

ITO 를 이용한 셀룰로오스 압전종이용 투명 전극 Transparent electrode for cellulose piezo paper using ITO

*고현우¹, #김재환¹, 아부하산¹, 정혜전¹

*H. -U. Ko¹, #J. Kim(jaehwankim@inha.ac.kr)¹, Abu Hasan Khondoker, H. Jung¹

¹ 인하대학교 기계공학과

Key words : transparent electrode, cellulose, ITO

1. 서론

셀룰로오스는 가장 흔한 생체 고분자 물질 중 하나로 높은 압전 특성을 가져 지능 재료 중 하나로 연구되고 있다.¹ 특히 셀룰로오스를 재생하여 만든 셀룰로오스 EAPap 은 낮은 구동전압으로 높은 굽힘변형을 일으켜 박막 작동기로 높은 가능성을 보여준다.² 셀룰로오스는 또한 재생 과정에서 투명한 필름의 형태로 가공이 되므로 투명 소자로의 활용이 기대된다. 그러나 아직까지 셀룰로오스에 맞는 투명 전극 제조법에 대한 연구는 미비한 편이다.

Indium tin oxide(ITO)는 대표적인 투명 전극 재료이다. ITO 는 비저항이 $1 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 이하, 면 저항이 $103 \Omega/\text{sq}$ 이하로 전기전도성이 우수하고 380 nm 에서 780 nm 의 가시광선 영역에서 성막 두께 등의 영향에 따라 80% 이상의 높은 투과율을 가지고 있어 많은 연구를 통해 현재 폭넓게 사용되고 있다.³ 그러나 기존의 ITO 박막 제조공정은 진공 증착 방법으로 써 성막시 비용이 높고 비교적 고온의 열처리 과정을 필요로 하여 셀룰로오스에 적용하는데 어려움이 있다. 또한 환경적으로도 바람직하지 않은 폐기물을 많이 발생시킨다.⁴ 따라서 본 연구에서는 생산 비용이 저렴하고 폐기물의 발생이 적은 저온의 용액 공정을 통하여 셀룰로오스 위에 ITO 투명 전극을 형성하고 그 성능을 평가하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 셀룰로오스 필름의 열에 대한 변형을 막기 위하여 이미 고온에서 소성이 이루어져 충분한 결정구조를 갖는 50nm 이하의 균일한 ITO 입자를 사용하였다. 셀룰로오스 필

름은 목화 펄프를 LiCl 과 DMAc 로 녹인 후 재생과정을 통하여 제조하였다. 자세한 제조과정은 기존에 발표된 바 있다.¹ ITO 나노 입자는 5wt.%, 10wt.%, 15wt.%, 20wt.% 의 농도로 용매인 DMAc 에 분산시켰으며 나노 입자의 분산 안정화를 위하여 고분자성 안정화제인 PVP 를 넣고 homogenizer 10 분 동안 사용하였다. 이렇게 제조된 ITO 나노 입자 용액을 셀룰로오스 위에 균일하게 스핀코팅 하고 70°C 진공오븐에서 1 시간 동안 건조하였다.

농도에 따른 투명전극의 구조는 주사전자현미경(SEM)을 통하여 확인하였다. 셀룰로오스 위에 올린 ITO 전극의 투명도는 UV-visible spectrum 을 통하여 분석하였다. 전극의 성능은 표면저항을 측정하여 평가하였다.

3. 결과

투명전극의 미세 구조를 확인하기 위하여 SEM 을 측정하였다. SEM 이미지에서 ITO 나노 입자가 셀룰로오스 위에서 전극층을 형성함을 확인 할 수 있었다. (fig. 1)

형성된 ITO 전극의 투명도를 확인하기 위하여 UV-visible spectrum 을 분석하였다. ITO 전극을 형성하지 않은 셀룰로오스의 경우 800nm 파장에서 87%의 투과율을 보였으며 5 wt.% 농도 조건에서도 79% 투과율을 보였다. 투과율은 농도가 증가함에 따라 감소하나 10 wt.%와 15 wt.%에서도 70% 이상의 투과율을 보였다. 그러나 20 wt.%에서는 60%이하로 투과율이 크게 감소하는 것을 확인할 수 있다.(fig. 2)

전극의 표면 저항은 I-V 곡선 분석을 통하여 측정하였다. Fig 3 은 농도에 따른 표면 저항의 변화그래프를 보여준다. 그래프에서 표면 저항

은 5 wt.%에서 약 $6.2 \times 10^4 \Omega/\text{sq}$ 로 매우 큰 값을 보였으나 10 wt.%에서 $5.5 \times 10^3 \Omega/\text{sq}$ 급격히 감소하고 그 이후로 15 wt.%에서 약 $5.0 \times 10^3 \Omega/\text{sq}$ 로 서서히 감소하는 것을 확인할 수 있다. 5 wt.%에서 저항이 큰 이유는 낮은 농도와 표면 에너지 때문에 전류의 이동 경로가 제대로 연결되지 못하였기 때문으로 보인다.

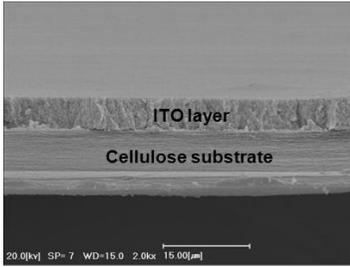


Fig. 1 SEM image of ITO transparent electrode layer on the cellulose substrate

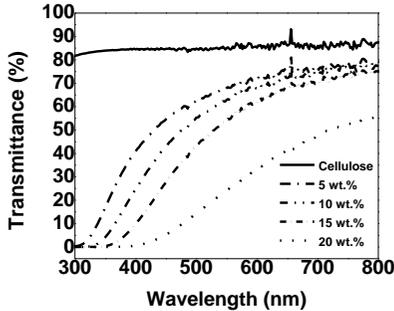


Fig. 2 UV-visible spectrum of ITO-cellulose with different concentration

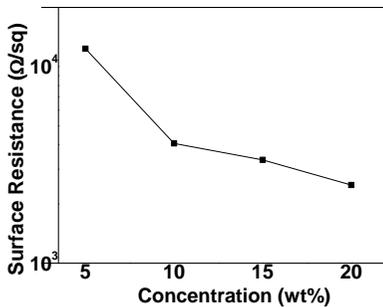


Fig. 3 Surface resistance of ITO transparent electrode

4. 결론

본 논문에서는 저온의 용액 공정을 이용하여 셀룰로오스 위에 유연 ITO 전극을 도포하였다. 도포된 ITO 전극은 5 wt.%에서 800nm 파장의 87%의 uv-visible 투과율을 보였으며 농도가 증가함에 따라 투과율은 감소하였으나 15 wt.%까지는 70%이상의 투과율을 보였다. 표면 저항은 농도가 증가함에 따라 감소하여 10 wt.% 이후에서 약 $5.5 \times 10^3 \Omega/\text{sq}$ 이하의 값을 보였으며 농도에 따라 감소하였다. 따라서 광투과성이 비교적 좋고 표면 저항이 작은 15 wt.%가 최적의 농도임을 확인하였다.

후기

이 연구는 연구재단 창의연구과제진흥사업 (EAPap Actuator)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- Kim, J., Yun, S., Ounaies, Z., "Discovery of cellulose as a smart material," *Macromolecules*, **39**, 4202-4206, 2006.
- Yun, S., Jang, S. Yun, G. Y., and Kim, J., "Electrically aligned cellulose film for electroactive paper and its piezoelectricity," *Smart Mater. Struct.*, **18**, 117001(6pp), 2009.
- 최현주, 박태현, 전신우, 함대진, 주병권, "차세대 플렉시블 투명전극 동향," *Trend & Technology*, **September**, 85-92, 2010.
- 이수선, 이나리, 김경일, 홍태환, "물질전과정평가(MLCA)를 통한 투명전극 ITO (Indium Tin Oxide)의 환경성 평가," *Clean Technology*, **18**, 69-75, 2012.