

論文98-35D-11-6

Bi-Sb 다중접합 열전변환기의 교류-직류 변환 특성 (AC-DC Transfer Characteristics of a Bi-Sb Multijunction Thermal Converter)

金鎮變*, 李賢哲**, 咸成鎬***, 李鍾玄****,
李正熙****, 朴世一*****, 權聖遠*****

(Jin-Sup Kim, Hyun-Cheol Lee, Sung-Ho Hahm, Jong-Hyun Lee,
Jung-Hee Lee, Se Il Park, and Sung-Won Kwon)

요 약

직선 또는 필라멘트 모양의 NiCr 박막 히터 및 Bi-Sb 박막 열전퇴(thermopile)로 구성되는 평면형 Bi-Sb 다중접합 열전변환기를 제작하고, 10 Hz에서부터 10 kHz까지의 교류 입력신호에 대한 변환기의 교류-직류 변환 특성을 논의하였다. 변환기의 열감도를 증가시키고 또한 교류-직류 변환오차를 감소시키기 위하여, NiCr 히터 및 Bi-Sb 열전퇴의 고온 접합부를 열차단막 역할을 하는 Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄ 다이어프램위에 각각 형성하였고, 열전퇴의 저온 접합부는 방열판 역할을 하는 실리콘 림(rim)에 의해 지지되는 Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄ 박막위에 형성하였다. 단일 bifilar NiCr 히터가 내장된 변환기의 열감도는 공기 및 진공중에서 각각 약 14.0 mV/mW 및 54.0 mV/mW였고, 교류-직류 전압 및 전류 변환 오차범위는 공기중에서 각각 약 ± 0.60 ppm 및 ± 0.11 ppm이었다. 변환기의 교류-직류 변환 정확도가 상용 3차원 구조의 다중접합 열전변환기의 것보다 훨씬 더 높게 개선되었으나, 시간에 따른 출력 열기전력의 변화는 비교적 높게 나타났다.

Abstract

A planar Bi-Sb multijunction thermal converter, which is consisted of a linear or bifilar thin film NiCr-heater and a thin film Bi-Sb thermopile, has been fabricated, and its ac-dc transfer characteristics were examined in a frequency range from 10 Hz to 10 kHz. In order to increase the thermal sensitivity and to decrease the ac-dc transfer error of a thermal converter, the heater and the hot junctions of a thermopile were prepared on a Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄-diaphragm which acts as a thermal isolation layer, and the cold junctions on the Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄-thin film supported with the silicon rim which functions as a heat sink. The respective thermal sensitivities in air and in a vacuum of the converter with a built-in bifilar heater were about 14.0 mV/mW and 54.0 mV/mW, and the ac-dc voltage and the current transfer difference ranges in air were about ±0.60 ppm and ±0.11 ppm, respectively, indicating that the ac-dc transfer accuracy of the converter are much higher than that of a commercial 3-dimensional multijunction thermal converter. However, the output thermoelectric voltage fluctuation of the converter was rather high.

* 正會員, 仁濟大學校 電子工學科
(Dept. of Electronic Engineering, Inje University)
** 正會員, LG半導體(株) 메모리事業本部
(Dept. of Memory Design, LG Semicon Co., Ltd.)
*** 正會員, 慶北大學校 센서技術研究所
(Sensor Technology Research Center, Kyungpook
National University)
**** 正會員, 慶北大學校 電子電氣工學部

(School of Electronic and Electrical Engineering,
Kyungpook National University)

***** 正會員, 韓國標準科學研究院 電磁氣研究部
(Div. of Electromagnetic Metrology, Korea Research
Institute of Standards and Science)

※ 본 연구는 1997년도 한국표준과학연구원 연합협동
연구비 지원에 의해 수행되었음.

接受日字: 1998年4月1日, 수정완료일: 1998年9月25日

I. 서론

직류의 경우 표준전지 및 표준저항으로부터 절대 측정방법에 의한 전압 및 전류의 실용표준(practical standards)이 정해지지만, 교류의 경우에는 표준전지와 같은 교류 표준기가 없기 때문에 정확한 전압 및 전류의 측정이 쉽게 이루어질 수 없다. 따라서 교류를 정확하게 측정하기 위해서는 교류 및 직류에 대해 물리적인 응답이 이상적으로 동일하거나 또는 교류 및 직류에 대한 응답의 차이를 정확히 알 수 있는 중계기를 사용하여 교류 측정량과 등가의 직류값을 설정하여야 한다.

상기한 중계기를 교류-직류 변환기(ac-dc converter)라고 하며, 1 MHz이하의 주파수 범위에서 교류 표준을 위한 교류-직류 변환기로서 전기력형(electrodynamic), 정전형(electrostatic) 및 열전형(thermoelectric) 변환기 등이 실용화의 측면에서 오래전부터 검토되어 왔다. 이들중 전기력형은 코일에서의 인덕턴스 및 분포용량 때문에 2 MHz이상의 주파수 범위에서 사용할 수 없고, 정전형은 낮은 전압을 측정할 경우 회전자에 무거운 반면에 정전력이 약하기 때문에 대개 70 V이하의 전압에서 사용이 부적합하여, 측정 전압 및 주파수 범위가 비교적 넓으며 일반적으로 열전형 변환기(thermal converter)로 불리는 열전형 교류-직류 변환기에 대한 연구가 주로 진행되었다^[1-4].

가장 단순한 구조의 열전형 교류-직류 변환기는 교류 입력신호를 열로 변환시켜주는 히터 및 변환된 열을 감지하여 직류 출력을 발생시키는 1개의 열전쌍(thermocouple)으로 구성되는 단일접합 열전변환기(SJTC: single junction thermal converter)이다. 그러나 단일접합 열전변환기에서는 입력신호에 의해 히터에서 발생하는 열에 대한 직류 출력전압의 비측 열감도(thermal sensitivity)가 매우 낮고, 히터 발열부에서의 불균일한 온도분포 및 히터의 발열부분과 이것의 지지선 사이의 접합에서 생기는 열전효과에 의한 교류-직류 변환오차(ac-dc transfer difference)가 비교적 크게 나타난다^[5,6].

일반적으로 단일접합 열전변환기의 출력전압은 10 mV이하이고 교류-직류 변환오차는 10 ppm정도이나, 교류의 정확한 측정을 위해서는 출력전압이 100 mV이상이어야 하고 교류-직류 변환오차는 1 ppm이하가

되어야 한다.

단일접합 열전변환기보다 열감도가 훨씬 더 높고 교류-직류 변환오차가 크게 감소된 3차원 구조의 다중접합 열전변환기(3-D MJTC: 3-dimensional multijunction thermal converter)가 개발되어 그동안 교류-직류 변환 표준기로서 사용되어 왔으나, 3차원 다중접합 열전변환기의 경우에는 제작공정상의 어려움 때문에 공정수율이 매우 낮을 뿐만 아니라, 제작공정에 많은 시간이 소요되는 문제점이 있었다.

최근에는 3차원 다중접합 열전변환기에 있어서 제작공정상의 문제점을 해결하고 또한 열전변환기의 성능을 더욱 더 향상시키기 위해 반도체 공정기술을 응용한 평면구조의 다중접합 열전변환기(planar multijunction thermal converter)를 개발하여 교류의 실용 표준기로 사용하고자 하는 시도가 활발하게 이루어지고 있다^[7-11].

본 연구에서는 특히 평면형 열전변환기에 있어서 문제가 되는 기판을 통한 히터의 열손실(thermal loss)을 최소화시키기 위한 방법으로서 직선 또는 bifilar 모양의 NiCr 히터 및 Bi-Sb 열전퇴의 고온 접합(hot junction)부분을 열차단(thermal isolation)효과가 매우 우수할 뿐만 아니라 열에 대해 안정된 내재 스트레스(built-in stress) 특성을 갖는 Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄ 다이아프램위에 각각 형성시켰다^[12-14]. 열전변환기의 출력 열기전력을 증가시키기 위한 방법으로는 우선 Seebeck계수의 차이가 큰 Bi-Sb 열전쌍을 직렬로 연결하여 열전퇴를 구성하였고, 또한 열전퇴의 고온 접합부와 저온 접합부(cold junction)사이의 온도차이를 크게 하기 위해 열전퇴의 저온 접합부분을 방열판(heat sink) 역할을 하는 실리콘 림(rim)에 의해 지지되는 Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄ 박막위에 형성하였다. 상기한 바와 같은 제작공정으로 열감도가 높고 교류-직류 변환오차가 작은 열전형 Bi-Sb 다중접합 교류-직류 변환기를 제작하였으며, 이들 변환기의 주요 특성에 대해 논의하였다.

II. 열전변환기의 제작

열전변환기를 제작하기 위하여 결정면이 (100), 비저항이 4-15 Ω·cm, 두께가 약 500 μm이며, 양면이 정면으로 연마되고, 인(P)이 도핑된 직경 5 인치의 N형 실리콘 웨이퍼를 기판으로 사용하였다.

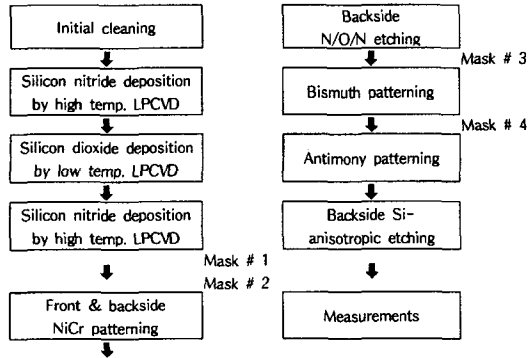


그림 1. 열전변환기의 제작공정 순서
Fig. 1. Process sequence for the fabrication of thermal converters.

그림 1은 변환기의 제작공정 순서를 나타낸 것이다. 실리콘 기판을 초기 세척한 후, 우선 변환기의 히터와 실리콘 기판 사이의 열차단을 위한 샌드위치 구조의 150 nm-Si₃N₄/300 nm-SiO₂/150 nm-Si₃N₄(N/O/N) 박막을 기판위에 형성하였다. Si₃N₄ 박막의 경우 약 780 °C의 온도 및 약 290 mTorr의 진공도에서 SiH₂Cl₂와 NH₃의 혼합가스를 사용하여 LPCVD방법으로 증착하였고, SiO₂ 박막의 경우는 약 440 °C의 온도 및 240 mTorr의 진공도에서 SiH₄와 O₂의 혼합가스를 사용하여 불순물 도핑을 위한 가스의 첨가 없이 LPCVD방법으로 증착하였다. 이때 Si₃N₄ 및 SiO₂ 박막의 증착율은 각각 분당 약 45 Å 및 120 Å이었다.

실리콘 기판의 식각공정으로 적층 유전체 박막을 다이아프램 구조로 제조하였을 때 이 다이아프램의 수평 방향 열전도도(lateral thermal conductivity)는 약 2.4 W · m⁻¹ · K⁻¹으로서 실리콘 기판의 벌크 열전도도 약 140 W · m⁻¹ · K⁻¹보다 훨씬 작고, 또한 Si₃N₄ 및 SiO₂ 박막의 증착방법 및 두께를 적당하게 선택하면 실리콘 기판에 의해 Si₃N₄ 박막에 나타나는 인장 스트레스(tensile stress)와 SiO₂ 박막에 나타나는 압축 스트레스(compressive stress)가 서로 균형을 이루도록 할 수 있으므로, 상기한 다이아프램을 열에 의한 내재 스트레스의 특성이 안정되고 열차단 특성이 우수한 변환기의 열차단막으로 사용할 수 있다^[12-14].

적층 유전체 박막을 기판위에 증착한 후, 기판의 앞면에 히터 및 와이어 본딩 패드를 형성하고, 기판의 뒷면에는 실리콘 기판을 식각할 때 식각 마스크로 사용할 N/O/N 박막의 식각 마스크 패턴을 각각 형성하

기 위하여, 기판의 앞면 및 뒷면에 각각 1번 및 2번 마스크를 양면 정렬하여 감광액 패턴을 먼저 형성하고, DC 마그네트론 스퍼터링 장치로 기판의 앞면 및 뒷면에 각각 약 500 nm 두께의 NiCr 박막을 증착한 후, 감광액 lift-off 공정으로 기판 앞면의 NiCr 히터 및 와이어 본딩 패드와 기판 뒷면의 N/O/N 식각용 NiCr 마스크 패턴을 형성하였다. 그 다음 NiCr 마스크 패턴으로 건식 및 습식 식각을 혼합하여 기판 뒷면에 있는 N/O/N 박막을 식각하여 실리콘 기판의 식각 시 사용할 N/O/N 마스크 패턴을 형성하였다.

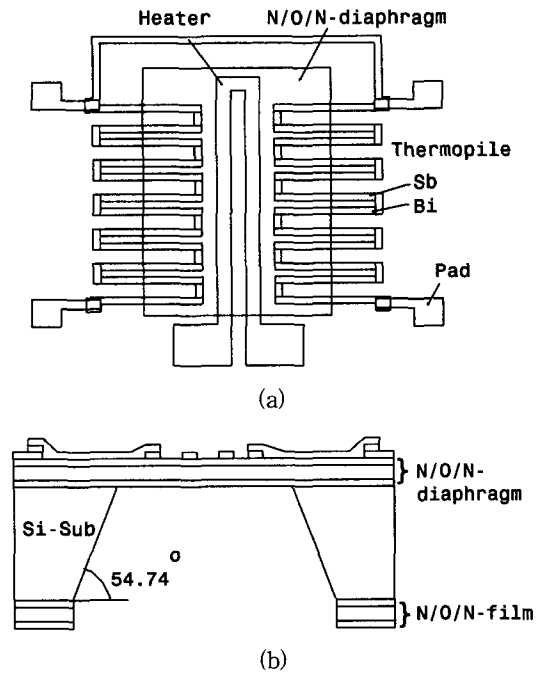


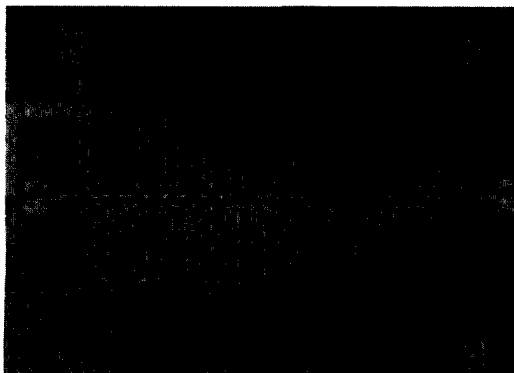
그림 2. 열전변환기의 개략도 : (a) 평면도 및 (b) 단면도
Fig. 2. Schematic diagrams of a thermal converter : (a) top view and (b) cross-sectional view.

NiCr 히터는 변환기의 히터 형상에 따른 교류-직류 변환특성을 알아보기 위해 히터에서의 유도성 및 용량성 임피던스 성분이 비교적 작을 것으로 기대되는 단일 직선 모양의 히터(SLH : single linear heater)와 히터에 전류가 흐를 때 필라멘트 자체의 불균일한 온도분포로부터 발생하는 Thomson효과 및 필라멘트와 본딩 패드 사이의 접합에서 발생하는 Peltier효과를 각각 서로 상쇄시켜 히터에서의 균일한 온도분포를 유지시키기 위한 단일 bifilar 모양의 히터(SBH : single bifilar heater)로 하였다. 단일 직선 히터의

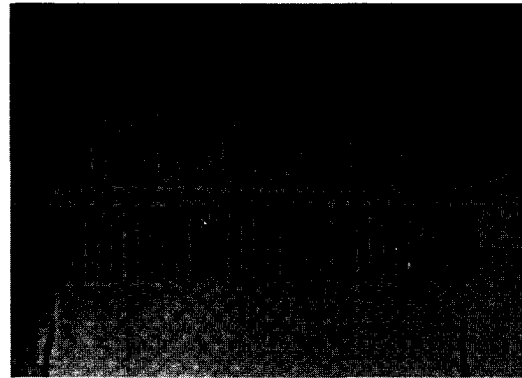
경우 선폭 및 □의 수를 각각 약 25 μm 및 120개로 하여 히터의 전체저항이 약 210 Ω이었으며, 단일 bifilar 히터의 경우는 선폭 및 □의 수를 각각 약 45 μm 및 130개로 하여 히터의 전체저항이 약 228 Ω이었다.

다음은 열전퇴의 제조공정으로서, 3번 마스크를 사용하여 감광액 패턴을 형성한 후 Bi를 진공증착하고 lift-off하여 Bi 패턴을 형성하였고, 4번 마스크를 사용하여 Bi의 경우와 동일한 공정으로 Sb 패턴을 형성하여, 60개의 Bi-Sb 열전쌍이 서로 직렬로 연결된 열전퇴를 형성하였다. 여기서 Bi 패턴의 폭, 길이 및 두께는 각각 약 35 μm, 400 μm 및 700 nm였고, Sb 패턴의 폭, 길이 및 두께는 각각 약 20 μm, 400 μm 및 500 nm였으며, 또한 고온 및 저온 접합부의 면적은 공히 약 65×30 μm²였고, Bi-Sb 열전퇴의 전체저항은 약 6.5 kΩ정도 되었다. Bi와 Sb의 접합을 양호하게 하기 위하여 Sb의 증착직전에 Bi 박막을 HCl:H₂O=1:10의 용액으로 약 5 초동안 식각하여 Bi 박막위에 생성된 자연산화막을 제거하였다.

열전퇴의 직류 출력전압을 증가시켜 열감도가 높은 변환기를 제작하기 위하여, 그림 2 및 그림 3에서 나타난 바와 같이 상기한 두 종류의 히터를 갖는 변환기에서 공히 60개의 Bi-Sb 열전쌍을 직렬로 연결시켜 열전퇴를 제조하였고, 히터를 중심으로 좌우대칭이 되도록 열전퇴를 배치하였으며, 히터의 가장자리와 열전퇴의 고온 접합부 가장자리 사이의 거리를 약 20 μm로 하여 히터와 열전퇴 사이의 거리를 가깝게 하였다. 또한 열전퇴의 저온 접합부는 고온 접합부로부터 전달되어 오는 열을 효율적으로 방출시킬 수 있도록 하기 위해 N/O/N 열차단막의 제조시 실리콘 림에 의해 지지되는 유전체 박막위에 형성되도록 하였다.



(a)



(b)

그림 3. 단일 (a) 직선 및 (b) bifilar NiCr 히터가 내장된 열전변환기의 사진

Fig. 3. Photographs of thermal converters with a built-in (a) linear and (b) bifilar NiCr-heater.

변환기의 우수한 교류-직류 변환특성을 얻기 위해서는 열전퇴의 고온 접합부에서 저온 접합부로 전달되는 열량을 동일하게 해야 한다. 열전퇴를 구성하는 Bi 및 Sb 박막의 열전도도가 각각 9.0 W·m⁻¹·K⁻¹ 및 23.8 W·m⁻¹·K⁻¹으로서 서로 다르므로, Bi 및 Sb 박막에서 각각 전달되는 열량을 동일하게 하기 위해 이들 박막의 폭 및 두께를 상기한 바와 같이 서로 다르게 하였다^[15].

마지막 공정으로서, 실리콘 기판의 뒷면에 형성된 N/O/N 박막의 패턴을 실리콘 식각 마스크로 하고 실리콘 기판을 약 83 °C의 KOH 식각용액으로 이방성 식각하여, 열차단막 역할을 하는 N/O/N 다이아프램위에 히터 및 열전퇴의 고온 접합부가 놓여 있고, 열전퇴의 저온 접합부는 실리콘 림에 의해 지지되는 N/O/N 박막위에 놓여 있는 구조의 열전변환기를 제작하였다^[16]. 다이아프램의 크기는 단일 직선 히터를 갖는 변환기의 경우 약 2.740×0.715 mm²였고, 단일 bifilar 히터를 갖는 변환기의 경우는 약 2.890×0.800 mm²였으며, 또한 실리콘 식각시 기판의 앞면으로 KOH 식각용액이 침투하는 것을 방지하기 위하여 특별히 고안된 장치를 사용하였고, 이때 기판면에 대한 수직방향의 식각율은 분당 약 1.5 μm였다. 본 실험에서 제작한 변환기의 사진을 그림 3에 나타내었다.

III. 열전변환기의 특성

본 실험에서 제작한 변환기들중 대표적인 특성을 갖

는 변환기에 대한 NiCr 히터의 저항 변화, 열감도, 출력 열기전력 변화, 교류-직류 전압 및 전류 변환특성을 그림 4와 같은 측정용 케이스에 변환기를 장착하여 각각 측정하였다.

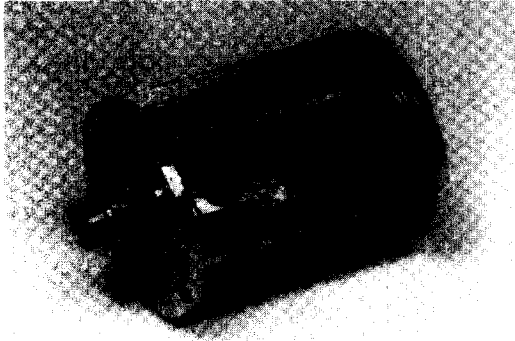


그림 4. 측정용 케이스에 장착된 변환기의 사진
Fig. 4. Photograph of the converter set in a measurement case.

단일 bifilar NiCr 히터에 직류 2.6 V를 인가하고 약 30 분동안 충분히 예열한 후 매 10 초마다 한번씩 400 초동안 히터의 저항값을 HP 3458A DVM으로 공기중에서 측정한 결과를 그림 5에 나타내었다. 여기서 히터 저항의 시간에 따른 평균 변화율은 분당 약 14.4 ppm이었다.

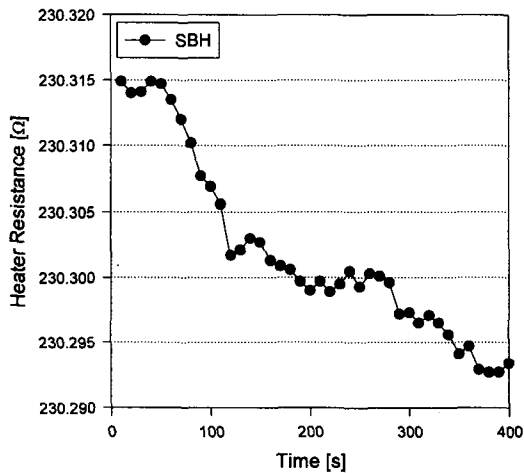


그림 5. 단일 bifilar NiCr 히터의 시간에 따른 저항변화
Fig. 5. Resistance fluctuation of single bifilar NiCr-heater.

공기 및 10^{-7} Torr의 진공중에서 히터의 입력 전력

에 따른 변환기의 출력 열기전력을 그림 6에 각각 나타내었으며, 열기전력의 측정에는 KEITHLEY 617 programmable electrometer를 사용하였다. 그림 6의 기울기로부터 계산한 단일 직선 히터가 내장된 변환기의 열감도는 공기 및 진공중에서 각각 약 15.3 mV/mW 및 52.0 mV/mW이고, 단일 bifilar 히터가 내장된 변환기의 열감도는 각각 약 14.0 mV/mW 및 54.0 mV/mW로서, 진공중에서의 열감도가 공기중에서의 열감도보다 더 높아짐을 알 수 있으며, 이것에 대한 이유로서는 진공중에서 기체에 의한 히터의 열손실이 공기중에서 보다 훨씬 더 작아지기 때문이다. 또한 히터의 모양에 따른 열감도의 큰 차이는 관찰할 수 없었다.

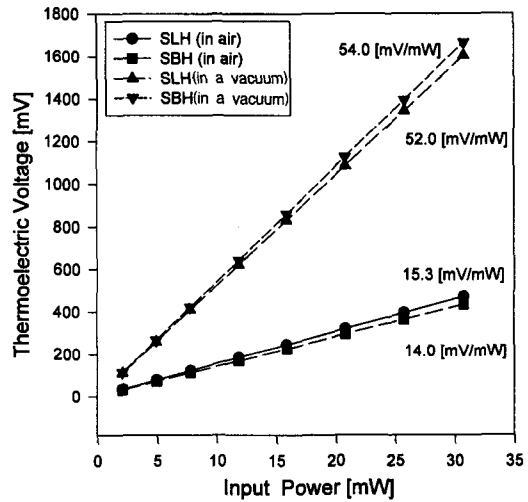


그림 6. 히터의 입력전력에 따른 변환기의 출력 열기전력 특성
Fig. 6. Output thermoelectric voltage-input heater power characteristics of converters.

단일 직선 NiCr 히터에 직류 5.0 mA를 인가한 후 1 초에 한번씩 120 초동안 공기중에서 자동 측정된 변환기의 출력 열기전력을 그림 7에 나타내었다. 출력 열기전력의 시간에 따른 평균 변화율이 분당 약 462 ppm으로서 상당히 큰 값을 나타내었다.

변환기의 교류-직류 변환오차(ac-dc transfer difference)는 측정의 정확도가 0.1 ppm이상인 직류 표준으로부터 교류 표준을 유도하기 위하여 주로 사용되는데, 직류 표준값에 교류-직류 변환오차 만큼을 보정하여 교류 실효치의 측정 또는 교정을 하게 된다^[17]. 실효 전압 및 전류가 각각 2 V 및 10 mA이며, 주파수 범위가 10 kHz이하인 교류 입력에 대해서 fast

reversed dc 방법^[18]으로 공기중에서 측정된 교류-직류 전압 및 전류 변환오차를 그림 8 및 그림 9에 각각 나타내었다.

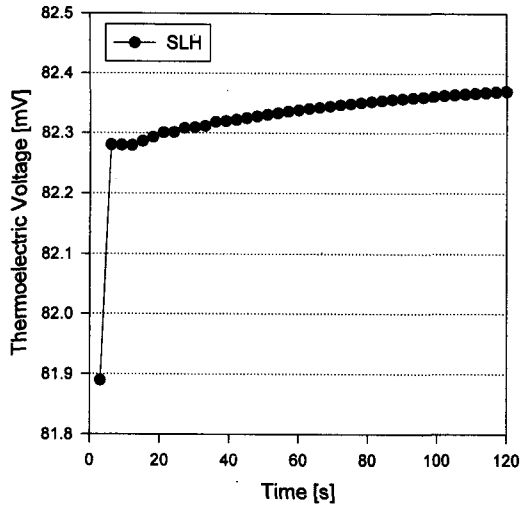


그림 7. 단일 직선 NiCr 히터가 내장된 변환기의 시간에 따른 출력 열기전력의 변화

Fig. 7. Output thermoelectric voltage fluctuation of the converter with a built-in linear NiCr-heater.

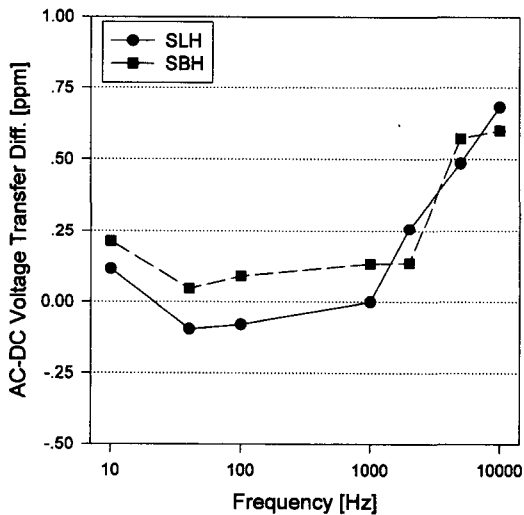


그림 8. 변환기의 주파수에 따른 교류-직류 전압 변환 오차

Fig. 8. AC-DC voltage transfer difference-frequency characteristics of converters.

10 kHz이하의 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 교류 입력에 대해 15 회이상 측정된 교류-직류 변환오차의 평균값을 하나의 측정치로 나타내었다.

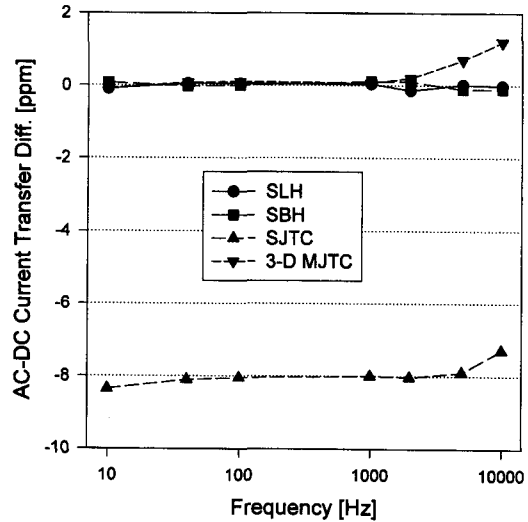


그림 9. 변환기의 주파수에 따른 교류-직류 전류 변환 오차

Fig. 9. AC-DC current transfer difference-frequency characteristics of converters.

그림 8에 나타난 바와 같이 10 Hz에서부터 10 kHz까지의 주파수 범위에 걸쳐 변환기의 교류-직류 전압 변환 오차범위는 단일 직선 히터로 제작된 변환기의 경우 약 ± 0.68 ppm이었고, 단일 bifilar 히터로 제작된 변환기의 경우는 약 ± 0.60 ppm였다. 또한 약 1 kHz이상의 주파수 범위에서 이들 변환기의 교류-직류 전압변환 오차가 증가하는 것은 주파수가 증가함에 따라 유도성 및 용량성 입력 임피던스가 증가하기 때문인 것으로 생각된다.

교류-직류 전류변환 오차범위는 그림 9에 나타난 바와 같이 단일 직선 히터로 제작된 변환기의 경우 약 ± 0.14 ppm이었고, 단일 bifilar 히터로 제작된 변환기의 경우는 약 ± 0.11 ppm으로서, 기 보고된 연구결과와 비교할 때 본 실험에서 제작된 변환기의 교류-직류 전류변환 특성은 단일접합 열전변환기(SJTC)의 전류변환 오차범위 약 ± 8.01 ppm^[10]보다 훨씬 더 우수하였고, 또한 현재 교류-직류 변환 표준기로 사용되고 있는 3차원 다중접합 열전변환기(3-D MJTC)의 약 ± 1.10 ppm^[10]보다도 더 우수하였다.

10 Hz~10 kHz의 측정 주파수범위내에서 히터의 모양에 따른 교류-직류 변환오차의 큰 차이는 없었으나, 대체로 단일 bifilar 히터로 제작된 변환기가 단일 직선 히터로 제작된 변환기보다 더 작은 교류-직류 변환오차를 나타내는 경향은 관찰할 수 있었다.

표 1. 변환기의 특성변수 요약

Table 1. Summary of characteristic parameters in the converters.

Heater Hype	SLH	SBH	3-D MJTC
Heater resistance (Ω)	210	228	340
Number of thermocouples	60	60	56
Total resistance of thermopile ($k\Omega$)	6.5	6.4	5.0
Thermal sensitivity (mV/mW)	15.3 (52.0)	14.0 (54.0)	(1.75)
AC-DC voltage transfer difference range (ppm)	± 0.68	± 0.60	-
AC-DC current transfer difference range (ppm)	± 0.14	± 0.11	± 1.10
Remarks	in air (in a vacuum)	in air (in a vacuum)	in air (in a vacuum)

본 실험에서 제작된 변환기 및 상용 3차원 다중접합 변환기(3-D MJTC)의 주요 특성을 표 1에 요약하였다. 표 1로부터 열감도 및 교류-직류 변환오차 등 특성 전반에 걸쳐 본 실험에서 제작된 열전변환기가 3차원 다중접합 열전변환기보다 대체적으로 우수함을 알 수 있었고 그 원인으로서는 다음과 같이 생각된다.

우선 반도체 공정기술로 평면형 변환기를 제작함으로써 히터와 열전퇴의 고온 접합부 사이의 거리를 3차원 변환기에서보다 더 가깝게 할 수 있게 되어 히터에서 발생된 열이 열전퇴의 고온 접합부로 전달되는 것을 용이하게 하였고, 실리콘 마이크로머시닝기술로 N/O/N 다이아프램위에 히터 및 열전퇴의 고온 접합부가 놓이도록 함으로써 특히 평면형 변환기에 있어서 교류-직류 변환오차의 주된 원인으로 알려진 기판을 통한 히터의 열손실을 최소화 할 수 있었다. 열전퇴의 재료로서 Seebeck계수의 차이가 큰 Bi 및 Sb 박막을 사용함과 동시에 열전퇴의 저온 접합부를 방열판 역할을 하는 실리콘 림에 의해 지지되는 유전체 박막위에 형성함으로써 고온 접합부와 저온 접합부 사이의 큰 온도차이에 의한 열전퇴의 열기전력 증가로부터 변환기의 열감도를 향상시킬 수 있었다. 또한 히터를

bifilar 모양으로 함으로써 필라멘트에서의 불균일한 온도분포로부터 발생하는 Thomson효과 및 필라멘트와 본딩 패드 사이의 기생접합(parasitic junction)에서 생기는 Peltier효과 등에 의한 교류-직류 변환오차를 감소시킬 수 있었다.

IV. 결론

본 연구에서는 반도체 공정기술 및 실리콘 벌크 마이크로머시닝기술을 응용하여 교류의 실용 표준기로 사용하기 위한 평면구조의 열전형 Bi-Sb 다중접합 교류-직류 변환기를 제작하고, 10 Hz~10 kHz 범위의 교류 입력신호에 대하여 변환기의 교류-직류 변환특성을 논의하였다.

변환기의 교류-직류 변환오차를 최소화하기 위한 방법으로서, 입력신호에 의해 변환기의 히터에서 발생된 열이 60개의 Bi-Sb 열전쌍이 서로 직렬로 연결된 열전퇴의 고온 접합부로 잘 전달되도록 반도체 공정기술로 NiCr 히터와 고온 접합부의 가장자리사이 거리를 약 20 μm 로 가깝게 하였고, 히터에서 발생된 열이 실리콘 기판을 통해 손실되는 것을 방지하기 위하여 실리콘 마이크로머시닝기술로 히터 및 열전퇴의 고온 접합부가 열차단막 역할을 하는 N/O/N 다이아프램위에 놓이도록 하였으며, 또한 히터의 필라멘트 및 필라멘트와 본딩 패드 사이의 접합에서 열전효과에 의해 부가적으로 발생하는 열을 서로 상쇄시켜 히터에서의 온도분포를 균일하게 하기 위하여 히터의 형상을 bifilar로 하였다. 변환기의 열감도를 증가시키기 위한 방법으로서, Seebeck계수의 차이가 큰 Bi 및 Sb 박막을 열전퇴 재료로 선택하였고, 또한 열전퇴의 고온 및 저온 접합부 사이에서 큰 온도차이를 얻을 수 있도록 방열판 역할을 하는 실리콘 림에 의해 지지되는 N/O/N 박막위에 저온 접합부를 형성시켰다.

단일 bifilar 히터가 내장된 변환기의 열감도는 진공 중에서 약 54.0 mV/mW로서 상용 3차원 다중접합 변환기의 약 1.75 mV/mW보다 현저히 향상되었으나, 시간에 따른 출력 열기전력 변화는 오히려 크게 나타났는데, 이에 대한 원인으로서는 변환기의 높은 열감도 때문인 것으로 생각된다. 교류-직류 전압변환 오차범위는 공기중에서 실용 표준기로서의 응용을 위해 필요한 ± 1.0 ppm보다 훨씬 작은 약 ± 0.60 ppm이었고, 전류 변환 오차범위는 상용 변환기의 약 ± 1.10 ppm보다

훨씬 작은 약 ± 0.11 ppm으로서, 본 연구에서 제작된 변환기의 교류-직류 변환 정확도가 상용 변환기의 것보다 월등히 개선되었다. 그러나 단일 직선 히터 및 단일 bifilar 히터로 제작된 변환기의 열감도 및 교류-직류 변환오차는 10 Hz~10 kHz의 주파수범위에서 거의 차이가 없었다.

본 연구에서 개발된 열전변환기를 교류-직류 변환 표준기로서 실용화하기 위해서는 출력 열기전력의 안정도를 개선할 수 있는 히터 및 열전퇴 재료 등에 대한 연구가 우선 수행되어야 하고, 아울러 10 kHz이상의 고주파에서 사용하기 위해서는 히터의 형상에 따른 변환기의 유도성 및 용량성 입력 임피던스가 교류-직류 변환 특성에 미치는 영향에 대한 연구도 수행되어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

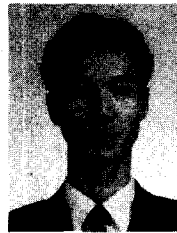
- [1] Francis L. Hermach, "Thermal converters as ac-dc transfer standards for current and voltage measurements at audio frequencies," *J. of Research of the National Bureau of Standards*, vol. 48, no. 2, pp. 121-138, 1952.
- [2] F. J. Wilkins et al., "Multi-junction thermal converter-accurate d.c./a.c. 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] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [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 SiO₂-Si₃N₄ sandwich system," *Thin Solid Films*, vol. 188, pp. 27-33, 1990.
- [13] 김명규 등, "스트레스 균형이 이루어진 Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄ 유전체 멤버레인의 제작," *센서학회지*, 제4권, 제3호, pp. 51-59, 1995
- [14] 김명규 등, "교류 열량측정법에 의한 Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄ 다이아프램의 열확산도 측정," *응용물리*, 제10권, 제4호, pp. 328-335, 1997
- [15] T. Elbel et al., "Thermoelectric radiation microsensors," *Sensors and Actuators A*, vol. 41-42, pp. 493-496, 1994.
- [16] D. B. Lee, "Anisotropic etching of silicon," *J. of Appl. Phys.*, vol. 40, no. 11, pp. 4569-4574, 1969.

[17] 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.

[18] 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.

저 자 소 개

金 鎮 燮(正會員) 第 34卷 D編 第 2號 參照.
현재 인제대학교 전자공학과 부교수



李 賢 哲(正會員)
1970년 4월 27일생. 1996년 2월 경 일대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1998년 2월 경북대학교 대학원 전자 공학과 졸업(공학석사). 현재 LG반 도체(주) 메모리 설계 연구소 근무. 주 관심분야는 열전변환기 및 반도체 메모리 설계 등임

咸 成 鎬(正會員) 第 34卷 D編 第 9號 參照.
현재 경북대학교 센서기술연구소 전 임강사

李 鍾 玄(正會員) 第 35卷 D編 第 2號 參照.
현재 경북대학교 전자전기공학부 교 수

李 正 熙(正會員) 第 32卷 A編 第 11號 參照.
현재 경북대학교 전자전기공학부 부 교수

朴 世 一(正會員)
1961년 9월 30일생. 1985년 서울대학교 자연과학대학 물리학과 졸업(이학사), 1987년 한국과학기술원 물리학과 졸업(이학석사), 1990년 한국과학기술원 물리학과 졸업(이학박사), 1990년 3월 ~ 현재 한국표준과학연구원 전자기연구부 근무. 주 관심분야는 초전도 전자공학 응용 소자, 센서 및 MEMS 등임

權 聖 遠(正會員)
1952년 1월 19일생. 1974년 2월 한국항공대학교 전자공 학과 졸업(공학사). 1974년 ~ 1977년 공군정밀측정시 험소 전기전자시험과장, 1978년 ~ 현재 한국표준과학연 구원 전자기연구부 근무. 주 관심분야는 교류 전압 및 전 류 정밀측정, 센서 및 MEMS 등임