

논문 98-7-3-02

## 백금 히터가 내장된 평면형 Bi-Sb 다중접합 열전변환기의 특성

이현철\*, 김진섭\*\*, 함성호\*\*\*, 이종현\*, 이정희\*, 박세일\*\*\*\*, 권성원\*\*\*\*

## Characteristics of a planar Bi-Sb multijunction thermal converter with Pt-heater

H. C. Lee\*, J. S. Kim\*\*, S. H. Ham\*\*\*, J. H. Lee\*, J. H. Lee\*, S. I. Park\*\*\*\*, and S. W. Kwon\*\*\*\*

## 요 약

필라멘트 모양의 백금 박막 히터 및 Bi-Sb 박막 열전퇴(thermopile)의 고온 접합부를 열차단막 역할을 하는  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$  다이아프램위에, 열전퇴의 저온 접합부를 방열판 역할을 하는 실리콘 기판에 의해 지지되는 유전체 멤베레인위에 각각 형성시켜, 열감도가 높고 교류-직류 변환오차가 작은 평면형 Bi-Sb 다중접합 열전변환기를 제작하고, fast reversed dc 방법으로 변환기의 교류-직류 변환특성을 측정하였다. 단일 bifilar 히터로 제작된 변환기의 열감도는 공기 및 진공중에서 각각 약 10.1 mV/mW 및 14.8 mV/mW였고, 2중 bifilar 히터로 제작된 변환기의 열감도는 안쪽 및 바깥쪽에 있는 히터를 입력으로 하였을 경우 공기 및 진공중에서 각각 약 5.1 mV/mW 및 7.6 mV/mW 그리고 각각 약 5.3 mV/mW 및 7.8 mV/mW로서, 기체에 의한 열손실이 거의 없는 진공중에서의 열감도가 공기중에서의 열감도보다 더 높게 나타났다. 10 kHz이하의 주파수 범위에서 변환기의 교류-직류 전압 및 전류 변환오차 범위는, 단일 bifilar 히터로 제작된 경우 공기중에서 각각 약  $\pm 1.80$  ppm 및  $\pm 0.58$  ppm이었고, 2중 bifilar 히터로 제작된 경우 안쪽 및 바깥쪽 히터를 입력으로 하였을 때 공기중에서 각각 약  $\pm 0.63$  ppm 및  $\pm 0.25$  ppm 그리고 각각 약  $\pm 0.53$  ppm 및  $\pm 0.27$  ppm였다.

## Abstract

A planar Bi-Sb multijunction thermal converter with high thermal sensitivity and small ac-dc transfer error has been fabricated by preparing the bifilar thin film Pt-heater and the hot junctions of thin film Bi-Sb thermopile on the  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ -diaphragm, which functions as a thermal isolation layer, and the cold junctions on the dielectric membrane supported with the Si-substrate, which acts as a heat sink, and its ac-dc transfer characteristics were investigated with the fast reversed dc method. The respective thermal sensitivities of the converter with single bifilar heater were about 10.1 mV/mW and 14.8 mV/mW in the air and vacuum, and those of the converter with dual bifilar heater were about 5.1 mV/mW and 7.6 mV/mW, and about 5.3 mV/mW and 7.8 mV/mW in the air and vacuum for the inputs of inside and outside heaters, indicating that the thermal sensitivities in the vacuum, where there is rarely thermal loss caused by gas, are higher than those in the air. The ac-dc voltage and current transfer difference ranges of the converter with single bifilar heater were about  $\pm 1.80$  ppm and  $\pm 0.58$  ppm, and those of the converter with dual bifilar heater were about  $\pm 0.63$  ppm and  $\pm 0.25$  ppm, and about  $\pm 0.53$  ppm and  $\pm 0.27$  ppm, respectively, for the inputs of inside and outside heaters, in the frequency range below 10 kHz and in the air.

\* 경북대학교 전자전기공학부(School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook Nat'l Univ.)

\*\* 인제대학교 전자공학과(Dept. of Electronic Engineering, Inje Univ.)

\*\*\* 경북대학교 센서기술연구소(Sensor Technology Research Center, Kyungpook Nat'l Univ.)

\*\*\*\* 한국표준과학연구원 전자기연구부(Div. of Electromagnetic Metrology, Korea Research Institute of Standards and Science)

&lt;접수일자 : 1998년 1월 7일&gt;

## 1. 서 론

교류측정에서는 직류측정에서의 표준전지와 같은 교류표준이 없기 때문에 정확하고 용이한 측정방법의 실현이 어렵다. 그러므로 교류의 정확한 측정을 위해서는 교류 및 직류에 대해 응답이 동일하거나 또는 교류값

과 직류값의 차이를 정확히 알 수 있는 변환기를 사용하여 교류를 등가의 직류로 변환시키고 변환된 직류값을 직류표준과 비교하여야 하는데, 이러한 변환기를 교류-직류 변환기(ac-dc converter)라 한다. 일반적으로 주파수가 1 MHz이하인 교류의 표준은 직류표준으로부터 유도되며, 이를 위하여 교류-직류 변환기가 사용된다. 교류-직류 변환기로서 교류 및 직류 입력에 모두 응답하는 다양한 종류의 계측기가 사용될 수 있지만, 측정이 가능한 교류신호의 크기 및 주파수 범위가 비교적 넓은 열전형 교류-직류 변환기(thermoelectric ac-dc converter) 또는 열전변환기(thermal converter)가 주로 사용되고 있다[1-3].

열전형 교류-직류 변환기는 교류입력을 열로 바꾸어 주는 히터 및 히터에서 발생된 열을 감지하여 직류출력을 발생시키는 열전쌍(thermocouple)으로 구성되는 가장 간단한 구조의 단일접합 열전변환기(SJTC : single-junction thermal converter)에 그 기초를 두고 있다. 그러나 단일접합 열전변환기에서는 히터의 교류 입력에 대한 열전쌍의 직류출력 비 즉 열감도(thermal sensitivity)가 낮고, 또한 히터 자체에서의 불균일한 온도분포 및 히터의 발열부와 이것의 지지선사이의 접합에서 발생하는 열전효과(thermoelectric effect)에 의해 교류-직류 변환오차(ac-dc transfer difference)가 비교적 크게 나타난다[4,5]. 단일접합 열전변환기의 출력전압은 10 mV이하이고 교류-직류 변환오차는 10 ppm정도이나, 교류 전압 또는 전류를 정확하게 측정하기 위해서는 열전변환기의 출력전압이 100 mV이상으로 되어야 하고 교류-직류 변환오차는 1 ppm이하로 되어야 한다.

상기한 단일접합 열전변환기의 문제점들을 해결하고자 열감도가 높고 교류-직류 변환오차가 크게 감소된 3차원 구조의 다중접합 열전변환기(3-D MJTC : 3-dimensional multi-junction thermal converter)가 사용되어 왔으나, 3차원 다중접합 열전변환기의 경우 직경이 10  $\mu\text{m}$ 정도 되는 매우 미세한 히터를 다루어야 하는 등 제작공정이 어려워 공정수율이 매우 낮고 또한 제작시간도 많이 소요되었다. 최근에는 3차원 다중접합 열전변환기 제작공정의 문제점을 극복하기 위해 반도체 공정기술을 응용한 평면형 다중접합 열전변환기(planar multi-junction thermal converter)를 개발하여 교류의 실용 표준기(practical standards)로 사용하고자 하는 시도가 여러 연구자들에 의해 활발하게 이루어지고 있다[6-11].

본 연구에서는 변환기의 열감도를 증가시키고 교류-직류 변환오차를 최소화하기 위한 방법으로서, 특히 평면형 열전변환기에 있어서 근본적인 문제점인 기관을 통한 히터에서 발생된 열의 손실(thermal loss)을 방지하기 위해 bifilar 모양의 백금(Pt) 히터 및 Bi-Sb 열전쌍이 서로 직렬로 연결된 열전퇴(thermopile)의 고온 접합(hot junction)부분을 열차단(thermal isolation)효과가 매우 우수할 뿐만 아니라 실리콘 기관과의 스트레스트 균형이 이루어져 내재 스트레스(built-in stress)가 매우 작은  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ (이하 'N/O/N'으로 표시함) 다이아프램위에 각각 형성시키고[12,13], 또한 열전퇴의 고온 접합부분과 저온 접합부분(cold junction)사이의 온도차이를 크게 하여 열전퇴의 직류출력을 증가시키기 위해 열전퇴의 저온 접합부분은 방열판(heat sink) 역할을 하는 실리콘 기관에 의해 지지되는 상기한 적층 유전체 멤버레인에 형성하여, 열감도가 높고 교류-직류 변환오차가 작은 평면형 Bi-Sb 다중접합 열전변환기를 제작하였고, 열감도, 출력 열기전력의 안정도, 히터 저항의 안정도 및 교류-직류 변환오차 등 열전변환기의 주요 특성에 대하여 논의하였다.

## II. 열전변환기의 제작

본 실험에서는 열전변환기의 제작을 위한 기관으로서 결정면이 (100), 비저항이 4-15  $\Omega \cdot \text{cm}$ , 두께가 약 500  $\mu\text{m}$ 이며, 양면이 경면으로 연마되고, 인(P)이 도핑된 직경 5 인치의 N형 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 그림 1은 열전변환기의 제작공정 순서를 나타낸 것이다.

실리콘 기관을 초기 세척한 후, 히터와 실리콘 기관 사이의 열차단을 위한 샌드위치 구조의 150 nm- $\text{Si}_3\text{N}_4$ /

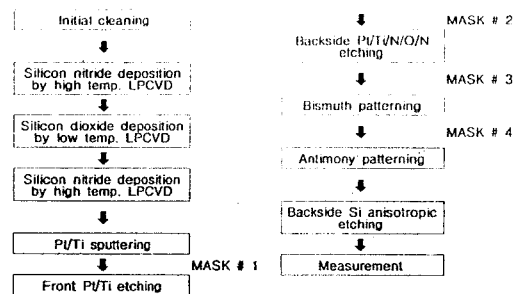


그림 1. Bi-Sb 열전변환기의 제작공정 순서

Fig. 1. Process sequence for the fabrication of a Bi-Sb thermal converter.

300 nm-SiO<sub>2</sub>/150 nm-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 멤베레인을 기판위에 형성하였다. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 막의 경우 고온 LPCVD방법으로 약 780 °C의 온도 및 약 270 mTorr의 진공도에서 SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>와 NH<sub>3</sub>의 혼합가스를 사용하여 증착하였고, SiO<sub>2</sub> 막의 경우는 저온 LPCVD방법으로 약 440 °C의 온도 및 약 250 mTorr의 진공도에서 불순물 도핑을 위한 가스의 첨가 없이 SiH<sub>4</sub>와 O<sub>2</sub>의 혼합가스를 사용하여 증착하였다.

실리콘 기판을 식각하여 유전체 멤베레인을 다이아프램 구조로 제조하였을 때 유전체 다이아프램의 수평방향 열전도도(lateral thermal conductivity)는 약 2.4 W · (m · K)<sup>-1</sup>로서 실리콘 기판의 벌크 열전도도 약 140 W · (m · K)<sup>-1</sup>보다 훨씬 작고, 또한 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 막 및 SiO<sub>2</sub> 막의 증착방법 및 두께를 적절하게 선택하면 실리콘 기판에 의해 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 막에 나타나는 인장스트레스(tensile stress)와 SiO<sub>2</sub> 막에 나타나는 압축스트레스(compressive stress)가 서로 균형을 이루게 할 수 있으므로, 상기한 유전체 다이아프램을 열에 의한 기계적 스트레스의 변화가 매우 작은 우수한 열차단막으로 사용할 수 있다[12,13].

유전체 멤베레인을 형성한 후 고주파 마그네트론 스퍼터링 장치로 기판의 앞면 및 뒷면에 공히 Pt 막과 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 막사이의 접착력을 증가시키기 위한 약 40 nm 두께의 Ti 및 약 230 nm 두께의 Pt를 순차적으로 각각 증착하였다. 그 다음 1번 마스크 및 2번 마스크를 양면 정렬하여 감광액의 패터를 형성시킨 후, 약 80 °C의 식각용액(HNO<sub>3</sub>:HCl:H<sub>2</sub>O=1:7:8)으로 Pt/Ti 막을 식각하여 기판의 앞면에는 백금 히터 및 와이어 본딩 패드 패터를 기판의 뒷면에는 유전체 멤베레인을 식각할 때 사용할 마스크 패터를 각각 형성하였다. 기판 뒷면에 있는 유전체 멤베레인의 식각을 위해서는 기판 앞면에 있는 Pt/Ti 막의 식각공정시 동시에 형성된 기판 뒷면의 Pt/Ti 막의 패터를 식각 마스크 패터로 하여 건식 및 습식 식각을 혼합하여 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 막 및 SiO<sub>2</sub> 막을 각각 식각하였다.

백금 히터의 패터는 히터에 전류가 흐를 때 나타나는 Thomson효과 및 Peltier효과에 의해 부가적으로 발생하는 열을 상쇄시키기 위하여 bifilar 모양으로 하였고, 또한 히터를 50 mW이하의 전력으로 동작시키기 위해 단일 bifilar 히터의 경우 선풍 및 □수를 각각 약 40 μm 및 100개로 하여 히터의 전체저항이 약 77 Ω정도 되었으며, 2중 bifilar 히터의 경우는 선풍을 약 25 μm로 하고 안쪽 및 바깥쪽 히터의 □수를 각각 140개 및 150개로 하여, 안쪽에 있는 히터의 저항이 약 185

Ω, 바깥쪽에 있는 히터의 저항이 약 207 Ω정도 되었다.

기판 뒷면에 있는 N/O/N 멤베레인의 식각이 끝난 후, 3번 마스크를 사용하여 lift-off를 위한 감광액 패터를 형성한 후 Bi를 약 700 nm의 두께로 진공증착하고 lift-off하여 Bi 패터를 형성하였고, 그 다음 Bi의 lift-off 공정과 동일한 방법으로 4번 마스크를 사용하여 약 500 nm 두께의 Sb 패터를 형성하여 Bi-Sb 열전퇴를 형성하였다. Bi 및 Sb의 접합을 양호하게 하기 위하여 Sb의 진공증착전에 Bi 막을 HCl:H<sub>2</sub>O=1:10의 용액으로 약 5초간 식각하여 Bi 막의 표면에 형성된 자연 산화막을 제거하였다,

본 실험에서는 열전퇴의 직류출력을 증가시켜 감도가 높은 열전변환기를 제작하기 위하여, 그림 2에서와 같이 단일 bifilar 히터를 갖는 열전변환기의 경우 38개의 Bi-Sb 열전쌍이 직렬로 연결된 열전퇴를 히터를 중심으로 좌우대칭이 되도록 배치하였고, 열전퇴의 고온 접합부와 히터의 가장자리사이 거리는 약 50 μm로 하

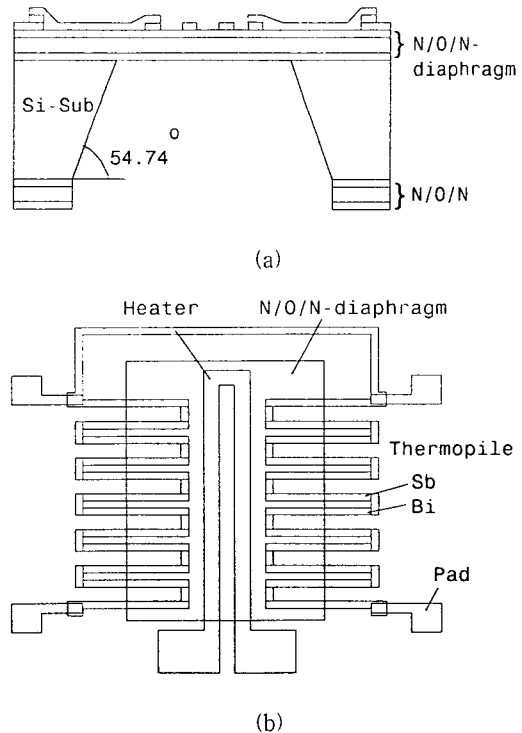


그림 2. 열전변환기의 개략도 : (a) 단면도 및 (b) 평면도

Fig. 2. Schematic diagrams of the thermal converter : (a) cross-sectional view and (b) top view.

였으며, 열전퇴의 전체저항은 약 7.8 k $\Omega$ 이었다. 또한 2중 bifilar 히터를 갖는 열전변환기의 경우는 그림 3(b)에서와 같이 58개의 Bi-Sb 열전쌍이 직렬로 연결된 열전퇴를 히터를 중심으로 좌우대칭이 되도록 배치하였고, 열전퇴의 고온 접합부와 바깥쪽에 있는 히터 및 안쪽에 있는 히터의 가장자리사이 거리는 각각 약 50  $\mu\text{m}$  및 100  $\mu\text{m}$ 로 하였으며, 열전퇴의 전체저항은 약 11.8 k $\Omega$ 이었다.

열전퇴를 구성하는 Bi 및 Sb의 열전도도가 각각 9.0 W·(m·K)<sup>-1</sup> 및 23.8 W·(m·K)<sup>-1</sup>으로서 서로 다르므로, 고온 접합부에서 저온 접합부로 전달되는 열량이 동일하게 되도록 하기 위해서는 Bi 및 Sb 막의 단면적

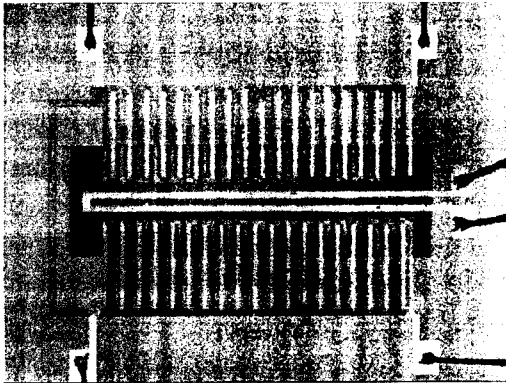
을 조정해야 한다[14]. 본 실험에서는 Bi 및 Sb의 선폴을 각각 약 35  $\mu\text{m}$  및 20  $\mu\text{m}$ 로 하였으므로, 단면적을 조정하여 전달되는 열량을 같게 하기 위하여 이들의 두께를 각각 약 700 nm 및 500 nm로 하였다. 그리고 Bi 및 Sb 패턴의 전체길이는 각각 약 550  $\mu\text{m}$ 로서 동일하게 하였으며, 열전퇴의 고온 및 저온 접합부의 면적도 공히 각각 30×25  $\mu\text{m}^2$ 이었다.

마지막 공정으로서 기판 뒷면에 있는 N/O/N 막의 패턴을 식각 마스크로 하여 실리콘 기판을 약 83 °C의 KOH 식각용액으로 이방성 식각하여 전체두께가 약 600 nm인 N/O/N 다이아프램위에 히터 및 열전퇴의 고온 접합부가 놓여 있는 구조를 갖는 열전변환기를 제작하였다[15]. 다이아프램의 크기는 단일 bifilar 히터를 갖는 열전변환기의 경우 약 1.895×0.580 mm<sup>2</sup>이고, 2중 bifilar 히터를 갖는 열전변환기의 경우는 약 2.345×0.500 mm<sup>2</sup>였으며, 실리콘 식각시 기판의 앞면으로 KOH 수용액이 침투하는 것을 막기 위하여 특별히 고안된 장치를 사용하였고, 이때 기판면에 대한 수직방향의 식각율은 분당 약 1.45  $\mu\text{m}$ 였다. 그림 2 및 그림 3은 각각 본 실험에서 제작한 열전변환기의 개략도 및 사진이다.

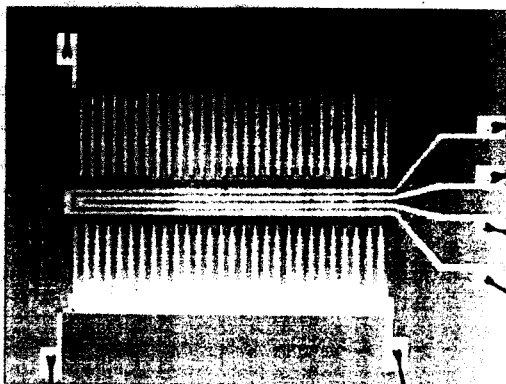
### III. 열전변환기의 특성

본 연구에서 제작한 많은 열전변환기들중 대표적인 특성을 갖는 열전변환기 및 상용 3차원 다중접합 열전변환기의 주요 특성을 표 1에 각각 나타내었다. 여기서 SBH(single bifilar heater)는 그림 3(a)와 같이 단일 bifilar 히터를 의미하며, DBHI(dual bifilar heater inside)는 그림 3(b)와 같이 2개의 히터중에서 안쪽에 있는 히터를 입력으로 하는 경우를 나타내고, DBHO(dual bifilar heater outside)는 바깥쪽에 있는 히터를 입력으로 하는 경우이다. 그리고 3차원 다중접합 열전변환기(3-D MJTC)는 현재 교류-직류 변환 표준기로 사용되고 있는 것이다.

그림 4는 공기 및 약 10<sup>-7</sup> Torr의 진공중에서 히터의 입력 전력에 따른 열전변환기의 출력 열기전력을 각각 나타낸 것이며, 열기전력의 측정에는 KEITHLEY 617 programmable electrometer를 사용하였다. 표 1 및 그림 4에서 나타낸 바와 같이 공기 및 진공중에서 단일 bifilar 히터로 제작된 열전변환기의 열감도는 각각 약 10.1 mV/mW 및 14.8 mV/mW였으며, 진공중에서의 열감도가 공기중에서의 열감도보다 더 높은 이유는 진공중에서는 기체에 의한 히터에서 발생한 열량의 손실이



(a)



(b)

그림 3. (a) 단일 bifilar 백금 히터 및 (b) 2중 bifilar 백금 히터를 갖는 열전변환기의 사진

Fig. 3. Photographs of the thermal converters with (a) single bifilar Pt-heater and (b) dual bifilar Pt-heater.

표 1. 열전변환기의 주요 특성

Table 1. Characteristics of the thermal converters.

Heater type	SBH	DBHI	DBHO	3-D MJTC
Heater resistance ( $\Omega$ )	77	185	207	340
Number of thermocouples	38	58	58	56
Total resistance of thermopile(k $\Omega$ )	7.8	11.8	11.8	5.0
Thermal sensitivity (mV/mW)	10.1 (14.8)	5.1 (7.6)	5.3 (7.8)	(1.75)
AC-DC voltage transfer difference range (ppm)	$\pm 1.80$	$\pm 0.63$	$\pm 0.53$	-
AC-DC current transfer difference range (ppm)	$\pm 0.58$	$\pm 0.25$	$\pm 0.27$	$\pm 10$
Remarks	in the air (in the vacuum)	in the air (in the vacuum)	in the air (in the vacuum)	in the air (in the vacuum)

현저히 감소되기 때문이다. 또한 표 1에 나타난 바와 같이 단일 bifilar 히터로 제작된 열전변환기는 진공중에서 3차원 다중접합 열전변환기의 열감도보다 8배이상의 더 높은 열감도를 나타내었다[10].

2중 bifilar 히터로 제작된 열전변환기는 상기한 두

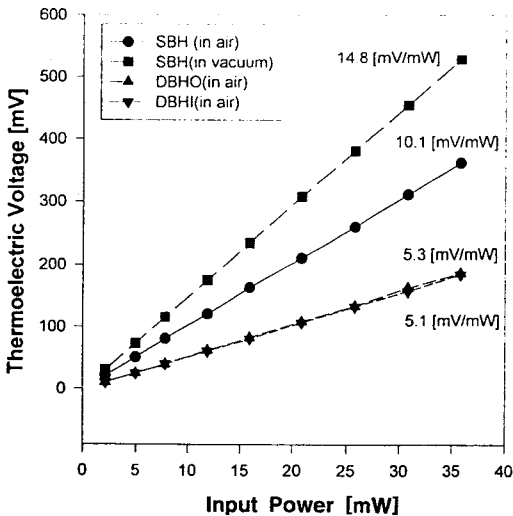


그림 4. 열전변환기의 입력 히터전력에 따른 출력 열기전력 특성

Fig. 4. Output thermoelectric voltage-input heater power characteristics of the thermal converters.

입력의 경우 모두 비슷한 열감도를 나타내었다. 2중 bifilar 히터로 제작된 열전변환기의 열전도가 단일 bifilar 히터로 제작된 열전변환기의 것보다 훨씬 더 많은 열전쌍으로 구성되었음에도 불구하고, 2중 bifilar 히터의 열전변환기가 단일 bifilar 히터의 열전변환기보다 더 낮은 열감도를 나타내는 원인으로서는, 그림 3(b)의 2중 bifilar 히터의 경우 한쪽 히터에서 발생된 열의 상당량을 나머지 다른 히터에서 흡수하여 열전도의 고온 접합부로 전달되는 열량이 작기 때문이고, 또한 열전도의 고온 접합부와 열차단용 다이아프램을 지지하는 실리콘 프레임(frame)사이의 거리가 그림 3(a)의 단일 bifilar 히터의 경우보다 더 가까워서 열전쌍을 통한 실리콘 기판으로의 열손실이 더 크기 때문인 것으로 본다.

단일 bifilar 히터에 직류 5 mA를 인가한 후 1초에 한번씩 120초동안 공기중에서 자동 측정된 열전변환기의 출력 열기전력을 그림 5에 나타내었다. 출력 열기전력의 시간에 따른 평균 변화율이 분당 약 117.0 ppm이었다.

단일 bifilar 백금 히터에 직류 2.6 V를 인가하고 약 30분동안 충분히 예열한 후 매 10초마다 한번씩 400초동안 히터의 저항값을 HP 3458A digital volt meter로 공기중에서 측정된 결과를 그림 6에 나타내었다. 히터 저항의 시간에 따른 평균 변화율은 분당 약 5.0 ppm으로서 히터 저항의 안정도가 비교적 양호한 것으로 생각된다.

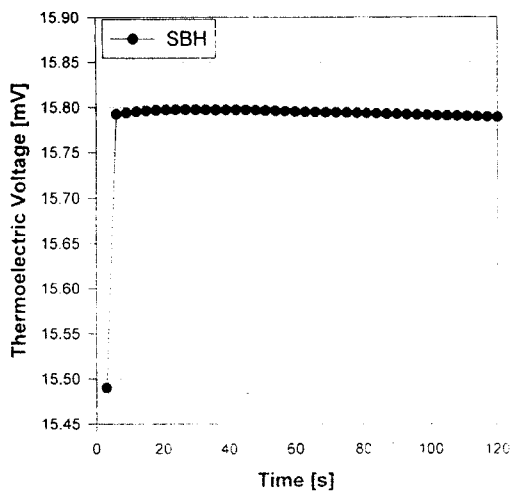


그림 5. 단일 bifilar 백금 히터가 내장된 열전변환기의 시간에 따른 출력 열기전력 변화  
 Fig. 5. Output thermoelectric voltage fluctuation of the thermal converter with single bifilar Pt-heater.

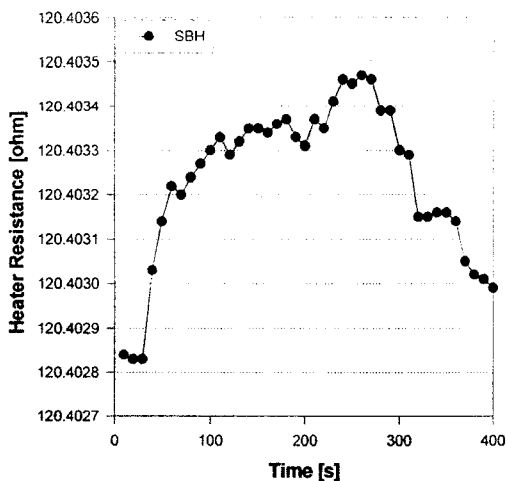


그림 6. 단일 bifilar 백금 히터의 시간에 따른 저항 변화  
 Fig. 6. Resistance fluctuation of the single bifilar Pt-heater.

열전변환기의 교류-직류 변환오차(ac-dc transfer difference)는 측정의 정확도가 0.1 ppm이상인 직류표준으로부터 교류표준을 유도하기 위해서 사용되는데, 직류 표준값에 교류-직류 변환오차 만큼을 보정하여

교류 실효치의 측정 또는 교정을 하게 된다[16]. 실효 전압 및 실효전류가 각각 2 V 및 10 mA이며, 주파수가 10 kHz이하인 교류입력에 대해서 fast reversed dc 방법 [17]으로 공기중에서 측정된 교류-직류 전압 및 전류 변환오차를 그림 7 및 그림 8에 각각 나타내었다.

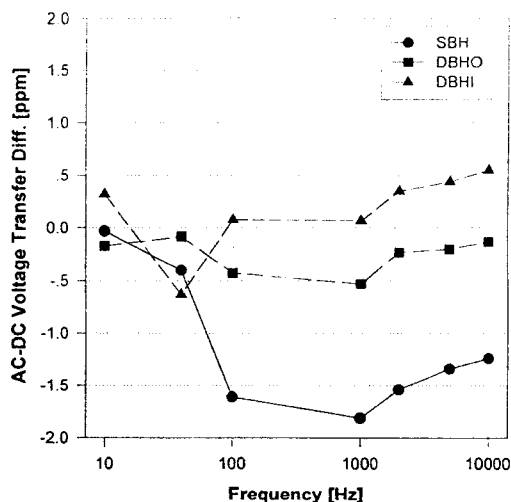


그림 7. 열전변환기의 주파수에 따른 교류-직류 전압 변환오차  
 Fig. 7. AC-DC voltage transfer difference-frequency characteristics of the thermal converters.

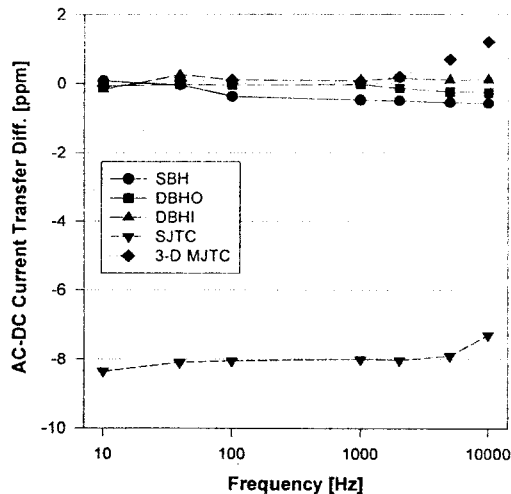


그림 8. 열전변환기의 주파수에 따른 교류-직류 전류 변환오차  
 Fig. 8. AC-DC current transfer difference-frequency characteristics of the thermal converters.

10  $\mu$ 이하의 교류 입력에 대한 fast reversed dc 자동 측정방법을 실현하기 위해서 정확도가 0.1 ppm 이상인 직류 표준전원이 내장된 KST 003 fast reversed dc source 및 KEITHLEY 182 nano-volt meter를 사용하였고, 동일한 주파수의 교류입력에 대해 15회이상 측정된 교류-직류 변환오차의 평균값을 하나의 측정치로 나타내었다.

그림 7에서 나타낸 바와 같이 10 Hz에서부터 10 kHz까지의 주파수 범위에 걸쳐 교류-직류 전압 변환오차 범위는 단일 bifilar 히터로 제작된 열전변환기의 경우 약  $\pm 1.80$  ppm이었고, 2중 bifilar 히터로 제작된 열전변환기의 안쪽 및 바깥쪽에 있는 히터를 입력으로 한 경우 각각 약  $\pm 0.63$  ppm 및  $\pm 0.53$  ppm였다.

그림 8에서 나타낸 바와 같이 교류-직류 전류 변환오차 범위는 단일 bifilar 히터로 제작된 열전변환기의 경우 약  $\pm 0.58$  ppm이었고, 2중 bifilar 히터로 제작된 열전변환기의 안쪽 및 바깥쪽에 있는 히터를 입력으로 한 경우 각각 약  $\pm 0.25$  ppm 및  $\pm 0.27$  ppm였다. 이들 열전변환기의 교류-직류 전류 변환오차 범위는 그림 8에 함께 나타낸 상용 단일접합 열전변환기(SJTC)의  $\pm 8.01$  ppm 및 3차원 다중접합 열전변환기(3-D MJTC)의 약  $\pm 1.10$  ppm보다 훨씬 더 작았다[10].

본 연구에서 제작된 열전변환기가 상용 열전변환기보다 더 우수한 교류-직류 변환특성을 나타내는 것은, 히터의 열손실을 최소화하기 위한 열차단용 다이아프램의 적용외에도, 히터를 bifilar 모양으로 함으로써 히터에서의 불균일한 온도분포 및 Thomson효과에 의한 부가적인 열발생 등에 기인하는 교류-직류 변환오차를 상당히 감소시킬 수 있었고, 또한 Seebeck계수의 차이가 큰 Bi-Sb 열전퇴를 채용함으로써 열감도를 증가시킬 수 있었기 때문인 것으로 생각된다.

#### IV. 결 론

변환기의 열감도를 크게 하고 교류-직류 변환오차를 작게 하기 위한 방법으로서, 백금(Pt) 히터에서 발생된 열이 Bi-Sb 열전퇴의 고온 접합부로 잘 전달되도록 하기 위해 히터와 열전퇴의 고온 접합부사이의 거리를 가깝게 하였고, 히터에서 발생된 열의 실리콘 기판을 통한 손실을 최소화 하기 위해 히터 및 열전퇴의 고온 접합부를 열차단효과가 우수하고 열에 의한 내재 스트레스(built-in stress) 특성이 안정된  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$

다이아프램위에 각각 형성하였다.

또한, 열전퇴의 고온 접합부와 저온 접합부사이의 온도차이를 크게 하여 Bi-Sb 열전퇴에서 출력되는 열기전력을 증가시키기 위해 저온 접합부를 방열판 역할을 하는 실리콘 기판에 의해 지지되는 유전체 멤버레 인위에 형성하였고, 히터에서의 불균일한 온도분포 및 열전효과에 의한 부가적인 열발생으로부터 생기는 교류-직류 변환오차를 없애기 위해 히터의 모양을 bifilar 형태로 하였다.

본 연구에서는 상기한 변환기의 설계 개념으로 상용 단일접합 열전변환기 및 3차원 다중접합 열전변환기보다 더 높은 열감도 및 교류-직류 변환 정확도를 갖는 평면형 열전변환기를 제작하였고, 제작된 변환기의 주요 특성들로부터 교류-직류 변환 표준기로서의 응용에 대한 가능성을 확인할 수 있었으며, 그리고 평면형 열전변환기에 있어서 열전퇴의 고온 접합부와 열차단용 유전체 다이아프램을 지지하는 실리콘 프레임(frame)사이의 거리가 열전퇴 재료 즉 Bi 및 Sb 박막을 통한 실리콘 기판으로의 열손실에 큰 영향을 주는 중요한 요소임을 알 수 있었다.

향후 본 연구에서 개발된 변환기의 실용화를 위해서는 히터 저항 및 출력 열기전력의 안정도 등의 개선을 위한 지속적인 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

#### 감사의 글

※ 본 연구는 1997년도 한국표준과학연구원 연합협동연구비 지원에 의해 수행되었음.

#### 참 고 문 헌

- [1] Francis L. Hermach, "Thermal converters as ac-dc transfer standards for current and voltage measurements at audio frequencies," *J. of Research of the National Bureau of Standards*, Vol. 48, No. 2, pp. 121-138, 1952.
- [2] F. J. Wilkins et al., "Multi-junction thermal converter-accurate d.c./a.c. transfer instrument," *Proc. IEE*, Vol. 112, No. 4, pp. 794-805, 1965.
- [3] F. L. Hermach and E. S. Williams, "Thermal converters for audio-frequency voltage measurements of high accuracy," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, Vol. IM-15, No. 4, pp. 260-

- 268, 1966.
- [4] F. C. Widdis, "The theory of Peltier- and Thomson-effect errors in thermal a.c.-d.c. transfer devices," *The Institution of Electrical Engineer Monograph*, No. 497 M, pp. 328-334, 1962.
- [5] Barry D. Inglis, "A method for the determination of ac-dc transfer errors in thermoelements," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, Vol. IM-27, No. 4, pp. 440-444, 1978.
- [6] Francis L. Hermach et al., "Multijunction thermal converters as the NBS primary ac-dc transfer standards for ac current and voltage measurements," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, Vol. IM-36, No. 2, pp. 300-306, 1987.
- [7] Manfred Klonz and Thomas Weimann, "Accurate thin film multijunction thermal converter on a silicon chip," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, Vol. 38, No. 2, pp. 335-337, 1989.
- [8] Helmut Dintner et al., "AC-DC-mV-transfer with highly sensitive thin-film multijunction thermal converters," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, Vol. 42, No. 2, pp. 612-614, 1993.
- [9] J. R. Kinard et al., "Performance of multilayer thin-film multijunction thermal converters," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, Vol. 44, No. 2, pp. 383-386, 1995.
- [10] 권성원 등, "평면형 다중접합 열전변환기의 제작," *센서학회지*, 제5권, 제4호, pp. 17-24, 1996.
- [11] Joseph R. Kinard et al., "Development of thin-film multijunction thermal converters at NIST," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, Vol. 46, No. 2, pp. 347-351, 1997.
- [12] F. Völklein, "Thermal conductivity and diffusivity of a thin film SiO<sub>2</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> sandwich system," *Thin Solid Films*, Vol. 188, pp. 27-33, 1990.
- [13] 김명규 등, "스트레스 균형이 이루어진 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 유전체 멤베레인의 제작," *센서학회지*, 제4권, 제3호, pp. 51-59, 1995.
- [14] T. Elbel et al., "Thermoelectric radiation microsensors," *Sensors and Actuators A*, Vol. 41-42, pp. 493-496, 1994.
- [15] D. B. Lee, "Anisotropic etching of silicon," *J. of Appl. Phys.*, Vol. 40, No. 11, pp. 4569-4574, 1969.
- [16] Manfred Klonz, "AC-DC transfer difference of the PTB multijunction thermal converter in the frequency range from 10 Hz to 100 kHz," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, Vol. IM-36, No. 2, pp. 320-329, 1987.
- [17] Manfred Klonz et al., "Measuring thermoelectric effects in thermal converters with a fast reversed dc," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, Vol. 44, No. 2, pp. 379-382, 1995.



---

 著 者 紹 介
 

---

**이 현철 (李賢哲)**

1970년 4월 27일생. 1996년 경일대학교 전자공학과 졸업(공학사), 1998년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 현재 LG 반도체(주) 메모리 설계 연구소 근무, 주관심분야 : 열전변환기 및

반도체 메모리 등.

**김 진 섭 (金鎭燮)**

『센서학회지 제4권 제3호』 논문 95-4-3-08, p. 59 참조  
현재 인제대학교 전자공학과 부교수.

**함 성 호 (咸成鎬)**

『센서학회지 제5권 제5호』 논문 96-5-5-03, p. 29 참조  
현재 경북대학교 센서기술연구소 전임강사.

**이 중 현 (李鍾玄)**

『센서학회지 제1권 제1호』 논문 92-21, p. 194 참조  
현재 경북대학교 전자전기공학부 교수.

**이 정 희 (李正熙)**

『센서학회지 제4권 제2호』 논문 95-4-2-04, p. 28 참조  
현재 경북대학교 전자전기공학부 부교수.

**박 세 일 (朴世一)**

『센서학회지 제5권 제4호』 논문 96-5-4-03, p. 24 참조  
현재 한국표준과학연구원 전자기연구부 전기그룹 선임연구원.

**권 성 원 (權聖遠)**

『센서학회지 제1권 제1호』 논문 92-09, p. 77 참조  
현재 한국표준과학연구원 전자기연구부 전기그룹 책임연구원.