

論文99-36D-9-6

박막형 크로멜-알루멜 다중접합 열전변환기

(Thin Film Chromel-Alumel Multijunction Thermal Converter)

鄭仁植*, 金鎮燮**, 李正熙*, 李鍾玄*, 辛長奎*,
朴世一***, 權聖遠***

(In-Sik Jung, Jin-Sup Kim, Jung-Hee Lee, Jong-Hyun Lee,
Jang-Kyoo Shin, Se Il Park, and Sung-Won Kwon)

요 약

박막형 다중접합 열전변환기의 시간에 따른 출력전압 변화를 감소시키기 위해 벌크의 저항온도계수가 매우 작은 EVANOHM-S 합금을 박막 히터재료로 사용하였고, 또한 Seebeck 계수차이가 비교적 작은 크로멜-알루멜 열전쌍을 박막 열전퇴(thermopile)의 열전요소로 하였다. EVANOHM-S 박막 히터의 저항온도계수는 약 $1.4 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 였고, 크로멜-알루멜 박막 열전쌍의 Seebeck 계수차이는 약 $38 \mu\text{V}/\text{K}$ 였다. 열전변환기의 출력전압 변화는 공기중에서 처음 120초동안 약 0.06%였고, 약 5분간이상 히터의 예열후 출력전압 변화는 현저히 감소하였다. 10 Hz~10 kHz의 주파수 범위에서 열전변환기의 교류-직류 전압 및 전류 변환 오차범위는 각각 약 $\pm 1.6 \text{ ppm}$ 및 $\pm 0.7 \text{ ppm}$ 이었고, 10 Hz이하 또는 10 kHz이상의 주파수에서는 교류-직류 변환오차가 크게 증가하였다.

Abstract

For the purpose of reducing the output voltage fluctuation of thin film multijunction thermal converter, EVANOHM alloy-S and chromel-alumel thermocouple were used as a thin film heater material and as a thermoelement of thermopile, respectively. The temperature coefficient of the resistance of thin film EVANOHM alloy-S heater was about $1.4 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$, which is very small compared to other materials, and thin film chromel-alumel thermocouple showed relatively small difference of the Seebeck coefficients about $38 \mu\text{V}/\text{K}$. The output voltage fluctuation of the thermal converter was about 0.06% for the initial 120 seconds in air and decreased considerably after preheating for 5 minutes or more. The respective AC-DC voltage and current transfer error ranges of the thermal converter were about $\pm 1.6 \text{ ppm}$ and $\pm 0.7 \text{ ppm}$ in the frequency range from 10 Hz to 10 kHz and increased remarkably below 10 Hz or above 10 kHz.

* 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, 仁濟大學校 電子情報通信工學部
(School of Electronic and Telecommunication Engineering,
Inje University)

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

※ 본 연구는 1998년도 한국표준과학연구원 연합협동
연구비 지원에 의해 수행되었음.

接受日字:1999年4月19日, 수정완료일:1999年8月10日

I. 서론

1 MWh이하의 교류에 대한 실용 표준기로서 열전형 교류-직류 변환기(또는 열전변환기)가 사용된다. 가장 단순한 구조를 갖는 열전변환기는 교류 입력신호를 열로 변환시켜주는 히터 및 히터의 열을 감지하여 직류 출력을 발생시키는 열전쌍 1개로 구성되는 3차원 구조의 단일접합 열전변환기(3-D SJTC : 3-dimensional single-junction thermal converter)이다. 3차원 단일접합 열전변환기의 경우 교류 입력전력에 대한 직류 출력전압의 비로 정의되는 전압 감응도(voltage responsivity)가 매우 낮고, 또한 히터 발열부의 불균일한 온도분포 및 히터 발열부와 발열부 지지선 사이의 기생접합(parasitic junction)에서 생기는 열전효과에 의한 교류-직류 변환 오차(ac-dc transfer difference)가 비교적 크게 나타난다^[1,2].

단일접합 열전변환기보다 전압 감응도가 훨씬 더 높고 교류-직류 변환오차가 크게 감소된 3차원 구조의 다중접합 열전변환기(3-D MJTC : 3-dimensional multijunction thermal converter)가 개발되어 사용되어 왔으나^[3], 3차원 다중접합 열전변환기의 경우에는 제작 공정상의 어려움 때문에 공정수율이 매우 낮을 뿐만 아니라 열전변환기의 제작에 많은 시간이 소요되는 문제점이 있었다. 최근에는 이러한 문제점들을 해결하고 열전변환기의 성능을 향상시키기 위해 반도체 공정기술을 응용한 박막형 다중접합 열전변환기를 개발하여 교류의 실용 표준기로 사용하고자 하는 시도가 활발하게 이루어지고 있다^[4-6].

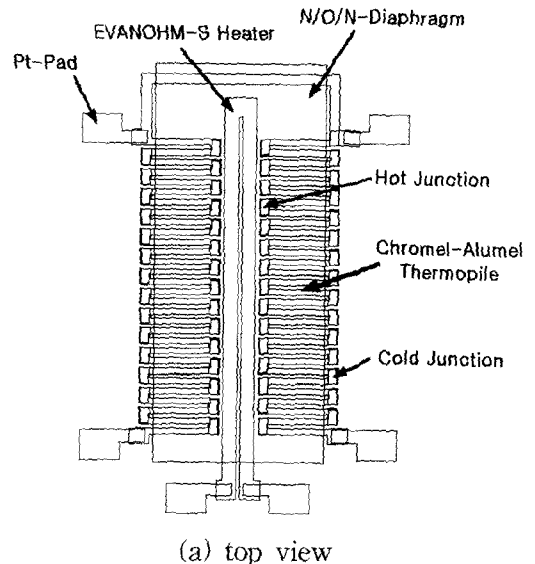
본 연구에서는 입력신호를 열로 변환시키는 히터, 히터에서 발생된 열을 감지하여 직류출력을 발생시키는 열전퇴(thermopile) 및 히터에서 발생된 열의 실리콘 기판을 통한 손실을 방지하기 위한 열차단용 다이아프램으로 구성된 박막형 다중접합 열전변환기를 제작하여, 변환기의 전압 감응도, 시간에 따른 출력전압 및 주파수에 따른 교류-직류 변환오차 등에 대해 논의하였다. 열전변환기의 출력전압 변화를 감소시키기 위해 -55~+105 °C의 온도범위에서 ±5 ppm이내의 매우 작은 벌크(bulk) 비저항 변화를 나타내는 EVANOHM alloy-S[조성(wt%) : Ni(72) + Cr(20) + Mn(4) + Al(3) + Si(1)]를 박막 히터재료로 선택하였고, 또한 Seebeck

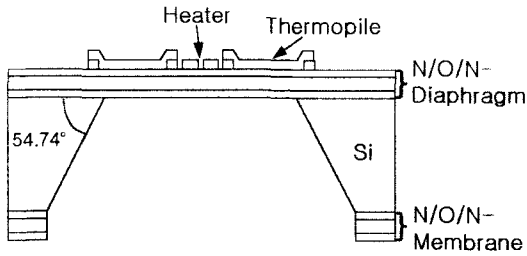
계수차이가 Bi-Sb 박막 열전쌍의 약 97 $\mu\text{V}/\text{K}$ ^[9]보다 훨씬 작은 약 41 $\mu\text{V}/\text{K}$ 의 벌크 Seebeck 계수차이를 갖는 chromel[조성(wt%) : Ni(90) + Cr(10)]-alumel[조성(wt%) : Ni(95) + Al(4) + Si(1)] 열전쌍을 다중접합 박막 열전퇴의 열전요소로 하였다. 열차단막으로서의 수평방향의 열전도도가 실리콘 기판의 벌크 열전도도보다 훨씬 더 작을 뿐만 아니라^[10], 실리콘 기판에 의한 내재 스트레스(built-in stress)의 균형이 이루어져 안정된 기계적 특성을 갖는 Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄ 램브레이크를 사용하였다^[11].

II. 열전변환기의 설계 및 제작

1. 열전변환기의 설계

열전변환기를 교류-직류 변환 표준기로 응용하기 위해서는 교류-직류 변환오차 및 출력전압의 시간에 따른 변화가 매우 작아야 하고, 또한 열잡음 및 외부 회로와의 정합성 등을 고려할 때 전압 감응도는 충분히 높아야 하며, 열전퇴의 출력저항은 작아야 한다. 본 연구에서는 열전쌍의 개수에 따른 열전변환기의 전압 감응도 차이를 알아보기 위해 30개 또는 40개의 크로멜-알루멜 열전쌍이 직렬로 연결된 열전퇴를 내장시킨 두 종류의 열전변환기(BH 30 및 BH 40)를 설계하였으며, 설계한 열전변환기의 개략도를 그림 1에 나타내었다.





(b) cross-sectional view

그림 1. 열전변환기의 개략도
Fig. 1. Schematic diagrams of thermal converter.

히터 발열부의 불균일한 온도분포 및 히터 발열부와 본딩패드 사이의 기생접합으로부터 각각 발생하는 Thomson 효과 및 Peltier 효과에 의한 교류-직류 변환 오차를 최소화하기 위해서 히터의 형상을 bifilar 모양으로 하였고^[1,2], 또한 변환기를 50 mW이하의 입력전력으로 동작시키기 위해 히터 패턴의 선폭을 70 μm로 하고, □(square)의 개수를 50개로 조정하여 박막 EVANOHM-S 히터의 전체저항을 약 200 Ω으로 설계하였다.

열전변환기의 출력전압 변화를 감소시키고, 또한 Sb 열전금속 박막과 Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄ 멤브레인 사이의 나쁜 접착력으로부터 기인하는 열전퇴 패턴형성 공정의 어려움을 해결하기 위해, Seebeck 계수차이가 커서 높은 전압 감응도를 얻을 수 있는 Bi-Sb 열전퇴^[12,13] 대신에 Seebeck 계수차이가 비교적 작은 크로멜-알루미늄 열전퇴를 선택하였다. 히터로부터 열전퇴의 고온접합(hot junction)까지 효율적인 열전달을 위해 히터 가장자리와 열전퇴의 고온접합 가장자리 사이의 거리를 가깝게 20 μm로 하였고, 또한 그림 1이 보여주는 바와 같이 열전퇴의 고온접합들 및 저온접합들이 히터를 중심으로 각각 서로 대칭이 되도록 설계하였다.

열전퇴의 고온접합과 실리콘 림(rim) 사이의 거리는 340 μm로 하고, 실리콘 림과 열전퇴의 저온접합(cold junction) 사이의 거리를 60 μm로 하여, 열전퇴를 구성하는 크로멜 및 알루미늄 패턴의 전체길이를 각각 400 μm가 되게 하였고, 또한 크로멜 및 알루미늄 패턴의 선폭은 각각 30 μm로 하였다. 크로멜-알루미늄 열전퇴의 전체 저항은 열전변환기 BH 30 및 BH 40의 경우 각각 약 740 Ω 및 약 980 Ω이 되도록 설계하였다. 열전퇴에서는 고온접합에서부터 저온접합으로의 열전도가 동일하게 되도록 해야 하므로 크로멜 및 알루미늄 패턴의 단면

적을 조정해야 하지만^[14], 크로멜 및 알루미늄의 벌크 열전도도는 각각 약 90 W·m⁻¹·K⁻¹ 및 약 95 W·m⁻¹·K⁻¹으로서 서로 비슷하여 이들 패턴의 선폭 및 두께를 동일하게 하였다. BH 30의 경우 고온접합 및 저온접합의 면적은 각각 40×75 μm²였고, BH 40의 경우는 고온접합 및 저온접합의 면적이 각각 40×65 μm²였으며, 히터 및 열전퇴의 고온접합과 실리콘 기판 사이의 열차단을 위한 Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄ 다이아프램의 크기는 BH 30 및 BH 40의 경우 모두 동일하게 2.0×0.86 mm²가 되게 하였다.

2. 열전변환기의 제작

열전변환기를 제작하기 위한 기판으로서 결정면이 (100), 비저항이 5-20 Ω·cm, 두께가 약 500 μm이며, 양면이 정면으로 연마되고, 인(P)이 도핑된 직경 5인치의 N형 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 그림 2에 나타난 열전변환기의 제작공정 순서와 같이, 기판을 세척한 후 기판위에 히터 및 열전퇴의 고온접합과 기판 사이의 열차단막으로 사용될 샌드위치 구조의 150 nm-Si₃N₄/300 nm-SiO₂/150 nm-Si₃N₄(N/O/N) 멤브레인을 증착하였다. 여기서 Si₃N₄ 막은 780 °C 및 290 mTorr로 SiH₂Cl₂와 NH₃의 혼합가스를 사용하는 고온 LPCVD 방법으로 증착하였고, SiO₂ 막은 440 °C 및 250 mTorr로 SiH₄와 O₂의 혼합가스를 사용하는 저온 LPCVD 방법으로 증착하였다.

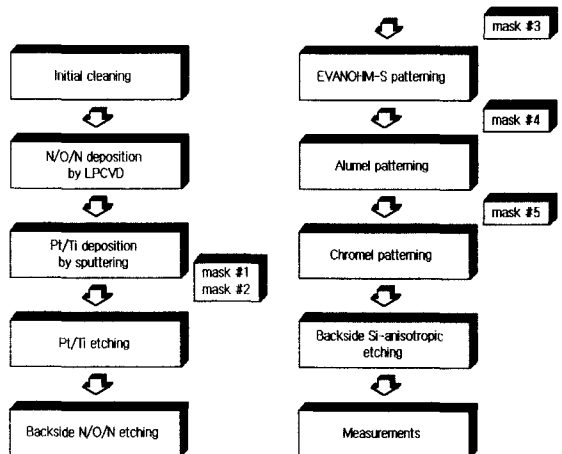


그림 2. 열전변환기의 제작공정 순서
Fig. 2. Process sequence for the fabrication of thermal converters.

N/O/N 멤브레인을 기판위에 증착한 후 기판 앞면에

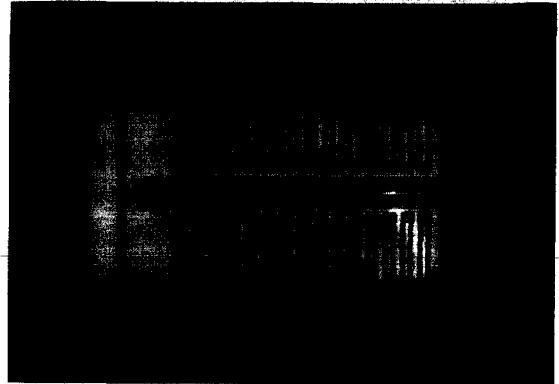
시 분당패드로 사용되고, 기판 뒷면에서는 KOH 용액에 의한 실리콘 기판의 이방성 식각시 식각 마스크로 사용될 N/O/N 박막의 패터닝형성을 위한 식각 마스크로 사용하기 위해, 기판의 앞면 및 뒷면에 Si_3N_4 막과 Pt 막 사이의 접착력을 높이기 위한 약 40 nm 두께의 Ti 및 약 200 nm 두께의 Pt를 각각 RF 마그네트론 스퍼터링하였다. 그 다음, 기판의 앞면 및 뒷면에 분당패드 패터닝형성 마스크 및 N/O/N 패터닝형성 마스크를 각각 양면 정렬하여 감광액 패터를 형성하고, 약 83 °C의 식각용액($\text{HNO}_3:\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}=1:7:8$)으로 Pt/Ti 박막을 식각하여 분당패드 패터 및 N/O/N 박막의 식각을 위한 마스크 패터를 각각 형성하였다. 전체두께가 약 600 nm인 기판 뒷면의 N/O/N 박막은 RIE 방법으로 식각하였다.

EVANOHM-S 히터와 크로멜-알루멜 열전퇴의 패터닝은 그림 2의 공정순서대로 모두 약 500 nm의 두께로 DC 마그네트론 스퍼터링한 후 감광액 lift-off 공정으로 각각 형성하였다. 여기서 기판 및 기판위에 이미 형성된 패터의 표면을 약 5분간 RF 마그네트론 스퍼터링하고, 또한 스퍼터링 타겟의 표면도 약 5분간 DC 마그네트론 스퍼터링한 후, EVANOHM-S, 알루멜 및 크로멜 박막을 DC 마그네트론 스퍼터링으로 각각 증착하였다. 이들 박막의 증착시 기판 온도의 상승에 의한 감광액 패터의 손상을 방지하기 위해 기판을 냉각시켰고, 스퍼터링전의 초기 진공도는 약 7.5×10^{-7} Torr였으며, Ar 가스를 주입하여 스퍼터링할 때의 진공도는 약 2.3×10^{-3} Torr였다.

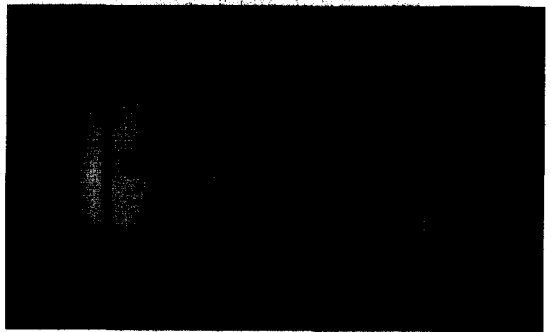
히터 및 열전퇴의 패터를 형성한 후, 기판 뒷면에 형성된 Pt/Ti 층 및 N/O/N 층을 식각 마스크로 하여 약 85 °C의 20 wt%-KOH 수용액으로 실리콘 기판을 이방성 식각하여, 그림 3과 같이 히터와 열전퇴의 고온접합이 열차단용 N/O/N 다이아프램위에 놓여지고 열전퇴의 저온접합은 방열판 역할을 하는 실리콘 림위에 놓여지는 구조의 박막형 크로멜-알루멜 다중접합 열전변환기를 제작하였다. 실리콘 기판의 식각시 기판 앞면에 형성된 패터들이 손상되는 것을 방지하기 위해 특별히 고안된 식각장치를 사용하였고, 이때 실리콘 기판의 수직방향 식각율은 분당 약 1.6 μm 였다.

제작된 열전변환기의 EVANOHM-S 히터저항은 BH 30 및 BH 40의 경우 모두 약 140 Ω 이었다. 크로멜-알루멜 열전퇴의 전체저항은 BH 30 및 BH 40의 경우 각각 약 780 Ω 및 약 960 Ω 으로서, 열전퇴를 구성하는 열전쌍 1개당 저항을 Bi-Sb 열전퇴의 경우^[12,13]보다 훨씬

더 작게 할 수 있었다.



(a) BH 30



(b) BH 40

그림 3. 열전변환기의 현미경 사진

Fig. 3. Photomicrographs of thermal converters.

III. 열전변환기의 특성

1. 히터 및 열전쌍의 특성

EVANOHM-S 박막 히터의 온도에 따른 저항 특성을 그림 4에 나타내었다. 그림 4의 기울기와 다음 식 (1)의 관계로부터 구한 EVANOHM-S 박막 히터의 저항온도계수 α 는 약 $1.4 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ 로서 Pt 박막 히터의 약 $3.78 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$ ^[9]보다 훨씬 더 작았다.

$$R_T = R_0(1 + \alpha T) \quad (1)$$

여기서 R_T 및 R_0 는 각각 온도 T °C 및 0 °C에서의 저항값이다. 또한 EVANOHM-S 히터의 입력전력 변화에 대한 온도변화의 비($\Delta T/\Delta P$)는 약 2.04 °C/mW로서 Pt 히터의 약 5.5 °C/mW^[9]보다 더 작았다.

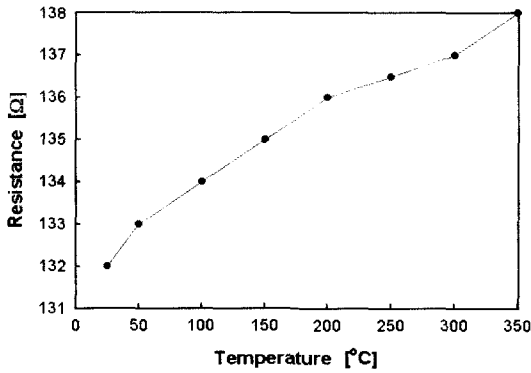


그림 4. EVANOHM-S 박막 히터의 온도에 따른 저항 특성

Fig. 4. Resistance-temperature characteristics of thin film EVANOHM-S heater.

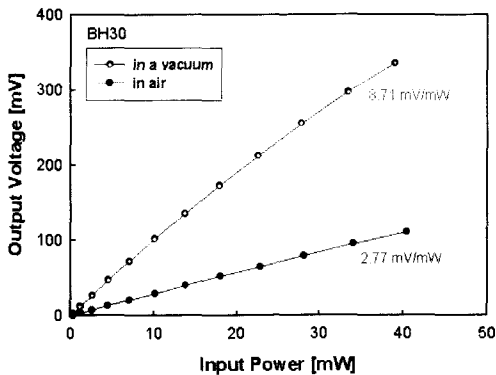
아래의 식 (2)로부터 구한 크로멜-알루미늄 박막 열전쌍의 Seebeck 계수차이($\alpha_A - \alpha_B$)는 약 $38 \mu\text{V/K}$ 로서 벌크 열전쌍의 $41 \mu\text{V/K}$ 보다 약간 작은 값을 나타내었다.

$$V = N(\alpha_A - \alpha_B)(T_{\text{hot}} - T_{\text{cold}}) \quad (2)$$

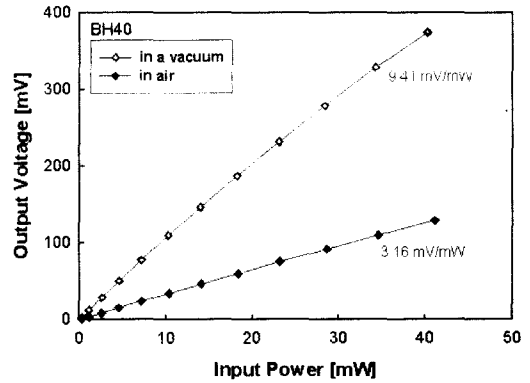
여기서 V 는 열전쌍의 출력전압이고, N 은 열전쌍을 구성하는 열전쌍의 개수이며, 또한 T_{hot} 및 T_{cold} 는 각각 고온접합 및 저온접합의 온도이다.

2. 전압 감응도

열전변환기 BH 30 및 BH 40의 공기중 및 약 10^{-5} Torr의 진공중에서 대표적인 입력전력에 따른 출력전압 특성을 그림 5에 나타내었다. 그림 5의 기울기 즉 히터의 입력전력 변화에 대한 열전쌍의 출력전압 변화의 비($\Delta V/\Delta P$)로서 정의되는 전압 감응도는 BH 30의 경우 공기중 및 진공중에서 각각 약 2.77 mV/mW 및 약 8.71 mV/mW 였고, BH 40의 경우는 각각 약 3.16 mV/mW 및 약 9.41 mV/mW 였다.



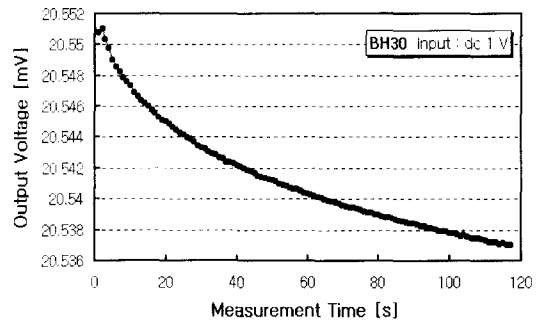
(a) BH 30



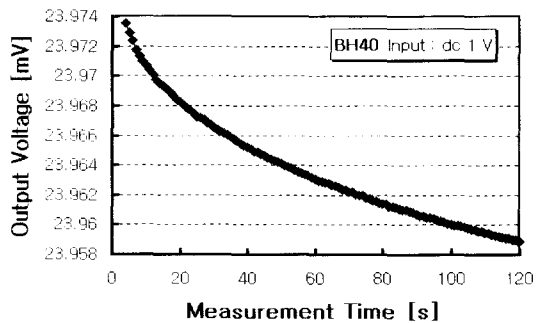
(b) BH 40

그림 5. 열전변환기의 입력전력에 따른 출력전압 특성
Fig. 5. Output voltage-input power characteristics of thermal converters.

열전쌍을 구성하는 열전쌍의 개수가 많은 열전변환기(BH 40)가 열전쌍의 개수가 작은 열전변환기(BH 30)보다 더 높은 감응도를 나타내었고, 또한 진공중에서는 공기에 의한 히터의 열손실이 현저히 감소되기 때문에 진공중에서의 전압 감응도가 공기중에서의 전압 감응도보다 더 크게 나타났다.



(a) BH 30

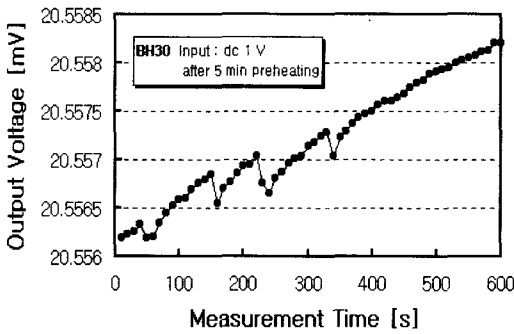


(b) BH 40

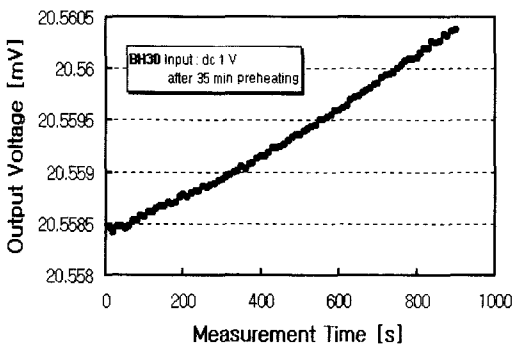
그림 6. 초기 120초동안 열전변환기의 출력전압 변화
Fig. 6. Output voltage fluctuations of thermal converters for the initial 120 seconds.

3. 출력전압 변화

열전변환기 BH 30 및 BH 40의 입력에 각각 직류 1 V를 인가하여 공기중에서 초기 120초동안 측정된 출력전압을 그림 6에 나타내었다. 초기 120초동안의 출력전압 변화는 약 0.06%였으며, 시간에 따라 출력전압이 감소하는 경향을 나타내었는데, 이것은 히터에서부터 열전퇴의 고온접합으로 전달된 열이 열전금속을 따라 저온접합으로 전달되어 저온접합의 온도가 상승되기 때문인 것으로 생각된다. 이 결과와 기 보고한 바 있는 Pt 또는 NiCr 히터와 Bi-Sb 열전퇴로 제작된 열전변환기^[12,13]의 출력전압 변화를 비교할 때, 본 실험에서 제작된 열전변환기의 출력전압 변화는 직선 NiCr 히터가 내장된 열전변환기의 것보다 더 작았지만, bifilar Pt 히터가 내장된 열전변환기의 것보다는 더 크게 나타났다.



(a) preheating time : 5 min.



(b) preheating time : 35 min.

그림 7. 예열후 열전변환기의 출력전압 변화
Fig. 7. Output voltage fluctuations of thermal converters after preheating.

BH 30에 직류 1 V를 인가하여 약 5분간 및 약 35분간 각각 예열한 후 시간에 따른 출력전압 변화를 그림 7에 나타내었다. 이들 두 경우 출력전압 변화는 예열시

간에 거의 관계없이 모두 약 0.01%로 동일하였고, 출력전압은 증가하는 경향을 나타내었는데, 이것에 대한 원인으로서 히터에서 발생된 열이 열차단막에 의해 히터에 축적되어 열전퇴의 고온접합 온도는 상승하는 반면에, 고온접합에서부터 저온접합으로 전달되는 열량과 저온접합에서부터 방열판 역할을 하는 실리콘 기판으로 전달되는 열량이 평형을 이루어 저온접합의 온도가 일정하게 유지되기 때문인 것으로 생각된다.

4. 교류-직류 변환오차

열전변환기의 입력에 정확도가 0.1 ppm이상인 직류 표준전원이 내장된 KST 003 fast reversed dc source를 연결하고, 출력에 KEITHLEY 182 nano-volt meter를 연결하여 입력신호의 주파수에 따른 교류-직류 변환오차를 자동 측정하였다^[15].

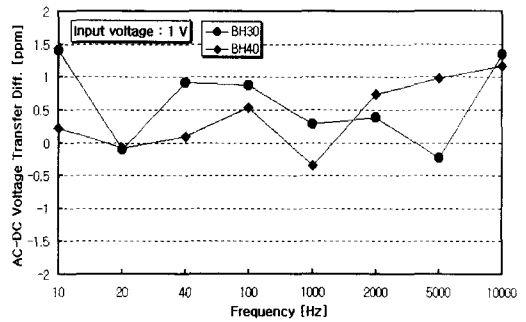


그림 8. 열전변환기의 교류-직류 전압 변환오차
Fig. 8. AC-DC voltage transfer differences of thermal converters.

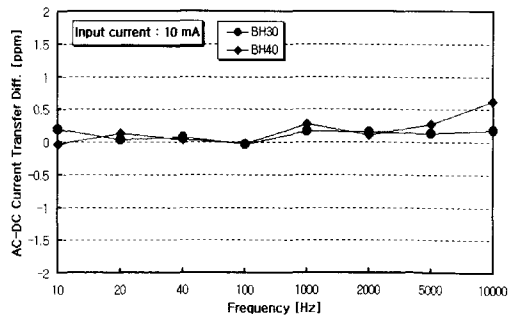


그림 9. 열전변환기의 교류-직류 전류 변환오차
Fig. 9. AC-DC current transfer differences of thermal converters.

전압 및 전류가 각각 1 V 및 10 mA인 정현파 교류를 입력으로 하여 10 Hz~10 kHz의 주파수 범위에서 측정된 열전변환기의 교류-직류 전압 및 전류 변환오차를

그림 8 및 그림 9에 각각 나타내었다. 열전변환기 BH 30 및 BH 40의 전압변환 오차범위는 약 ± 1.6 ppm였고 전류변환 오차범위는 약 ± 0.7 ppm으로서, Pt 히터와 Bi-Sb 열전퇴로 제작된 열전변환기^[12]와 비슷한 교류-직류 변환 오차범위를 나타내었고, 또한 NiCr 히터와 Bi-Sb 열전퇴로 제작된 열전변환기^[13]보다는 더 큰 교류-직류 변환 오차범위를 나타내었다.

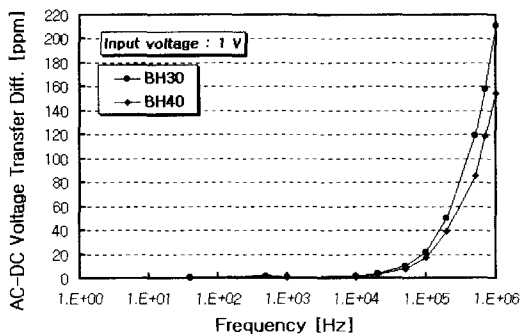


그림 10. 10 kHz 이상에서의 교류-직류 전압 변환오차
Fig. 10. AC-DC voltage transfer differences above 10 kHz.

10 kHz~1 MHz 범위의 주파수를 갖는 정현파 교류전압에 대한 교류-직류 변환오차를 그림 10에 나타내었다. 그림 10이 보여주는 바와 같이 10 kHz 이상의 높은 주파수 범위에서는 교류-직류 전압 변환오차가 현저히 증가하는 것을 알 수 있는데, 이것은 박막형 열전변환기의 구조로부터 생기는 열전변환기 내부의 유도성 및 용량성 기생 임피던스가 10 kHz 이상의 주파수 범위에서 크게 증가하기 때문이다^[16].

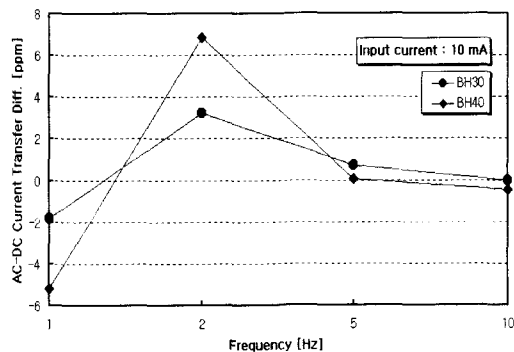


그림 11. 10 Hz 이하에서의 교류-직류 전류 변환오차
Fig. 11. AC-DC current transfer differences below 10 Hz.

그림 11은 10 Hz 이하의 주파수를 갖는 정현파 교류

전류에 대한 교류-직류 변환오차를 나타낸 것이다. 10 Hz 이하의 매우 낮은 주파수에 대해서도 열전변환기가 비교적 높은 교류-직류 전류 변환오차를 나타내었는데, 이것에 대한 이유로서는 매우 낮은 주파수의 교류가 인가될 때 생기는 히터의 열 관성(thermal inertia) 부족 때문이다^[16].

IV. 결론

본 연구에서는 박막형 열전변환기를 교류의 실용 표준기로 응용하기 위해 열전변환기의 시간에 따른 출력 전압 특성을 개선하고자 하였다. 기 수행한 연구결과^[12,13]로부터 히터의 온도에 따른 저항변화를 작게 하고, 전압 감응도를 낮추어 시간에 따른 출력전압 변화를 감소시킬 수 있음을 착안하였다. 박막 히터의 온도에 따른 저항변화를 작게 하기 위해 벌크의 저항온도계수가 매우 작은 EVANOHM-S 합금을 히터재료로 사용하였고, 또한 전압 감응도를 낮추기 위해 Seebeck 계수 차이가 비교적 작은 크로멜-알루멜 열전쌍을 다중접합 박막 열전퇴의 열전요소로 하였다.

EVANOHM-S 박막 히터의 저항온도계수는 약 $1.4 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 로서 Pt 박막 히터의 것보다 작았고, 또한 EVANOHM-S 히터의 인가된 전력변화에 대한 온도변화의 비도 약 $2.04 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{mW}$ 로서 Pt 히터의 것보다 작았다. 크로멜-알루멜 박막 열전쌍의 Seebeck 계수차이는 약 $38 \mu\text{V}/\text{K}$ 로서 벌크 열전쌍의 것보다 약간 작은 값을 나타내었다. 공기중 및 진공중의 전압 감응도로부터 히터에서 발생된 열의 공기에 의한 손실을 확인할 수 있었고, 전압 감응도는 3차원 다중접합 열전변환기의 것보다 큰 값을 나타내어 교류 표준기로서의 응용을 위해 요구되는 전압 감응도에는 만족되었다. 초기 120초동안의 출력전압 변화는 약 0.06%로서, 본 연구에서 제작된 열전변환기가 Pt 히터와 Bi-Sb 열전퇴로 제작된 열전변환기보다 더 큰 출력전압 변화를 나타내었으나, NiCr 히터와 Bi-Sb 열전퇴로 제작된 열전변환기보다는 다소 개선된 출력전압 특성을 나타내었고, 이 경우 열전변환기는 출력전압이 감소하는 경향을 나타내었다. 약 5분 이상 예열한 후의 출력전압 변화는 현저히 감소하였고, 이 경우에는 출력전압이 증가하는 경향을 나타내었다. 10 Hz~10 kHz의 주파수 범위에서 교류-직류 전압 및 전류 변환오차는 공기중에서 각각 약 ± 1.6 ppm 및 \pm

0.7 ppm으로서, 본 연구에서 제작된 열전변환기가 Pt 히터와 Bi-Sb 열전퇴로 제작된 열전변환기와 비슷한 오차범위를 나타내었고, NiCr 히터와 Bi-Sb 열전퇴로 제작된 것보다 더 큰 오차범위를 나타내었으며, 또한 10 Hz이하 또는 10 kHz이상의 주파수에서 각각 히터의 열 관성 부족 및 기생 임피던스에 의한 교류-직류 변환오차의 큰 증가를 나타내었다.

또한, 크로멜 및 알루멜 박막의 경우 크로멜-알루멜 박막 열전쌍과 벌크 열전쌍의 Seebeck 계수차이가 서로 비슷한 것으로 보아 이들 박막에서는 스퍼터링 타겟의 조성이 비교적 잘 유지되는 것으로 생각되지만, EVANOHM-S 박막의 경우에는 히터의 저항값 및 저항온도계수를 고려할 때 복잡한 타겟의 조성을 박막에 유지시키는 것이 매우 어려운 것으로 보인다. 따라서 향후 저항온도계수가 극히 작은 EVANOHM-S 박막 히터를 제작하기 위해서는 타겟의 조성을 유지시킬 수 있는 박막 증착기술에 대한 연구가 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

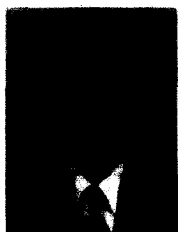
- [1] F. C. Widdis, "The theory of Peltier- and Thomson-effect errors in thermal a.c.-d.c. transfer devices," *The Institution of Electrical Engineer Monograph*, No. 497 M, pp. 328-334, 1962.
- [2] Barry D. Inglis, "A method for the determination of ac-dc transfer errors in thermoelements," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, Vol. IM-27, No. 4, pp. 440-444, 1978.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 권성원 등, "평면형 다중접합 열전변환기의 제작," *센서학회지*, 제5권, 제4호, pp. 17-24, 1996
- [8] 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.
- [9] 안영배 등, "스트레스 균형이 이루어진 멤브레인 및 박막 열전대를 응용한 유체센서," *센서학회지*, 제5권, 제6호, pp. 51-59, 1996
- [10] F. Völklein, "Thermal conductivity and diffusivity of a thin film SiO₂-Si₃N₄ sandwich system," *Thin Solid Films*, Vol. 188, pp. 27-33, 1990.
- [11] 김명규 등, "스트레스 균형이 이루어진 Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄ 유전체 멤브레인의 제작," *센서학회지*, 제4권, 제3호, pp. 51-59, 1995
- [12] 이현철 등, "백금 히터가 내장된 평면형 Bi-Sb 다중접합 열전변환기의 특성," *센서학회지*, 제7권, 제3호, pp. 154-162, 1998
- [13] 김진섭 등, "Bi-Sb 다중접합 열전변환기의 교류-직류 변환 특성," *전자공학회논문지*, 제35권 D 편, 제11호, pp. 47-54, 1998
- [14] T. Elbel et al., "Thermoelectric radiation microsensors," *Sensors and Actuators A*, Vol. 41-42, pp. 493-496, 1994.
- [15] 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.
- [16] B. D. Inglis, "Standards for AC-DC transfer," *Metrologia*, Vol. 29, pp. 191-199, 1992.

저 자 소 개



鄭仁植(正會員)

1973년 3월 24일생. 1997년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 3월~현재 경북대학교 대학원 전자공학과(석사과정) 재학중. 주관심 분야는 반도체 설계 및 공정, 열전변환기 및 MEMS 등임



辛長奎(正會員)

1978년 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1980년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 1991년 미국 콜로라도 주립대학교 전자공학과 졸업(공학박사). 1995년~1997년 일본 토요하시 기술과학대학교 교환교수. 1980년~현재 경북대학교 전자전기공학부 부교수. 주관심 분야는 반도체 물성, 반도체 센서 및 지능형 센서 시스템 등임

金鎮燮(正會員) 第35卷 D編 第11號 參照.
현재 인재대학교 전자정보통신공학부 부교수

朴世一(正會員) 第35卷 D編 第11號 參照.
현재 한국표준과학연구원 전자기연구부 근무

李正熙(正會員) 第35卷 D編 第11號 參照.
현재 경북대학교 전자전기공학부 교수

權聖遠(正會員) 第35卷 D編 第11號 參照.
현재 한국표준과학연구원 전자기연구부 근무

李鍾玄(正會員) 第35卷 D編 第11號 參照.
현재 경북대학교 전자전기공학부 교수 및 재단법인 대구테크노파크사업단 단장