

논문 2000-9-4-05

저출력저항의 박막 크로멜-알루멜 다중접합 열전변환기

趙顯德*, 金鎮燮**, 辛長奎*, 李鍾玄*, 李正熙*, 朴世一***, 權聖遠***

Thin-Film Chromel-Alumel Multijunction Thermal Converter
with Low Output ResistanceHyun-Duk Cho*, Jin-Sup Kim**, Jang-Kyoo Shin*, Jong-Hyun Lee*, Jung-Hee Lee*,
Se Il Park***, and Sung-Won Kwon***

요 약

64~85 Ω의 저출력저항을 갖는 박막 크로멜-알루멜 다중접합 열전변환기의 입력-출력 관계는 근사적으로 제곱법칙을 따랐지만, 전압 감응도는 공기 중 및 진공 중에서 각각 0.34~0.67 V/W 및 1.15~1.48 V/W로서 매우 작았고, 공기 중에서 교류-직류 전압 변환오차는 입력이 1 V의 정현파 실효전압일 때 40 Hz~10 kHz의 주파수 범위에서 약 +340 ppm으로서 매우 크게 나타났다. 열전변환기의 큰 변환오차는 주로 저출력저항으로 부터 기인된 작은 전압 감응도 및 큰 열손실 때문으로 생각되고, 따라서 작은 교류-직류 변환오차를 얻기 위한 최적화가 필요하다.

Abstract

Thin-film chromel-alumel multijunction thermal converters with a low output resistance of 64~85 Ω showed approximately the square law-dependent input-output relation. The voltage responsivities were very low with 0.34~0.67 V/W in air and 1.15~1.48 V/W in vacuum, respectively, and the ac-dc voltage transfer error was very large with about +340 ppm in the frequency range of 40 Hz~10 kHz in the case of 1 V-input sinewave rms voltage. It can be concluded that the large transfer error of the thermal converter was mainly caused by the low voltage responsivity and the large heat loss due to low output resistance, which implies that the optimization for small ac-dc transfer error is required.

1. 서 론

교류의 실용표준을 설정하기 위한 교류-직류 변환기로서 정전형, 전기력형 및 열전형 변환기 등이 검토되

어 왔고, 이들중 Seebeck 효과를 이용하는 열전형 변환기는 교류의 파형 및 주파수에 따른 특성변화가 비교적 작은 장점을 갖기 때문에 열전형 변환기(또는 열전변환기)를 교류-직류 변환기로서 사용하고자 하는 연구가 주로 수행되어 왔다^{1,2)}. 또한 열전변환기는 교류-직류 변환기로서 사용될 뿐만 아니라, 전자식 실효치 전류계 및 전압계, 고주파 전력계, 파형을 측정기, 진공 게이지 및 잡음 측정기 등에서 다양하게 사용된다.

가장 단순한 구조를 가진 진공관 형태의 단일접합

* 경북대학교 전자전기공학부 (School of Electronic & Electrical Eng., Kyungpook National Univ.)

** 인제대학교 전자정보통신공학부 (School of Electronic & Telecommunication Engineering, Inje Univ.)

*** 한국표준과학연구원 전자기연구부 (Division of Electromagnetic Metrology, Korea Research Institute of Standards and Science)

<접수일자 : 2000년 5월 24일>

열전변환기(SJTC : single junction thermal converter)는 교류 입력을 Joule 열로 바꾸어 주는 직선 히터 및 히터 증상의 온도를 측정하기 위한 한 개의 열전쌍으로 구성된다. 단일접합 열전변환기에서는 전압 감응도가 매우 낮고, 히터 발열요소에서의 불균일한 온도분포에 의해 생기는 열전효과, 발열요소와 발열요소의 지지선 사이의 기생접합에서 생기는 열전효과 및 분위기 온도변화 등에 의해 교류-직류 변환오차가 비교적 크게 나타난다^[3,4]. 단일접합 열전변환기의 경우보다 더 작은 출력전압 온도계수, 더 높은 전압 감응도 및 출력전압 안정도를 나타내고, 또한 직류 반전오차(dc reversal error) 등의 큰 감소 때문에 교류-직류 변환오차가 매우 작은 3차원 다중접합 열전변환기(3-D MJTC : 3-dimensional multijunction thermal converter)가 개발되어 그동안 교류-직류 변환 표준기로 사용되어 왔으나, 이 경우에는 열전변환기 제작공정의 어려움 때문에 공정수율이 매우 낮은 문제점이 있었다.

3차원 다중접합 열전변환기 제작공정상의 문제점 해결과 동시에 열전변환기의 성능향상을 위해 기존의 반도체 공정기술을 사용하여 박막 다중접합 열전변환기를 개발하고자 하는 시도가 활발하게 이루어져 왔고, 실리콘 웨이퍼를 기판으로 하는 박막 다중접합 열전변환기의 개발에서는 박막 열전변환기에서 필연적으로 생기는 기판을 통한 히터의 열손실을 최소화 하기 위한 히터와 기판 사이의 열차단막 제조가 관건이 되었다^[5-9].

본 연구에서는 열전변환기의 다양한 응용을 위해 100 Ω 이하의 저출력저항을 갖는 열전변환기를 제작하고, 열전변환기의 입력-출력 관계, 전압 감응도, 교류-직류 변환오차, 열 시정수 및 출력전압 변화 등을 측정하여, 저출력저항을 갖는 박막 다중접합 열전변환기의 특성을 논의하고자 하였다.

II. 열전변환기의 설계 및 제작

열전변환기를 교류-직류 변환기로 사용하기 위해서는 우선 교류-직류 변환오차가 작게 되도록 설계해야 한다. 또한 열전변환기 출력과 외부 전자회로 사이의 임피던스 정합 및 출력에서의 열잡음 감소를 위해서는 열전변환기의 출력저항 즉 열전퇴(thermopile)의 전체 저항을 가능한 한 작게 해야 한다. 특히 본 연구에서는 저 출력저항을 갖는 열전변환기를 제작하기 위해 열전퇴를 구성하는 열전쌍의 개수를 작게 하였고, 또한 열

전쌍의 패턴크기도 크게 설계하였다. 설계된 열전변환기의 단면 개략도를 그림 1에 나타내었다.

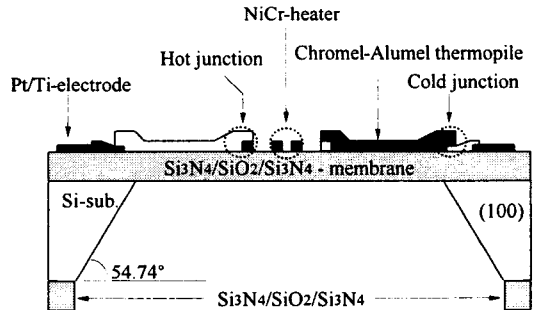


그림 1. 열전변환기의 단면 개략도

Fig. 1. A cross-sectional schematic diagram of a thermal converter.

열전변환기 제작을 위해 사용된 기판은 결정면이 (100)이고, 비저항이 7~21 Ω·cm이며, 두께가 약 600 μm인 양면이 경면으로 연마된 직경 5인치의 p형 실리콘 웨이퍼였다. 실리콘 기판 앞면에서 히터 및 열전퇴의 고온 접합부와 실리콘 기판 사이의 열차단용 멤브레인으로 사용되고^[7,10], 기판 뒷면에서는 실리콘 기판의 이방성 식각 마스크로 사용될 150 nm-Si₃N₄/300 nm-SiO₂/150 nm-Si₃N₄(N/O/N) 박막을 기판 양면에 증착시켰다. Si₃N₄ 및 SiO₂ 박막은 각각 780 °C의 고온 저압화학기상증착법 및 440 °C의 저온 저압화학기상증착법으로 증착되었다.

기판 앞면에서 와이어 본딩용 전극으로 사용되고, 뒷면에서는 실리콘 기판의 이방성 식각 마스크로 사용되는 N/O/N 박막의 패턴형성시 N/O/N 박막의 식각 마스크로 사용되는 Pt/Ti 박막의 패턴형성을 위해 기판 양면에 약 40 nm 두께의 Ti 및 약 200 nm 두께의 Pt를 각각 고주파 스퍼터링한 후, 기판 양면에 마스크를 동시에 정렬시켜 감광액 패턴을 형성하고, 약 83 °C의 HNO₃:HCl:H₂O=1:7:8 용액으로 Pt/Ti 박막을 식각하였다. 기판 뒷면에 있는 N/O/N 박막은 반응성 이온식각으로 패턴형성을 하였다.

히터에서의 열전효과에 의한 교류-직류 변환오차를 줄이기 위해 저항 온도계수 및 Thomson 계수가 작은 NiCr이 박막 히터의 재료로 사용되었고^[7,11], 히터의 직류 입력방향에 따라 나타나는 Thomson 효과 및 Peltier 효과가 각각 서로 상쇄되도록 히터의 모양을

이중 필라멘트로 하였다. 박막 히터의 두께는 약 500 nm였고, 선폭은 20~40 μm 의 범위로 변화시켰으며, 길이를 조정하여 히터의 전체저항이 약 90 Ω 이 되게 하였다. 히터 패턴은 NiCr의 DC 마그네트론 스퍼터링 및 감광액 lift-off 방법에 의해 형성되었다.

Bi-Sb 열전쌍의 경우 보다 Seebeck 계수가 다소 작지만 제작이 비교적 쉬운 크로멜-알루멜 열전쌍으로 열전퇴를 제작하고자 하였다. 8~10개의 크로멜-알루멜 열전쌍이 직렬로 연결되어 제작되는 열전퇴의 고온 접합부 및 저온 접합부가 히터를 중심으로 각각 좌우대칭이 되도록 하였고, 히터 가장자리와 열전퇴의 고온 접합부 가장자리 사이의 거리는 좌우 각각 약 20 μm 가 되도록 하였으며, 크로멜 및 알루멜 열전금속들 사이의 간격은 모두 동일하게 설계하였다. 열전퇴에서는 고온 접합부에서 부터 저온 접합부까지 동일한 열전도가 이루어져야 하는데, 크로멜 및 알루멜의 열전도도가 각각 약 $90 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 및 $95 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 으로서 서로 비슷하기 때문에, 크로멜 패턴의 두께, 선폭 및 길이와 알루멜 패턴의 두께, 선폭 및 길이를 각각 서로 동일하게 하였다. 크로멜 및 알루멜 패턴의 두께는 약 600 nm가 되게 하였고, 선폭은 75~180 μm 의 범위로 변화시켰으며, 길이는 250~500 μm 의 범위로 변화시켜, 크로멜-알루멜 열전퇴의 전체저항 범위 즉 열전변환기의 출력저항 범위가 64~85 Ω 이 되게 하였다. 고온 및 저온 접합부 면적도 서로 동일하게 설계하여 접합부 면적을 최소 $75 \times 165 \mu\text{m}^2$ 에서부터 최대 $150 \times 400 \mu\text{m}^2$ 으로 변화시켰다. 크로멜 및 알루멜의 패턴형성에서도 히터의 패턴형성에서와 마찬가지로 DC 마그네트론 스퍼터링 및 감광액 lift-off 방법이 사용되었다.

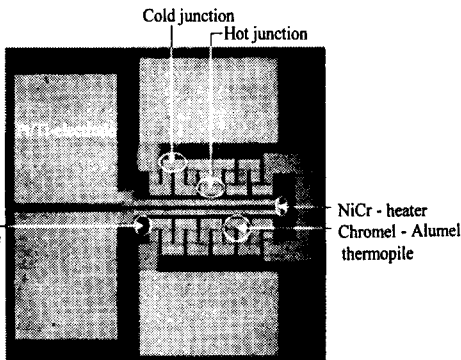


그림 2. 열전변환기의 현미경 사진
Fig. 2. A microphotograph of a thermal converter.

와이어 본딩용 Pt/Ti 전극, NiCr 히터 및 크로멜-알루멜 열전퇴의 패턴이 형성된 실리콘 기판을 지그(jig)에 장착하고, 약 85 $^{\circ}\text{C}$ 의 25 wt.-%-KOH 수용액으로 실리콘 기판을 이방성 식각하여, 그림 1과 같이 히터 및 열전퇴의 고온 접합부가 열차단용 N/O/N 멤브레인 위에 놓여지고, 열전퇴의 저온 접합부는 방열판 역할을 하는 실리콘 림(rim)위에 형성된 열전변환기를 제작하였다. N/O/N 멤브레인의 전체두께는 약 600 nm였고, 크기는 최소 $390 \times 1,040 \mu\text{m}^2$ 에서부터 최대 $750 \times 2,080 \mu\text{m}^2$ 으로 변화시켰다. 또한 실리콘 림과 저온 접합부 가장자리 사이의 거리는 최소 30 μm 에서부터 최대 50 μm 까지 변화시켰다. 제작된 열전변환기의 사진을 그림 2에 나타내었다.

III. 열전변환기의 특성

1. 히터 및 열전쌍의 특성

공기 중에서 박막 NiCr 히터의 온도에 따른 저항을 그림 3에 나타내었다. 그림 3의 기울기로부터 구한 히터의 저항온도계수는 약 $2.1 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 로서, 이미 보고된 바 있는 박막 Pt 히터의 저항온도계수 약 $3.78 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ 보다 작았으나, 박막 EVANOHM-S 히터의 약 $1.4 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 보다는 약간 컸다^[12].

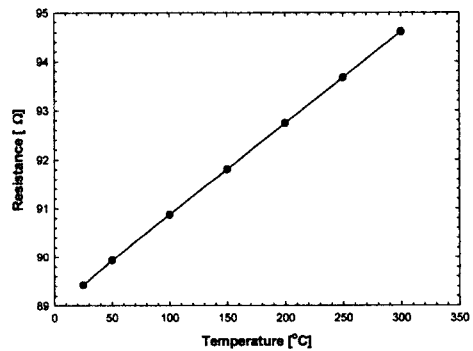


그림 3. 박막 NiCr 히터의 온도에 따른 저항
Fig. 3. Resistance vs. temperature of a thin-film NiCr-heater.

박막 NiCr 히터의 입력전력 변화에 대한 발생온도 변화의 비($\Delta T/\Delta P$)는 먼저 히터의 입력전력에 따른 저항을 먼저 측정하고, 그 다음 그림 3의 히터 온도에 따른 저항으로부터 히터 저항에 대응하는 온도를 구

하여 얻은 그림 4로 부터 계산하였다. 공기 중에서 박막 NiCr 히터의 $\Delta T/\Delta P$ 는 약 $4.58\text{ }^\circ\text{C}/\text{mW}$ 로서, Pt 히터의 약 $5.5\text{ }^\circ\text{C}/\text{mW}$ 보다 작았고, EVANOHM-S 히터의 약 $2.04\text{ }^\circ\text{C}/\text{mW}$ 보다 컸다^[12]. 또한 여기서 히터의 입력전력과 온도 사이의 관계가 비선형적인 것은 주로 열대류에 의한 히터의 열손실 때문인 것으로 생각된다. 상기한 결과들로부터 박막 히터의 저항온도계수 및 발열 효율을 동시에 고려한다면, 열전변환기의 박막 히터재료로서 Pt 및 EVANOHM-S보다 NiCr이 적합함을 알 수 있다.

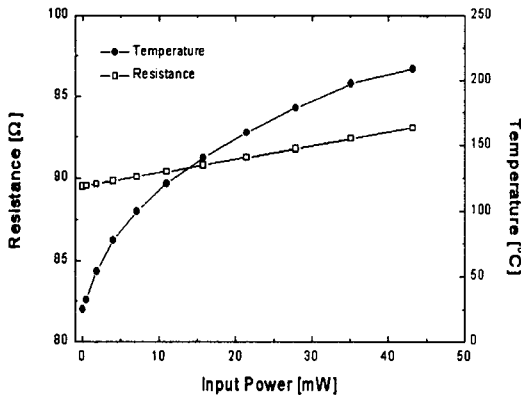


그림 4. 박막 NiCr 히터의 입력전력에 따른 저항 및 온도

Fig. 4. Resistance and temperature vs. input power of a thin-film NiCr-heater.

박막 크로멜-알루멜 열전쌍의 Seebeck 계수차이는 열전변환기의 히터에 입력된 전력에 따른 출력 열기전력을 먼저 측정하고, 그 다음 그림 4로 부터 히터의 입력전력에 대응하는 온도를 구하여 얻은 그림 5의 기울기로 부터 계산하였다. 이 경우 열전퇴를 구성하는 열전쌍은 모두 10개였다. 그림 5로 부터 구한 박막 크로멜-알루멜 열전쌍의 Seebeck 계수차이는 약 $36\text{ }^\mu\text{V}/\text{K}$ 로서, 와이어 열전쌍의 $41\text{ }^\mu\text{V}/\text{K}$ 보다 약간 작은 값을 나타내었다.

2. 입력-출력 관계

히터의 온도에 따른 저항변화 및 열손실이 없는 이상적인 조건하에서 열전변환기의 출력전압은 기본적으로 히터온도에 선형으로 비례하고, 히터온도는 입력전력(입력전압 또는 입력전류의 제곱)에 선형으로 비례한

다. 열차단용 N/O/N 멤브레인을 통한 수평방향 열전도에 의한 히터의 열손실은 무시될 수 있다고 하더라도, 온도에 따른 히터의 저항변화와 열대류 및 열복사에 의한 히터의 열손실 때문에 그림 6에서와 같이 ‘열전변환기의 출력전압이 입력전압의 n승에 비례하는 관계’를 나타내는 지수 n이 2보다 작은 값을 나타내는 것으로 본다^[4,13].

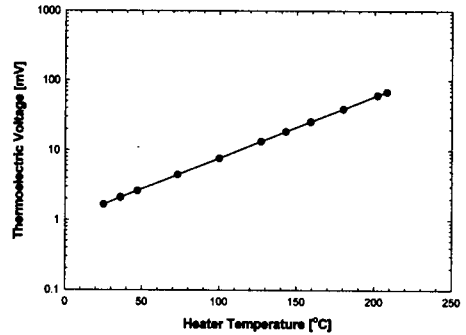


그림 5. 열전변환기의 히터 온도에 따른 열전퇴 출력 열기전력

Fig. 5. Output thermoelectric voltage vs. heater temperature of a thermal converter.

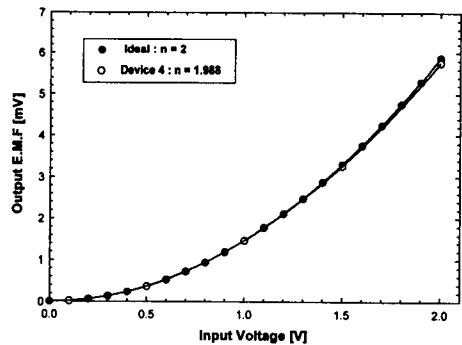


그림 6. 열전변환기의 입력전압에 따른 출력전압

Fig. 6. Output voltage vs. input voltage of a thermal converter.

3. 전압 감응도

열전변환기의 전압 감응도는 ‘입력전력에 대한 출력 전압의 비’로서 정의되고, 열전쌍의 Seebeck 계수차이 및 열전퇴 설계 등에 의존한다^[12,14,15]. 대표적인 4종류 열전변환기에 대한 공기 중 및 진공 중에서의 전압 감응도를 그림 7 및 그림 8에 각각 나타내었다. 공기 중에서의 전압 감응도가 진공 중에서의 것보다 더 작은

것은 공기 중에서는 열대류에 의한 히터의 열손실이 크게 증가하기 때문이다. 또한 공기 중에서의 전압 감응도는 열전변환기의 종류에 따라 크게 변하지만, 진공 중에서의 전압 감응도는 서로 비슷한 값을 나타내는 것은 공기 중에서 열대류에 의한 열손실은 열전변환기 패턴의 모양 및 크기 등에 크게 의존하지만, 진공 중에서는 패턴의 기하학적인 형상과 무관하고, 온도에만 의존하는 열복사에 의해 주로 히터의 열손실이 생기기 때문인 것으로 생각된다. 그림 7 및 그림 8의 기울기로 부터 구한 열전변환기의 전압 감응도 범위는 공기 중 및 진공 중에서 각각 0.34~0.67 V/W 및 1.15~1.48 V/W였다.

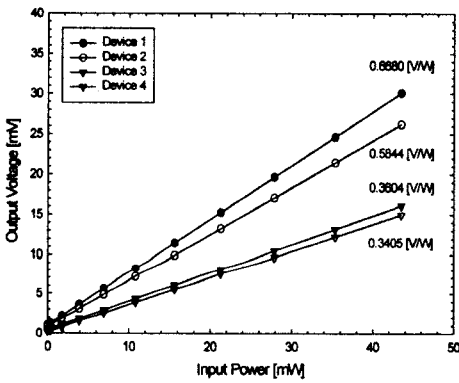


그림 7. 공기 중에서 열전변환기의 입력전력에 따른 출력전압

Fig. 7. Output voltage vs. input power of a thermal converter in air.

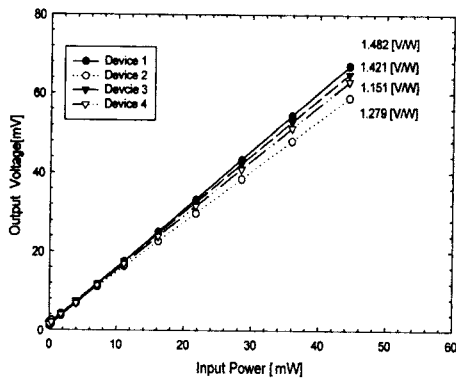
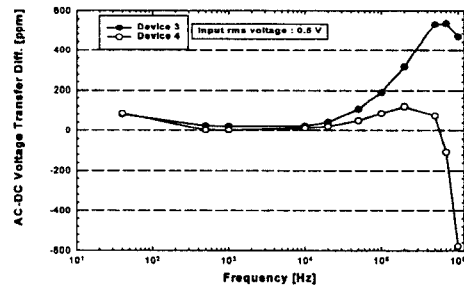


그림 8. 진공 중에서 열전변환기의 입력전력에 따른 출력전압

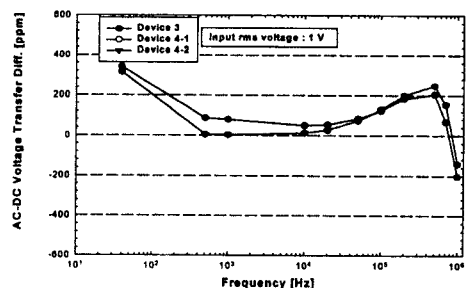
Fig. 8. Output voltage vs. input power of a thermal converter in vacuum.

4. 교류-직류 변환오차

열전변환기의 교류-직류 변환오차는 직류표준으로부터 교류표준을 유도하기 위해 사용되는데, 교류-직류 변환오차 만큼 보정된 직류값을 교류 실효값으로 한다. 0.5 V 및 1 V의 실효전압을 갖는 정현파의 주파수를 40 Hz~1 MHz의 범위로 변화시켜 대표적인 두종류의 열전변환기에 각각 입력시키고, 빨리 반전되는 직류(FRDC : fast-reversed dc) 소스^[16]를 사용하여 자동 측정된 교류-직류 전압 변환오차의 주파수 의존성을 그림 9에 나타내었다. 여기서는 5회 이상 측정된 전압 변환오차의 평균값을 하나의 측정값으로 나타내었다. 히터를 중심으로 한 열전퇴의 전압 변환오차 대칭성을 확인하기 위해 Device 4에 있는 열전퇴의 한쪽 절반의 출력으로 얻은 전압 변환오차를 Device 4-1로 표시하였고, 열전퇴의 다른 한쪽 절반의 출력으로 얻은 것을 Device 4-2로 표시하였다. 이들 결과로부터 히터를 중심으로 한 열전퇴의 전압 변환오차 대칭성을 확인할 수 있었다.



(a) Input rms voltage : 0.5 V



(b) Input rms voltage : 1 V

그림 9. 공기 중에서 열전변환기의 주파수에 따른 교류-직류 전압 변환오차

Fig. 9. AC-DC voltage transfer difference vs. frequency of a thermal converter in air.

40 Hz~10 kHz의 주파수 범위에서 공기 중의 교류-직류 전압 변환오차는 입력 실효전압이 0.5 V 및 1 V일 때 각각 약 +85 ppm 및 +340 ppm 으로서, 본 연구에서 작은 출력저항을 갖도록 제작된 열전변환기가 이미 발표한 높은 전압 감응도를 갖도록 제작된 열전변환기들^[12,14,15] 보다 훨씬 더 큰 교류-직류 변환오차를 나타내었다. 출력저항이 작은 열전변환기를 제작하기 위해서는 우선 열전퇴를 구성하는 열전쌍의 갯수를 줄여야 하기 때문에 전압 감응도가 감소하게 되고, 열전쌍 패턴의 선포를 크게 해야 하기 때문에 특히 공기 중에서 열대류에 의한 열전퇴 고온 접합부에서의 열손실이 크게 증가하게 되는 것이 큰 교류-직류 변환오차의 주된 원인으로 보인다. 또한 히터 패턴의 선포 증가 때문에 열대류에 의한 히터에서의 열손실 증가도 열전변환기의 큰 교류-직류 변환오차에 대한 부가적인 한 원인으로 생각된다.

낮은 주파수에서 교류-직류 변환오차가 증가하는 것은 일반적으로 히터의 열 관성이 입력 주파수의 2배로 변하는 Joule 열 또는 I^2R 입력전력을 평균하기에는 부족하기 때문이고, 높은 주파수에서 교류-직류 변환오차가 증가하는 것은 높은 주파수의 경우에는 커패시턴스, 유전손실, 인덕턴스, 표피효과 및 정재파가 모두 중요하게 되고, 이들 효과 때문에 교류의 실효치 입력에 의해 히터에서 발생하는 Joule 열이 교류입력과 등가의 직류입력에 의해 히터에서 발생하는 것과 달라지기 때문이다^[17-19]. 그런데 이미 발표한 열전변환기의 전압 변환오차는 1 kHz까지 주파수에 따라 계속 증가하는 경향을 나타내었으나^[12], 본 연구에서 제작한 열전변환기의 전압 변환오차는 그림 9에서와 같이 대체로 100 kHz~1 MHz의 주파수 범위에 걸쳐 양(+)의 값에서 부터 음(-)의 값까지 크게 변화했다. 이러한 전압 변환오차의 큰 변화는 타 연구자들이 단일접합 열전변환기에서 얻은 연구결과와 마찬가지로, 패딩저항(padding resistor)으로 불리우는 히터저항을 제외한 나머지 회로저항이 클 때, 100 kHz~1 MHz의 주파수 범위에서는 히터저항에서의 표피효과에 의한 양(+) 오차 보다 패딩저항에서의 손실 및 병렬 어드미턴스에 의한 음(-) 오차가 훨씬 더 증가하기 때문으로 추측되고^[20], 패딩저항에서의 손실효과 및 병렬 어드미턴스에 의한 오차의 큰 증가는 저출력저항을 얻기 위해 열전변환기의 패턴을 크게 하였을 뿐만 아니라, 와이어 본딩용 전극의 면적을 매우 크게 하였기 때문으로 생각된다.

5. 열 시정수

열전변환기의 열 시정수는 '히터에 흐르는 전류가 차단되었을 때 출력전압이 정상상태 값의 약 37%로 감소되는데 걸리는 시간'으로 정의되고, 입력전류 주파수의 2배로 히터에서 변하는 Joule 열의 전체 양을 결정한다. 열 시정수가 입력전류의 주기보다 더 작을 때 히터 온도는 Joule 열의 변화를 따르게 되고, 열전변환기의 출력전압은 주파수가 입력전류 주파수의 2배인 리플을 나타낸다. 열전변환기의 열손실을 발생시키는 공기를 통한 열전도(열대류) 및 복사전력의 온도 의존성 때문에 이러한 온도변화는 교류와 직류에서 각각 다른 히터 온도의 평균값을 초래하고, 따라서 교류-직류 변환오차를 발생시킨다^[19].

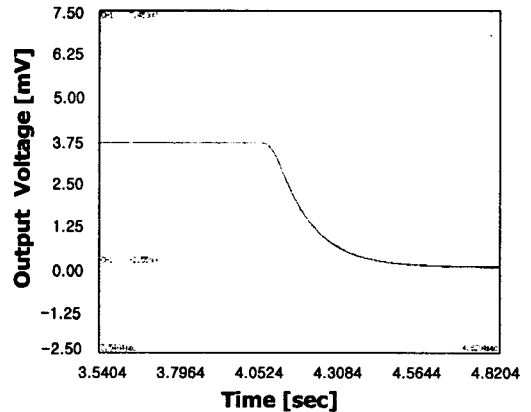


그림 10. 출력전압의 시간응답

Fig. 10. Time response of output voltage.

그림 10에서 나타낸 바와 같이 열전변환기의 최소 열 시정수는 약 120 ms로서 입력전류의 최대주기 25 ms보다 훨씬 큰 값을 나타내는 것으로 미루어 보아, 본 연구에서 제작한 열전변환기가 낮은 주파수 영역에서 큰 교류-직류 변환오차를 나타내는 것은 히터의 열 관성 부족 때문이 아님을 알 수 있다.

6. 출력전압 변화

공기 중에서 대표적인 열전변환기의 시간에 따른 출력전압을 그림 11에 나타내었다. 그림 11은 직류 1 V의 정전압을 열전변환기에 인가하여 5초 간격으로 20분동안 출력전압을 자동 측정된 결과로서, 출력전압 변화는 20분동안 약 0.0233%였다. 그림 11로 부터 시간

이 경과함에 따라 출력전압이 대체로 감소하는 경향이 나타나는 것을 알 수 있는데, 이것은 히터에서 발생된 열에 의한 히터 저항의 증가로 인하여 히터에서 소모 되는 전력이 감소되기 때문이고, 히터에 정전류가 인가 될 경우 시간에 따라 출력전압이 증가될 것으로 생각 된다.

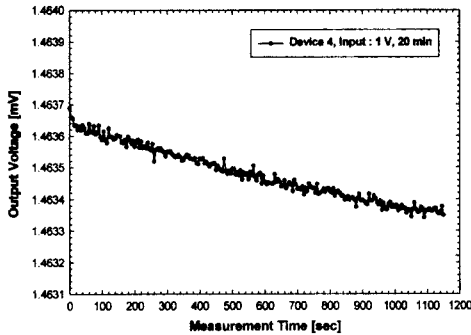


그림 11. 열전변환기의 시간에 따른 출력전압

Fig. 11. Output voltage fluctuation of a thermal converter.

IV. 결론

저출력저항을 갖는 열전변환기의 출력은 근사적으로 입력의 제곱에 비례하였다. 공기 중에서 열전변환기의 전압 감응도는 열전변환기 패턴의 모양 및 크기에 강한 의존성을 갖는 열대류에 의한 열손실 때문에 열전변환기의 종류에 따라 크게 다르지만, 진공 중에서 열전변환기의 전압 감응도는 주로 열전변환기의 기하학적 형상과는 무관하고, 온도에만 의존하는 열복사에 의한 열손실 때문에 열전변환기의 종류에 무관하게 4가지 모두 비슷하였다. 40 Hz~1 MHz의 정현파 입력에 대해 작은 출력저항의 열전변환기는 높은 전압 감응도의 열전변환기들^[12,14,15] 보다 훨씬 큰 공기 중에서의 교류-직류 변환오차를 나타내었다. 낮은 주파수 영역에서의 큰 변환오차는 열전변환기의 열 시정수를 고려할 때 히터의 열 관성 부족 때문이라기 보다 오히려 저출력저항의 실현으로 부터 기인된 열전변환기의 낮은 전압 감응도와 열대류에 의한 열전도 및 히터의 열손실 증가 때문으로 판단되고, 높은 주파수 영역에서의 큰 변환오차는 고주파에서 생기는 각종 효과들 때문에 교류의 실효치 입력에 의해 히터에서 발생되는 Joule 열이

교류입력과 증가의 직류입력에 의한 Joule 열과 달라지기 때문으로 볼 수 있다^[17, 19]. 그리고 열전변환기의 전압 변환오차는 100 kHz~1 MHz의 주파수 범위에 걸쳐 양(+)의 값에서 부터 음(-)의 값까지 크게 변화했는데, 이것은 큰 음(-) 오차를 초래하는 패딩저항에서의 손실효과 및 병렬 어드미턴스 때문으로 추측된다^[20].

상기의 연구결과들로 부터 열전변환기의 교류-직류 변환오차는 전기적 변수와 열적 변수 사이의 상호관계에 의해 결정되기 때문에 열전변환기의 출력저항을 작게 하면 변환오차가 크게 증가함을 알 수 있다. 따라서 열전변환기의 응용을 위해 필요한 교류-직류 변환오차를 얻기 위해서는 열전변환기의 전기적 변수와 열적 변수의 최적화가 필요하다.

※ 본 연구는 1999년도 한국표준과학연구원의 위탁 연구비에 의해 수행되었음.

참고문헌

- [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] 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.
- [3] 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.
- [4] B. 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.
- [5] F. 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.

- [6] M. Klonz and T. 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.
- [7] H. 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.
- [8] 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.
- [9] J. 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.
- [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] M. Klonz and T. Weimann, "Novel multijunction thermal converter in planar technique for ac current, voltage, power and optical radiation measurement," *Physica Scripta*, vol. 41, pp. 718-721, 1990.
- [12] 정인식 등, "박막형 크로멜-알루미늄 다중접합 열전 변환기," 전자공학회논문지, 제36권 D편, 제9호, pp. 37-45, 1999.
- [13] M. Klonz and F. J. Wilkins, "Multijunction thermal converter with adjustable output voltage/current characteristics," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, vol. IM-29, no. 4, pp. 409-412, 1980.
- [14] 이현철 등, "백금 히터가 내장된 평면형 Bi-Sb 다중접합 열전변환기의 특성," 센서학회지, 제7권, 제3호, pp. 8-16, 1998.
- [15] 김진섭 등, "Bi-Sb 다중접합 열전변환기의 교류-직류 변환 특성," 전자공학회논문지, 제35권 D편, 제11호, pp. 46-54, 1998.
- [16] M. 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.
- [17] F. J. Wilkins, "Theoretical analysis of the ac/dc transfer difference of the NPL multijunction thermal converter over the frequency range dc to 100 kHz," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, vol. IM-21, no. 4, pp. 334-340, 1972.
- [18] B. D. Inglis, "Standards for ac-dc transfer," *Metrologia*, vol. 29, pp. 191-199, 1992.
- [19] M. Klonz and T. Weimann, "Increasing the time constant of a thin film multijunction thermal converter for low frequency application," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, vol. 40, no. 2, pp. 350-351, 1991.
- [20] I. Budovsky and B. D. Inglis, "Evaluation of ac-dc differences of NML single-junction thermal voltage converters at frequencies up to 1 MHz," *Proc. of the 13th Instrumentation and Measurement Technology Conference*, vol. 3, pp. 1463-1467, 1999.

 著 者 紹 介



趙顯德

1974년 5월 27일생.

1999년 2월 경북대학교 전자전기
공학부 졸업(공학사), 1999년 3월
~ 현재 경북대학교 대학원 전자공
학과 석사과정 재학중.

주관심분야 : MEMS, 적외선 검지기 및 열전변환기 등임.

金鎮燮

「센서학회지 제7권 제3호」 논문98-7-3-02 p.162 참조.
현재 인제대학교 전자정보통신공학부 부교수.

**辛 長 奎**

1978년 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사), 1980년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사), 1991년 미국 콜로라도 주립대학교 전기공학과 졸업(공학박사), 1995년~1997년 일본 토요하

시 기술과학대학교 교환교수, 1980년~현재 경북대학교 전자전기공학부 교수.

주관심분야 : 반도체 물성, 반도체 센서 및 지능형 센서 시스템 등임.

李 鍾 玄

『센서학회지 제7권 제3호』 논문98-7-3-02 p.162 참조.
현재 경북대학교 전자전기공학부 교수 및 재단법인 대구테크노파크사업단 단장.

李 正 熙

『센서학회지 제7권 제3호』 논문98-7-3-02 p.162 참조.
현재 경북대학교 전자전기공학부 부교수.

朴 世 一

『센서학회지 제7권 제3호』 논문98-7-3-02 p.162 참조.
현재 한국표준과학연구원 전자기연구부 근무.

權 聖 遠

『센서학회지 제7권 제3호』 논문98-7-3-02 p.162 참조.
현재 한국표준과학연구원 전자기연구부 근무.