값을 보여주고 있고, 熱電對 移送에 의하여 측정된 溫度境界層 내의 溫度分布가 Fig. 6과 같이 理論分布와 잘 일치하기 때문이다^(19~21).

여기서 理論分布는 垂直壁面 주위의 自然對流 境界層에 대한 連續方程式, 運動方程式과 에너지 方程式,

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{5}$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \nu_{\infty} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + g\beta(T - T_{\infty}) \tag{6}$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\nu_{\infty}}{Pr} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \tag{7}$$

을 境界條件,

$$u_{y=0} = v_{y=0} = u_{y=\infty} = 0 \tag{8}$$

$$T_{y=\infty} = T_{\infty} = \text{一定} \tag{9}$$

$$q_w = k \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{y=0} = \text{一定} \tag{10}$$

에 대하여 變數變換 및 相以解 假定에 의하여 풀 結果이며, 이 때 壁面에서의 熱流束은

$$q_w = k \left(\frac{g\beta}{\nu^2} \right)^{1/4} \frac{-\theta'(0)}{\sqrt{2}} (T_w - T_{\infty})^{5/4} x^{-1/4} \tag{11}$$

로 표시되므로 壁面온도와 대기온도를 측정하면 계산이 가능하다.

이렇게 볼 때 算定된 熱流束은 電氣的 入力の 65.3%로서 나머지 34.7%가 試驗面 이외로 損失放 熱되었다고 간주하는 것이 되며, 실제로 非試驗面인 擴長斷熱部分이 주위보다 현격히 높은 온도가 됨을 확인할 수 있었다. 또한 Fig. 6의 溫度分布의 測定值를 커브 피팅한 다음 表面地點에서의 溫度勾配를 구하여 熱流束을 計算하여 보았으나 커브 피팅의 回歸曲線의 形態등에 따라, 최고 수백 퍼센트의 차이가 나므로 그 結果의 표시는 생략하였다.

3.3 補正實驗

Fig. 7은 센서 補正實驗의 裝置 配列圖이며 補正實驗은 다음과 같이 수행하였다. 앞서 제작한 熱流束發生裝置를 가로 1.5m, 세로 1.5m, 높이 1.1m의 밀폐공간속에 설치하고 試驗面 中間地點에 補正하

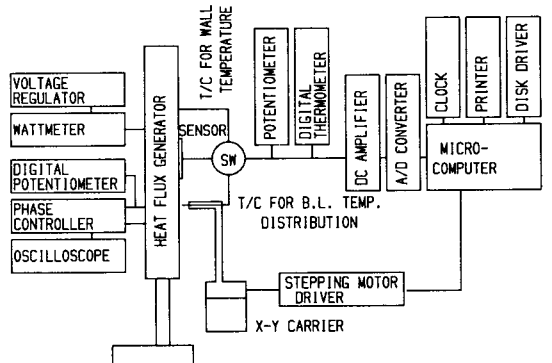


Fig. 7 Schematic diagram of the facility arrangement to compensate heat flux sensors

고자 하는 센서를 부착하였다. 센서의 부착에는接觸熱抵抗을 줄이기 위하여 silicone heat sink compound(Dow Corning社, U.S.A)를 사용 하였다. 다음은 熱流束發生裝置의 主加熱板에 와트미터와 電壓調節器로서 적절한 量의 電力을 供給하여 熱을 발생시키며 동시에 位相制御器를 통하여 補助加熱板에도 電力 供給한다. 이때 位相制御器는 補助熱流計의 出力轉位가 0으로 收斂되도록 補助加熱板에 電力을 自動調節 供給해 주며 이것을 電位差計와 오실로스코프로서 확인한다.

試驗面에서 熱流束이 發生하면 부착된 센서에 電位가 나타나며 이것을 DC增幅器로 최고 5V이하가 되도록 增幅시켜, 12비트 A/C 變換器를 통하여 4095이하의 數值로 바꾼다음 마이크로컴퓨터(Apple II)로 입력시키면, 이 수치는 미리 補正된式에 의하여 電位差로 換算되어 畫面 및 프린터로 出力된다. 이 값이 충분히 定常狀態에 도달하였을 때 본격적 測定을 시작하며, 컴퓨터 내에는 時計가 내장되어 있어 每秒마다 10~11개씩 11초 동안 수치를 읽어 平均값을 計算하여 프린트로 記錄하며, 30分 간격으로 3회 반복측정하여 값이 변하지 않음을 확인하였다. 또한 이때 와트미터의 電力을 기록하여 Fig. 5에 의하여 發生 熱流束을 計算한다.

熱流束 센서는 附着 및 脫去가 번거롭고 附着狀態에 따라 測定值의 起伏이 심하므로 한번 附着한 센서에 대하여는 여러가지 熱流束에 대하여 補正을 끝낸 다음 他센서와 바꾸어 실험을 반복하였다.

4. 結果 및 考察

4.1 센서의 感度

본 연구에서는 熱電材料를 이용한 8개의 센서 외에, 직경 0.5mm C-C熱電對材料를 사용하여 18接點雙을 가지는 같은 구조의 센서를 다수 제작하였으며 그 중 하나와, 두께와 형상이 비슷한 商用의 센서(THERM-8496, THERM社, 서독)와 性能을 比較하였다.

Fig. 8은 熱流束發生裝置의 試驗面에서 發生되는 熱流束을 변화시키면서, 부착된 센서들에서 나타나는 電位差를 測定한 結果를 도시한 것이다. C-C熱電對 材料를 이용한 센서의 경우는 熱流束에 대한 電位差의 發生이 매우 작아 그림에 나타내지 않았으나 Table 4에 特性이 나타나 있다. 그림에서 보는 바와 같이 센서 出力의 線形性은 매우 양호하

Table 4 Sensivities of manufactured heat flux sensors

Sensor	No. of Elements	Thickness t mm	Sensitivity S mV-cm ² /W	Characteristic sensitivity, s mV-cm/W
A	2	0.50	9.021	9.02
B	2	1.10	32.29	14.67
C	4	0.50	11.23	5.61
D	4	1.10	43.13	9.80
E	16	0.45	42.62	5.92
F	64	0.27	104.6	6.05
G	64	0.50	168.9	5.27
H	100	0.50	251.7	5.03
C-C	36	0.30	1.452	0.134
THERM-8496	774	0.50	221	0.568

며, 反復測定時 일단 附着된 상태에서 10여회 정도의 加熱 및 冷却에 대하여는 性能의 變化가 나타나지 않았다.

Table 4는 각 센서의 規格 및 試驗結果를 數值로서 比較한 것으로, 전반적으로 센서의 두께가 두꺼울수록 그리고 素子の 數가 많을수록 感度는 큰 값을 나타내며, 같은 두께의 경우 感度는 素子の 數에 대체로 比例함을 알 수 있다. 따라서 센서의 單位 두께, 素子 한 個當의 特性感도가 큰 의미를 가질 것으로 예상할 수 있으며 理論적으로는 식(4)로부터

$$s = \frac{S}{tn} = \frac{\alpha}{k} \tag{12}$$

이 되어 시백 계수를 열전도율로 나눈 값이 된다. 따라서 Table 1에 나타난 熱電材料의 物性值를 대

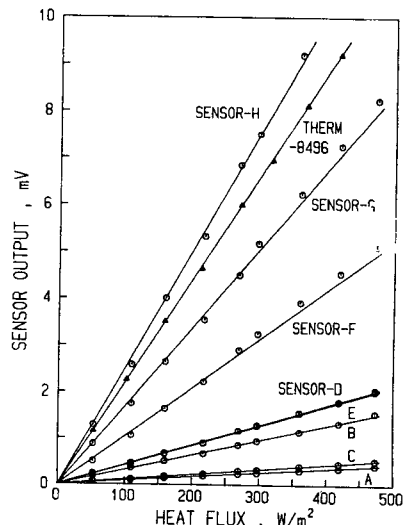


Fig. 8 Output voltages of heat flux sensors as a function of generated heat flux

입하면 14.67mVcm/W가 되는데, 각 센서의 感度を 素子數와 두께로 나눈 실제의 特性感度は, 센서 B만이 이와 비슷하고 나머지는 모두가 더 작은 값을 보여준다. 이것은 센서의 構造가 素子和 에폭시로 되어 있어 素子로부터 에폭시로 熱이 흘러나가기 때문이며, 에폭시 대신 熱傳道率이 매우 낮은 材料를 사용한다면 素子周圍에 斷熱條件이 형성되어 식 (5)에 의한 理論的인 特性感度に 접근하게 될 것이다. 그러나 素子の數가 많아짐에 따라 特性感度は 5.0mVcm/W에 收斂하고 있으며, 素子數가 많을수록 素子로부터 周圍의 에폭시로 熱이 傳達되기 어렵다는 점을 감안한다면 오히려 이 값이 理想的인 特性感度이고 素子の數가 적은 경우에는 에폭시로 부터 素子로 熱이 流入되어 큰 特性感度を 나타낸다고 예측할 수도 있을 것이며, 보다 정확한 이유를 규명하기 위하여서는 센서 周圍의 熱傳達에 대한 數值計算 및 보다 많은 센서의 試作에 의한 檢證이 필요할 것이다. 그리고 素子の數가 比較的 적은 센서-A, B 및 C와 D의 경우 두께가 두꺼울수록 特性感도가 더 크게 나타나고 있으나 그 이유는 不明하며 素子の數가 비교적 많은 센서-F와 G의 경우는 반대로 나타나 있어서 이것 역시 간단히 결론을 내릴 수는 없을 것이다. 이와 같은 센서 特性의 不明性은, 센서 自體는 대체로 熱的 抵抗役割을 하여 기본 熱流動을 分散시키게 되고, 센서 內에서는 에폭시와 素子の 熱傳道率의 차이 및 周圍條件에 따라 熱流動이 素子部分으로 集中되기도 하고 分散되기도 하는 點이 중첩되어 나타나는 것으로 생각된다.

전반적으로 볼 때 熱電材料를 사용한 센서의 特性感度は 商用製品에 비하여 10여배, 熱電對 材料 사용에 비하여 30여배 크게 나타나고 있으며, 이는 같은 感度を 얻기 위하여 같은 두께의 경우 素子 또는 接點雙의 數를 1/10 또는 1/30으로 적게 할 수 있음을 의미한다.

4.2 大氣溫도의 影響

본 연구에서는 일단 外氣溫도가 일정한 경우에 대하여서만 實驗을 행하였으나 氣溫이 변화하면 같은 熱流束일지라도 센서의 平均溫도가 변하므로 熱電材料의 熱傳道率이나 시백 係數가 變하여 感度も 변할 것으로 생각된다. 그럼에도 불구하고 Fig. 5 또는 Fig. 8에서와 같이 센서의 出力電位는 거의 線形性을 보여주며 이는 곧 센서의 感도가

20~100°C 구간에서는 거의 영향을 받지 않는다고 결론지을 수 있을 것이며 따라서 특별한 精密性을 요하지 않는 경우 氣溫의 변화는 고려할 必要가 없을 것이다.

4.3 센서의 堅固性

市販되고 있는 薄板形 熱流束 센서는 얇은 斷熱板 兩面에 다수의 熱電對를 直列로 연결한 다음 兩面에 비닐 樹脂를 덧대어 壓着하거나 실리콘 樹脂 등으로 물딩한 형태로 되어 있어 굽힘에 대하여 어느 정도 융통성이 있으며 거의 反永久的으로 反復使用할 수 있다. 그러나 본 연구에서 제작한 센서는 熱電材料가 非金屬이므로 電氣의 연결이 어렵고 結晶方向으로 잘 조개지므로 센서를 柔軟하게 만들 수 없다는 短點이 있고, 따라서 接着劑에 의한 脫着의 反復時 素子が 떨어져 나오거나 센서가 파손되기 쉬우며 電氣的 斷絶이 자주 발생하였다. 이것을 방지하기 위하여 본 연구에서는 에폭시를 사용한 基板材料 자체에 대한 연구가 필요하였으며, 電氣傳道性 페인트 대신 眞空蒸着法으로 素子の 電氣的 연결을 시도하였으나 비용이 많이 들고 蒸着 두께가 얇을 시 역시 斷絶이 자주 발생하였다. 그러나 이러한 短點들은 센서의 두께를 0.5mm 이상으로 할 경우는 큰 문제가 되지 않으며, 아예 低價格의 一回用 製品으로 大量生産하는 것을 생각해 볼 수 있으나 센서마다 特性曲線 또는 補正係數 結晶을 위한 補正實驗이 필요하므로 역시 문제가 있다.

따라서 본 연구에서 시도한 熱電材料의 이용은, 高感度を 얻을 수 있으므로 小型으로 만들어 複雜한 形狀 物體의 熱傳達 研究 등 특수목적에 적합하며, 一般 商用으로 實用化하기 위하여서는 센서의 구조, 基板材料 製作方法 등에 대한 연구가 상당히 더 수행되어야 가능할 것으로 생각된다.

5. 結 論

壁面을 통하여 傳達되는 熱流動에 대하여, 局部部位에서의 熱流束을 보다 정확히 測定하기 위하여서는 感知部의 크기와 두께를 줄여야 하고 그러기 위하여서는 感知部의 感度を 向上시켜야 하며, 이를 위하여 熱流束의 感知材料로서 기존의 熱電對材料보다 熱電效果가 월등히 큰 半導體 熱電材料를 이용하는 方案을 실제 熱流束 센서를 제작하여 試驗, 檢討하였다.

熱電材料는 半導體 材質로서 溶接이 되지 않아 接點의 形成이 어려우므로 새로운 제작방법을 고안 하였고 그 결과 제작된 센서는 反復使用을 위한 堅固性에 약간의 문제점이 있으나 感度面에서는 기존의 熱電對를 이용한 경우보다 약 10여배 우수하였다. 따라서 複雜한 形象의 熱器機 등의 局部部位에서 熱流束 測定이나 熱傳達 實驗 등 精密한 熱流束 測定이 요구되는 경우, 特別製作 및 사용이 기대되며 大量生産에 의한 實用化를 위하여서는 센서의 材料, 形象, 製作方法 등에 대한 再檢討 및 補正方法에 관한 연구가 계속되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 1985~1986년 한국과학재단의 연구비 지원에 의하여 이루어진 것이며 이에 대하여 감사드립니다.

參 考 文 獻

- (1) Holman, J.P. and Gajida, W.J., 1984, "Experimental Methods for Engineers", 4th ed., McGraw Hill, New York, pp.367~370.
- (2) Moore, R.E. ed., 1976, "Basic Instrumentation Lecture Notes and Study Guide", 2nd ed., Instrument Society of America, Pittsburg, pp.205~220.
- (3) Van Heiningen, A.R.P., Douglas, W.J.M. and Mujumdar, A.S., 1985, "A high sensitivity, fast response heat flux sensor", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.28, No.9, pp.1657~1667.
- (4) Yoshihiro Iida and Haruhiko Shigeta, 1982, "Measurement of Thermophysical Properties of Solids by Arbitrary Heating", Bulletin of the JSME, Vol. 25, No.206, pp.1273~1280.
- (5) Tanner, R.I., 1967, "Theory of Thermal Fluxmeter in a Shear Flow", ASME J. of Applied Mechanics, pp.801~805.
- (6) Anson, D. and Godridge, A.M., 1967, "A simple method for measuring heat flux", J. Sci. Instrum., Vol. 44, pp.541~544.
- (7) Shashkov, A.G., 1980, "Dynamic Method for Measuring Heat Flux", Measure Tech. Vol. 23, No.5, pp.415~420.
- (8) Buravoi, S.E., Nachkebiya, B.G. and Platonov, E. S., 1980, "Transient Condition Methods for Calibrating and Testing Contact Heat Flow MeterK", Measure Tech., Vol. 23, No.5, pp.421~425.
- (9) Kuehn, T.H., 1982, "Temperature and Heat Flow Measurements from an Concrete Bermed Wall and Adjacent Floor", ASME J. of Solar Energy Engineering, Vol. 104, pp.15~22.
- (10) Nathaniel, E. and Hager, JR., 1965, "Thin Foil Heat Meter", The Review of Scientific Instruments, Vol. 36, No. 11, pp.1564~1570.
- (11) Nathaniel, E. and Hager, JR., 1960, "Thin Heater Thermal Conductivity Apparatus", The Review of Scientific Instruments, Vol. 31, No. 2, pp.177~185.
- (12) Marlow Industries, Inc., Catalog No.98-002, "Guide to Thermoelectric Heat Pumps".
- (13) Melcor Co., Technical Data, 1986, "Solid State Cooling with Thermoelectrics".
- (14) 최선호, 황재석, 채영석, 1983, "테프론 모듈딩법에 의한 S.I.F의 광탄성 실험해석", 대한기계학회 논문집, 제 7 권, 제 1 호, pp.1~10.
- (15) 後藤延久, 1980, "熱流系適用における精度管理とシテス", 計裝, 23-3, pp.28~35.
- (16) 加藤征彦, 1981, "熱漏れ探しと熱計測技術", 配管技術, pp.87~92.
- (17) 林正徳, 桜井晃, 麻生茂, 1985, "多層薄膜熱流束セコサの試作とそれによる新しい熱流束測定法に関する研究", 日本航空宇宙學會誌, 第 33 卷, 第 380 號, pp.525~531.
- (18) 馬場哲也, 1985, "熱流の計測技術", 工業技術, 第 26 卷 第 12 號, pp.41~45.
- (19) Burmeister, L.C., 1983, "Convective Heat Transfer", John Wiley, New York, pp.530~533.
- (20) Adams, J.A. and Rogers, D.F., 1973, "Computer Aided Heat Transfer Analysis", McGraw Hill, Tokyo, pp. 281~295.
- (21) Yogesh Jaluria, 1980, "Natural Convection Heat and Mass Transfer", Pergamon Press, Oxford, pp.10~62.