

대향 타겟식 스퍼터링법을 이용한 저저항 투명전도 다층박막의 제작

김상모 · 박용서[†]

[†]가천대학교 전기공학과

Preparation of Low Resistivity Transparent Conductive multilayer Thin Films by The Facing Targets Sputtering

Kim Sang Mo and Park Yong Seo[†]

[†]Department of Electrical Engineering, Gachon University

Abstract

We prepared the ITO/Ag multilayer thin films on soda-lime glass substrate by the Facing Target Sputtering System (FTS) at room temperature. To confirm the effect of Ag layer in ITO/Ag multilayer thin films, we have prepared various range of Ag layer in its thickness and investigated prior to the setting of ITO/Ag multilayer thin films. The thickness of Ag layer was controlled by the sputtering deposition time. Properties of as-prepared samples were investigated by using a four-point probe, UV-Visual spectrometer with a spectral visual range (400 - 800 nm) and X-ray diffractometer (XRD). As a result, the transmittance of as-prepared samples turned out to be very low in the visible range due to light-scattering on the surface of thin film as the thickness of Ag layer got increased. However, reduction of phenomenon of light-reflection in visual range was observed around 20nm of Ag thickness. We prepared the ITO/Ag multilayer thin film with a resistivity of about 8×10^{-5} [Ω -cm] and a transmittance of more than 80 % at 550 nm.

Key Words : ITO, Ag, multilayer thin films, FTS

1. 서 론

투명 전도성 산화물 (Transparent Conductive Oxides, TCOs)은 비저항값이 $<10^{-3}$ Ω /cm, 가시광선 영역에서 80% 이상의 높은 투과율을 가지는 특성을 가지고 있어서, LCD (Liquid Crystal Display), PDP (Plasma Display Panel), OLED (Organic light-Emitting Diode) 등의 대면적 평판 디스플레이, 조명용 LED (light Emitting Diode), Solar cell, Smart windows, 박막형 트랜지스터 (Thin Film Transistor, TFT) 등의 다양한 분야에서 전극으로 사용되고 있다 [1]. 특히, 투명 전도성 박막의 재료 중에서 ITO (Indium doped Tin Oxide)은 우수한 전기적 특성 및 높은 광투과율의 특성을 가지고 있어서, 현재까지 투명전도막 재료로 가장 많이 사용되고 있다[2].

그런데, 최근 기존의 성능을 뛰어넘는 빠른 스위칭, 저전력, 빠른 반응 속도, 고화질의 하이퀄리티 사양의 제품을 요구하는 소비자가 늘어나고 있다. 그래서 기존 제품보다 성능 향상을 위해서는 기존의 전도막보다 높은 투과율을 유지하면서도 낮은 비저항값의 특성을 가지는 우수한 전극 재료가 필요하다[1,2]. 이런 가운데 최근 보고된 연구중에서, 전기전도도가 매우 우수한 금속 물질과 투명전도막을 이용한 초저항 다층박막에 관한 연구 결과가 주목받고 있다.

이 연구는 Pt, Ag, Cu 등의 금속 물질과 투명 전도 박막을 이용한 다층박막으로 제작하여 전기적 특성을 개선하는 것이다. 전기적 특성이 우수한 금속 물질 중에서 Ag 박막은 전기 전도도가 매우 우수하고, 나노 입자 및 전기전자 전극 재료의 첨가물, 표면 코팅 등 다양한 분야에서 사용되고 있다. 하지만 Ag 박막은 우수한 전기적 특성에도 불구하고, 가시광선영역에서 가시광 흡수가 높아 투과성이 거의 없기 때문에 다층박막

[†]E-mail : yspark@gachon.ac.kr

으로 제작시에 투명박막 전도막으로 사용될 수 없다. 그러나 수 나노 두께의 Ag 박막은 고유의 전기적 특성을 유지하면서도 가시광선 영역에서 높은 투과율의 특이한 현상이 발생한다는 연구 결과가 보고되었다[3]. 이 현상을 다층 박막 제작시에 적용하면, 가시광선영역에서 높은 광투과율을 유지하면서도 단일 박막 보다 낮은 저항값을 가지는 다층 투명전도막을 제작할 수 있을 것으로 사료된다.

본 논문에서는 ITO/Ag 초저항 다층박막을 대향 타겟식 스퍼터링식 시스템 (Facing Targets Sputtering System, FTS)을 이용하여 제작하였다. 이 장치는 두 타겟의 중앙 부분에서 바깥 쪽에 위치하는 구조를 가지고 있다. 따라서 플라즈마 및 고에너지 이온에 의한 기관 손상을 최소화할 수 있다 [4]. 또한 높은 플라즈마 밀도를 유지하여 낮은 공정 압력을 유지하여 높은 증착율을 가질 수 있고, 고품질의 치밀한 박막을 형성할 수 있다. 그리고 다층박막의 제작시에 상온에서 박막을 제작함으로써 향후 유리 기관 대신에 플라스틱 기관 위에 적용할 수 있는 가능성 여부도 확인하였다.

2. 실험

Fig. 1은 다층박막 제작을 위하여 고안한 Dual-FTS 시스템의 구조를 간략하게 나타낸 것이다. 그림에 나타난 시스템은 두 개의 FTS 시스템을 개별적인 DC전원에 연결하여 독립적인 스퍼터링이 가능하다. 그리고 기관은 챔버의 중앙부분에 위치한 기관 홀더에 장착하여, 외부에서 홀더를 회전하여 기관의 위치를 조정하여 원하는 박막을 순차적으로 증착할 수 있다. 챔버 내의 전체 압력은 로터리 저진공 펌프와 Turbo molecule pump (TMP) 고진공 펌프를 이용하여 항상 10^{-6} Torr 이하의 고진공상태를 유지하였다. 자세한 스퍼터링 조건은 Table 1에 나타내었다. 스퍼터링된 Ag박막의 두

께는 스퍼터링 증착률에 따른 스퍼터링 시간에 따른 계산값이다.

다층박막의 제작은 먼저, 제1 FTS에서 세척된 Soda-lime Glass 기관 위에 Ag 박막을 스퍼터링하고, 완료된 Ag/Glass 샘플을 제 2 FTS로 이동시킨 후에 ITO 박막을 스퍼터링하였다.

제작된 샘플의 전기적 특성은 four-point probe와 Hall-effect measurement, 광학적 특성은 UV-Visual spectrometer, 구조적 특성은 X-ray Diffraction (XRD, $\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$, 40 kV, 40 mA)을 통해서 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. ITO 및 Ag박막의 특성

먼저 ITO 박막과 Ag박막의 최적 조건을 확인하기 위해서 각각 스퍼터링 후에 전기적 및 광학적 특성을 분석하였다. Fig. 2와 3는 아르곤 가스 분위기에서 산소가스 투입 유량에 따른 ITO 박막의 평균 광투과율 및 면저항값을 나타낸 것이다. Fig. 1에서 아르곤 가스 분

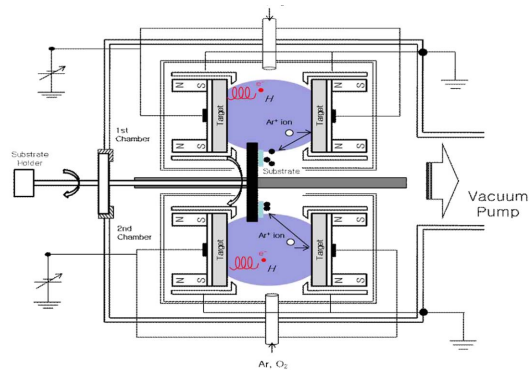


Fig. 1. Diagram of Dual-Facing Targets Sputtering (FTS) System.

Table 1. Sputtering Condition

Parameter	Condition	
	Ag Layer	ITO Layer
Targets	Ag (4N)-Ag (4N)	ITO ($\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}_2\text{O}_3 = 90:10 \text{ wt \%}$)
Substrate	Soda-lime glass ($25 \times 75 \text{ mm}$)	
Bass pressure	$2.6 \times 10^{-6} \text{ Torr}$	
Working pressure	1 mTorr	
Working Gas	Ar : 10 sccm	Ar : 10 sccm O_2 : 0.0-0.6 sccm
Input current	0.05 A	0.2 A
Substrate Temp.	R. T.	
Deposition time	60 - 150 sec (0.1 nm/sec)	300 sec

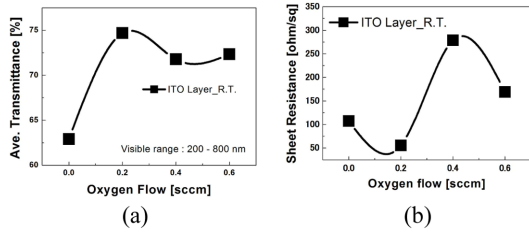


Fig. 2. (a) Average Transmittance and (b) sheet resistance of ITO film prepared as a function of oxygen at R.T.

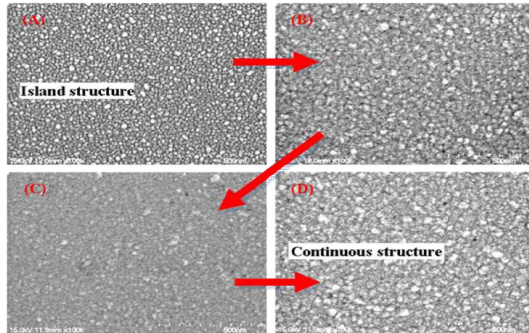


Fig. 3. FESEM images of Ag thin film prepared as a function of Ag deposition Time at R.T.

위기에서 스퍼터링된 박막의 투과율이 낮은 이유는 박막의 형성 시에 산소 결핍에 따른 비화학량론 (Non-stoichiometry)이 증가함에 따라서 박막 내부에 Metallic Indium 막이 생성되어서 광투과율이 낮은 것으로 사료된다[5]. 하지만, 아르곤 가스 분위기에서 산소가 투입되면서 박막 내부에 산소 공극이 채워지워지면서, ITO 박막의 내부의 결정성이 향상됨으로써 저항이 감소하게 된다(Fig. 2).

따라서 ITO/Ag 다층박막을 제작시에 ITO 박막은 아르곤 가스 10 sccm과 산소 가스 0.2 sccm 분위기에서 제작하였다.

다음은 Ag 박막의 광학적, 전기적 특성을 확인하였다. 증착시간 60 s보다 90 s의 저항값이 높은 이유는 90 s 이하에서 Ag 박막의 두께가 6 - 9 nm로 수 나노미터의 매우 얇은 두께 때문에 금속 특성을 가지지 못한 것으로 사료된다. 그러나, 스퍼터링 시간이 길어짐에 따라 Ag 박막이 두껍게 형성되어 Ag 금속 고유의 특성을 가지면서 저항값이 감소한 것을 확인하였다(Fig. 4(b)). 그리고 스퍼터링 시간이 증가함에 따라서 박막의 두께가 증가하고 투과율이 감소했지만, 150 s에서 광투과율이 증가함을 확인하였다(Fig. 4(b)). 이것은 스퍼터링 입자가 기판의 표면에서 초기성장시에 주변 입자들과 결합되면서 큰입자로 성장된다. 하지만, 짧은 시간의

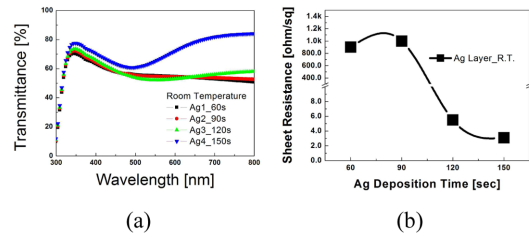


Fig. 4. (a) Transmittance and (b) sheet resistance of Ag thin film as a function of Ag deposition Time.

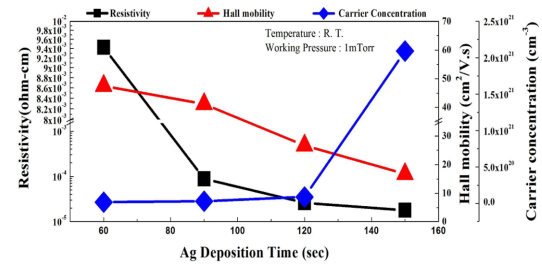


Fig. 5. Electrical properties of ITO/Ag thin films as a function of Ag thickness at room temperature.

스퍼터링은 박막의 표면에서 연속적으로 연결되지 못한 큰 섬상구조를 이루게 된다[4,5]. FESEM 사진에서 확인할 수 있으며(Fig. 4(a)), 이 섬상구조는 광투과율의 영향을 미치며, 또한 저항값의 영향을 미치게 된다[7]. 따라서 실험 결과 다층 박막 제작시에 Ag 박막은 스퍼터링시간이 90 s ~ 120 s 이 최적의 스퍼터링 조건으로 사료된다.

이 실험을 바탕으로 다층 박막 제작시, ITO 박막의 두께는 고정하고, Ag 박막의 두께를 조절하여 제작한 후에 그 특성을 분석하였다.

3.2. ITO/Ag 다층박막의 특성

다층박막의 전체 저항은 식 (1)과 같다. ITO 박막의 두께가 50 nm로 일정할 때 전체 저항값은 매우 낮은 저항값을 가지는 Ag 박막에 의해서 기인한다[2].

$$\frac{1}{R_{Total}} = \frac{1}{R_{ITO}} + \frac{1}{R_{Ag}} \quad (1)$$

ITO/Ag 다층박막의 구조에서 상부의 ITO 박막은 금속층의 보호와 아울러 광학적으로는 빛의 반사억제 코팅막(Antireflection layer)의 역할을 하여 높은 광투과율을 가지게 된다. 이런 현상을 페브리-페롯 현상이라고 하며, ITO/Ag 다층박막은 단일 금속층에 비해서 우수한 광투과율을 보인다[7].

Ag 증착시간이 60 s 증착시에 높은 저항값을 가지는

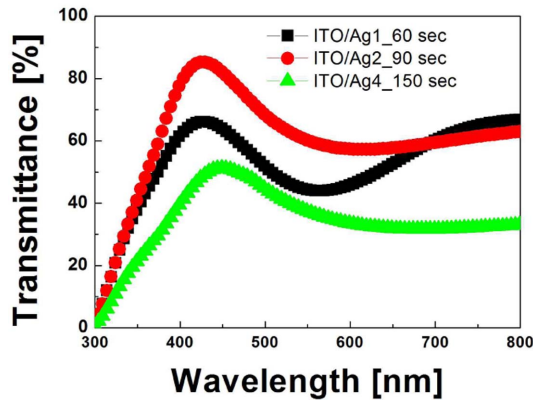


Fig. 6. Transmittance of ITO/Ag thin films as a function of Ag thickness at room temperature.

것은 앞에서 실험의 결과를 바탕으로 Ag 박막의 섬상 구조로 인하여 높은 저항으로 다층박막 제작시에 영향을 미치는 것으로 사료된다. Ag 박막의 스퍼터링 시간이 90 s일때 높은 저항값이 높았지만, 다층 박막 제작 시에 90 s부터 저항값이 낮아졌다. 이것은 불연속적인 Ag 박막위에 성장된 ITO 박막과의 상호 작용에 의해서 발생된 것으로 사료된다. 그 결과 다층 박막의 광투과율은 85% 이상이었고, 저항값은 $8 \times 10^{-5} [\Omega\text{-cm}]$ 이었다.

4. 결 론

ITO/Ag 다층 박막을 대향 타겟식 스퍼터링 장치를 이용하여 어떠한 열처리 없이 실온에서 제작하였다. 제작된 ITO/Ag 다층 박막은 가시광선영역에서 85% 이상의 광투과율을 가졌으며, $8 \times 10^{-5} [\Omega\text{-cm}]$ 의 저항값을 가짐을 확인하였다. 따라서 제작된 ITO/Ag 다층 박막은 투명 전도막으로써 적용이 가능할 것으로 사료되고, 모든 제작 공정을 어떠한 열처리 없이 실온에서 실

행함으로써, 향후 휨이 가능한 플라스틱 기판에도 적용이 가능할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Present status of transparent conducting oxide thin film development for ITO substitutes, T. Minami, *Thin Solid Films*, Vol. 516, pp. 5822–5828, 2008.
2. E. Bertran, C. Corbella, M. Vives, A. Pinyol, C. Person and I. Porqueras, “RF sputtering deposition of Ag/ITO coatings at room temperature”, *Solid State Ionics*, Vol. 165, pp. 139–148, 2003.
3. S. H. Oh, S.M. Lee and K. C. Choi, “Relationship between surface plasmon and transmittance enhancement in indium–tin-oxide/Ag/indium–tin-oxide multilayer electrodes”, *Thin Solid Films*, Vol. 520, pp. 3605–3608, 2012.
4. K. H. Kim, I. H. Son, K. B. Song, S. H. Kong, M. J. Keum, S. Nakagawa, and M. Naoe, “Thin film properties by facing targets sputtering system”, *Applied Surface Science*, Vol. 169–170, pp. 410, 2001.
5. L. Kerkache, A. Layadi, A. Mosser, “Effect of oxygen partial pressure on the structural and optical properties of dc sputtered ITO thin films”, *Journal of Alloys and Compounds* Vol. 485, pp. 46–50, 2009
6. S. M. Lee, C. S. Choi, K. C. Choi and H. C. Lee, “Low resistive transparent and flexible ZnO/Ag/ZnO/Ag/WO₃ electrode for organic light-emitting diodes”, *Organic Electronics*, Vol. 13, pp. 1654–1659, 2012.
7. A. Klöppel, W. Kriegseis, B. K. Meyer, A. Scharmann, C. Daube, J. Stollenwerk, J. Trube, “Dependence of the electrical and optical behavior of ITO-silver-ITO multilayers on the silver properties”, *Thin Solid Films*, Vol. 365, pp. 139–146, 2000.

접수일: 2014년 5월 8일, 심사일: 2014년 5월 23일,
게재확정일: 2014년 5월 30일