

다층박막을 이용한 플라스틱 ITO 필름의 bending에 따른 전기적 특성 연구

Study on Electrical Characteristics of Plastic ITO Film with Bending on Multi-barrier Films

박준백¹, 황정연¹, 서대식^{1,a}, 문대규², 한정인²

(Jun-Baek Park¹, Jeoung-Yeon Hwang¹, Dae-Shik Seo^{1,a}, Dae-Gyu Moon², and Jeong-In Han²)

Abstract

We investigated transmittance, surface characteristics, and resistivity according to bending of ITO(indium tin oxide) film with four other multi-barrier film. Transmission data of ITO film with four ITO films showed there was about large 90% transmission above 550nm wavelength at three multi-barrier structures. But, both-side hard coated structure showed relatively low 75% transmission above 550nm wavelength. And, surface images measured from SEM (scanning electron microscope) showed both-side hard coated structure have a tendency of more roughness. Also, resistivity change of four other multi-barrier film showed there was the lowest change at one-side hardcoated structure. Subsequently, with result of resistivity change according to position, we knew the resistivity change of the center increased rapidly than that of the edge.

Key Words : ITO film, Multi-barrier film, Hardcoat, Bending

1. 서론

투명 박막 전도성 필름은 평판 디스플레이, 터치 스크린, 태양전지 등의 응용분야에서 매우 중요한 역할을 하고 있다. 특히 평판 디스플레이에서는 ITO (indium tin oxide)가 코팅된 유리기판이 투명 전극으로 사용되어 왔다. 최근 들어 유리 기판 대신에 고분자 기판 (polymer substrate)을 사용하는 연구가 많이 진행되고 있다. 고분자 기판을 사용함으로써 유리기판에 비해 부피가 줄고 무게가 줄면서 휴대용 디스플레이, 유연성 (flexibility) 이 커지면서 곡면 위의 디스플레이 (flexible display) 로의

응용이 가능하다. 현재 콜레스테릭 반사형 액정 디스플레이 (cholesteric reflective liquid crystal display)[1]와 유기 EL (electroluminescence)[2,3] 에 이러한 고분자 기판이 많이 사용되고 있다. 하지만 실제로는 고분자 기판은 permeation barrier 필름이라 불리는 아주 얇은 유리 필름이 코팅 된다. 이 필름의 역할은 산소와 수증기의 투과와 투명도에 대한 보호층이다. Flexible display에서는 필름이 많이 구부러질수록 그에 비례하는 스트레스를 받게 되고 임계치 이상의 스트레스가 가해지면 crack이 발생하기도 한다. 이 보호층은 flexible display에서 필름에 걸리는 stress에 영향을 미치게 된다. 현재까지 이러한 플라스틱 필름의 crack에 관한 연구는 여러 연구자들에 의하여 연구보고 되고 있다[4-10]. 그러나 플라스틱 필름의 패턴을 이용하여 패턴에 따른 전기적 특성에 관하여는 아직 보고가 이루어지고 있지 않다.

1 : 연세대학교 전기전자공학과
(서울시 서대문구 신촌동 134,
Fax : 02-3147-1351

a : Corresponding Author : dsseo@yonsei.ac.kr

2 : 전자부품연구원
2003년 3월 4일 접수, 2003년 3월 27일 1차 심사완료,
2003년 8월 7일 최종 심사완료

본 연구에서는 다층박막을 이용한 ITO 필름의 여러 가지 구조의 permeation barrier 필름의 투과율, 표면 관찰, stress 특성 등에 대하여 검토하였다.

2. 실험

그림 1에 사용한 ITO 필름의 픽셀 구조 (이미 상용화되어 touch panel용으로 사용)를 나타내었다. PET와 hardcoat의 표면상태가 다르고 hardcoat 또한 제조회사, non-glare type 등 종류가 다양하여 이들의 표면상태에 대한 분류, 특성 파악이 중요하다고 할 수 있다. ITO의 두께는 20~30nm이고 고분자 기판은 polyethyleneterephthalate (PET) 이다. 앞에서 언급한 permeation barrier 필름을 이 구조에서는 hardcoat 라고 하고 Hardcoat 2는 hardcoat 내에 실리카 입자를 도핑하여 빛에 의한 눈부심을 방지한 것이다.

또한, 4종류의 다층 barrier 필름 구조의 특성을 비교 및 평가하기 위해서 그림 2에 나타낸 ITO 필름의 패턴을 사용하였다. 이러한 실험으로부터 bending을 통한 위치에 따른 stress의 영향을 알 수 있다. 픽셀 사이즈는 $1000\mu\text{m} \times 2050\mu\text{m}$, 밀도는 5개/cm², 곡률은 0.834로 bending을 하였다. 위치 A, D와 B, C는 중앙부분과 끝 부분에서의 stress를 살펴보고 그 stress가 좌우로 어느 정도 균일하게 가해지는지 알아보기 위해서이다. 패턴을 하는 이유는 실제 디스플레이의 픽셀과 같이 각기 다른 위치의 화소에 미치는 stress의 영향을 알아보기 위해서이다. 일정한 곡률의 bending을 통해 stress를 가하고, stress를 가하는 시간을 증가시킴에 따라 ITO 막에 손상 등이 발생한다. 이 stress에 대한 손상의 정도를 정량화하는 것이 flexible display에서는 매우 중요하다. 그림 3에 실험에 사용한 bending 장비를 나타내었다. 전도성 필름에서의 저항 증가는 곡률과 필름의 두께에 의존하는 crack 수와 관련이 있기 때문에 각 ITO 필름에서의 저항 변화를 통해 손상정도를 알 수 있다[4,5]. 저항측정은 two-probe법을 이용하였다.

4종류의 구조의 다층 barrier 필름 구조의 특성을 평가하기 위하여 spectrophotometer를 이용하여 ITO 필름의 투과율을 측정하였으며, SEM (scanning electron microscope)을 이용하여 ITO 필름의 표면을 관찰하였다.

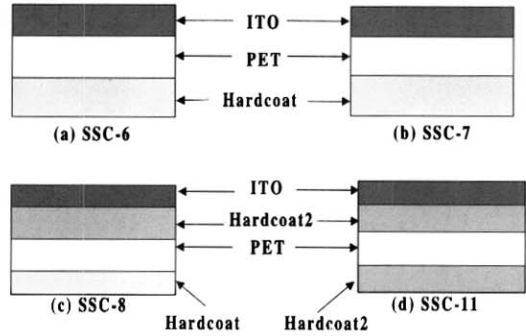


그림 1. 사용한 4종류의 ITO 필름의 픽셀 구조.
Fig. 1. The structure of four other ITO film pixels.

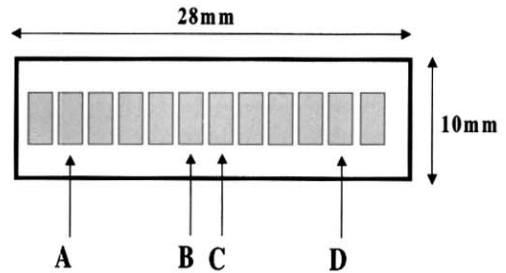


그림 2. ITO 필름의 패턴 구조.
Fig. 2. The pattern structure of ITO film.

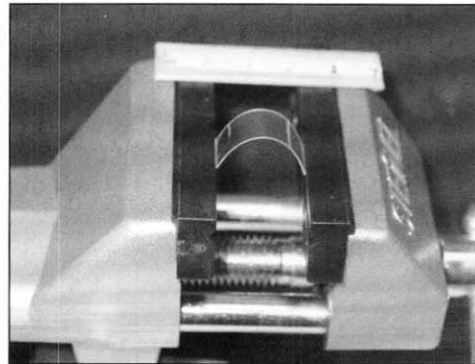


그림 3. 실험에 사용한 bending 장비.
Fig. 3. The bending machine for this experiment.

3. 결과 및 고찰

Spectrophotometer를 이용해 측정된 4종류의 ITO 필름의 투과율을 그림 4에 나타내었다. 그림 1의 (a), (b), (c) 구조는 가시광선 영역에서 녹색광에 해당하는 파장 550nm 이상에서 약 90%의 투과율을 나타내었지만, 그림 1(d) 구조에서는 약 75%의 투과율을 나타내었다. 자연스러운 색을 만들기 위해서는 가시광선 영역, 여기서는 눈이 가장 민감한 영역인 파장 550nm 에서 투과도가 최소 78% 이상의 값을 가지고 일정하게 유지되어야 한다. 그림 1(a), (b), (c) 등의 3구조는 파장 550nm 이상에서 약 90% 정도의 일정한 투과율을 나타낸다. 이것은 기존의 유리 기판의 투과율인 90~92%에 비해 거의 동등한 특성을 가진다. 그렇지만 양면에 hardcoat 된 그림 1(d) 구조는 최소 투과율이 78%에 미치지 못하는 약 75%의 투과율을 가지므로 디스플레이에 사용하기에 부적합하다고 할 수 있다.

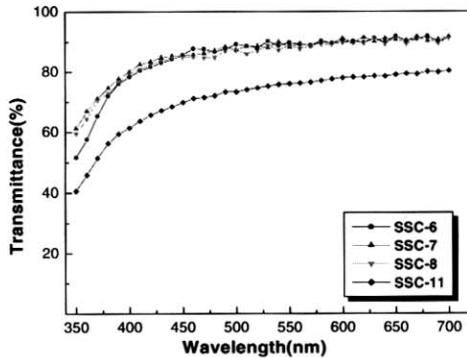


그림 4. Spectrophotometer를 이용한 4종류의 ITO 필름의 투과율.
 Fig. 4. The transmittance of four other ITO film with Spectrophotometer.

그림 5에 SEM을 이용한 각 ITO 필름의 표면 관찰 사진을 나타내었다. 우선 표면 사진을 살펴보면 그림 4(c)와 (d)에서 알 수 있듯이 hardcoat 2가 첨가된 구조일수록 표면이 매끄럽지 못하다는 것을 알 수 있다. 또한 hardcoat 2 층이 후면에만 추가된 구조보다 hardcoat 2 층이 전면에도 추가된 구조가 표면이 더 울퉁불퉁함을 알 수 있다. 이것은 ITO 필름 표면의 평균 roughness를 살펴보면 쉽게 알 수 있다.

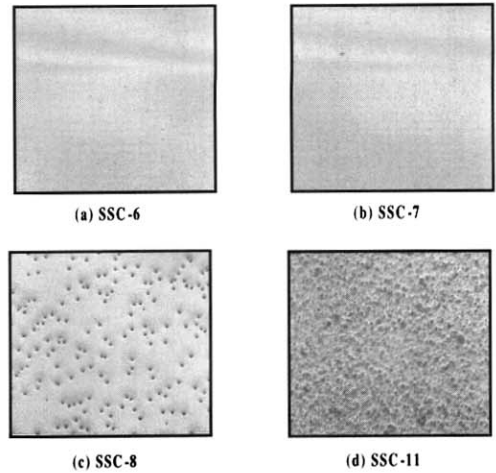
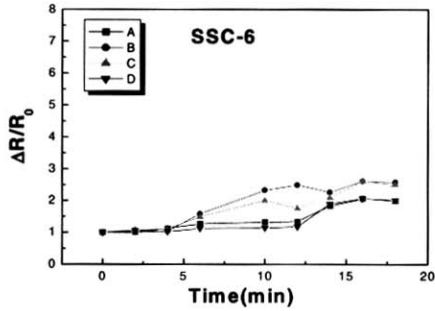
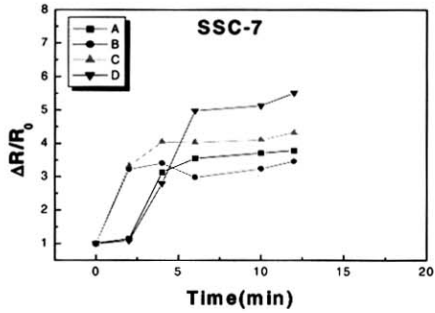


그림 5. SEM을 이용한 각 ITO 필름의 표면 관찰 사진.
 Fig. 5. The surface photograph of each ITO film with SEM.

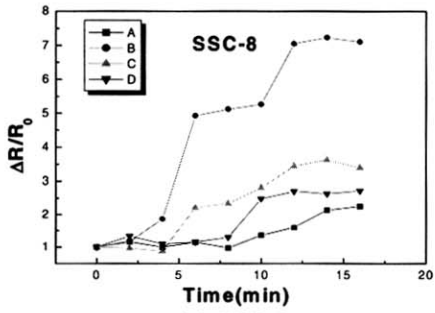
그림 6은 사용한 4종류의 ITO 필름의 저항률의 bending 시간 의존성을 나타낸다. 이것은 4종류의 ITO 필름에 패턴을 하여 일정한 곡률로 bending을 하면서 시간이 지남에 따라 각 위치에 따른 픽셀에 미치는 저항을 측정하여 bending 하기전의 각 픽셀에서 측정된 저항 값에서의 변화율을 나타낸 것이다. 그림 6(a)를 보면 저항 값은 전체적으로 다소 증가하는 경향을 나타내며 bending에 의한 저항 변화율은 현저히 작은 것을 알 수 있다. 그리고 ITO 박막은 비교적 안정하고 예상대로 필름의 가장자리 부분인 A, D 곡선끼리 거의 일치하고 필름의 중앙부분인 B, C 곡선끼리 거의 일치하는 것을 볼 수 있다. 그림 6(b)의 경우는 bending에 의한 저항률 변화가 앞에서와 같이 전체적으로 균일하지 않고 bending 시간이 약 2분 이상에서 크게 변화하는 경향을 나타내었다. 즉, ITO 박막은 매우 불안정하고 상대적으로 위치 C, D에 더 많은 스트레스가 가해져 저항값이 증가하는 것으로 생각할 수 있다. 그림 6(c)의 경우는 필름의 중앙부분에 급격한 저항 변화율이 나타나지만, 그림 6(b)에서와 같이 끝 부분에서의 저항 변화율은 그다지 크지 않다. 그림 6(d)의 경우는 그림 6(a)에서와 같이 저항 값이 균일하게 증가하지만 bending에 의한 저항 변화율이 그림 6(a)에 비해 비교적 크다는 것을 알 수 있다. ITO 박막은 그림 6(a)에서와 같이 비교적 안정하다고 생각할 수 있다.



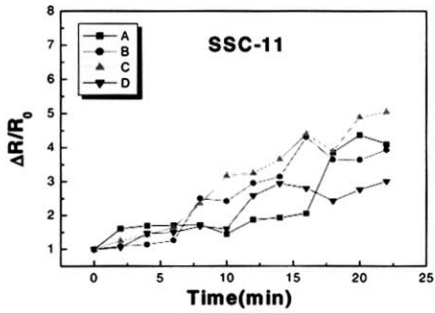
(a) SSC-6



(b) SSC-7



(c) SSC-8

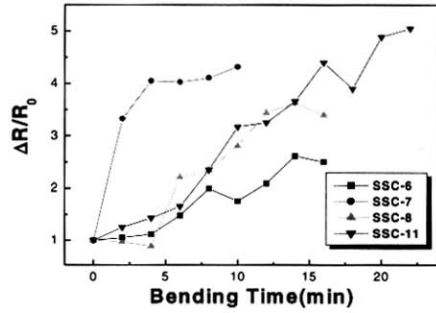


(d) SSC-9

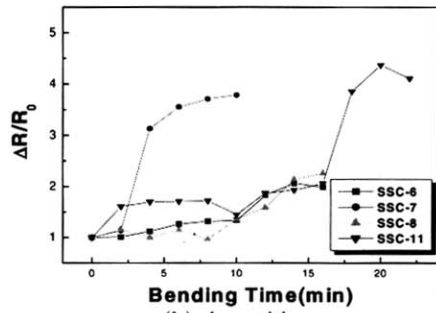
그림 6. 4종류의 ITO 필름의 저항률의 bending 시간 의존성.

Fig. 6. The bending-time dependence of four other ITO film resistivity.

그림 7에 4종류의 ITO 필름의 위치에 따른 시간에 따른 저항률의 bending 시간 의존성을 나타내었다. 그림 7(a)에 나타난 바와 같이, ITO 필름의 중앙 부분에서는 모든 구조에서 bending 시간에 따라 저항률이 크게 증가하는 현상을 나타내었다. 특히, 한 면이 hardcoat 된 구조 (SSC-7)에서는 저항률이 매우 급격히 증가하였다. 그러나 한 면이 hardcoat 된 구조 (SSC-6)에서는 저항률이 그다지 변화하지 않는 경향을 나타내었다. 따라서 같은 한면이 hardcoat 된 구조에서도 재질에 따라 bending 시간에 의한 저항값이 크게 차이가 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 그림 7(b)에 나타난 바와 같이, ITO 필름의 가장자리 부분에서는 SSC-7을 제외한 3종류의 구조에서는 bending 시간이 15분까지 저항값이 그다지 변화하지 않는 경향을 나타내었다. 이러한 결과로부터, ITO 필름의 중앙부분인 C에서의 저항 변화율이 끝 부분인 A에서 보나 bending 시간에 따라 급격하게 증가한다는 것을 알 수 있다.



(a) C-position



(b) A-position

그림 7. 4종류의 ITO 필름의 위치에 따른 저항률의 bending 시간 의존성.

Fig. 7. The bending-time dependence of four other ITO film resistivity according to the position.

4. 결론

본 연구에서는 flexible display에서 사용되는 4 종류의 ITO 필름의 barrier의 구조에 따른 투과율, 표면특성, bending 특성에 대하여 검토하였다. 먼저, 4종류의 ITO 필름 barrier 구조의 투과율을 측정한 결과, 3종류의 구조에서 파장이 550nm 이상에서 약 90%의 투과율을 나타내었다. 그러나 기판 양면에 hardcoat 된 구조에서는 파장이 550nm 이상에서 약 75%의 투과율을 나타내었다. 또한 4종류의 ITO 필름의 저항 변화율 측정을 통해 ITO 필름의 구조에 따른 bending 효과를 명확하게 알 수 있었다. 이 결과로부터 ITO 필름에 한 면이 hardcoat 된 구조가 양면이 hardcoat 된 구조보다 bending에 의해 상대적으로 저항값의 변화가 낮은 결과를 얻을 수 있었다. 마지막으로 ITO 필름의 위치에 따른 저항 변화율은 중앙부분의 변화가 끝부분의 변화보다 bending 시간에 따라 급격히 증가한다는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업(MI-0203-00-0008)의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] K. Kato, K. Tanaka, S. Tsuru, and S. Sakai "Reflective color display using polymer-dispersed cholesteric liquid crystal" Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 33, No. 5A, p. 2635, 1994.
- [2] R. H. Friend, R. W. Gymer, A. B. Holmes, J. H. Burroughes, R. N. Marks, C. Taliani, D. D. C. Bradley, D. A. Dos Santos, J. L. Brédas, M. Lögdlund, and W. R. Salaneck, "Electroluminescence in Conjugated Polymers" Nature 397, p. 121, 1999.
- [3] 김훈, 김광호, 김재홍, 이윤희, 한정인, 도이미, 주병권, "무기박막형 보호층을 이용한 고분자 유기발광 다이오드의 특성평가", 전기전자재료학회논문지, 16권, 1호, p. 60, 2003.
- [4] M. Yanaka and Y. Tsukahara, and T. Okabe and N. Takeda, "Statistical analysis of multiple cracking phenomenon of a SiO_x thin film on a polymer substrate", J. Appl. Phys., Vol. 90, No. 2, p. 713, 2001.
- [5] M. Yanaka, Y. Kato, Y. Tsukahara, and N. Takeda, "Effects of temperature on the multiple cracking progress of sub-micron thick glass films deposited on a polymer substrate", Thin Solid Films, Vol.355, p. 337, 1999.
- [6] Y. Leterrier, L. Boogh, J. Andersons, and J.-AE Månson, J. Polym. Sci. B: Polym. Phys. Vol. 35, p. 1449, 1997.
- [7] Piet C. P. Bouten, "Failure Test for Brittle Conductive Layers on Flexible Display Substrates", Eurodisplay, p. 313, 2002.
- [8] D. R. Cairns, R. P. Witte II, D. K. Sparacin, S. M. Sachsman, D. C. Paine, G. P. Crawford, and R. R. Newton, "Strain-dependent electrical resistance of tin-doped indium oxide on polymer substrate", Appl. Phys. Lett., Vol. 76, No. 11, p. 1425, 2000.
- [9] H. H. Kim, M. J. Cho, W. J. Choi, J. G. Lee, and K. J. Lim, "Figure of merit for deposition conditions in ITO films", TTEM, Vol. 3. No. 2, p. 6, 2002.
- [10] S. K. Park, J. I. Han, D. G. Moon, and W. K. Kim, "Improvement of mechanical property of indium-tin-oxide films on polymer substrates by using organic buffer layer", TTEM, Vol. 3. No. 2, p. 32, 2002.