

## RF Magnetron Sputter 에 의해 제조된 ITO/Ag/AZO

### 다층박막의 전기적 · 광학적 특성

김민환, 안진형, 김상호

한국기술교육대학교 신소재공학과

#### Abstract

ITO/Ag/AZO and AZO/Ag/ITO multi-layer films deposited on glass substrate by RF magnetron sputtering have a much better electrical properties than ITO and AZO single-layer films. The multi-layer structure was consisted of three layers of ITO, Ag and AZO. The optimum working pressure of AZO layers deposition was determined to be  $1.0 \times 10^{-2}$  torr for high optical transmittance and good electrical conductivity. The electrical and optical properties of sub/ITO/Ag/AZO were higher than those of sub/AZO/Ag/ITO multi-layer films.

Keywords : ITO, AZO, Ag, RF magnetron sputtering, Optical transmission, Sheet resistance

#### 1. 서론

ZnO 박막은 상온에서의 증착이 가능하며 원자재가 저가이고 플라즈마에 대한 안정성이 우수한 장점으로 인해 현재 LCD, PDP, OLED 등의 차세대 디스플레이 장치의 투명전극으로 주로 사용되고 있는 ITO 전극을 대신할 수 있는 투명전도체로 각광받고 있다. 또한 Al-doped ZnO (AZO) 박막의 경우 ZnO 박막에 비해 전기적 특성이 뛰어난 장점을 가지고 있다. 기존의 ITO 및 AZO 단층 박막의 전기적 광학적 특성을 개선하기 위한 노력으로 Ag 박막을 전체 박막의 중간에 삽입시키는 ITO/Ag 및 AZO/Ag 다층구조에 대한 연구개발이 활발하게 이루어지고 있다. 본 실험에서는 ITO/Ag 박막과 AZO/Ag 박막의 광학적 특성을 개선하기 위하여 소다라임 유리기판 위에 ITO/Ag/AZO 다층박막과 AZO/Ag/ITO 다층박막을 RF 마그네트론 스퍼터링 장치를 이용하여 제작함에 있어, AZO의 증착 압력에 따른 전기적 광학적 특성을 살펴보고 증착된 박막이 투명전극으로 쓰이기에 알맞은 낮은 면저항과 높은 광 투과율이 관찰되는 조건을 찾아 그 원인을 분석하여 보았다.

## 2. 실험 방법

본 실험에서는 ITO/Ag/AZO 다층박막과 AZO/Ag/ITO 다층박막을 RF magnetron sputter 를 이용하여 소다라임 유리 기판에 증착하였다. 초기 진공도는 로터리 펌프와 확산 펌프를 이용하여  $1.2 \times 10^{-5}$  torr 을 유지하였고 sputtering target 은 직경과 두께가 각각 2 in, 1/4 in size 의 AZO (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2wt.% + ZnO 98wt.%)와 Ag (99.95%), 그리고 ITO (In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 90wt.% + SnO<sub>2</sub> 10wt.%)를 사용하였다. Target 의 표면 세정을 위하여 AZO target 은 15분, Ag target 은 10분, ITO target 은 15분 동안 각각 pre-sputter 를 실시하였다. 소다라임 유리 기판은 초음파 세척기를 이용하여 acetone 과 ethanol 중에서 각각 10분씩 세척하고 증류수를 이용하여 린스 후 질소 가스로 건조 시켰다. Target 과 substrate 와의 거리 (T-S 간격)는 65 mm 로 유지하였으며, 증착시 온도는 실험실 온도에서 실시하였다.

AZO 박막은 RF power 60W, 증착 두께 1000Å 으로 고정하고 증착압력을  $1.1 \times 10^{-1}$  torr 에서  $3.7 \times 10^{-3}$  torr 으로 변화시켜 증착하였으며 ITO 박막은 RF power 80W, 증착압력  $4.0 \times 10^{-3}$  torr, 증착 두께 1000Å으로 증착하였다. 또한 투명 전도체 산화물인 ITO 와 AZO 박막 사이에 Ag 박막을 RF power 60W, 증착압력  $3.0 \times 10^{-3}$  torr 두께 100Å 의 조건으로 형성시켜 총 3 층으로 구성된 ITO/Ag/ITO 다층박막의 적층 순서 및 AZO 박막의 증착 압력에 따른 전기적 광학적 특성의 변화를 살펴보았다.

분석을 위하여 사용한 장비는 증착 막의 두께를 측정하기 위하여 surface profiler(Tencor, P-2)를 이용하였으며 광학적 특성을 평가하기 위하여 UV spectrophotometer (Varian, Cary-500)를 이용하여 광 투과율을 측정하였다. 성장된 ITO/Ag/AZO, AZO/Ag/ITO 다층박막의 결정구조를 알아보기 위하여 X-ray diffraction (Rigaku, RTP 300 RC) 측정을 실시하였고 전기적 특성을 평가하기 위하여 4-point probe (Guardian, 402S)와 hall effect measurement (Ecopia, HMS-3000) 를 이용하여 각각 면저항과 비저항 및 캐리어 농도와 홀 이동도를 관찰하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 적층순서 최적화

그림 1 은 예비실험을 통하여 우수한 막 특성을 나타낸 RF power 80W, 증착압력  $3.0 \times 10^{-1}$  torr, 증착두께 1500Å 에서 증착된 ITO 박막과 RF power 60W 증착두께 1000Å 에서 증착된 AZO 박막 사이에 Ag 박막을 RF power 60W, 증착압력  $3.0 \times 10^{-3}$  torr 의 조건에서 증착한 ITO/Ag/AZO 다층박막 및 AZO/Ag/ITO 다층박막의 AZO 증착압력에 따른 투과율을 나타낸 것이다. 투과율 그래프에서 알 수 있듯이 ITO 가 최상층으로 올라온 다층박막의 경우는 가시광선 영역 대에서 70%미만의 낮은 광 투과율을 나타냈으며 AZO 가 최상층으로 올라온 다층박막의 경우는 AZO 의 증착압력에 따라 투과율이 급격하게 변화하였으며  $1.0 \times 10^{-2}$  torr 에서 가장 좋은 광 투과율이 관찰되었다.

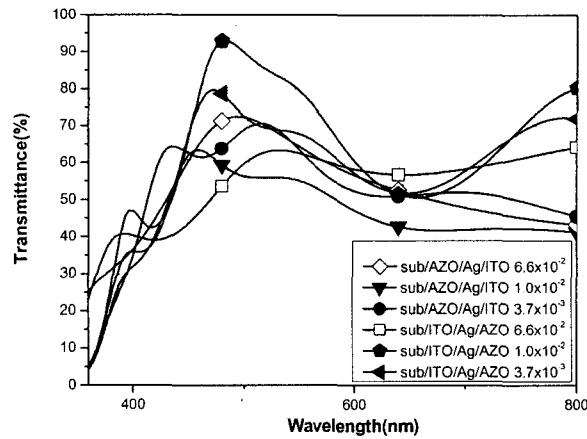


Fig. 1 Optical transmittance of ITO/Ag/AZO and AZO/Ag/ITO films at a visible rays

전기적 특성의 경우 역시 가장 상층에 AZO 박막이 형성 되었을 경우가 ITO 박막이 형성 될 경우에 비하여 높은 특성을 나타내었고 AZO의 증착 압력  $1.0 \times 10^{-2}$  torr 에서 면저항  $6.8 \Omega/\square$ , 비저항  $1.05 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$  으로 가장 좋은 전기적 특성을 나타내었다 이를 표 1에 나타내었다.

Table 1. Electrical properties of ITO/Ag/AZO and AZO/Ag/ITO films

	Working Pressure	Sheet Resistance( $\Omega/\square$ )	Resistivity( $\Omega\text{ cm}$ )
sub/ITO/Ag/AZO	$6.6 \times 10^{-2}$	11	$1.868 \times 10^{-4}$
	$1.0 \times 10^{-2}$	6.8	$1.054 \times 10^{-4}$
	$3.7 \times 10^{-3}$	10.2	$1.543 \times 10^{-4}$
sub/AZO/Ag/ITO	$6.6 \times 10^{-2}$	22.5	$5.108 \times 10^{-4}$
	$1.0 \times 10^{-2}$	36	$1.555 \times 10^{-3}$
	$3.7 \times 10^{-3}$	11.3	$2.440 \times 10^{-4}$

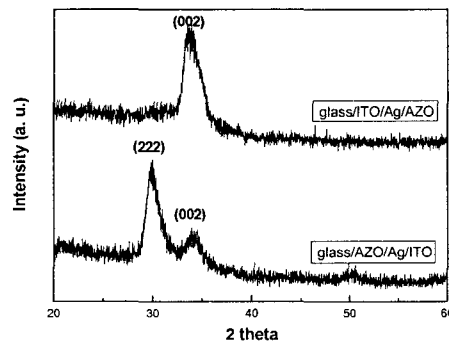


Fig. 2. X-ray diffraction patterns of ITO/Ag/AZO and AZO/Ag/ITO films

그림 2는 AZO/Ag/ITO 다층박막과 ITO/Ag/AZO 다층박막의 AZO 증착압력  $1.0 \times 10^{-2}$  torr 에서 X선 회절분석의 결과를 나타낸 것이다. 주 배향면은 ITO가 가장 상층으로 올라온 시편은 (222) 배향을 나타냈고 낮은 강도의 (002) 배향도 관찰되었으며 AZO가 상층으로 올라온 경우는 (002) 배향만 관찰되었다.

### 3.2 AZO 증착압력에 따른 전기적 광학적 특성

그림 3은 AZO가 가장 상층에 위치한 ITO/Ag/AZO 박막의 AZO 증착압력의 변화에 따른 광 투과율 스펙트럼을 나타낸 그래프이다. AZO 증착압력  $3.0 \times 10^{-2}$  torr ~  $7.0 \times 10^{-3}$  torr 에서 높은 광

투과율을 나타냈으며 이중  $1.0 \times 10^{-2}$  torr 에서 가장 높은 투과율이 관찰되었고 80%이상의 투과율 영역을 가지는 범위는  $3.0 \times 10^{-2}$  torr 에서 가장 넓게 나타났다.

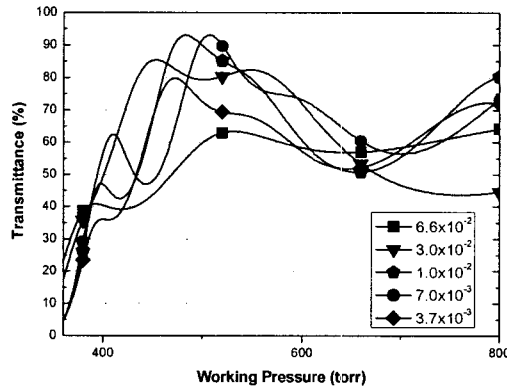


Fig. 3. Optical transmittance of ITO/Ag/AZO films with different working pressure of AZO layers

AZO의 증착압력의 따른 면저항 및 비저항의 변화와 캐리어 밀도 및 이동도의 변화를 그림 4 와 5에 각각 나타내었다. 면저항 및 비저항은 거의 같은 양상으로 변화하고 있음을 확인할 수 있으며 중간에 Ag가 증착이 된 다층박막의 특성상 최고치와 최저치의 차이가 작은 전체적으로 우수한 전기적 특성을 관찰 할 수 있었다. 캐리어 밀도는 압력이 낮아질수록 큰 변화 양상을 보이지 않으나  $3.7 \times 10^{-3}$  torr 에서 급격한 증가치를 보였으며 이때의 이동도는 다른 압력에서의 이동도와 비교하였을 때 급격히 저하되는 특성을 보여 전체적인 비저항은 크게 변화하지 않았다. Ag가 삽입된 다층박막의 경우에는 캐리어의 농도와 홀 이동도가 조화를 이루어 전체적으로 높은 전기적 특성이 나타난 것으로 사료된다.

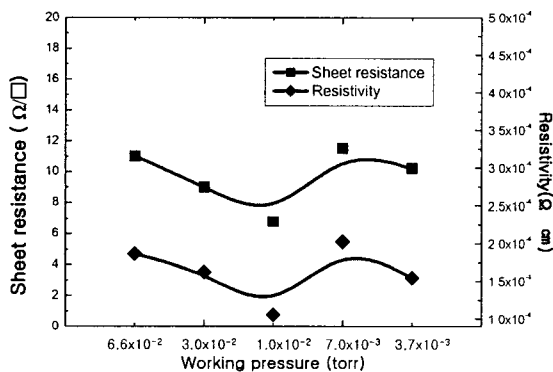
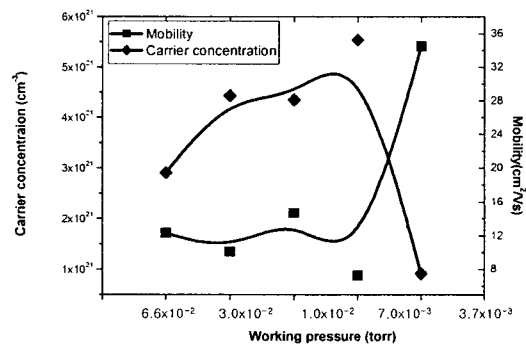


Fig. 4. Electrical properties of ITO/Ag/AZO films with different working pressure of AZO layers Fig.



5. Carrier concentration and mobility of ITO/Ag/AZO films with different working pressure of AZO layers

ITO/Ag/AZO 의 3 층으로 구성된 다층박막의 경우 AZO 가 가장 상층에 위치한 ITO/Ag/AZO 구조에서 AZO 의 증착압력이  $1.0 \times 10^{-2}$  torr 일 때 상대적으로 우수한 전기적 특성 및 광학적 특성이 관찰되었다. 일반적으로 금속이 중간층에 삽입된 다층박막 구조를 가지는 투명 전도체 산화물의 경우 광 투과율 특성 및 전기적 특성은 금속층의 두께와 금속층 위에 증착되는 투명 전도체 산화물의 종류 및 증착 조건과 밀접한 관계를 가지고 있다. Ag 단층박막의 경우 Ag 박막의 두께가 증가할수록 Ag 층이 bulk 와 같은 특성을 나타내며 광 흡수 및 표면산란, 반사등으로 투과율이 감소하게 되나, Ag 단층박막과 달리 ITO/Ag/AZO 다층박막의 경우 Ag 의 두께 변화에 따라 Ag 층의 구조가 섬 구조에서 연속적인 박막 형태로 변화하게 되고 이에 따라 상층 AZO 의 증착조건 변화에 광 투과율 및 전기적 특성이 많은 영향을 받게 된다. 따라서 Ag 의 두께를 고정하지 않고 변수를 두었을 경우의 전기적 광학적 특성은 앞서 열거된 데이터와 다른 양상을 보일 것으로 예상된다.

#### 4. 결론

본 실험에서 glass 기판 위에 ITO/Ag/AZO 및 AZO/Ag/ITO 다층박막의 증착시 AZO 압력에 따른 광학적 전기적 특성 변화를 관찰하고 최상의 증착조건을 찾은 결과는 다음과 같다.

대표적인 투명 전도체 산화물인 ITO 와 AZO 이용한 다층박막의 경우 AZO 가 가장 상층에 위치하는 ITO/Ag/AZO 구조가 ITO 가 상층에 위치하는 AZO/Ag/ITO 구조에 비해 높은 전기적 특성과 광학적 특성을 나타냈다.

AZO 가 가장 상층에 위치하는 ITO/Ag/AZO 구조에서 AZO 의 증착압력을 변화시켰을 때  $3.0 \times 10^{-2}$  torr ~  $7.0 \times 10^{-3}$  torr 에서 우수한 광학적 특성을 나타냈으며 전기적 특성의 경우 AZO 의 증착압력과 관계없이 모든 시편에서 우수한 결과를 나타내었다.

#### 참고문헌

- [1] T. Minami, S. Suzuki and T. Miyata, "Thin Solid Films" , 398-399, p. 53, 2001.
- [2] M. Chen, Z. L. Pei, X. Wang, C. Sun and S. Wen, J. Vac. sci. Technol. A19, p. 963, 2001.
- [3] J. L. Vossen, Physics of thin films Vol. 9, Academic Press, New York, p. 35, 1977.
- [4] M. Yamamoto and T. Namioka Appl. Opt. 31 10, p. 1612, 1992.
- [5] C. Charton, M. Fahland, to be published in Proceedings of Conference on Plasma and Surface Engineering (PSE), 2000.