

금속 산화물 기반의 투명히터

차우신*, 이준식*, MalkeshKumar Patel*, 이기범**, 김준동***
 인천대학교*, (주)솔라라이트**

Flexible transparent heater based on metal oxide

Wushin Cha*, Junsik Lee*, Malkeshkumar Patel*. Kibum Lee**, Joondong Kim***
 Incheon National University*, Solar Light **

Abstract - 본 연구에서는 Oxide/Metal/Oxide 구조의 유연한 투명히터를 제작하였다. TCO 물질 중 투명전극으로 많이 활용되는 ITO의 대체 물질로 ZnO를 사용하였다, 우수한 전기적 특성과 광학적 특성을 가지는 ZnO/Ag/ZnO 복합체를 PET 기판에 증착하였고, 투명히터에 대해서 전기 전도성, 가시광 투과도, bending 특성, 발열 특성을 측정하였다. ZnO/Ag/ZnO 투명히터에서 ITO/Ag/ITO 투명히터와 비교하여 더 낮은 표면저항, 더 높은 가시광 투과도, 우수한 발열 특성 및 bending 특성을 확인하였다. 본 연구는 ZnO/Ag/ZnO 투명히터를 통해 ZnO가 ITO를 대체해서 전기적, 광학적 특성이 우수하고 유연성을 가지는 투명히터로 적용될 수 있음을 제시한다.

투명히터의 발열 특성, 광학적 특성, 전기적 특성, bending 특성을 알아보기 위해서 ITO/Ag/ITO 샘플을 같은 두께로 제작하여 비교 및 분석하였다. 아두이노와 Thermocouple 모듈을 이용하여 전압별 투명히터의 발열 특성을 측정하였다. UV-2600을 통해서 투과도를 측정해 광학적 특성을 확인하였다. 4-Point Probe 를 이용해서 샘플의 전기적 특성과 bending 후 전기적 특성의 변화를 측정하였다[3].

1. 서 론

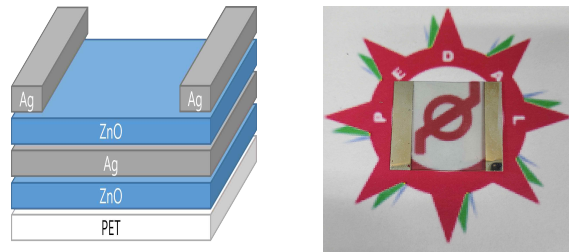
투명히터는 줄의 법칙 (Joule's law)을 통해 열이 발생하는 장치이다. 최근 TCO (Transparent Conducting Oxide) 물질을 활용해서 유연한 투명히터를 웨어러블한 전자기기, 센서, 스마트 윈도우, 디스플레이 등에 적용하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다[1]. TCO 물질 중 현재 각광받는 물질은 ITO (Indium Tin Oxide)이다. ITO는 넓은 밴드갭과 높은 가시광 투과도를 가지며 표면저항이 낮아 광전소자의 투명전극으로 가장 많이 쓰이고 있다. 하지만 최근 인듐 수급문제의 불안으로 ITO의 가격이 상승하고 있으며, 결정성의 박막을 가지기 위해서는 고온증착이 필요하므로 열에 약한 PET 기판에 적용하기에는 어려움이 있다. 또한, ITO는 banding에 취약해서 유연한 투명히터로 제작하기에는 제한성을 가지고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해서, ITO를 대체하기 위한 활발한 연구가 진행되고 있다. 그중 ZnO는 ITO와 마찬가지로 넓은 밴드갭을 가지고 높은 가시광 투과도를 가진다. 하지만 ZnO는 ITO에 비해 높은 비저항을 가지고 있다. ZnO의 높은 비저항은 OMO (Oxide/Metal/Oxide) 구조를 통해 개선할 수 있다. OMO 구조의 표면저항은 Metal 층의 낮은 비저항에 종속되므로 ZnO의 높은 비저항은 투명히터의 전체 표면저항에 영향이 적다[2]. 본 실험에서는 ZnO와 OMO 구조를 적용한 ZnO/Ag/ZnO 구조의 유연한 투명히터를 제작해서 전압별 발열 특성, 광학적 특성, 전기적 특성, bending 특성에 대해 고찰하고자 한다.

2. 본 론

2.1 실험 방법

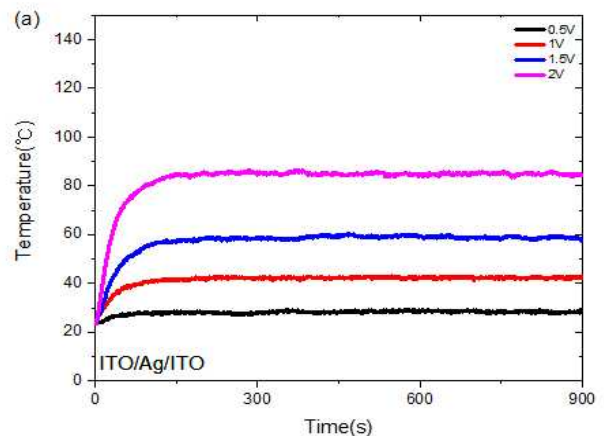
본 실험에서는 투명히터에 유연한 특성을 부여하기 위해서 PET (Polyethylene terephthalate)를 기판으로 사용하였다. 30 mm*30 mm이고, 증착 공정은 Magnetron Sputtering System (SNTEK-12SN048)을 이용하였다. 먼저 하부 ZnO층은 RF 100 W, Ar 50 sccm, 공정압력 5 mTorr, RT (Room Temperature) 조건에서 증착을 진행하였다. 그다음 Ag는 DC 55W, Ar 30 sccm, 공정압력 3 mTorr, RT에서 증착을 진행하였고, 상부 ZnO층은 하부 ZnO층과 같은 조건으로 증착을 진행하였다. 마지막으로 전면 전극을 형성하기 위해서 캡톤 테이프를 이용하여 마스크링 작업 후 Ag를 증착하였다.

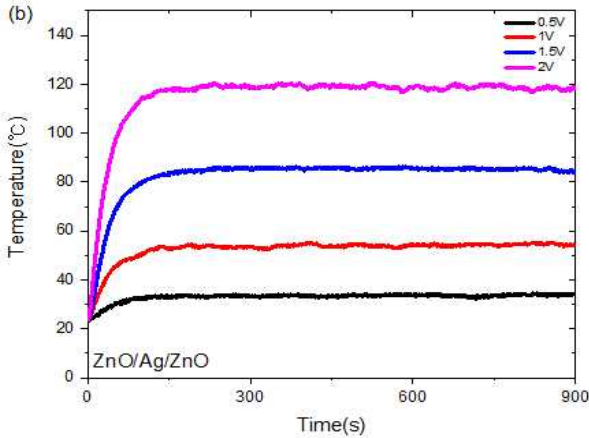


〈그림 1〉 투명히터 구조 및 사진

2.2 실험 결과 및 고찰

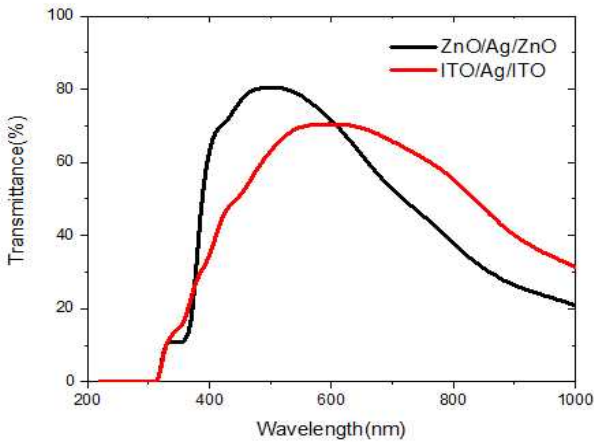
〈그림 1〉은 PET 기판에 증착한 ZnO/Ag/ZnO 투명히터의 구조를 나타낸다. 상층, 하층부의 ZnO는 모두 50nm로 증착하였고, 가운데 Ag층은 8nm로 증착하였다. 투명히터의 발열 특성을 측정하기 위해서 전면 전극의 Ag에 전압을 인가하였다. 〈그림 2〉 (a)는 ITO/Ag/ITO 투명히터의 전압별 발열 특성을 나타낸 그래프이다. 전압 2V를 인가하였을 때, ITO/Ag/ITO 투명히터의 발열 온도는 86°C를 나타내었다. 〈그림 2〉 (b)는 ZnO/Ag/ZnO 투명히터의 전압별 발열 특성을 나타낸 그래프이다. ZnO 기반의 투명히터에서는 2V 인가전압에 발열 온도 120°C를 보였으며, ZnO/Ag/ZnO의 낮은 표면저항 (2.25[Ω/□]) 값에 의해 같은 전압 인가 시 ITO/Ag/ITO 투명히터보다 우수한 발열 특성을 보인 것을 확인하였다.





<그림 2> (a) ITO/Ag/ITO 전압별 발열특성
(b) ZnO/Ag/ZnO 전압별 발열특성

<그림 3>은 투명히터의 가시광 투과도를 나타내는 그래프이다. 인간의 시감도가 높은 550nm에서 ZnO/Ag/ZnO는 78%이고 ITO/Ag/ITO는 69%가 측정되었다. ZnO/Ag/ZnO 투명히터가 더 우수한 광학적 특성을 보였다.

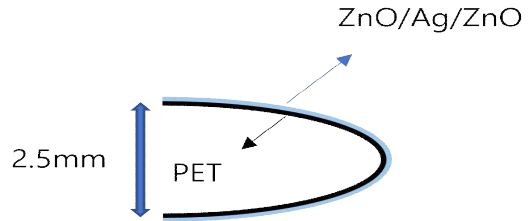


<그림 3> 투명히터의 투과도 그래프

<표 1> 전기적 특성 및 bending 특성

bending 횟수	ITO/Ag/ITO Rs [Ω/\square]	ZnO/Ag/ZnO Rs [Ω/\square]
0	5.3	2.25
1	5.6	2.26
2	5.9	2.28
3	6.2	2.3
4	6.8	2.33
5	7.3	2.37
6	7.6	2.4
7	8.2	2.42
8	8.9	2.45
9	9.4	2.5
10	10.1	2.54

<표 1>은 투명히터의 전기적 특성과 bending 후 전기적 특성에 대해 나타낸다. <그림 4>에 나타나 있는 모양으로 bending Test를 진행하였다. ITO/Ag/ITO 투명히터는 10회 bending 후 표면저항이 2배 가까이 커진 반면 ZnO/Ag/ZnO는 10회 bending 후에도 표면저항이 거의 일정함을 보였다. ZnO/Ag/ZnO 투명히터는 ITO/Ag/ITO 투명히터보다 우수한 유연성을 가짐을 확인할 수 있다.



<그림 4> 투명히터 bending Test

3. 결 론

본 연구에서는 ITO를 대체할 수 있는 물질인 ZnO를 OMO 구조에 적용하여 ZnO/Ag/ZnO 투명히터를 PET 기판에 제작하였다. ZnO/Ag/ZnO 투명히터는 2V 인가하였을 때 120°C의 발열 특성을 측정하였고, 파장 550nm에서 78%의 투과도를 측정하였다. bending 후에 표면저항의 변화가 거의 없으므로 유연한 특성을 가지는 투명히터로 적합함을 확인하였다. 이 연구를 통해서 ZnO/Ag/ZnO 투명히터가 웨어러블 전자기기, 사람의 피부 등 다양한 산업에 적용이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

The authors acknowledge the financial support of the Basic Science Research Program through the National Research Foundation (NRF-2020R1A2C1009480) by the Ministry of Education of Korea and Brain Pool Program funded by the Ministry of Science and ICT (NRF2020H1D3A2A02085884 and NRF-2020H1D3A2A02096147).

[참 고 문 헌]

- [1] Zhou, Bing, et al. "Ultrathin, flexible transparent Joule heater with fast response time based on single-walled carbon nanotubes/poly (vinyl alcohol) film." *Composites Science and Technology* 183 (2019): 107796.
- [2] Sahu, D. R., Shin-Yuan Lin, and Jow-Lay Huang. "ZnO/Ag/ZnO multilayer films for the application of a very low resistance transparent electrode." *Applied surface science* 252.20 (2006): 7509-7514.
- [3] Patel, Malkeshkumar, et al. "Photovoltaic-driven transparent heater of ZnO-coated silver nanowire networks for self-functional remote power system." *Journal of Power Sources* 491 (2021): 229578.