

체온 이용이 가능한 나노입자 박막 열전소자의 플랫폼 개발연구

Design of the Platform for a Nanoparticle thin Film Thermoelectric Device transforming Body Heat into Electricity

양승건*, 조경아*, 최진용*, 김상식*

Seunggen Yang*, Kyoungah Cho*, Jinyong Choi*, Sangsig Kim*

Abstract

In this study, we maximize the temperature difference between the ends of a HgTe nanoparticle(NP) thin film on a thermoelectric platform with a through-substrate via. The thermoelectric characteristics of the HgTe NP thin film show *p*-type behavior and its Seebeck coefficient is 290 $\mu\text{V}/\text{K}$. In addition, we demonstrate the possibility of wearable thermoelectric devices transforming body heat into electricity from through-substrate via thermoelectric platforms on human skin.

요약

본 연구에서는 HgTe 나노입자 박막 수평열전 플랫폼에 via를 형성하여 나노입자 박막 양단의 온도 차이를 극대화하였다. HgTe 나노입자 박막은 *p*-type의 열전 특성을 보였으며, HgTe 나노입자 박막 수평열전소자에서 제백계수는 290 $\mu\text{V}/\text{K}$ 이었다. 또한 피부 위의 via 열전 플랫폼을 통해서 향후 차세대 웨어러블 전자 소자의 구현 가능성을 확인하였다.

Key words : Via, thermoelectric, HgTe, nanoparticles, plastic substrates

* Dept of Electrical Engineering, Korea University

★ Corresponding author

e-mail : sangsig@korea.ac.kr, tel:02-3290-3245

※ Acknowledgment

This work was partly supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) Grant funded by the Korean Government (MSIP) (No. NRF-2013R1A2A1A03070750 and NRF-2015R1A2A1A15055437); National Research Foundation of Korea (NRF) Grant funded by the Korean Government (MSIP) (No. NRF-2015R1A5A7037674); Basic Science Research Program Through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (NRF-2015R1D1A1A01057641); R&D program of MOTIE/KEIT. [10054570, Highly educated human resources development project on cutting-edge sensor technology for sensor industry acceleration]; Brain Korea 21 Plus Project in 2016, and a Korea University Grant. Manuscript received Mar, 30, 2016; revised Jun, 7, 2016 ; accepted. Jun, 10, 2016

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

최근 다기능 웨어러블 전자 소자의 구현을 위해서 지속적인 전력공급이 가능한 에너지 소자에 대한 관심이 증가하고 있다 [1,2]. 다양한 열전 반도체 나노물질 소재 중에서, 나노입자 박막은 전기전도도와 열전도도의 독립적인 조절을 통해 고효율 열전 발전의 가능성을 보여주고 있다 [3,4]. 그러나 나노입자 박막은 수평구조로만 제작이 가능하여, 열전에 필수적인 온도 차이를 채운으로 얻기에는 어려움이 있다. 이를 해결하기 위해서는 수평열전소자에서 온도 차이를 극대화할 수 있는 플랫폼 개발이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 수평열전소자의 플랫폼에서 하나의 전극 쪽에 via를 뚫어 나노입자 박막 양단의 온도 차이를 극대화시키고자 한다. 또한 향후 체온을 통한 웨어러블 전자 소자의 구현 가능성에 대해서 알아보하고자 한다.

II. 본론

1. 실험방법

본 연구에서의 나노입자는 콜로이드 방식으로 합성된 HgTe 나노입자를 사용하였다 [5]. 플라스틱 기판 위에 전동 드릴을 이용하여 400 μm 직경의 구멍을 뚫은 후, HgTe 나노입자 박막의 열전 특성 확인을 위한 히터와 E1, E2의 전극, 그리고 두 전극 사이의 채널에 HgTe 나노입자 박막을 형성하여 열전 플랫폼을 구성하였고 이는 그림 1에 나타내었다. HgTe 나노입자 박막의 열전 특성은 Keithley 4200와 IR 카메라 (FLIR-A645SC)를 이용하여 전기적 특성과 온도 측정을 통해 측정하였다. 수평구조 열전플랫폼에서 온도 차이에 대한 via의 영향을 알아보기 위해, 프로브 스테이션의 heating stage를 이용하였다. 본 연구에서의 모든 측정은 대기 중 상온에서 측정하였다.

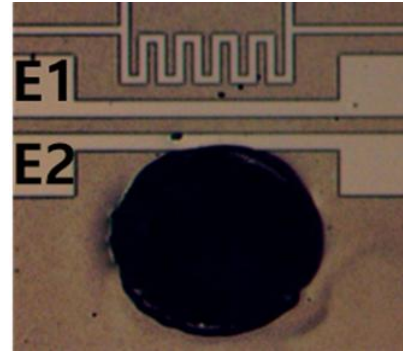


Fig. 1. Optical image of the thermoelectric platform
그림 1. 열전 플랫폼의 광학 이미지

2. 결과 및 고찰

제작된 via 열전 플랫폼과 non-via 열전 플랫폼에서의 전극 E1, E2와 전극 간의 온도 차이 ΔT_{E2-E1} 의 값을 표 1에 나타내었다. non-via 열전 플랫폼에서의 두 전극에서 보이는 온도차이는 heating stage가 국부적으로 온도가 달라 나타난 것으로, via 열전 플랫폼에서 발생된 두 전극간의 온도 차이와 비교하면 무시할 만한 수준이다. heating stage의 온도를 60 $^{\circ}\text{C}$, 80 $^{\circ}\text{C}$, 90 $^{\circ}\text{C}$ 로 증가시키며 따라 via 열전 플랫폼에서의 ΔT_{E2-E1} 는 점점 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 heating stage의 온도가 증가함에 따라서 열이 via 뿐만 아니라 그 주변까지 확산된 결과로 사료된다.

Table 1. Temperature difference of E1 and E2 in the thermoelectric platform with and without via

표 1. Via 기판과 non-via 기판에서 전극 간의 온도 차이

		Heating stage temperature ($^{\circ}\text{C}$)		
		60	80	90
Via substrate	T_{E1}	49.24	64.09	75.14
	T_{E2}	62.38	74.99	81.71
	ΔT_{E2-E1}	13.14	10.9	6.57
Non-via substrate	T_{E1}	51.27	64.73	71.2
	T_{E2}	49.16	66.1	72.5
	ΔT_{E2-E1}	-2.11	1.37	1.3

via를 통한 열전달에 따른 ΔT_{E2-E1} 와 그에 따른 제백 전압을 그림 2에 나타내었다. HgTe 나노입자 박막의 제백 전압은 양의 값을 갖는 p-type 특성을 보였으며, 그림 2에서의 온도 차

이와 제백 전압의 기울기를 통해 $290 \mu\text{V}/\text{K}$ 의 제백 계수가 계산되었다.

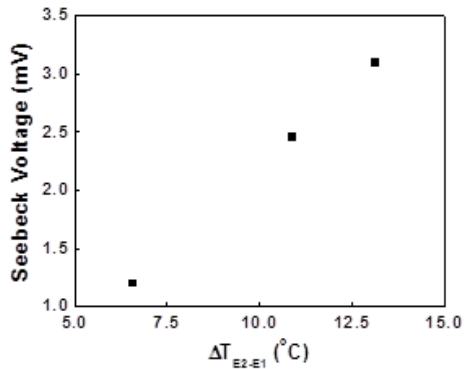


Fig. 2. The Seebeck voltage as a function of temperature difference for the HgTe NP thin film

그림 2. HgTe 나노입자 박막의 온도 차이에 따른 제백 전압

그림 3은 손가락 위에서의 via 열전 플랫폼과 non-via 열전 플랫폼의 온도를 열영상 이미지로 나타낸 그림이다. via 열전 플랫폼의 경우 전극 간의 온도 차이는 2.2°C 였으나, non-via 열전 플랫폼의 경우는 0.34°C 온도밖에 차이가 발생하지 않았다. 열전특성이 우수한 나노입자 박막의 수평열전소자를 웨어러블 열전소자로 활용하기 위해서는 via를 이용한 열전플랫폼이 유용하다는 것을 확인하였다.

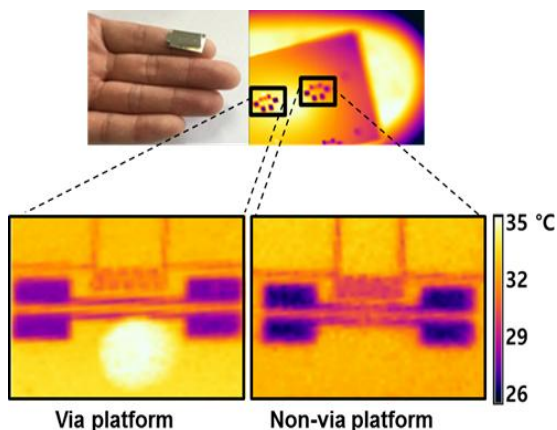


Fig. 3. IR image of the thermoelectric platform on the skin

그림 3. 피부 위에서의 열전 플랫폼 열영상 이미지

III 결론

본 연구에서는 플라스틱 기판 위에 via 형성 후 HgTe 나노입자 박막의 열전 특성을 확인하였다. 기판에 via를 형성함으로써 전극 간의 온도 차이를 극대화시키고 이를 통해 향후 차세대 웨어러블 전자 소자의 구현 가능성을 확인하였다.

References

- [1] V. Leonov, T. Torfs, C. V. Hoof and R. J. M. Vullers, "Smart Wireless Sensors Integrated in Clothing: an Electrocardiography System in a Shirt Powered Using Human Body Heat", *Sens. Transducers J.*, 107, p. 165, 2009
- [2] E. J. Yoon, J. T. Park and C. G. Yu, "Thermoelectric Energy Harvesting Circuit Using DC-DC Boost Converter", *Journal of IKEEE*, 3, p. 284, 2013
- [3] M. R. Dirmeyer, J. Martin, G. S. Nolas, A. Sen and J. V. Badding, "Thermal and Electrical Conductivity of Size-Tuned Bismuth Telluride Nanoparticles", *small*, 5, p. 933, 2009
- [4] K. Ariga, M. Li, G. J. Richards and J. P. Hill, "Nanoarchitectonics: A Conceptual Paradigm for Design and Synthesis of Dimension-Controlled Functional Nanomaterials", *J. Nanosci. Nanotechnol.*, 11, p. 1533, 2011
- [5] H. Seong, K. Cho and S. Kim, "Photocurrent characteristics of solution-processed HgTe nanoparticle thin films under the illumination of $1.3 \mu\text{m}$ wavelength light", *Semicond. Sci. Technol.*, 23, p. 075011, 2008