

ITO 나노입자 면상발열체의 온도유지에 대한 연구

Temperature Maintenance of an ITO Nanoparticle Film Heater

양경환*, 조경아*, 임기주**, 김상식*★

Kyungwhan Yang*, Kyoungah Cho*, Kiju Im**, Sangsig Kim*★

Abstract

In this study, we fabricate a high efficiency heater consisting of the indium tin oxide (ITO) nanoparticle (NP)-paste and polydimethylsiloxane (PDMS) and investigate the effect of PDMS on temperature maintenance of the heater through the comparison with the PDMS-free ITO film heater. Compared to the ITO film heater, the temperature of the PDMS/ITO film heater lasts 1.5 times longer. And the power consumption of the PDMS/ITO film heater is reduced by 35%, owing to the low thermal conductivity of the PDMS layer.

요 약

본 연구에서는 휴대용 온열기의 에너지 효율을 향상시키기 위하여 indium tin oxide (ITO) 나노입자 페이스트와 PDMS를 이용하여 PDMS/ITO 나노입자 박막 면상발열체를 제작하였고, ITO 나노입자 박막 면상발열체와 PDMS/ITO 나노입자 면상발열체의 온도 유지특성 및 소비전력량을 분석하였다. PDMS층의 낮은 열전도도로 PDMS/ITO 나노입자 박막 면상발열체의 온도유지시간이 ITO 나노입자 박막 면상발열체에 비해 1.5배 증가하였으며, 소비 전력량은 35% 절감되었다.

Key words : Indium tin oxide, film heater, PDMS, energy-saving, heat loss

* Dept of Electrical Engineering, Korea University

** Research Institute of TNB Nanoelec Co. Ltd.

★ 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); Technology Innovation Industrial Program (No. 10053388, Development of the energy-efficient and separable electric range) funded by the Ministry of Trade, industry & Energy (MOTIE, Korea), the Brain Korea 21 Plus Project in 2015, and a Korea University Grant.

Manuscript received ,Mar, 24, 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 휴대용 온열기에 대한 관심이 높아지면서 고효율 발열체 개발에 대한 연구가 많이 진행되고 있다 [1,2,3]. 특히 indium tin oxide (ITO) 나노입자 박막 면상발열체는 균일한 발열특성으로 인해 기존 금속 발열체에 비해 30% 이상 절감된 소비전력 특성을 가지며 많은 활용가능성을 보여주고 있다 [4,5]. 하지만 전원 차단 시, 면상발열체의 온도 유지시간이 짧아 휴대용 온열기의 장시간 사용이 어렵다는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 휴대용 온열기의 에너지효율을 향상시키기 위해, 열확산을 방지할 수 있는 단열재로 polydimethylsiloxane (PDMS)를 이용하여 에너지 절감형 ITO 나노입자 박막 면상발열체를 제작하고, PDMS 유무에 따른 면상발열체의 온도 유지특성 및 소비전력량 변화를 알아보려고 한다.

II. 본론

1. 실험방법

20 mm x 20 mm 사이즈의 쿼츠기판위에 ITO 나노입자 페이스트를 스핀코팅하여 박막을 형성한 후에, 300 °C에서 30분, 700 °C에서 1시간 열처리 공정을 진공상태에서 수행하였다. PDMS 레진(sylgard 184A)과 가교제(sylgard 184B)를 10:1 질량비로 혼합한 후, ITO 나노입자 박막 면상발열체 위에 코팅하고, 65 °C에서 2시간 열처리를 수행하였다. 면상발열체의 온도는 적외선 카메라 (FLIR-A645SC)의 열영상 이미지로부터 측정되었으며, 본 연구의 모든 실험은 대기 중 상온에서 진행되었다. 면상발열체에 전압을 인가하여 목표온도 60 °C에 도달시킨 후 전원공급을 중단하여, 면상발열체의 온도를 측정하는 것으로 면상발열체의 온도유지 특성을 알아보았다.

2. 결과 및 고찰

제작된 PDMS/ITO 나노입자 박막 면상발열체의 구조도 및 열영상 이미지를 각각 그림 1(a)와 (b)에 나타내었다. PDMS는 0.15 W/mK의 낮은

열전도도를 가지는 물질로 [6], ITO 나노입자 박막 면상발열체로부터 발생된 열이 대기 중으로 확산되어 면상발열체의 온도가 저하되는 것을 막을 수 있다.

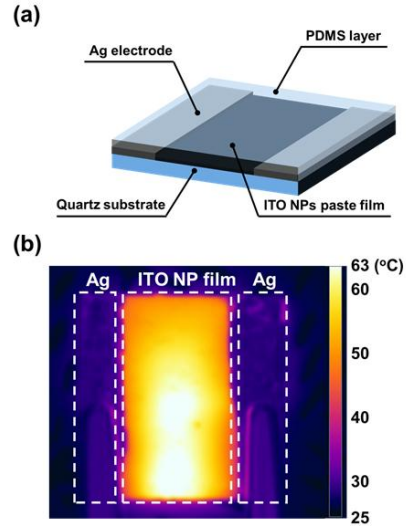


Fig. 1. (a) Schematic of the PDMS/ITO NP film heater (b) IR image of the PDMS/ITO NP film heater

그림 1. (a) PDMS/ITO 나노입자 박막 면상발열체 구조도 (b) PDMS/ITO 나노입자 박막 면상발열체 열영상 이미지

그림 2는 면상발열체 온도가 60 °C에서부터 상온이 될 때까지의 시간에 따른 온도변화를 나타낸다. PDMS/ITO 나노입자 박막 면상발열체 한 번의 on/off로 60 °C에서 상온으로 감소되는데 걸리는 시간은 ITO 나노입자 박막 면상발열체가 세 번 on/off 되는 시간에 해당한다.

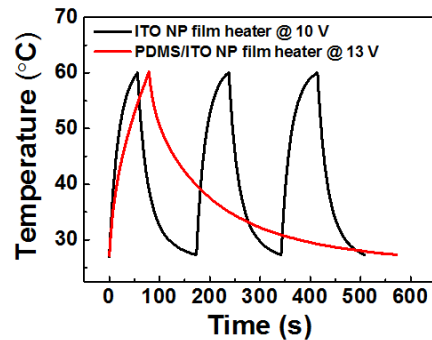


Fig. 2. Heat generation characteristics of the film heaters 그림 2. 면상발열체의 발열특성 그래프

각각의 면상발열체의 소비전력량 및 온도 지속시간, 전압 인가시간은 표 1에 나타내었다.

PDMS/ITO 나노입자 박막 면상발열체의 소비전력량은 21.4 mWh이며 전압 인가시간은 79초, 온도 지속시간은 493초이다. ITO 나노입자 박막 면상발열체와 비교하였을 때, 온도 지속시간이 1.5 배 증가하였으며 소비전력량이 35% 감소하였다. 이는 PDMS의 낮은 열전도도가 면상발열체의 열손실을 효과적으로 낮춤으로써 온도 유지를 위한 에너지 소비량을 절감시킨 결과이다.

Table 1. Power consumption characteristics of the film heaters

표 1. 면상발열체의 에너지 소비 특성

	Power (mWh)	Voltage application time (s)	Temperature duration (s)
PDMS/ITO NP film	21.4	79	493
ITO NP film	33	183	325

III 결론

본 연구에서는 ITO 나노입자 페이스트와 PDMS를 이용하여 에너지 절감형 면상발열체를 제작하였다. 단열재로 사용된 PDMS는 낮은 열전도도로 인해, 외부로의 열손실을 감소시켜 면상발열체의 온도유지특성을 향상시켰으며, 그 결과 소비 에너지를 35%로나 절감할 수 있었다.

References

- [1] H. Cheong, D. Song, and J. Park, "Transparent film heaters with highly enhanced thermal efficiency using silver nanowires and metal/metal-oxide blankets", *Microelectron. Eng.*, 146, p. 11, 2015.
- [2] J. Li, J. Liang, X. Jian, W. Hu, J. Li and Q. Pei, "A flexible and transparent thin film heater based on a silver nanowire/heat-resistant polymer composite", *Macromol. Mater. Eng.*, 299, 11, p. 1403, 2014.
- [3] E. Lee, Y. Park, I. Hwang, S. Kim, J. Cha,

H. Lee, J. Lee and B. Joo, "MEMS based on nanoparticle gas sensor for air quality system", *J. IKEEE* 13, 4, p. 37, 2009.

[4] Z. Chen, W. Li, R. Li, Y. Zhang, G. Xu and H. Cheng, "Fabrication of highly transparent and conductive indium-tin oxide thin films with a high figure of merit via solution processing", *Langmuir* 29, 45, p. 13836, 2013.

[5] K. Im, K. Cho, K. Kwak, J. Kim and S. Kim, "Flexible transparent heaters with heating films made of indium tin oxide nanoparticles", *J. Nanosci. Nanotechnol.* 13, 5, p. 3519, 2013.

[6] K. A. Brown, D. J. Eichelsdoerfer, W. Shim, B. Rasin, B. Radha, X. Liao, A. L. Schmucker, G. Liu and C. A. Mirkin, "A cantilever-free approach to dot-matrix nanoprinting", *PNAS*, 110, 32, p. 12921, 2013.