

나노분말 타겟을 이용하여 고주파 마그네트론 스퍼터링으로 제작된 ITO 박막의 전기적 및 광학적 특성

The electrical and optical properties of ITO thin films prepared by RF-magnetron sputtering using nano powder target

유성원, 홍재석, 김종재, 박승환, 김화민*, 안병철**

*대구가톨릭대학교 광반도체 정보공학과, **(주) AVACO,

hmkim@cu.ac.kr

다양한 평판표시소자와 태양전지 같은 광전자 소자들의 투명전극으로 사용되고 있는 ITO 박막은 최근 LCD와 PDP 같은 평판표시 소자들이 대면적화, 고정밀화 그리고 픽셀 수의 증가 쪽으로 설계되고 있기 때문에, ITO 박막에 대한 요구 사양이 점점 까다로워지고 있다.⁽¹⁾⁽²⁾ 특히, 차세대 디스플레이로 인식되고 있는 OLED (organic electro-luminescence display)와 플렉시블 디스플레이의 경우, ITO 박막의 저저항, 표면조도, 저온 공정, 박막밀도 개선 등이 요구되고 있다.⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾ 이에 본 논문은 ITO 박막의 저온 공정에 의한 특성 향상을 위하여, $\text{In}_2\text{O}_3 : \text{ZnO} = 90 : 10$ wt.%의 나노 분말 타겟과, 고주파 마그네트론 스퍼터링 방법을 사용하여 유리 기판 (corning #7059) 위에 성막된 ITO 박막의 광학적 특성 및 전기적 특성을 조사하였으며, 그 결과들을 마이크로 크기의 분말 타겟으로 성막된 박막들과 비교하였다.

그림 1은 상온에서 서로 다른 분말 타겟으로부터 제작된 ITO 박막들에 대하여 두께의 함수로 나타낸 면저항의 변화를 비교한 것이다. ITO 박막의 면저항, $R = \rho/t$ 로 주어진다. 여기서 ρ 는 비저항, t 는 박막의 두께를 각각 나타낸다. 이와 같이 박막의 면저항은 두께의 함수로 주어지기 때문에 박막두께가 감소할수록 면저항은 증가하게 된다. 그림에서 점선과 실선은 각각의 박막에 대하여, $R = \rho/t$ 을 이용하여, 주어진 박막의 두께(t)에 대하여, ρ 를 변수로 하여 계산한 면저항의 이론값을 실험값(symbol)과 fitting한 것이다. fitting 결과, 나노 분말 타겟으로부터 성막된 ITO 박막의 비저항은 $3.7 \times 10^{-4} \Omega/\square$ 로써, 마이크로 분말타겟으로부터 제작된 박막의 비저항 $4.0 \times 10^{-4} \Omega/\square$ 에 비하여 개선된 것을 볼 수 있다.

그림 2는 서로 다른 타겟으로부터 제작된 150 nm의 두께를 갖는 ITO 박막들의 X-선 회절 패턴을 보여준다. 나노분말 타겟으로부터 성막된 ITO 박막은 다결정 구조를 갖는 반면, 마이크로 분말 타겟에서 성막된 ITO 박막은 비정질 구조임을 알 수 있다. 일반적으로 ITO 박막은 비정질보다는 다결정 구조에서 보다 우수한 비저항과 광 투과율을 나타내며, 습열(moist heat)에 대한 전기적 안정성도 훨씬 우수한 것으로 알려져 있다.

그림 3은 150 nm의 두께를 갖는 ITO 박막들의 광 투과 스펙트럼을 나타낸 것이다. 나노분말 ITO 박막의 광 투과율이 마이크로분말 ITO 박막보다 약간 증가한 것을 볼 수 있다. 예를 들어 550 nm의 파장에서 각 박막들의 광 투과율을 비교해보면, 나노분말 ITO 박막은 85.51 %인 반면, 마이크로분말 ITO는 84.51 %로 나타났다. 이 결과는 나노분말 타겟으로부터 성막된 ITO 박막은 표면조도가 크게 개선됨으로써 광투과도 측정 시 표면으로부터 광의 산란이 감소했기 때문인 것으로 설명할 수 있다.

한편, ITO 박막들의 광학적 띠 간격 에너지 (optical band gap energy, E_{opt})는 광투과 스펙트럼의 흡수단의 위치와 밀접한 관계가 있다. 일반적으로 흡수단 영역에서의 광투과율은 $T = A \exp(-at)$ 로 주어지며, 여기서 A , a 그리고 t 는 각각 상수, 흡수계수, 그리고 박막의 두께를 나타낸다. A 는 흡수단에서 거의 1이기 때문에 박막의 두께, t 를 알면, 흡수계수, a 를 구할 수 있다. ITO 박막의 경우, 직접천이에 대한 a 와 입사광의 에너지, $h\nu$ 사이의 관계식은 $ah\nu = A' (h\nu - E_{opt})^{1/2}$ 로 주어진다. 여기서 A' 은 상수이다. 따라서 $(ah\nu)^2$ 대 $h\nu$ 의 그래프 (그림 3의 inset)에서 나타나는 직선 부분을 연장하여 $h\nu$ 축과 교차하는 점으로부터 ITO 박막들의 광학적 띠 간격 에너지를 구할 수 있다. 나노분말 ITO 박막(3.758 eV)의 E_{opt} 가 마이크로 분말 ITO 박막 (3.730 eV)보다 약간 큰 것으로 나타났다.

그림 4는 Modified envelope method⁽⁵⁾에 의해 ITO 박막들의 굴절률을 구하기 위하여 500 nm의 두께를 갖는 ITO 박막의 가시광 영역에서의 투과율을 나타낸 것이며, Inset는 투과스펙트럼으로부터 계산된 굴절률을 파장의 함수로 나타낸 것이다.

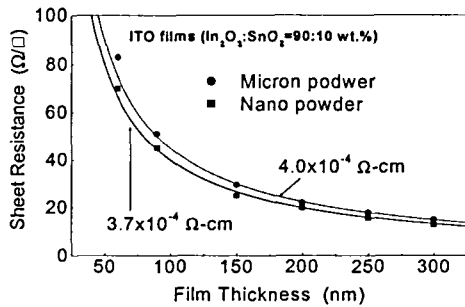


그림1. ITO 박막들의 두께 변화에 대한 면저항 비교

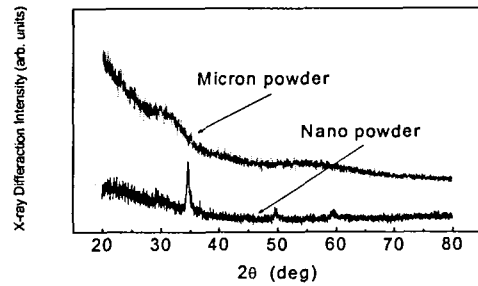


그림2. ITO 박막들의 XRD 패턴 비교

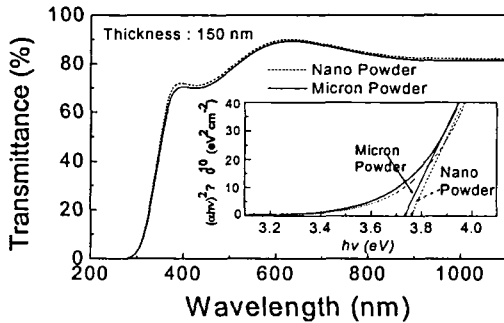


그림3. ITO 박막들의 가시광 영역에서의 투과율 비교

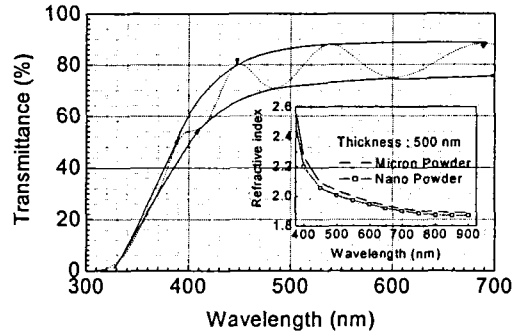


그림4. ITO 박막들의 굴절률 비교

본 연구는 2005년도 산업자원부 부품, 소재 기술개발사업의 지원으로 수행되었음.

1. H. M. Kim, S. K. Jeung, J. S. Ahn, Y. J. Kang and C. K. Je, Jpn. J. Appl. Phys. 42, 1 (2003).
2. K. H. Kim, S. H. Park, J. J. Kim and H. M. Kim, Sae Mulli, 46, 4, 213 (2003).
3. Kajou et al. United State Patent, Patent No. 5,972,527 91999)
4. P. Thilakan and J. Kumar, Phys. Stat. Sol. (a) 160, 99 (1977)
5. S. H. Wemple, Phys. Rev. B7, 3767 (1973)