

PET 기판 위에 증착된 ITO 투명전도막의 전기적·광학적 특성

이재형, 정학기, 임동건*, 양계준*, 이준신**

군산대학교, 충주대학교*, 성균관대학교**

Electrical and Optical Properties of ITO Thin Films Prepared on the PET Substrate

Jae-Hyeong Lee, Hak-Gi Jung, Dong-Gun Lim*, Kea-Joon Yang*, and Junsin Yi**

Kunsan National Uni. Chungju National Uni.*, Sungkyunkwan Uni.**

Abstract

ITO films on PET substrate were prepared by DC magnetron sputtering method using powdery target with different deposition conditions. In addition, the electrical and optical properties were investigated. As the sputtering power and working pressure were higher, the resistivity of ITO films increased. The optical transmittance deteriorated with increasing sputtering power and thickness. As the working pressure increased, however, the optical transmittance improved at visible region of light. From these results, we could deposited ITO films with $8 \times 10^{-3} \Omega\text{-cm}$ of resistivity and 80% of transmittance at optimal conditions.

Key Words : ITO, TCO, sputtering, PET substrate, electrical property, optical property

1. 서 론

ITO(Indium-Tin-Oxide)는 n-type 전도 특성을 갖는 산화물 반도체로서 가시광 영역에서의 높은 광투과율 및 낮은 전기 비저항을 나타내기 때문에 태양전지, 액정디스플레이(liquid crystal display), 터치스크린(touch screen) 등의 투명전극 재료, 전계발광(electroluminescent) 소자, 표면발열체, 열반사 재료 등 다양한 분야에 응용되고 있다.

이들 분야에서 대부분 기판으로 사용하고 있는 유리의 경우 파손의 우려와 유연성, 기판 두께 등에 제한이 있으므로 이러한 문제점들을 해결하기 위해 최근 acryl, poly carbornate(PC), polypropylene(PP), polyethylene terephthalate(PET)와 같은 투명 플라스틱 기판 위에 ITO 박막을 증착하는 기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.¹⁻³⁾ 그러나 플라스틱 기판의 경우 열에 의해 쉽게 변형되므로 유리 기판을 사용한 경우와는 달리

sputtering power, 기판 온도 및 열처리 온도 등의 제조조건에 제한을 받게된다. 따라서 이러한 플라스틱 기판에 ITO 박막을 증착할 경우 유리 기판을 사용한 경우와는 다른 증착조건을 조사해야 한다.

본 연구에서는 타겟 제작에 드는 비용을 줄이고, 타겟 이용의 효율성을 높이기 위해 기존의 세라믹 타겟 대신 분말 타겟으로 사용하여 PET 기판 상에 ITO 박막을 DC magnetron sputtering법에 의해 제조하고, sputtering power 및 작업 진공도와 같은 제조조건에 따른 박막의 전기적, 광학적 특성을 조사하였다.

2. 실험

ITO 박막을 증착할 기판으로 PET와 비교를 위해 slide glass를 사용하였다. 유리 기판은 아세톤, 메탄올 순으로 20분간 초음파 세척하고, D. I. water로 rinse한 후 질소 gun으로 물기를 제거하여 사용하였다. PET 기판의 경우 세척액과의 화학적 반응을 방지하기 위해 메탄올만을 이용하여 20

분간 초음파 세척하였다.

ITO 박막 제조를 위해 DC magnetron sputtering 장비를 사용하였다. 타겟으로는 ITO($\text{In}_2\text{O}_3+10\text{wt}\% \text{SnO}_2$) powder를 2 inch의 copper holder에 넣고 약간의 압력으로 press하여 사용하였다. 시편 제조를 위해 먼저 chamber 안을 mechanical pump와 turbo pump를 이용하여 10^{-6} Torr 이하로 배기한 후 아르곤 가스를 주입하여 원하는 압력을 유지시켜 시편을 제조하였다. ITO 박막의 물성은 스퍼터 전력 및 압력, 기판온도, 열처리 등과 같은 제조조건에 따라 크게 변화하기 때문에 최적의 증착조건을 조사하기 위해 제조조건을 변화시켜가며 박막을 제조하였다. 단, 기판온도의 경우 PET film을 기판으로 사용할 경우 변형을 방지하기 위해 가열하지 않았다. 표 1에는 ITO 박막 제조에 사용된 제조조건을 나타내었다.

표 1. ITO 박막의 제조조건

Deposition parameter	Condition
Target-substrate distance	6 cm
Sputtering power	10~80 Watt
Working pressure	2~20 mTorr
Substrate temperature	room
Thickness	50~400 nm

3. 결과 및 고찰

박막의 증착률은 막 두께를 증착시간으로 나눈 값으로 정의되며, 박막 두께 조절은 특히 정밀한 다층 코팅의 경우 매우 중요하게 된다.⁶⁾ 그림 1은 스퍼터 전력에 따른 ITO 박막의 증착률을 나타낸 것이다. 전력이 증가함에 따라 ITO 박막의 증착률은 지수적으로 커지는 경향을 나타내었다. 이것은 전력 증가에 따라 분말 타겟에 전달되는 에너지가 커지고, 그 결과 타겟으로부터 보다 많은 입자들이 스퍼터되어 기판 표면에 도달하기 때문이다. 그러나 지나치게 높은 스퍼터 전력의 경우 오히려 전기적 물성의 저하를 초래할 수 있으며, 특히 플라스틱 기판의 경우 스퍼터된 원자 및 고에너지 입자(2차전자, 산소 음이온 및 반발 Ar 원자 등) 충격력이 전력이 증가함에 따라 급격하게 증가하며, 그 결과 기판온도의 상승이라는 역효과에 의해 기판의 휘어짐이나 용융 등이 발생할 수 있으므로

최적 power의 설정은 매우 중요하다. 한편, sputtering power에 관계없이 분말 타겟을 사용한 경우 세라믹 타겟보다 상대적으로 낮은 증착속도를 나타내었는데, 이것은 분말 타겟의 밀도가 세라믹 소결 타겟의 밀도보다 훨씬 작기 때문으로 생각된다.

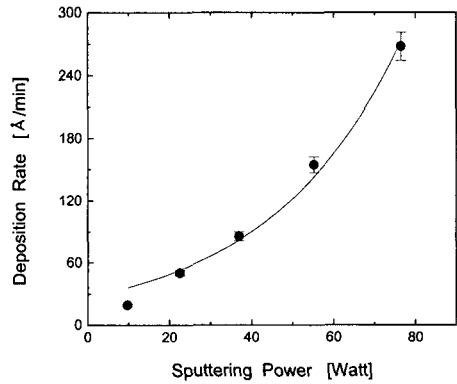


그림 1. 스퍼터 전력에 따른 ITO 박막의 증착률.

그림 2는 스퍼터 압력에 따른 ITO 박막의 증착률을 나타낸 것이다. 스퍼터 압력이 높아짐에 따라 ITO 박막의 증착률이 감소함을 볼 수 있다. 보다 높은 압력에서 스퍼터된 입자들과 가스 원자들 사이의 더욱 많은 충돌이 발생하여 증착률이 감소한다.

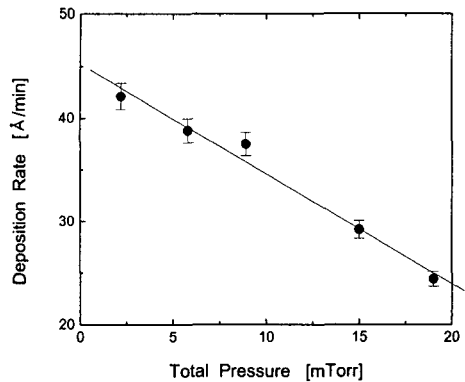


그림 2. 스퍼터 압력에 따른 ITO 박막의 증착률.

스퍼터 전력에 따른 ITO 박막의 결정구조를 알

아보기 위하여 X-선 회절검사를 하여 그 결과를 그림 3에 나타내었다. XRD 회절 검사 결과 낮은 스퍼터 전력에서는 In₂O₃에 대응하는 어떠한 peak도 관찰되지 않는데, 이것은 증착된 ITO 박막이 비정질 형태의 결정구조를 가지고 성장했음을 의미한다. 그러나 전력이 증가함에 따라 cubic phase In₂O₃의 (222)면에 대응하는 peak가 나타나기 시작하며, 55 Watt 이상의 power에서는 (411)면에 해당하는 강한 peak 및 (422)면 peak가 관찰되었다. 이러한 결정구조 및 우선방위의 변화는 타겟으로부터 스퍼터된 입자의 에너지에 관계된다. 즉, 스퍼터 전력이 높을수록 기판 표면에 도달하는 입자의 에너지가 증가하고, 기판에서 결정성장이 촉진됨을 알 수 있다.

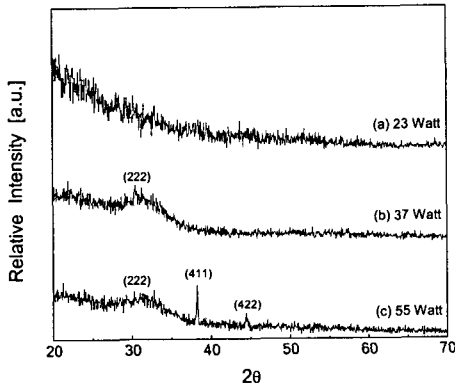


그림 3. 스퍼터 전력에 따른 ITO 박막의 X-선 회절 패턴.

그림 4는 스퍼터 전력에 따른 ITO 박막의 비저항 변화를 나타낸 것이다. 기판의 종류에 관계없이 전력이 높아짐에 따라 비저항은 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 낮은 전력에서는 유리 기판 위에 증착된 ITO 박막이 PET 기판 위에 증착된 막보다 작은 비저항 값을 나타내지만 37 Watt 이상의 경우 오히려 PET 기판 위에 증착된 박막의 비저항이 작은 것으로 조사되었다.

그림 5는 각각 유리 기판과 PET 기판에 증착된 ITO 박막의 광투과율을 스퍼터 전력에 따라 나타낸 것이다. 유리 기판 위에 증착된 경우 낮은 전력에서는 흡수단 이상의 파장 영역에서 80% 이상의 광투과율을 나타내었으나, 전력이 증가함에 따라

가시광 영역에서의 투과율은 감소하였고, 흡수단이 단파장 쪽으로 이동함을 관찰할 수 있다. 이러한 흡수단의 이동은 밴드갭의 변화를 의미한다. 한편, PET 기판 위에 증착된 ITO 박막의 광투과율은 스퍼터 전력이 10 Watt에서 23 Watt로 증가함에 따라 향상되지만 그 이상의 전력에서는 오히려 감소하는 경향을 나타내었다.

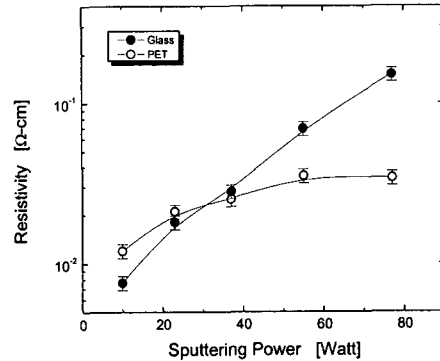
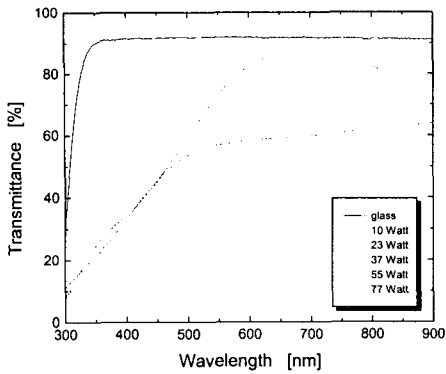


그림 4. 스퍼터 전력에 따른 ITO 박막의 비저항.

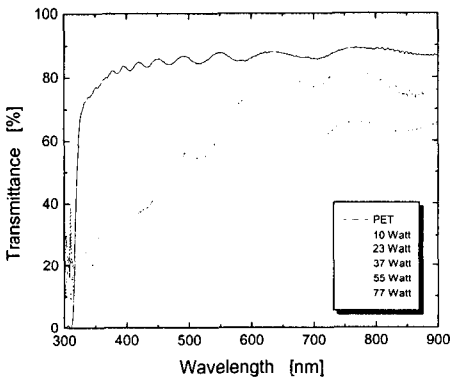
그림 6은 서로 다른 스퍼터 전력에서 ITO 박막의 IR 반사율을 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 ITO 박막의 IR 영역에서의 반사율은 스퍼터 전력이 증가할수록 감소함을 알 수 있다. Frank 등⁷⁾은 IR 반사율이 다음의 식으로 표현될 수 있음을 보였다.

$$R = 1 - \frac{4\epsilon_0 c_0}{e} \frac{1}{N d \mu} \quad (1)$$

여기서 R은 반사율, N은 캐리어 농도, d는 박막 두께, 그리고 μ 는 자유 캐리어의 이동도이다. 식 (1)에 따라 IR 영역에서의 반사율은 박막 두께가 일정할 경우 캐리어 농도와 이동도의 곱에 따라 증가함을 알 수 있다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 높은 스퍼터 전력에서 증착된 박막의 경우 낮은 전력에서보다 높은 비저항 즉, 낮은 캐리어 농도와 이동도 곱을 가진다. 따라서 스퍼터 전력이 높아짐에 따라 반사율이 감소하는 것은 박막의 비저항이 증가하기 때문임을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 5. 스퍼터 전력에 따른 ITO 박막의 광투과율: (a) 유리기판, (b) PET 기판

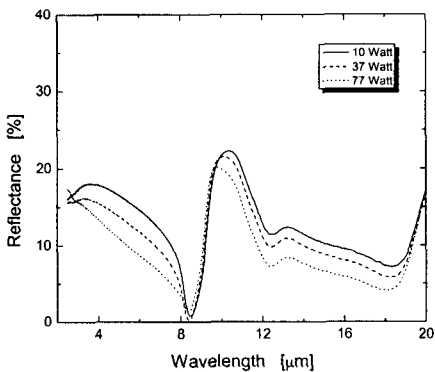


그림 6. 스퍼터 전력에 따른 ITO 박막의 반사율.

4. 결론

분말 타겟을 이용하여 PET 및 유리 기판 상에 DC magnetron sputtering법에 의해 ITO 박막을 제조하여 증착조건에 따른 박막 특성을 조사한 결과 ITO 박막의 증착속도는 스퍼터 전력에 따라 증가하였으나 스퍼터 압력이 높아짐에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 낮은 스퍼터 전력에서 증착된 ITO 박막은 비정질 형태의 결정구조를 가지나 전력이 높아짐에 따라 기판에서 결정성장이 촉진되어 (411)면으로의 우선 방위를 가지고 성장함을 알 수 있었다. 전기 비저항의 경우 기판의 종류에 관계없이 스퍼터 전력이 증가함에 따라 커짐을 관찰할 수 있었다. ITO 박막의 가시광 영역에서의 광투과율은 기판의 종류에 관계없이 스퍼터 전력 증가에 따라 저하되었고, IR 영역에서의 반사율 또한 낮은 캐리어 농도와 이동도 곱으로 인해 감소함을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Bi-Shiou Chiou, Shu-Ta Hsieh, and Wen-Fa Wu, J. Am. Ceram. Soc., Vol. 77, p. 1740, 1994.
- [2] T. Minami, H. Sonohara, T. Kakumu, and S. Takata, Thin Solid Films, Vol. 270, p. 37, 1995.
- [3] Wen-Fa Wu, Bi-Shiou, Thin Solid Films, Vol. 298, p. 221, 1997.
- [4] A. K. Kulkarni, K. H. Schulz, T. S. Lim, M. Khan, Thin Solid Films, Vol. 308-309, p. 1, 1997.
- [5] A. K. Kulkarni, T. S. Lim, M. Khan, and Kirk H. Schulz, J. Vac. Sci. Technol., Vol. A16(3), 1998.
- [6] Wen-Fa Wu and Bi-Shiou Chiou, Thin Solid Films, Vol. 247, p. 201, 1994.
- [7] G. Frank, E. Kauer, and H. Köstlin, Thin Solid Films, Vol. 77, p.107, 1981.