

플라스틱 기판의 Outgassing이 TCO 박막의 전기적 특성에 미치는 영향

Out Gassing from Plastic Substrates Affect on the Electrical Properties of TCO Films

김화민^{1,a}, 지승훈¹
(Hwa-Min Kim^{1,a} and Seung-Hun Ji¹)

Abstract

In this work, transparent conductive oxide(TCO) films such as $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2$ (ITO) and $\text{In}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$ (IZO) were prepared on polyethylene naphthalene(PEN) and glass substrates by using rf-magnetron sputtering system. The TCO films deposited on PEN substrate show very poor conductivity as compared to that of the TCO films deposited on glass substrates. From the results of the residual gas analysis(RGA) test, this poor stability of plastic substrate is presumed to be caused by the deteriorated adhesion between the TCO films and the plastic substrate due to outgassing from the plastic substrate during deposition of TCO films. From our experiment, it is found that the vaporization of some defects in the plastic substrates deteriorate the adhesion of the TCO films to the plastic substrate, because the most plastic substrates containing the water vapor and/or other adsorbed particles such as organic solvents. Mixing of these gases vaporized in the sputtering process will also affect the electrical property of the deposited TCO films. Inorganic thin composite (SiO_2)₄₀(ZnO)₆₀ film as a gas barrier layer is coated on the PEN substrate to protecting the diffusion of vapors from the substrate, so that the TCO films with an improved quality can be obtained.

Key Words : Residual gas analyzer, Plastic substrate, Outgassing, TCO film, Electrical property, Rf-magnetron sputtering

1. 서론

유기물의 특성을 이용하여 플라스틱 기판 위에 제작된 휘어지는 유기전기발광소자(flexible organic light emitting diode, FOLED)는 유리 기판 위에 제작된 디스플레이에 비해 안전하며(stable), 경제적이고(low cost), 가벼우면서도(light), 내구성이 강하며(robust), 다양한 방향으로 구부릴 수 있다는(rollable) 장점들로 인해 차세대 광전자 소자로 각

광받고 있으며, 최근 이에 대한 연구가 활발하게 진행 중이다[1-3]. FOLED 제작에서 가장 핵심이 되는 기술은 플라스틱 기판 공정 기술이다. 기판으로 주로 사용되는 폴리에틸렌 나프탈레이트(polyethylene naphthalate, PEN), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(poly ethylene terephthalate, PET), 폴리카보네이트(polycarbonate, PC)들은 기존의 유리 기판에 비하여 가벼우면서도 높은 광 투과성과 잘 휘어지는 특성 등의 장점들을 갖는다. 반면, 대부분의 플라스틱 기판들은 자체적으로 수분과 유기 솔벤트 성분들과 같은 화학성분들을 포함하고 있기 때문에 실험시 발생하는 열 또는 플라즈마에 의해 이들 성분들이 증발(vaporization)되어 플라스틱 기판 위에 증착되는 박막들의 부착력을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 전기적 특성에도 많은 영향을 끼친다[4-6]. 따라서

1. 대구가톨릭대학교 전자공학과

(경북 경산시 하양읍 금락 1리 330)

a. Corresponding Author : hmkim@cu.ac.kr

접수일자 : 2009. 8. 12

1차 심사 : 2009. 9. 17

심사완료 : 2009. 9. 30

플라스틱 기판위에 FOLED용 양전극인 투명 전도성 산화(transparent conductive oxide, TCO) 박막을 증착할 경우, 양질의 TCO 박막을 성막하기 위해서는 박막 증착시 발생할 수 있는 열 또는 플라즈마에 의한 플라스틱 기판들의 아웃게싱(outgassing)에 의한 잔류성분들을 분석하는 것은 매우 중요하다.

본 실험에서는 진공시스템에 장착된 플라스틱 기판들을 각각 장착하여 챔버 내의 진공도를 약 10^{-6} Torr로 유지하면서, 플라스틱 기판의 outgassing에 의한 진공도 변화를 기판의 온도 함수로 조사하면서 진공 변화의 원인이 되는 잔류 가스를 분석하였다. 또한, 플라스틱 기판의 outgassing에 의한 잔류가스가 TCO 박막에 미치는 영향을 조사하기 위하여, $In_2O_3:SnO_2$ (ITO)와 $In_2O_3:ZnO$ (IZO)와 같은 TCO 박막들을 고주파 마그네트론 스퍼터링 방법을 사용하여 outgassing 상태에서 플라스틱 기판 위에 증착하여, 이들의 전기적 특성을 조사하였으며, 그 결과들을 유리 기판위에 동일한 방법으로 성막된 TCO 박막들과 비교하였다[7]. 또한 반복되는 휨 손상(bending damage)에 의한 TCO 박막들의 전기적 안정성을 조사함으로써 플라스틱 기판의 outgassing에 의한 TCO 박막들의 부착력 및 열화에 의한 영향들을 조사하였다[8]. 한편, 기판의 outgassing에 의한 잔류가스를 차단하기 위하여 우수한 투습방지 특성을 갖는 $(SiO_2)_{40}(ZnO)_{60}$ (SZO) 무기 혼합 박막을 가스차단막(gas barrier layer)으로 도입하고 그 위에 TCO 박막들을 증착함으로써 개선된 TCO 박막들의 전기적 특성들이 제시된다[8-11].

2. 실험

그림 1은 진공 챔버 내의 잔류가스를 분석하기 위하여 구축된 잔류가스 분석(residual gas analyzer, RGA, Infico Co.) 장치를 나타낸 것이다. 진공 챔버로는 유도결합 플라즈마 화학 기상 증착(inductively-coupled plasma chemical vapor deposition, ICP-CVD) 챔버를 사용하였으며, 챔버의 크기는 내경이 25 cm이고, 높이는 20 cm이다. ICP-CVD 챔버 내부 진공은 compound molecular turbo pump(OSAKA Vacuum LTD, Japan)를 사용하여 2×10^{-6} Torr까지 base 압력을 유지할 수 있으며, 진공도 측정은 이온 게이지를 사용하였다. 챔버 내부의 잔류가스를 분석하기 위한 잔류가스 분석기가 챔버와 연결되어 있으며, RGA는 이온원, 4중 극자 질량 필터(quadrapole mass filter)와 전원

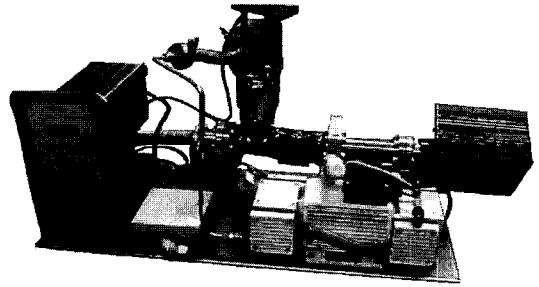


그림 1. 잔류가스 분석 시스템.

Fig. 1. Photograph of residual gas analyzer system.

공급 장치(power supply) 그리고 검출기(electron multiplier)로 구성되며, 검출기는 신호 처리회로를 시스템 제어(Firmware)부의 RS232 통신을 통해 window 운영 소프트웨어로 연결되어 있다. 우선, 챔버 자체의 outgassing을 줄이기 위하여, 플라스틱 기판을 장착하기 전에 기판 홀더의 온도를 $200^{\circ}C$ 에서 1시간 동안 열처리를 실시하여 챔버 내부에서의 outgassing을 최소화 하였다. 그리고 $50 \times 50 \text{ mm}^2$ 크기를 갖는 PET, PEN, PC 기판들을 각각 챔버 내부 기판 홀더에 장착하고 기판의 온도를 분당 $1.2^{\circ}C$ 로 약 $100^{\circ}C$ 까지 서서히 상승시키면서 ICP-CVD 챔버 자체에 부착된 이온게이지를 통해 챔버 내부의 진공도 변화를 온도의 함수로 측정하였으며, 이 때 진공도 변화에 기여하는 플라스틱 기판의 outgassing에 의해 챔버에 존재하는 잔류가스들을 RGA로 분석하였다.

한편, 플라스틱 기판에 outgassing이 TCO(ITO, IZO) 박막들의 특성에 미치는 영향을 조사하기 위한 TCO 박막들을 증착하기 위한 스퍼터링용 ITO($In_2O_3 : SnO_2 = 90 : 10 \text{ wt.}\%$)와 IZO($In_2O_3 : ZnO = 90 : 10 \text{ wt.}\%$) 타겟은 일본 고순도사의 순도 4N(99.99%)인 In_2O_3 , SnO_2 그리고 ZnO 분말을 적절히 혼합하고, 진공 오븐을 사용하여 $150^{\circ}C$ 에서 30분 동안 열처리함으로써, 분말 내 습기를 제거하였다. 이 혼합 분말들은 볼 밀(ball mill)에 의해 2시간 동안 잘 섞은 후, $600^{\circ}C$ 에서 60분 동안 다시 열처리하였다. 열처리된 혼합분말은 다시 핸드밀과 볼 밀 방법으로 24시간 동안 교반 및 분쇄 작업을 반복하고 $1200 \text{ kg} \cdot \text{weight}/\text{cm}^2$ 의 압력으로 두께 5 mm, 지름 2 인치 원형 디스크 형태로 압착한 후에 $1000^{\circ}C$ 의 공기 중에서 2시간 동안 소결과정을 거쳐 고형화하여 타겟으로 사용하였다.

기판으로는 PEN과 유리 기판을 선택하여, 박리, 핀홀 등의 현상과 막(film)의 부착성 저하의 요인이 되는 불순물을 제거하기 위하여 알코올 증류수, 아세톤(유리 기판의 경우에만)에 의한 열 세척과 초음파 세척을 반복하였다. 세척한 기판은 타겟과 평행하게 장착한 후, 타겟 표면의 불순물과 산화층을 제거하기 위하여 매 증착시 25 sccm의 Ar 가스를 유입하여 10분 동안 예비 스퍼터링(pre-sputtering)을 실시하였다. 챔버 내의 초기 진공도는 약 10^{-5} Torr이었으며, 활성화 가스로는 Ar 가스를 유입시켜 진공도를 2×10^{-3} Torr로 일정하게 유지 하면서 증착을 시작하였다. 모든 박막들은 상온(room temperature, RT)의 순수한 Ar 분위기에서 100 nm ~ 500 nm 범위의 두께를 갖도록 제작하였다. 이 때 TCO 박막을 증착하는 동안 기판의 온도는 두께에 따라 약 120°C에서 140°C까지 상승하는 것이 확인되었다. 인가된 고주파 전압은 100 W로 통일하였으며, 타겟과 기판과의 거리는 항상 60 mm를 유지하였다. 이렇게 제작된 TCO 박막들의 전기적 특성으로는 Lonesta-EP 장치(Mitubishi Chemical Co.)를 사용해 4-Pin Probe법에 의한 면저항을 박막 두께의 함수로 측정하여 PEN 기판과 유리 기판을 사용했을 때 TCO 박막들의 비저항을 비교함으로써, PEN 기판의 outgassing이 TCO 박막의 전기적 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 PEN기판 위에 증착된 TCO 박막들은 반경 10 mm의 실린더에 반복적으로 감음(bending)으로서, 감은 횟수에 대한 면저항의 변화를 측정하였으며, 이 결과들은 무기혼합박막(inorganic thin composite film), SZO를 가스 차단막으로 갖는 PEN 기판 위에 증착된 TCO 박막들과 비교함으로써 PEN 기판의 outgassing이 TCO 박막의 기판에 대한 부착성에 미치는 영향을 조사하였다. 가스 차단막은 TCO 박막과 동일한 방법으로 SZO 타겟을 제작하고, rf 마그네트론 스퍼터링 법을 사용하여 PEN 기판 위에 400 nm의 두께로 증착하였다. 그리고 증착된 모든 박막들의 두께 측정은 α -step (VEECO Co.)을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 본 실험에서 사용한 진공 챔버 내에 플라스틱 기판이 장착되지 않았을 때, 기판홀더의 온도를 분당 1.5°C의 속도로 110°C까지 상승시키면서 챔버 내의 진공도 변화를 (a)가열 시간과 (b)기판 홀더 온도의 함수로 나타낸 것이다. 챔버 내의 진공도는 온도(또는 온도 상승 시간)가 증가함에

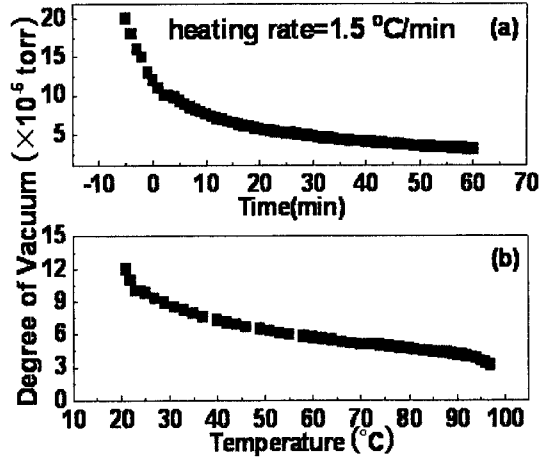


그림 2. 진공챔버 안에서 진공의 정도에서 (a) 기판 홀더 온도와 (b) 측정된 시간의 함수에 따른 변화.

Fig. 2. The change as a function of (a) substrate holder temperature and (b) measured time on degree of vacuum within vacuum chamber.

따라 고진공으로 변하는 것을 볼 수 있다. 따라서 이 결과는 측정에 사용되고 있는 챔버 자체의 outgassing에 의한 잔류가스가 발생하지 않는다는 것을 확인시켜준다.

그림 3은 챔버 안에 PET, PEN 그리고 PC와 같은 플라스틱 기판을 각각 장착했을 때 기판의 온도를 분당 1.2°C의 속도로 110°C까지 상승시키면서 챔버 내의 진공도 변화를 가열 시간의 함수로 나타낸 것이다. 가열 시간이 PET는 약 8분(27°C)에서 PEN은 12분(38°C), 그리고 PC는 9분(29°C) 근방에서 진공도가 증가하기 시작하면서 가열 시간이 증가함에 따라 계속 증가하는(저 진공으로 변하는) 데, 이는 기판들로부터 outgassing에 의한 잔류가스가 챔버 내에 존재하는 것으로 해석할 수 있다. 한편, PET의 경우 heating time이 22분(56°C) 근방에서, PEN의 경우, 28분(68°C) 근방 그리고 PC는 19분(52°C) 근방에서 진공도 증가가 둔해지면서 최소 진공 값에 도달한 후, 다시 진공도가 감소하기 시작하여 최대진공에 도달할 때까지 계속 증가한다. 이때는 outgassing이 거의 일어나지 않은 것으로 해석할 수 있다. PET와 PEN과는 달리 PC 기판의 경우 44분(107°C)과 47분(112°C) 사이에서 outgassing에 의한 진공도 변화 피크가 1개 더 관측되는데 이는 그림 4에서 보는 바와 같이 PC기판

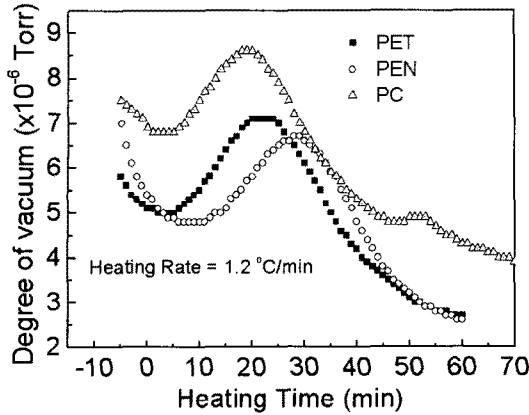


그림 3. 50×50 mm²의 크기를 갖는 다양한 플라스틱 기판들의 진공챔버에서 진공의 정도에서 가열 시간의 함수에 따른 변화.

Fig. 3. The change as a function of heating time on the degree of vacuum in chamber for various plastic substrates with a size of 50×50 mm².

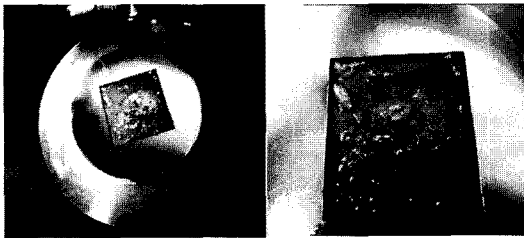


그림 4. 110°C에서 열처리 후에 변형된 PC 기판의 모습.

Fig. 4. Photograph of PC substrate modified after heat treatment at 110°C.

은 100°C 이상에서 열처리 후 일부가 탄 것을 볼 수 있다. 따라서 107°C와 112°C 사이에서 나타나는 피크는 PC 기판이 타서 생긴 것으로 본 실험의 목적과는 무관하므로 더 이상 고려하지 않을 것이다.

그림 5는 진공 챔버 내에 부착된 PEN기판으로부터 (a) 상온(온도 상승 전), (b) 38°C, 그리고 (c) 68°C에서 각각 outgassing에 의한 잔류 가스들의 부분 압력 또는 부분 유량(N₂ Equivalent)을 RGA 측정 시간의 함수로 나타낸 것이다. 관측된 잔류 가스들의 주성분은 수분을 포함하여 C_xH_y와 같은 유기 솔벤트, 그리고 C, N₂ 등이 검출되는 것

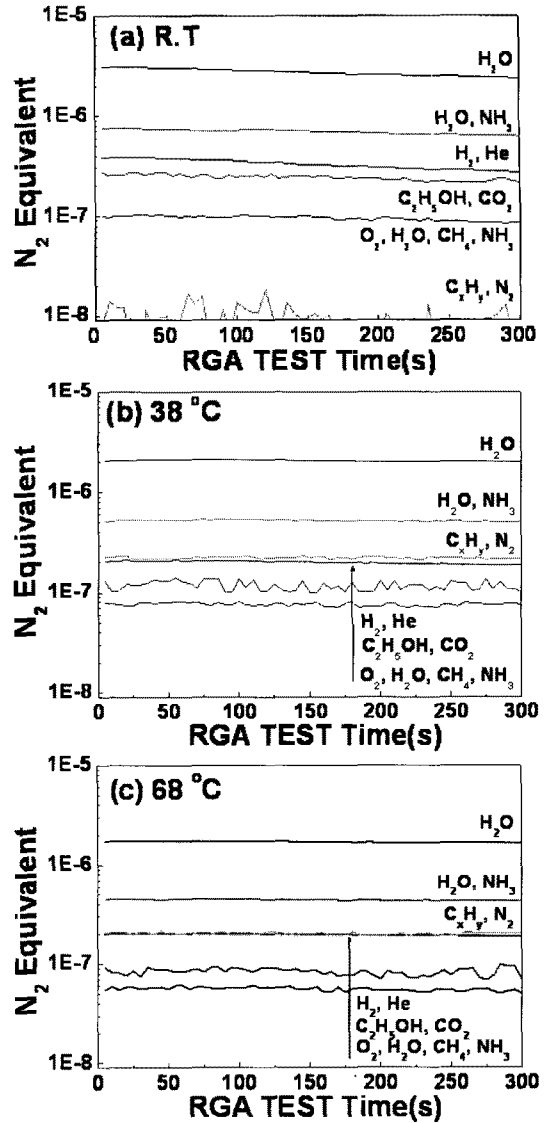


그림 5. PEN기판에서 (a) 상온(온도 상승 전), (b) 38°C, 그리고 (c) 68°C에서 outgassing에 의한 RGA 측정 시간의 함수에 따른 잔류 가스들의 부분 유량(N₂ equivalent).

Fig. 5. N₂ equivalent of residual gases as a function of the RGA test time due to outgassing at (a) RT, (b) 38°C, and (c) 68°C on PEN substrate.

을 볼 수 있는데, 이는 일반적으로 대부분의 플라스틱 기판은 수분(H₂O) 또는 유기 솔벤트와 같은 휘발성 입자들을 포함하고 있음을 말해 준다. 이들

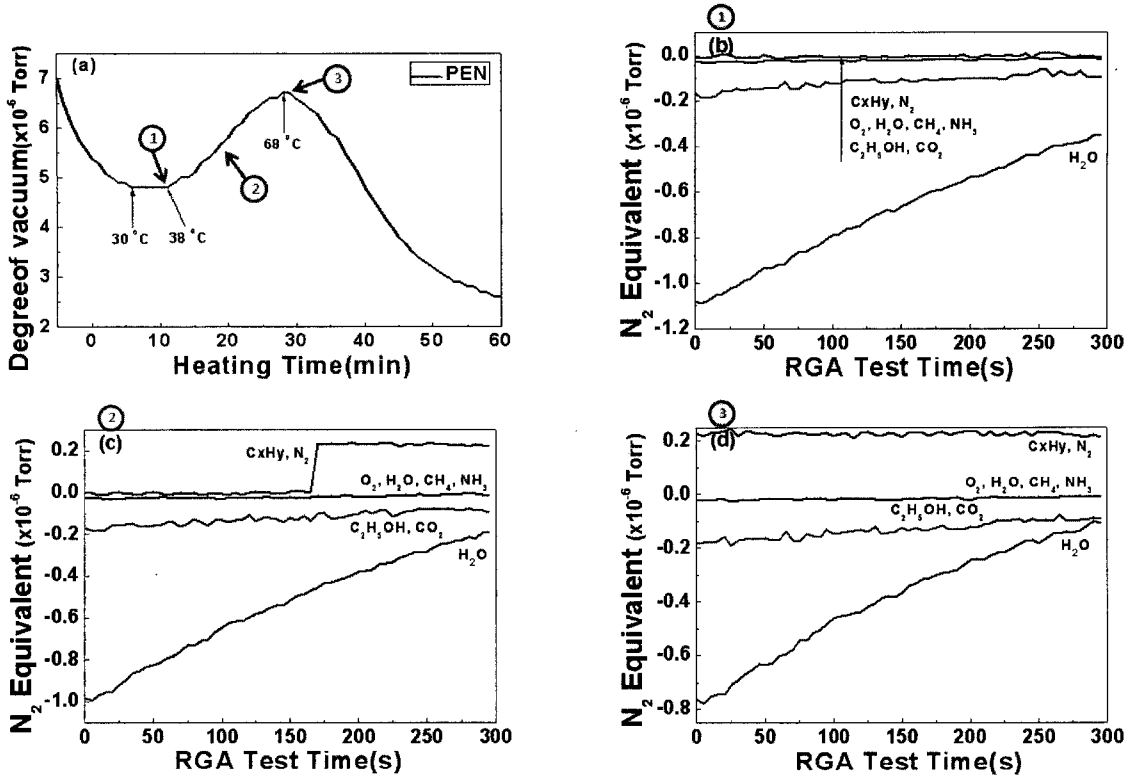


그림 6. (a) PEN 기판의 열처리 시간의 함수에 따른 진공의 변화와 그림 6(a)으로부터 PEN 기판의 outgassing 분석을 위해 (b) ①, (c) ②, 그리고 (d) ③ 세 부분에서 RGA에 의해 측정된 다양한 가스 성분들의 변화.

Fig. 6. (a) Changes of vacuum degree as a function of the heating time of PEN substrate and the changes of various gas properties measured by the RGA at three positions of (b) ①, (c) ②, and (d) ③ for investigate the outgassing of PEN substrate from the Fig. 6(a).

입자들의 기화(vaporization)는 TCO 박막 증착 시 기판 표면으로부터 확산되어 TCO 박막들의 기판에 대한 부착력을 약화시키게 될 것이며 이 결과는 그림 7에서 설명될 것이다.

그림 5에서 상온에서 측정된 잔류 가스들의 부분압력들(그림 5(a))을 기준으로 하여 특정온도에서 측정된 잔류가스들에 대한 부분 압력들(그림 5(b) 또는 5(c))을 비교하여 그 차이를 구해보면 그(특정)온도에서 기판으로부터 outgassing에 의한 주요 잔류 가스들을 분석하였으며 그 결과를 그림 6에 나타내었다. 그림 6은 챔버 내의 진공도에 영향을 주는 주된 잔류가스를 분석하기 위하여, PEN 기판의 진공도 변화 곡선에서 outgassing이 추정되는 3개의 지점인 ①, ②, ③에서 잔류가스들에 의한 부분 유량(N₂ equivalent)을 측정시간의 함수로 각각

(b) ①, (c) ②, (d) ③에 나타낸 것이다. 비교를 위하여 PEN기판의 outgassing에 의한 진공도 변화 곡선과 그 위에 표시된 3개의 지점에 대응되는 온도를 그림 6(a)에 함께 나타내었다. 그림 6(b)의 경우, 그림 6(a)에 표시된 진공도가 변하기 시작할 때 잔류가스의 부분 유량 변화를 나타내므로 이 때 진공도의 변화에 기여하는 잔류 가스는 주로 수분에 의한 것임을 알 수 있다. 왜냐하면 잔류 가스 측정 시간이 증가함에 따라 수분에 의한 부분 유량은 계속 증가하는 반면, 유기 솔벤트들은 거의 일정한 양을 유지하고 있기 때문에 그림 6(a)에 나타낸 기판온도에 의한 진공도 변화에는 그다지 기여를 못할 것이다. 수분의 경우도 마찬가지로 그림 5(a)에서 진공도가 계속 감소하고 있는 68°C보다 큰 온도 영역에서는 잔류가스가 거의 없으므로

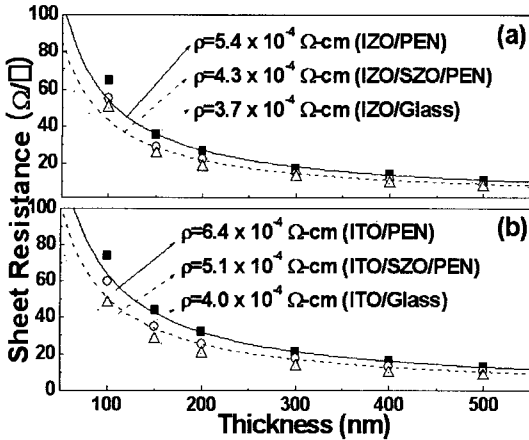


그림 7. SZO 가스방지막의 유무에 따른 유리와 PEN 기판위에 제작된 (a) IZO와 (b) ITO 박막의 막 두께의 함수에 따른 면저항 변화.

Fig. 7. Sheet resistance changes as functions film thickness for (a) IZO and (b) ITO films deposited on glass and PEN substrates with and without a SZO gas barrier layer.

수분의 부분 유량이 거의 변하지 않는 것이 확인되었다. 따라서 PEN 기판 위에 TCO 박막을 증착할 시 기판온도 증가에 따라 많은 수분들이 TCO 박막들과 혼합(Mixing) 함으로써 TCO 박막의 특성에 많은 영향을 주게 될 것을 짐작할 수 있다.

본 연구에서는 이와 같은 플라스틱 기판 내에 포함되어 있는 수분과 유기 솔벤트와 같은 입자들의 기화(vaporization)가 증착되는 TCO 박막의 전기적 특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 PEN 기판과 outgassing이 전혀 없는 유리 기판 위에 TCO(ITO와 IZO)박막들을 증착하여 이들의 면저항 변화를 박막 두께의 함수로 측정하여 비교하였으며, 그 결과를 그림 7에 나타내었다. 또한, 그림 7에는 PEN 기판 위에 TCO 박막 증착 시 기판으로부터 수분 또는 유기솔벤트 성분들이 확산되는 것을 막기 위하여 PEN기판 위에 400 nm의 두께를 갖는 SZO 무기혼합박막(thin composite film)을 가스차단막으로 도입하여 그 위에 TCO 박막을 증착하여 이들의 면저항 변화도 함께 나타내었다.

우선, 그림 7(a)와 (b)에 나타낸 IZO 박막과 ITO박막은 모든 기판에 대해 면저항이 두께가 증가함에 따라 현저하게 감소하는 것을 볼 수 있다.

일반적으로 박막의 면저항 R_s 는 박막의 두께에 반비례하며, 비저항과의 관계식은 다음과 같이 주어진다. $\rho = R_s \times t$ 여기서, R_s 과 t 는 각각 박막의 면저항과 두께이고, ρ 는 박막의 비저항을 나타낸다. 따라서 위 식에 의해서 TCO 박막들의 면저항은 두께에 반비례하므로 기판에 관계없이 두께가 증가할수록 현저하게 감소하는 것을 알 수 있다. 한편 그림 7(a)와 (b)에 나타낸 실선과 점선은 위의 식을 사용하여 어떤 특정 비저항 값으로부터 두께에 대한 면저항의 이론 값을 실험 값과 피팅(fitting)한 것이다. 피팅에 의한 IZO 박막의 비저항은 PEN 기판의 경우, $5.4 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 인 반면, 유리 기판에 성막된 IZO 박막은 $3.7 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 로서 훨씬 낮은 비저항 값을 나타낸다. ITO와 IZO는 전형적인 n-type 반도체이며, 박막 내의 전도전자는 주로 산소 결핍(oxygen vacancy)에 주로 기인한다. 그러나 PEN 기판의 경우, TCO 박막이 증착될 때 기판의 온도 상승에 의한 수분의 확산으로 인해 TCO 박막에 흡착되어 산소 결합이 보상됨으로써 전하운반자 농도의 감소를 초래하게 될 것이며, 그 결과 유리기판 위에 성막된 TCO 박막보다 낮은 전도성을 나타내는 것으로 설명 할 수 있다. 한편 가스 차단막이 코팅된 PEN 기판 위에 성막된 TCO 박막 역시 수분 또는 유기 솔벤트들의 확산을 줄여 줌으로써 TCO 박막들의 전기적 특성이 좀 더 향상된 것을 알 수 있다.

그림 8은 PEN 기판 위에 증착된 (a) IZO 박막과 (b) ITO 박막에 대해 반복적인 휨(bending)에 의한 면저항 변화를 bending 횟수의 함수로 나타낸 것이다. 또한 비교를 위하여 PEN 기판의 가스 차단막 위에 증착된 TCO 박막들의 휨에 대한 면저항 변화도 함께 나타내었다. PEN 기판 위에 바로 증착된 TCO 박막(TCOs/PEN)들은 bending 횟수가 증가함에 따라 면저항이 크게 증가함으로써 bending에 의한 전기적 안정성(electrical stability)이 열악한 반면, TCOs/SZO/PEN의 박막들은 가스 차단막에 의하여 bending에 대한 전기적 안정성이 현저하게 향상된 것을 볼 수 있다. 이와 같이 TCOs/PEN들의, bending에 대한 전기적 안정성이 열악한 것은 앞에서 설명 되었던 TCO 박막 증착 시 PEN 기판으로부터 확산되는 수분 또는 유기 솔벤트와 같은 입자들의 증기(vaporization)가 증착원(TCO)의 증착중(adatom)과 혼합되어 기판 위에 응축됨으로써 기판에 대한 부착력 저하가 그 원인이 될 수 있다.

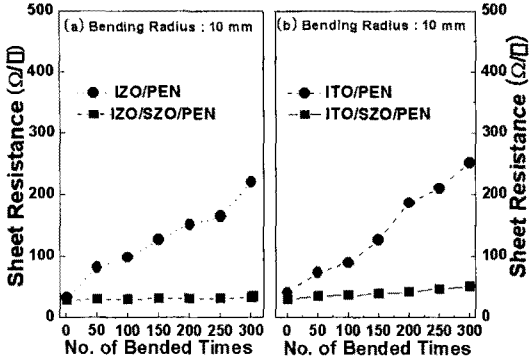


그림 8. 벤딩 횟수의 함수에 따른 면저항 변화.
Fig. 8. Sheet resistance changes as function of the number of bended times.

4. 결론

본 실험에서는 PEN, PET, PC와 같은 플라스틱 기판 위에 TCO(IZO, ITO) 박막을 증착 할 때 기판의 outgassing에 의한 잔류가스가 성막된 TCO 박막들의 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 이를 위해 우선, 진공 챔버에 장착된 플라스틱기판들의 outgassing에 의한 잔류가스를 분석한 결과 주로 기판 내에 포함되어 있는 수분과 유기 용매와 같은 휘발성 입자들이 검출되었다. 이 입자들의 증발에 의해 플라스틱 기판 위에 성막된 TCO 박막들의 전기 전도성이 유리 기판 위에 성막된 TCO 박막들에 비하여 현저하게 떨어지는 것이 관측되었으며, 또한 기판에 대한 부착력이 저하 되는 것도 관측되었다. 플라스틱 기판으로부터 수분 또는 유기 용매 입자들이 확산되는 것을 막기 위하여 수분투습률이 낮은 무기혼합박막 SZO 박막을 가스차단막(gas barrier)으로 도입할 경우, 역시 TCO 박막들의 비저항이 현저하게 개선 될 뿐만 아니라, 기판에 대한 부착력을 향상시켜 줌으로써 bending 손상(damage)에 대한 전기적 안정성이 크게 향상되는 것을 확인 하였다. 따라서 플라스틱 기판을 사용할 경우, 양질의 TCO 박막을 증착하기 위해서는 수분투습률이 낮은 가스차단막을 도입하거나 아니면 PET, PEN 그리고 PC 기판들을 각각 56°C 이상, 68°C 이상 그리고 52°C 이상에서 1시간이상 열처리한 후 기판이 포함하고 있는 수분 성분들을 제거한 후 TCO 박막을 증착하는 것이 바람직하다는 것을 제안하고자 한다.

참고 문헌

- [1] J. Li, L. Hu, J. Liu, L. Wang, T. J. Marks, and G. Gruner, "Indium tin oxide modified transparent nanotube thin films as effective anodes for flexible organic light-emitting diodes", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 93, No. 8, p. 083306, 2008.
- [2] B. D. Vogt, H. J. Lee, V. M. Prabhu, D. M. DeLongchamp, S. K. Satija, E. K. Lin, and W. I. Wu, "X-ray and neutron reflectivity measurements of moisture transport through model multilayered barrier films for oled applications", *J. Appl. Phys.*, Vol. 97, No. 11, p. 114509, 2005.
- [3] 이진호, 추혜용, 서경수, 강광용, "플렉시블 디스플레이", *전자통신동향분석*, 20권, p. 48, 2005.
- [4] 배강, 왕태현, 손선영, 김화민, 홍재석, "대향 타겟식 스퍼터링 장치의 공정 조건에 따른 SiO_x 가스 차단막의 특성", *전기전자재료학회 논문지*, 22권, 7호, p. 595, 2009.
- [5] S. H. Kwon, S. Y. Paik, and J. S. Yoo, "Electroluminescent properties of MEH-PPV light-emitting diodes fabricated on the flexible substrate", *Synth., Met.*, Vol. 130, No. 1, p. 55, 2002.
- [6] H. M. Kim, S. K. Jung, J. S. Ahn, Y. J. Kang, and K. C. Je, "Electrical and optical properties of In₂O₃-ZnO films deposited on polyethylene terephthalate substrates by radio frequency magnetron sputtering", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 42, No. 1, p. 223, 2003.
- [7] J. M. Park, J. J. Kim, H. M. Kim, J. H. Kim, S. W. Ryu, S. H. Park, and J. S. Ahn, "Substrate effects on the characteristics of (In₂O₃)_{1-x}(ZnO)_x films", *J. Korean Phys. Soc.*, Vol. 48, No. 6, p. 1624, 2006.
- [8] H. M. Kim and O. J. Kwon, "Enhanced properties of transparent conductive oxide films prepared on PEN substrates with a (SiO₂)₄₀(ZnO)₆₀ gas barrier layer", *J. Korean Phys. Soc.*, Vol. 55, No. 1, p. 197, 2009.
- [9] 권오정, 김동영, 류성원, 김화민, 손선영, "PEN 기판위에 무기물 가스 베리어 층을 갖는 ITO 박막의 전기적 및 광학적 특성", *새물리*, 58권, 2호, p. 243, 2009.
- [10] 김광호, 이주원, 김영철, 주병권, 김재경, "유

기 EL 보호층으로 적용하기 위한 무기 복합 박막의 투습율 특성 연구”, 전기전자재료학회 논문지, 17권, 4호, p. 432, 2007.

- [11] S. Sohn, K. Kim, S. Kho, D. Jung, and J. H. Boo, "Effects of plasma polymerized para-

xylene intermediate layers on characteristics of flexible organic light emitting diodes fabricated on polyethylene terephthalate substrates", J. Alloys. Comp., Vol. 449, No. 1-2, p. 191, 2008.