

논문 2002-11-3-04

저주파수 및 저입력전압용 박막형 다중접합 열전변환기

황찬순*, 이형주**, 김진섭***, 이정희**, 박세일****, 권성원*****

Thin Film Multijunction Thermal Converter for Low Input Voltage with Low Frequency**Chan-Soon Hwang*, Hyung-Ju Lee**, Jin-Sup Kim***, Jung-Hee Lee**,
Se Il Park**** and Sung-Won Kwon*********요 약**

저주파수의 저전압용 크로멜-알루멜 다중접합 열전변환기를 개발하고자 NiCr 히터의 두께를 400 nm, 600 nm 및 800 nm로 변화시켰다. 40 Hz~10 kHz의 직류 역방향 주파수 범위로 0.5 V의 교류 실효전압을 열전변환기에 인가시켰을 때 히터의 두께가 400 nm인 열전변환기가 $\pm 0.51 \sim \pm 1.69$ ppm 범위의 열전효과에 의한 교류-직류 전압 변환오차를 나타내었고, 열전효과 및 주파수에 의한 교류-직류 변환오차는 40 Hz~1 MHz의 주파수 범위에서 $\pm 40 \sim \pm 115$ ppm 범위를 나타내어, 저주파수의 저전압용으로 사용할 수 있었다.

Abstract

NiCr-heaters with three different thicknesses ranging from 400 nm to 800 nm were fabricated and their characteristics were compared for the purpose of developing a chromel-alumel multijunction thermal converter for low input voltage with low frequency. The thermoelectric effect-induced AC-DC voltage transfer difference of the thermal converter with a built-in NiCr-heater of 400 nm-thickness was $\pm 0.51 \sim \pm 1.69$ ppm in the DC reversing frequency of 40 Hz~10 kHz with applying 0.5 V_{rms} and the difference was increased to $\pm 40 \sim \pm 115$ ppm in the frequency of 40 Hz~1 MHz, when both thermoelectric effects and frequency effects were considered, showing the thermal converter would be suitable for the low input voltage application with low frequency.

1. 서 론

주파수가 1 MHz이하의 교류에 대해 실용표준을 얻기 위한 교류-직류 변환기로서 Seebeck 효과를 이용하는 열전변환기가 교류의 파형 및 주파수에 대한 의존성이 비교적 작은 장점을 갖기 때문에 열전변환기를 교류의 실용표준을 위한 교류-직류 변환기로서 응용하고자 하는 연구가 이루어져 왔다^[1]. 열전변환기는 진공관 형태를 하는 3차원 단일접합 열전변환기(3-D SJTC : 3-dimensional single junction thermal converter), 단일접합 열전변환기의 성능을 개선한 3차원 다중접합 열전변환기(3-D MJTC : 3-dimensional multijunction thermal con-

* (주)아프지마 연구개발부(Department of Research and Development, Afzima Co., Ltd)

** 경북대학교 전자전기컴퓨터학부(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

*** 인제대학교 전자정보통신공학부(School of Electronic and Telecommunication Engineering, Inje University)

**** 한국표준과학연구원 전자소자그룹(Electronic Devices Group, Korea Research Institute of Standards and Science)

***** 한국표준과학연구원 전자기표준부(Division of Electromagnetic Metrology, Korea Research Institute of Standards and Science)
<접수일자 : 2002년 3월 7일>

verter) 및 최근에 와서는 반도체 공정기술로 제작되는 평면형 다중접합 열전변환기(PMJTC : planar multijunction thermal converter)의 차례로 개발되어 왔다^(2~4).

본 연구팀은 한국표준과학연구원의 위탁연구로 1997년부터 평면형 다중접합 열전변환기를 개발하기 위한 연구를 시작하였고, 그 결과 Pt 히터와 Bi-Sb 열전퇴로 구성되는 열전변환기⁽⁵⁾, NiCr 히터와 Bi-Sb 열전퇴로 구성되는 열전변환기⁽⁶⁾, EVANOHM-S 합금 히터와 크로멜-알루멜 열전퇴로 구성되는 열전변환기⁽⁷⁾, NiCr 히

터와 크로멜-알루멜 열전퇴로 구성되는 열전변환기^(8,9), 열전변환기의 온도분포 해석⁽¹⁰⁾ 및 Pt 히터 또는 NiCr 히터와 Bi-Sb 열전퇴로 이루어지는 열전변환기의 특성 비교⁽¹¹⁾를 각각 발표하였다.

히터의 두께에 따라 열전변환기의 열 시정수가 달라지므로 열 시정수의 역수 즉 이 주파수 근방에서 교류-직류 변환오차가 증가할 것으로 생각되어, 본 연구에서는 저주파수의 500 mV인 저전압을 입력전압으로 사용할 수 있는 박막형 다중접합 열전변환기를 개발하고자, NiCr 히터

표 1. 열전변환기의 설계 규격.

Table 1. Design specifications of thermal converters.

Specifications		TC 4-1 TC 6-1 TC 8-1	TC 4-2 TC 6-2 TC 8-2	TC 4-3 TC 6-3 TC 8-3	TC 4-4 TC 6-4 TC 8-4	TC 4-5 TC 6-5 TC 8-5	TC 4-6 TC 6-6 TC 8-6
Heater width [μm]		60	60	50	40	30	20
Heater length [μm]		3,950×2	3,385×2	3,055×2	2,495×2	1,855×2	1,470×2
Input Resistance of TC [Ω]	400 ¹⁾ [nm]	300	248	270	280	270	320
	600 ²⁾ [nm]	228	179	177	240	181	213
	800 ³⁾ [nm]	192	145	156	143	149	176
Thermocouple width [μm]		L _{Ch} = 70	60	50	40	30	20
		L _{Al} = 65	55	45	35	25	15
Thermocouple length [μm]		350	350	350	350	350	350
Ratio of width to length in thermocouple		1/5	1/5.8	1/7	1/8.8	1/11.7	1/14
No. of thermocouple		40	38	38	36	30	28
Output Resistance of TC [Ω]	400 ³⁾ [nm]	460	500	600	700	800	900
	600 ¹⁾ [nm]	446	525	880	991	1,103	1,859
	800 ¹⁾ [nm]	583	764	948	1,081	1,209	1,887
Diaphragm area [mm^2]		4.26×0.87=3.71	3.69×0.87=3.21	3.35×0.85=2.85	2.78×0.83=2.31	2.13×0.81=1.73	1.73×0.79=1.37
Thermopile area [mm^2]		1.96	1.68	1.32	1.00	0.63	0.39
Ratio of thermopile area to diaphragm area		0.53	0.52	0.47	0.44	0.36	0.29

- 1) NiCr의 면저항 2.3 Ω/\square 를 넣어 계산한 저항값.
- 2) NiCr 히터의 측정된 저항 값.
- 3) 크로멜의 면저항 2.256 Ω/\square 및 알루멜의 면저항 1.732 Ω/\square 를 넣어 계산한 저항 값.
- 4) 열전퇴의 측정된 저항 값.

와 크로멜-알루멜 열전퇴로 구성되는 열전변환기의 NiCr 히터 두께를 400 nm, 600 nm 및 800 nm으로 나누어 제작하고, 이에 따른 특성을 각각 논의하였다.

II. 열전변환기 설계 및 제작

히터에 의한 열전변환기의 교류-직류 변환오차를 줄이기 위해 저항온도계수 및 Thomson계수가 작은 NiCr을 히터재료로 사용하였다. 직류 입력의 방향에 의존하여 나타나는 Thomson 효과 및 Peltier 효과에 의해 부가적으로 발생하는 열이 각각 서로 상쇄되도록 히터의 모양을 bifilar로 설계하였다. 히터 패턴의 선폭은 20~60 μm 가 되도록 하였고, 히터의 가장자리들 사이의 간격은 약 20 μm 로 하여, 히터 전체 저항이 143~320 Ω 의 범위가 되게 하였다.

크로멜-알루멜 열전쌍을 열전퇴의 열전요소로 선택하였고, 히터의 가장자리와 열전퇴 고온 접합부 가장자리 사이의 간격은 약 15 μm 가 되도록 하였으며, 또한 히터를 중심으로 열전퇴의 고온 접합부 및 저온 접합부가 각각 대칭이 되도록 설계하였다. 서로 직렬로 연결되어 열전퇴를 구성하는 열전쌍의 수는 전체 저항을 고려하여 28~40개로 하였다. 크로멜 가장자리들 사이의 간격은 약 20 μm 로 설계하였고, 알루멜 가장자리들 사이의 간격은 약 15 μm 로 설계하였다. 크로멜 및 알루멜의 두께는 모두 500 nm로 설계하였고, 선폭은 크로멜의 경우 20~70 μm 로 설계하였으며, 알루멜의 경우는 15~65 μm 로 설계하였다. 또한 열전퇴의 고온 접합부 가장자리와 저온 접합부 가장자리 사이의 길이는 약 350 μm 이었다.

본 연구에서 설계한 열전변환기의 주요 규격을 표 1에 나타내었다. 여기서 히터재료의 두께가 400 nm, 600 nm 및 800 nm인 열전변환기는 각각 TC 4, TC 6 및 TC 8로서 표시하였고, 열전쌍의 길이에 대한 선폭의 비가 1/5, 1/5.8, 1/7, 1/8.8, 1/11.7 및 1/14인 열전변환기는 각각 TC 4, TC 6 및 TC 8 다음에 1, 2, 3, 4, 5 및 6으로 표시하였다.

열전변환기의 제작을 위한 공정순서를 그림 1에 나타내었다. 열전변환기 제작에 사용된 기판은 결정면이 (100)이고, 비저항이 5~10 $\Omega \cdot \text{cm}$ 이며, 두께가 약 600 μm 인 양면이 정면으로 연마된 직경 5인치의 N형 실리콘 웨이퍼였다.

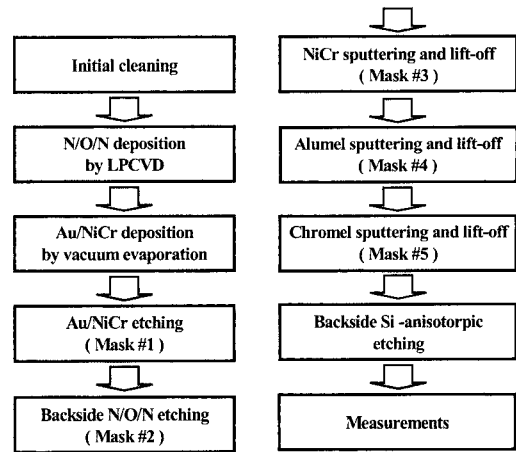


그림 1. 열전변환기의 제작공정 순서.

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

공정용 웨이퍼를 초기 세척 후, 실리콘 기판의 앞면에서 히터 및 열전퇴의 고온 접합부와 실리콘 기판 사이의 열차단용 멤브레인으로 사용되고, 기판의 뒷면에서는 실리콘 기판의 이방성 식각 마스크로 사용될 150 nm-Si₃N₄/300 nm-SiO₂/150 nm-Si₃N₄(N/O/N) 박막을 기판 양면에 증착시켰다. N/O/N 박막을 증착한 후, 기판의 앞면에서는 와이어 본딩 전극으로 사용되고, 뒷면에서는 N/O/N 박막의 식각 마스크로 사용되는 Au/NiCr 박막의 패턴형성을 위해 기판의 양면에 약 40 nm 두께의 NiCr 및 약 200 nm 두께의 Au를 각각 진공 증착하였다.

표 2. N/O/N 박막의 반응성 이온식각 조건.

Table 2. Reactive ion etching condition of N/O/N-thin film.

Parameter	Description
Working pressure [Pa]	1.6
CF ₄ flow rate [sccm]	20
RF power [W]	100
DC bias [V]	-132
Etching time [min]	50

Au/NiCr 박막의 증착 후, 마스크 #1과 마스크 #2를 양면 정렬하여 감광액 패턴을 형성하고, 이를 NiCr 및 Au 식각액을 이용하여 식각

하여 와이어 본딩패드 및 N/O/N 식각 마스크 패턴을 각각 형성하였다. NiCr 식각용액은 상품화되어 있는 Cr 식각용액을 사용하였고, Au 식각용액은 KI:I₂:H₂O=4:1:40인 식각용액을 사용하였다. 기판 뒷면에 있는 N/O/N 박막은 표 2에 나타난 바와 같은 조건에 의해 반응성 이온 식각으로 패턴을 형성하였다.

표 3. 니크롬, 알루미네 및 크로멜 박막을 얻기 위한 DC 마그네트론 스퍼터링 조건.

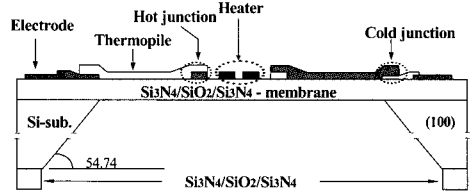
Table 3. DC magnetron sputtering conditions for NiCr, alumel and chromel thin films.

Parameter	NiCr	Alumel	Chromel
Working pressure [Pa]	0.3	0.4	0.3
Target voltage [V]	-320	-361	-345
Target current [A]	1.0	0.7	1.0
Deposition rate [Å/min]	1,000	830	1,110

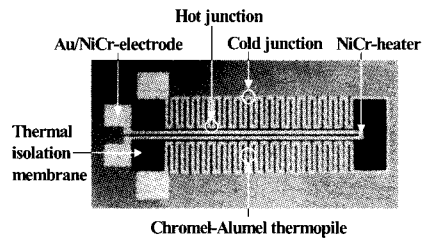
기판 뒷면의 N/O/N 박막을 식각한 후, 기판 앞면에 마스크 #3를 사용하여 감광액 패턴을 형성하였다. 그 다음 형성된 감광액 패턴 위에 NiCr을 약 400 nm, 600 nm 및 800 nm의 두께로 DC 마그네트론 스퍼터링한 후, 감광액 lift-off 공정으로 NiCr 히터의 패턴을 형성하였다. 크로멜-알루미네 열전퇴의 패턴을 형성하기 위해서는 우선 마스크 #4를 사용하여 감광액 패턴을 형성하고, 알루미네를 약 500 nm의 두께로 DC 마그네트론 스퍼터링한 후, 감광액 lift-off 방법으로 알루미네의 패턴을 형성하였고, 그 다음 크로멜 패턴은 마스크 #5를 사용하여 감광액 패턴을 형성하고, 크로멜을 약 500 nm의 두께로 DC 마그네트론 스퍼터링한 후 감광액 lift-off 방법으로 크로멜의 패턴을 형성하였다. 표 3에 직경이 4인치인 NiCr, 알루미네 및 크로멜 타겟의 DC 마그네트론 스퍼터링 조건을 나타내었다.

Au/NiCr 와이어 본딩패드, NiCr 히터 및 크로멜-알루미네 열전퇴의 패턴이 형성된 시편을 지그(jig)에 장착한 후, 실리콘 기판을 약 85 °C 의 25 wt.-%-KOH 수용액으로 이방성 식각하여, 그림 2와 같이 히터 및 열전퇴의 고온 접합부는 열차단용 N/O/N 다이아프램 위에 놓여지고, 열전퇴의 저온 접합부는 방열판 역할을 하는

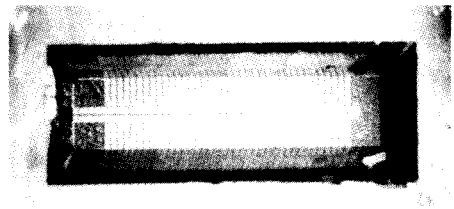
실리콘 림(rim)에 의해 지지되는 N/O/N 위에 형성되게 하였다. 실리콘 이방성 식각 마스크는 Au/NiCr/N/O/N 박막이었다.



(a)



(b)



(c)

그림 2. 열전변환기의 (a) 단면도, (b) 정면도 및 (c) 뒷면도.

Fig. 2. (a) cross-sectional view, (b) front-side view and (c) back-side view of thermal converter.

III. 특성 측정 및 고찰

본 연구팀이 그동안 발표한 논문^[5-11]에서는 주로 열전변환기의 교류-직류 변환오차를 중심으로 기술하였고, 그 결과 열전변환기가 교류-직류 변환 표준기로서 사용 가능함을 입증하였다. 그러나 서론에서 언급한 바와 같이 히터의 두께에 따라 열 시정수가 달라지므로 열 시정수에 따른 열전변환기의 특성을 언급해야 한다고 생각하여, 본 논문에서는 히터의 두께에 따른 히터 및 열전쌍의 특성, 전압 감응도, 열 시정수 및 교류-직류 전압 변환오차를 논의하였다.

1. 히터 및 열전쌍

공기 중에 있는 열전변환기의 NiCr 박막 히터의 두께가 400 nm(TC 4-1), 600 nm(TC 6-1) 및 800 nm(TC 8-1)일 때 온도에 따른 저항을 그림 3에 나타내었다. 그림 3의 기울기로부터 구한 NiCr 박막 히터의 저항온도계수는 NiCr 박막의 두께가 400 nm, 600 nm 및 800 nm일 때 각각 약 $1.81 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$, $1.87 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 및 $2.01 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 로서, 히터 두께가 증가할수록 히터의 저항온도계수가 약간 증가하였다. 크로멜-알루미늄 열전쌍의 Seebeck 계수차이는 그림 4에 나타낸 NiCr 히터의 온도에 따른 열전퇴의 열기전력의 기울기로부터 구해지는데, 히터의 두께가 400 nm, 600 nm 및 800 nm일 때 각각 약 $35 \mu\text{V}/\text{K}$, $31 \mu\text{V}/\text{K}$ 및 $30 \mu\text{V}/\text{K}$ 로서, 박막 열전쌍은 벌크 열전쌍의 $41 \mu\text{V}/\text{K}$ 보다 약간 작은 값을 나타내었다.

2. 전압 감응도

본 연구에서 제작된 열전변환기의 공기 중 및 진공 중에서 히터 두께에 따른 실온에서의 전압 감응도를 표 4에 나타내었다. 여기서 전압 감응도는 히터의 입력전력에 대한 열전퇴의 출력전압의 비로 정의된다. 열전퇴를 구성하는 열전쌍의 개수가 감소함에 따라 열전쌍의 길이에 대한 선평의 비를 점차적으로 작아지도록 설계하였고,

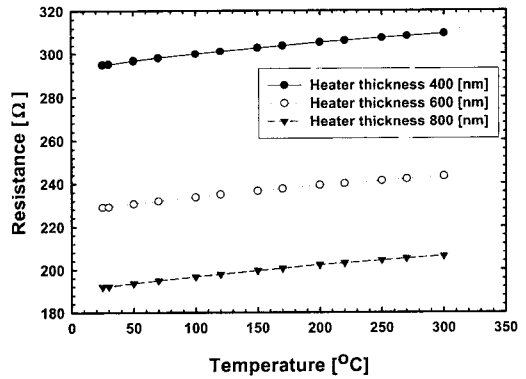


그림 3. NiCr 박막 히터의 저항-온도 특성.
Fig. 3. Resistance-temperature characteristics of thin film NiCr-heater.

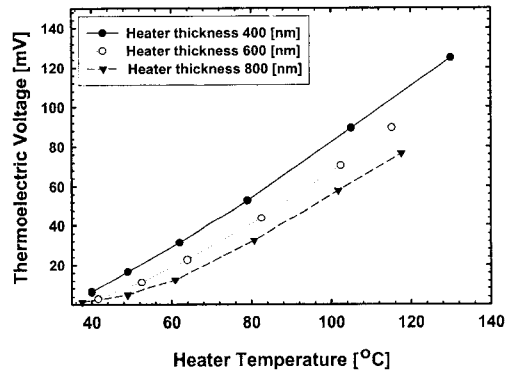


그림 4. 열전퇴의 열기전력-히터 온도 특성.
Fig. 4. Thermoelectric voltage-heater temperature characteristics of thermopile.

표 4. 공기 중 및 진공 중에서 열전변환기의 전압 감응도.

Table 4. Voltage responses of thermal converters in air and in a vacuum.

Specifications	TC 4-1	TC 4-2	TC 4-3	TC 4-4	TC 4-5	TC 4 6	
	TC 6-1	TC 6-2	TC 6-3	TC 6-4	TC 6-5	TC 6-6	
	TC 8-1	TC 8-2	TC 8-3	TC 8-4	TC 8-5	TC 8-6	
No. of thermocouple	40	38	38	36	30	28	
Ratio of width to length in thermocouple	1/5	1/5.8	1/7	1/8.8	1/12	1/14	
Ratio of thermopile area to diaphragm area	0.53	0.52	0.47	0.44	0.36	0.29	
In air [V/W]	400 [nm]	3.09	3.38	3.49	3.65	3.87	4.03
	600 [nm]	1.56	1.97	2.40	2.71	3.35	4.96
	800 [nm]	1.39	1.69	2.25	3.07	3.53	4.75
In a vacuum [V/W]	400 [nm]	4.64	5.09	5.27	5.74	5.97	6.38
	600 [nm]	2.47	2.29	3.67	4.22	5.20	7.59
	800 [nm]	2.03	2.56	3.48	5.04	6.17	7.70

또한 열전쌍의 개수가 감소함에 따라 다이아프램 면적에 대한 열전도의 면적 비를 감소하게 설계 하였다. 이러한 두 가지 설계 주안점 중 첫 번째는 열전쌍의 열전도가 점진적으로 작아짐을 의미 한다. 따라서 열전도가 작아짐으로 인해서 고온 접합부와 저온 접합부 사이에 온도차이가 커지게 되고, 또한 두 번째 설계 주안점에 의해서는 대류에 의한 열 손실이 줄어들게 되어, 비록 열전 쌍의 개수가 줄어들고 있지만 전압 감응도는 더 커지게 된다.

히터의 두께를 400 nm, 600 nm 및 800 nm로 증가시킬수록 전압 감응도는 감소하는 경향을 보여 주는데, 이것은 히터 두께가 두꺼울수록 히터 에서 공기로 유출되는 열량이 많기 때문인 것으로 생각된다. 그리고 진공 중에서는 공기 등의 기체에 의한 히터에서 발생된 열의 손실이 현저 히 줄어들게 되므로 진공 중에서의 전압 감응도가 공기 중에서의 것보다 더 높게 나타났다.

3. 기관온도에 따른 전압 감응도

공기 중에 있는 열전변환기에서 기관온도에 대한 전압 감응도를 히터의 두께에 따라 그림 5 에 나타내었다. TC 4-1, TC 6-1 및 TC 8-1의 기관온도에 따른 전압 감응도가 각각 $-0.0052 \text{ mV} \cdot (\text{mW} \cdot \text{K})^{-1}$, $-0.0044 \text{ mV} \cdot (\text{mW} \cdot \text{K})^{-1}$ 및 $-0.0040 \text{ mV} \cdot (\text{mW} \cdot \text{K})^{-1}$ 으로서, 기관온도가 증가함에 따라 전압 감응도는 조금씩 작아진다. 이것은 기관온도의 증가에 의해 열전변환기의 저온 접합부 온도가 증가하게 됨에 따라 고온 접합부와 저온 접합부 사이의 온도차이가 줄어들게 되고, 따라서 출력전압이 작아지기 때문이다.

또한 기관의 두께가 증가할수록 기관온도에 대

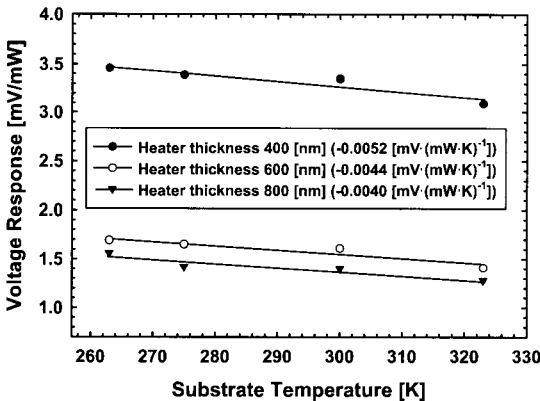


그림 5. 열전변환기의 전압 감응도-기관 온도 특성.

Fig. 5. Voltage response-substrate temperature characteristics of thermal converter.

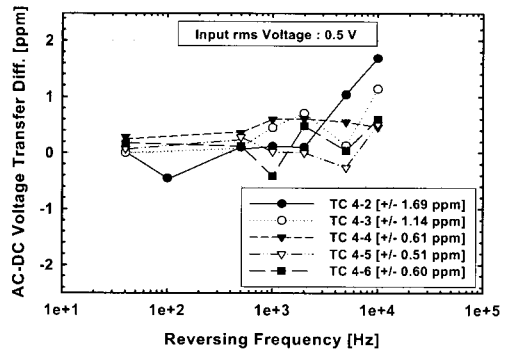
한 전압 감응도가 작게 감소하는 현상도 발견할 수 있는데, 이것은 히터의 두께가 두꺼울수록 히터의 열량이 크기 때문이다.

4. 열 시정수

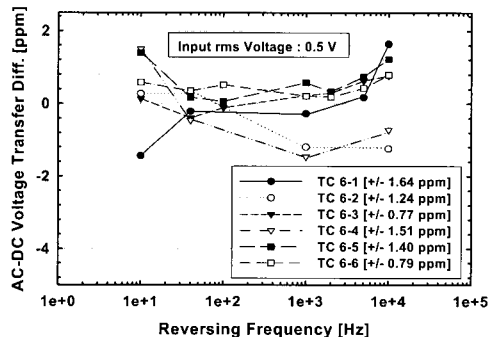
열전변환기들 중 전압 감응도가 제일 큰 TC 4-6, TC 6-6 및 TC 8-6의 열 시정수를 측정하였다. TC 4-6, TC 6-6 및 TC 8-6의 열 시정수는 각각 약 8.0 ms, 7.5 ms 및 7.0 ms였고, 각각의 열 시정수는 상승시간 및 하강시간에서 똑같은 값을 나타내었다. 이 결과로부터 NiCr 히터의 두께가 증가할수록 열 시정수가 약간 감소함을 보여 주고 있으며, 열 시정수의 역수 즉 약 125 Hz, 133 Hz 및 143 Hz이하에서 뒤에서 언급할 교류-직류 변환오차가 크게 증가할 것으로 본다.

5. 열전효과에 의한 교류-직류 전압 변환오차

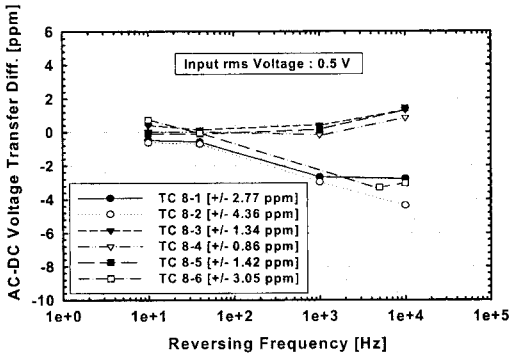
열전변환기는 직류표준 값에 교류-직류 변환 오차 만큼을 보정하여 교류 실효치의 측정 또는 교정에 사용된다. FRDC(fast reversed direct current) 측정법^[12]에 의한 교류-직류 변환오차의 측정은 주파수에 대한 의존성을 배제하고 열



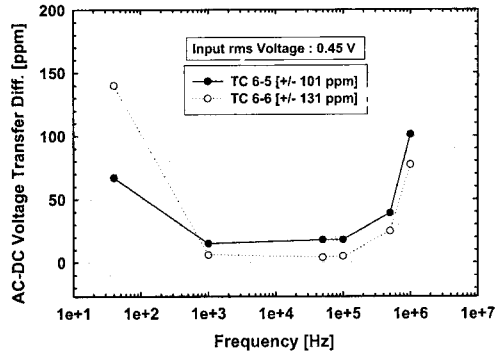
(a) heater thickness : 400 nm



(b) heater thickness : 600 nm



(c) heater thickness : 800 nm



(b) heater thickness : 600 nm

그림 6. 열전변환기의 교류-직류 전압 변환오차-직류 역방향 주파수 특성.

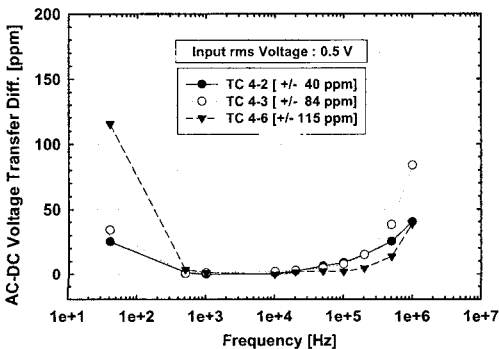
Fig. 6. AC-DC voltage transfer difference-DC reversing frequency characteristics of thermal converter.

전효과에 의해 발생하는 교류-직류 변환오차만을 측정하는 방법으로서 본 연구에서는 한국표준과학연구원의 장치를 사용하였다.

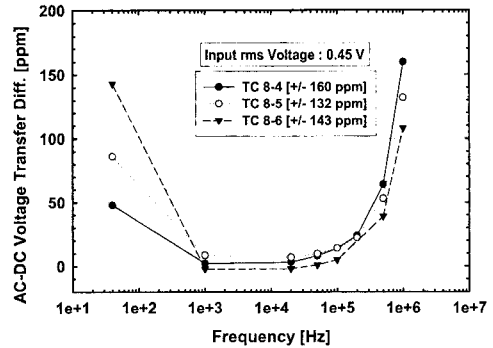
그림 6이 보여주는 바와 같이 10(40) Hz~10 kHz의 직류 역방향 주파수 범위로 0.5 V의 교류 실효전압을 열전변환기에 각각 입력시키고 측정한 교류-직류 전압변환 오차범위는 히터의 두께가 400 nm, 600 nm 및 800 nm인 경우 각각 $+0.51 \sim \pm 1.69$ ppm, $+0.77 \sim \pm 1.64$ ppm 및 $\pm 0.86 \sim \pm 4.36$ ppm이었다. 히터의 두께가 증가하고, 직류 역방향 주파수가 10 kHz쪽으로 갈수록 열전효과에 의한 변환오차의 범위는 대체로 증가한다는 것을 알 수 있다.

6. 교류-직류 전압 변환오차

열전변환기의 열전효과에 의한 교류-직류 변환오차와 주파수에 의한 교류-직류 변환오차를



(a) heater thickness : 400 nm



(c) heater thickness : 800 nm

그림 7. 열전변환기의 교류-직류 전압 변환오차-주파수 특성.

Fig. 7. AC-DC voltage transfer difference-frequency characteristics of thermal converter.

종합한 변환오차를 알아보기 위해 한국표준과학연구원의 교류-직류 전압 변환오차 평가장치를 사용하였다.

그림 7이 보여주는 것과 같이 히터의 두께가 400 nm, 600 nm 및 800 nm인 열전변환기에 대해 40 Hz~1 MHz의 주파수 범위에서 0.45(0.5) V의 교류 실효전압을 각각 입력시켰을 때 열전변환기의 교류-직류 전압변환 오차범위는 각각 $\pm 40 \sim \pm 115$ ppm, $\pm 101 \sim \pm 131$ ppm 및 $\pm 132 \sim \pm 160$ ppm을 나타내었다. 40 Hz의 저주파 영역이나 1 MHz이상의 고주파 영역으로 갈수록 변환오차가 증가하였다.

앞의 열 측정수에서 언급하였듯이 약 1 kHz이하의 저주파에서는 히터의 열 관성부족 때문에 전압 변환오차가 크게 나타났고^[14], 1 kHz~100 kHz의 중간 주파수에서는 FRDC 방법에 의해 측정된 전압 변환오차와 비슷한 전압 변환오차가 나타났으며, 100 kHz이상의 주파수에서는 열전변

환기의 용량성 및 유도성 임피던스^[15] 때문에 전압 변환오차가 크게 나타났다. 그리고 히터의 두께가 증가할수록 전압 변환오차가 증가하는 경향을 보였는데, 이것은 히터의 두께가 증가할수록 열전변환기의 전압 감응도가 감소하기 때문이다.

IV. 결 론

본 연구에서는 저주파수의 저전압용 열전변환기를 개발하고자, NiCr 히터의 두께를 400 nm, 600 nm 및 800 nm로 변형시켜, 표 1의 설계 규격을 갖는 열전변환기를 제작하였다. 열전퇴를 구성하는 열전쌍의 개수가 감소함에 따라 열전쌍의 길이에 대한 선폭의 비를 점차적으로 작아지도록 설계하여 열전쌍의 열전도가 점진적으로 작아지게 하였고, 열전도가 작아짐으로 인해서 고온 접합부와 저온 접합부 사이에 온도차이가 더욱 커지게 하였다. 또한 열전쌍의 개수가 감소함에 따라 다이아프램 면적에 대한 열전퇴 면적 비를 감소하게 설계하여 대류에 의한 열 손실이 줄어들게 하였다. 이러한 두 가지 이유 때문에 열전쌍의 개수가 줄었지만 전압 감응도는 더욱 커지게 하였다.

히터의 두께가 400 nm인 열전변환기의 경우 40 Hz~10 kHz의 직류 역방향 주파수 범위로 0.5 V의 교류 실효전압을 입력시켰을 때 $\pm 0.51 \sim \pm 1.69$ ppm 범위의 열전효과에 의한 교류-직류 전압 변환오차를 나타내었고, 열전효과 및 주파수에 의한 교류-직류 전압 변환오차는 40 Hz~1 MHz의 주파수 범위에서 $\pm 40 \sim \pm 115$ ppm 범위를 나타내어, 히터의 두께가 400 nm의 열전변환기가 저주파수의 저전압용으로 사용할 수 있었다. 그러나 주된 교류-직류 전압 변환오차의 발생 원인은 주파수에 있으므로 특히 저주파수에서 열 시정수를 증가하는 방법을 검토해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2001년도 한국표준과학연구원의 위탁연구비 지원에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] F. J. Wilkins et al., "Multi-junction thermal converter-accurate d.c./a.c. transfer instrument," *Proc. of the IEE*, Vol. 112, No. 4, pp. 794-805, 1965.

[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] 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.

[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] 이현철 등, "백금 히터가 내장된 평면형 Bi-Sb 다중접합 열전변환기의 특성," *센서학회지*, 제7권, 제3호, pp. 154-162, 1998.

[6] 김진섭 등, "Bi-Sb 다중접합 열전변환기의 교류-직류 변환 특성," *전자공학회논문지*, 제35권 D편, 제11호, pp. 1082-1090, 1998.

[7] 정인식 등, "박막형 크로멜-알루멜 다중접합 열전변환기," *전자공학회논문지*, 제36권 D편, 제9호, pp. 795-803, 1999.

[8] 조현덕 등, "저출력저항의 박막 크로멜-알루멜 다중접합 열전변환기," *센서학회지*, 제9권, 제4호, pp. 288-296, 2000.

[9] 조현덕 등, "평면형 다중접합 열전변환기의 특성," *전자공학회논문지*, 제38권 SD편, 제10호, pp. 699-705, 2001.

[10] 황찬순 등, "유한 요소법에 의한 평면형 다중접합 열전변환기의 온도분포 해석," *센서학회지*, 제10권, 제3호, pp. 196-206, 2001.

[11] Jin-Sup Kim et al., "A planar Bi-

Sb multijunction thermal converter with small AC-DC transfer difference," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, Vol. 51, No. 1, pp. 115-119, 2002.

[12] 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.

[13] 권성원 등, "교류-직류 변환오차 자동 측정 시스템," *센서학회지*, 제7권, 제6호, pp. 401-408, 1998.

[14] Manfred Klonz and Thomas Weimann, "Increasing the time constant of a thin film multijunction thermal converter for low frequency application," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, Vol. 44, No. 2 pp. 379-382, 1995.

[15] B. D. Inglis, "Standards for AC-DC transfer," *Metrologia*, Vol. 29, pp. 191-199, 1992.

著 者 紹 介

황 찬 순(Chan-Soon Hwang)

1971년 8월 6일생.
 1999년 2월 부경대학교 전자공학과 졸업(공학사).
 2002년 2월 인제대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사).
 2002년 1월~현재 (주)아프지마 연구개발팀 연구원.
 주관심 분야 : MEMS, 열전변환기 및 반도체 공정기술 등임.

이 형 주(Hyung-Ju Lee)

1975년 9월 4일생.
 2001년 2월 경일대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사).
 2001년 3월~현재 경북대학교 대학원 센서공학과 재학중.
 주관심 분야 : 진공 미세전자공학(FED) 및 열전변환기 등임.

김 진 섭(Jin-Sup Kim)

1957년 1월 23일생.
 1979년 2월 경북대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사).
 1982년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사).
 1985년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업

이 정 희(Jung-Hee Lee)

1957년 6월 30일생.
 1979년 2월 경북대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사).
 1983년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사).
 1986년 6월 Florida Institute of Technology 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(공학석사).
 1990년 3월 North Carolina State University 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(공학박사).
 1990년 9월~1993년 2월 한국전자통신연구원 반도체기술연구단 선임연구원.
 1993년 3월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수.
 주관심 분야 : 3족 질화물 반도체 성장, GaN 전자 및 광 소자, 진공 미세전자공학 및 원자층 에피택시 등임.

박 세 일(Se Il Park)

1961년 9월 30일생.
 1985년 2월 서울대학교 자연과학대학 물리학과 졸업(이학사).
 1987년 2월 한국과학기술원 물리학과 졸업(이학석사).
 1990년 2월 한국과학기술원 물리학과 졸업(이학박사).
 1990년 3월~현재 한국표준과학연구원 전자소

(공학박사).

1985년 9월~1992년 4월 한국전자통신연구원
반도체연구단 선임연구원(실장).

1992년 4월~현재 인제대학교 전자정보통신공
학부 부교수.

주관심 분야 : 반도체 소자 및 공정, 열 센서, 적
외선 센서, 열전변환기 및 MEMS 등임.

자그롭 책임연구원.

주관심 분야 : 초전도 전자공학 응용소자, 센서
및 MEMS 등임.

권 성 원(Sung-Won Kwon)

1952년 1월 19일생.

1974년 2월 한국항공대학교 전자공학과 졸업
(공학사).

1974년~1977년 공군정밀측정시험소 전기전자
시험과장.

1978년~현재 한국표준과학연구원 전자기표준부
책임연구원.

주관심 분야 : 교류 전압 및 전류 정밀측정, 센
서 및 MEMS 등임.