

OLED 용 ITO 박막의 전기-기계 복합 물성 측정

Evaluation of electrical-mechanical properties in ITO thin film for OLED application

*배종성¹, #한승우¹, 현승민¹, 이학주¹, 강재욱², 김도근², 이응숙¹

*J. S. Bae¹, #S. W. Han(swhan@kimm.re.kr)¹, S. M. Hyun¹, H. J. Lee¹, J. W. Kang², D. G. Kim², E. S. Lee¹
¹ 한국기계연구원 나노기계연구본부, ² 한국기계연구원 재료연구소

Key words : ITO, PET, OLED, Tensile test, Electrical-Mechanical properties

1. 서론

ITO (Indium tin oxide) 박막은 가시광선 영역에서 높은 빛 투과율과 낮은 전기 저항 특성을 가지고 있어 태양전지, 터치패널 그리고 OLED (Organic Light Emitting Diodes) 등 다양한 분야에 투명전도막 (transparent conducting films)으로 사용되고 있다.¹⁻³ ITO 박막은 DC 마그네트론 스퍼터 장치 (DE magnetron sputtering), 이온빔 스퍼터 장치 (ion beam sputtering) 그리고 화학적 기상 증착법 (chemical vapor deposition) 등을 이용하여 제작된다.⁴⁻⁶

최근에는 디스플레이 기술의 지속적인 발전과 함께 유연 디스플레이 (flexible display)와 투명전극에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히 OLED구조물에 폴리머 기판 (polymeric substrate)을 이용하여 얇고, 가볍고, 휘 수 있게 제작할 수 있다. 이러한 유연 OLED 디스플레이는 휴대용 전자제품에 적용되어 큰 시장을 형성할 수 있다고 기대하고 있다.⁷⁻⁸ 폴리머 기판은 유리 기판에 비해 가볍고, 무거운 충격에 잘 견디고, 투과율이 뛰어나 유연 기판으로 적합하다.³ 하지만 폴리머 기판은 고온에서 변질되는 단점을 가지고 있어 박막을 증착하기 위한 공정 조건에 제한을 가지고 있다. 이러한 결점을 극복하기 위하여 DC 마그네트론 스퍼터 방법을 이용한 연구가 이루어지고 있다.⁹⁻¹² 굽힘 시험을 통하여 폴리머 기판 위에 증착된 ITO 박막의 기계적 물성을 측정하는 연구도 보고되었다. Y. Leterrier 등은 폴리머 기판 위에 증착된 ITO박막의 인장 파손을 측정하기 위해 굽힘 시험을 하였다. 전기 저항을 이용하여 파손 범위를 정하고, ITO 박막의 두께에 따른 파손 굽힘 반경을 구하였다.¹³ J. Lewis 등은 x-y 이송 모터와 3 축 회전 모터를 이용하여 x-y-θ 굽힘 시험기를 제작하였다. 굽힘 반경에 대한 전기저항 변화를 측정하였고, 굽힘 반경에 따라 일정 면적 내에서의 균열의 수를 측정하였다.¹⁴ 이와 같이 ITO 박막은 양호한 전기 저항, 투과율 특성과 더불어 유연 제품에 사용할 시 발생하는 외부적 변형에 의한 특성도 제품의 신뢰성 측면에서 중요한 요소이다.

본 연구에서는 PET 기판 위에 DC/RF 마그네트론 스퍼터 방법을 이용하여 증착한 ITO 박막을 이용하여 전기-기계적 물성을 측정하였다. 박막은 DC 전류를 0.75 A로 고정하고 RF 파워를 바꿔주며 증착되었다. 인장시험을 통하여 PET 위에 증착된 ITO 박막의 전기-기계 특성을 측정하여 그 결과를 검토하였다.

2. 실험방법

ITO 박막은 RF/DC 마그네트론 스퍼터 방법을 이용하여 상온에서 증착하였다. DC 전류는 0.75 A로 고정하고 13.56 MHz의 RF 파워를 0 그리고 75 W 두 가지 조건으로 인가하여 ITO 박막을 증착하였다. PET (polyethylene terephthalate) 기판 두께는 125 μm, 박막 두께는 공정 시간을 조절하여 150 nm로 동일하게 증착하였다. 두 박막의 면저항 (sheet resistance)과 투과율은 75 W RF 파워를 인가하여 제작한 박막이 DC 파워만을 이용하여 제작한 박막보다 좋은 특성을 보인다.¹⁵

외부에서 가해주는 기계적 변형에 의한 전기-기계 특성

을 측정하기 위해 인장시험을 수행하였다. 인장 변형률에 대한 저항 변화의 정확한 측정을 위해서는 변형률과 전기 저항이 동일한 구간에서 측정되어야 한다. 인장 변형률의 표점거리는 양쪽 지그 사이의 거리로 계산되었고, 전기 저항도 동일한 구간에서 측정되었다. 그래서 시험편은 단면적이 균일한 길이 50 mm, 폭 3 mm 인 직사각형 모양으로 제작되었다. 인장시험을 위해 하중 ±250 N, 변위 ±50 mm 용량인 전동형 (electrodynamic) 시험기 (Tytron 250, MTS)를 사용하였다. 전기 저항 변화를 측정하기 위해 전원 계측기 (source meter, Keithley 2400)를 사용하였다. DC 전류 5 μA를 인가해 주어 인장시험 동안 전압변화를 측정하였다. 전류는 양쪽 그립 (grip)에 설치되어있는 프르브 (probe)를 통해 인가해주었으며, 전기적 절연을 위해 그립을 아크릴로 제작하였다. 인장시험장치는 Fig. 1 에 나타내었다.

3. 실험결과

PET 기판위에 증착된 ITO 박막의 기계적 물성과 전기적 특성을 평가하기 위하여 인장시험을 하였다. 인장시험을 통해 얻은 응력-변형률 곡선과 저항변화율 (normalized resistance)-변형률 곡선을 Fig. 2 에 나타내었다. Type 1 은 DC 파워만 사용하여 증착한 ITO박막이고, Type 2 는 75 W RF 파워를 인가하여 증착한 ITO박막이다. 시험편을 그립에 장착하고 초기 저항을 측정하였다. Type 1 은 각각 1.14 kΩ, 1.21 kΩ, type 2 는 1.07 kΩ, 0.67 kΩ이다. 그래프에서 저항변화율은 저항 증가량 (R-R₀)에 초기 저항 (R₀)을 나누어 나타내었다. 변형률은 그립과 그립 사이를 초기 길이로 선정하고 변위 증가량에서 나누어 나타내었다. Fig. 2 그래프를 보면 type 1, 2 모두 응력-변형률 곡선에서 비선형 구간이 발생하기 전부터 저항이 서서히 증가하는 것을 볼 수 있다. Fig. 3 에는 type 1 과 type 2 의 저항변화율-변형률 곡선을 나타내었다. 두 종류의 시험편 모두 변형률이 약 0.9 % 구간부터 저항이 증가하기 시작하였다. 이 구간에서 균열이 발생하여 저항이 증가하였다고 추정된다. 저항이 변하기 시작하면서 서서히 증가하다가 일정 구간을 지나면서 급격히 증가하였다. Type 1 은 변형률 1.9%, 저항변화율 80,

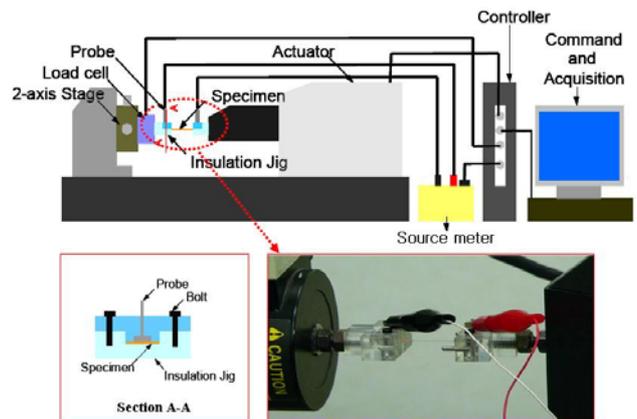


Fig. 1 Tensile testing system to measure electrical-mechanical properties.

type 2 는 변형률 1.5 %, 저항변화율 150 일 때부터 저항이 급격히 증가하였다. 그리고 type 2 는 type 1 에 비하여 저항 변화율이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 OLED 의 투명전도막으로 사용되는 ITO/PET 박막의 전기-기계적 특성을 평가하기 위하여 인장시험을 하였다. 시험편은 PET 기판 위에 스퍼터 장치를 이용하여 ITO 박막을 증착하였으며, DC 파워만을 인가하여 증착한 박막 (type 1)과 75 W RF 파워를 같이 인가하여 증착한 박

막 (type 2) 두 가지 종류로 제작되었다. 인장시험을 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

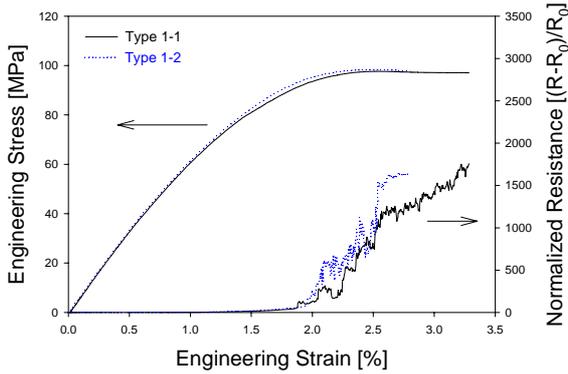
- (1) Type 1 과 type 2 모두 응력-변형률 곡선에서 비선형 구간이 발생하기 전부터 저항이 서서히 증가하였다.
- (2) 두 종류의 시험편 모두 변형률이 약 0.9 % 구간부터 저항이 증가하기 시작하였으며, 이 구간에서 균열이 발생하였다고 추정된다.
- (3) 저항이 변하기 시작하면서 서서히 증가하다가 일정 구간을 지나면서 급격히 증가한다. Type 1 은 변형률 1.9%, 저항변화율 80 일 때, type 2 는 변형률 1.5 %, 저항변화율 150 일 때부터 저항이 급격히 증가하였다.
- (4) Type 2 는 type 1 에 비하여 인장변형에 대하여 전기저항이 더욱 급격히 증가하였다.
- (5) Type 2 는 면저항과 빛 투과율에서 type 1 에 비하여 좋은 특성을 보였지만¹⁵, 전기-기계적 특성에서는 type 1 이 type2 에 비하여 높은 인장 변형에서도 낮은 저항변화를 보였다.

후기

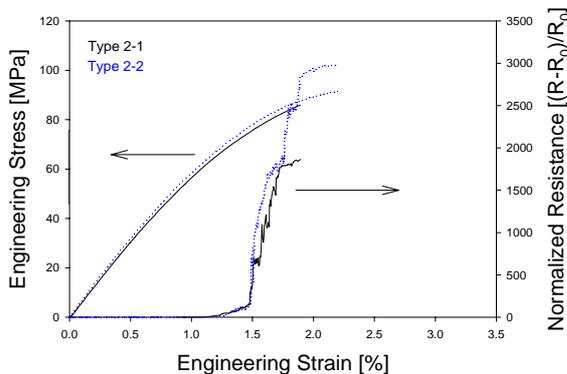
본 연구는 한국기계연구원의 기본사업 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. S. Boycheva, A. K. Sytchkova, and A. Piegari, *Thin Solid Films*, 515, 8474-8478, 2007.
2. J. Lewis, S. Grego, B. Chalamala, E. Vick, and D. Temple, *Physics Letters*, 85, 2004.
3. D. R. Cairns, R. P. Witte II, D. K. Sparacin, S. M. Sachsman, D. C. Paine, and G. P. Crawford, *Physics Letters*, 76, 2000.
4. L.-J. Meng, and F. Placido, *Surf. Coat. Technol.*, 44, 2003.
5. D. Kim, Y. Han, J. Cho, and S. Koh, *Thin Solid Films*, 88, 377-378, 2000.
6. Y.-C. Park, Y.-S. Kim, H.-K. Seo, S.G. Ansari, and H.-S. Shin, *Surf. Coat. Technol.* 161, 62, 2002
7. F.L. Wong, M.K. Fung, S.W. Tong, C.S. Lee, and S.T. Lee, *Thin Solid Films*, 466, 225-230, 2004.
8. H.-Y. Low and S.-J. Chua, *Materials Letters*, 53, 227-232, 2002.
9. L. Hao, W. Diao, H. Xu, B. Gu, and T. Wang, *Surf. Science*, 254, 3504-3508, 2008.
10. D.-H. Kim, M.-R. Park, H.-J. Lee, and G.-H. Lee, *Surf. Science*, 253, 409-411, 2006.
11. J. Lee, H. Jung, J. Lee, D. Lim, K. Yang, J. Yi, and W. Song, *Thin Solid Films*, 516, 1634-1639, 2008.
12. Y. Hoshi, and T. Kiyomura, *Thin Solid Films*, 411, 36-41, 2002.
13. Y. Leterrier, C. Fischer, L. Medico, F. Demarco, J.-A. E. Manson, P. Bouten, J. DeGoede, and J.A. Nairn, *Society of Vacuum Coaters*, 505, 2003.
14. J. Lewis, S. Grego, E. Vick, B. Chalamala, and D. Temple, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, 814, 2004.
15. D.-G. Kim, S.-H. Lee, M.-R. Park, Y.-J. Jeong, G.-H. Lee, and P.-K. Song, *Solid State Phenomena*, 124-126, 367-370, 2007.



(a) 0 W of RF power



(b) 75 W of RF power

Fig. 2 Stress-strain vs. normalized resistance curves of ITO/PET thin film.

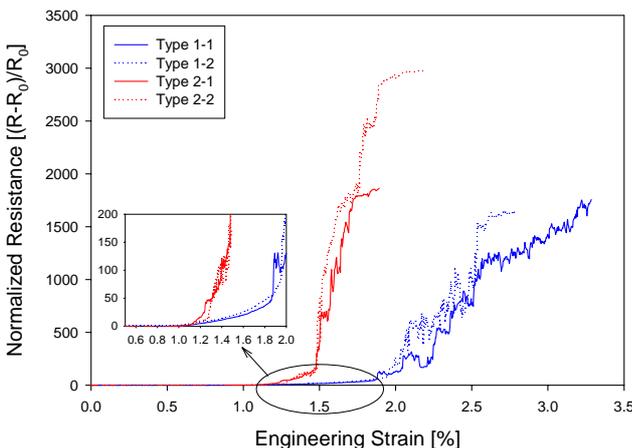


Fig. 3 Normalized Resistance curves of two type of ITO/PET thin films.