

RF magnetron sputter에 의해 제조된 AZO/Ag/AZO 다층박막의 Ag 두께가 전기적 광학적 특성에 미치는 영향

안진형^a, 강태원^b, 김동원^c, 김상호^{a*}

^a한국기술교육대학교 신소재공학과, ^b국민대학교 기계·자동차공학부, ^c경기대학교 신소재공학과

Influence of Ag Thickness on Electrical and Optical Properties of AZO/Ag/AZO Multi-layer Thin Films by RF Magnetron Sputtering

Jin-Hyung An^a, Tea-Won Kang^b, Dong-Won Kim^c, Sang-Ho Kim^{a*}

^aMaterials Science and Engineering, Korea University of Technology and Education
 307, Gajeon-ri, Byungchun-myun, Chunan-city, Chungnam 330-708, S. Korea

^bSchool of Mechanical and Automotive Engineering, Kookmin University, 861-1, Jeongneung-dong,
 Seongbuk-gu, Seoul, S. Korea

^cDepartment of Materials Science and Engineering, Kyonggi University, San 94-3, Yuii-Dong,
 Paldal-Gu, Suwon, S. Korea

(Received 2 February 2006 ; accepted 22 February 2006)

Abstract

Al-doped ZnO(AZO)/Ag/AZO multi-layer films deposited on PET substrate by RF magnetron sputtering have a much better electrical properties than Al-doped ZnO single-layer films. The multi-layer structure consisted of three layers, AZO/Ag/AZO, the optimum thickness of Ag layers was determined to be 112 Å for high optical transmittance and good electrical conductivity. With about 1800 Å thick AZO films, the multi-layer showed a high optical transmittance in the visible range of the spectrum. The electrical and optical properties of AZO/Ag/AZO were changed mainly by thickness of Ag layers. A high quality transparent electrode, having a resistance as low as 6 W/□ and a high optical transmittance of 87% at 550 nm, was obtained by controlling Ag deposition parameters.

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

1. 서 론

ZnO 박막은 상온에서 증착이 가능하며 낮은 원자재 가격과 플라즈마에 대한 안정성이 우수하여 OLED, PDP, LCD 등의 디스플레이 장치의 투명전극으로 주로 사용되고 있는 ITO를 대체할 수 있는 투명전도체로 최근 각광받고 있다^{1,2)}. 또한 Al-doped ZnO(AZO) 박막의 경우 ZnO 박막에 비해 전기적 특성이 뛰어난 장점을 가지고 있다. 그러나 AZO 단층박막은 같은 두께의 ITO 박막과 비교했을 때 높은 전기적 저항값을 가지는 단점을 가지고 있어

이러한 단점을 개선하기 위한 방안으로 AZO 박막 중간에 금속층을 첨가시킨 다층박막 구조로 전기적 특성 향상효과를 위한 연구들이 활발히 진행되고 있다³⁾.

본 실험에서는 종래의 고정적이며 유동이 불편한 유리 기판 디스플레이에 flexible한 특성을 부여하기 위하여 폴리머 기판위에 AZO/Ag/AZO의 3층 구조를 가지는 다층박막을 제작하여 Ag 두께의 변화에 따른 전기적 광학적 변화를 살펴보고 증착된 박막이 투명전극으로 쓰이기에 알맞은 낮은 면저항과 높은 광 투과율이 관찰되는 조건을 찾아 그 원인을 분석하여 보았다.

*Corresponding author. E-mail : shkim@kut.ac.kr

2. 실험방법

본 실험에서는 AZO 단층박막과 AZO/Ag/AZO 다층박막을 RF magnetron sputter를 이용하여 PET (Polyethylene Terephthalate) 기판에 증착하였다. 초기 진공도는 로타리 펌프와 확산 펌프를 이용하여 1.2×10^{-5} torr을 유지하였고 sputtering target은 직경과 두께가 각각 2 in, 1/4 in size의 AZO(Al_2O_3 2 wt.% + ZnO 98 wt.%)와 Ag(99.95%)를 사용하였다. Target의 표면 세정을 위하여 AZO target은 15분 동안 Ag target은 10분 동안 각각 pre-sputter를 실시하였다. PET 기판은 초음파 세척기를 이용하여 아세톤과 에탄올 중에서 각각 10분씩 세척하고 증류수를 이용하여 린스 후 질소 가스로 건조시켰다. 타겟과 기판 사이의 거리(T-S 간격)는 65 mm로 유지하였으며, 증착시 온도는 실험실 온도에서 실시하였다.

AZO 박막은 상·하층 동일 조건으로 RF power 60W, 증착압력 1.1×10^{-1} torr에서 각각 900Å의 두께로 증착하였고 Ag 박막의 경우 상·하층 AZO 박막 사이에 RF power 60W, 증착압력 3.0×10^{-3} torr의 조건으로 두께를 28Å에서 112Å으로 변화시켜가며 총 3층 구조의 다층박막을 형성하여 실험을 진행하였다. 이상의 증착조건을 표 1에 정리하여 나타내었다.

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 광투과율을 측정하였다. 성장된 AZO/Ag/AZO 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. 또한 표면의 구조 및 형상을 알아보기 위하여 FESEM(Jeol, JSM-6500F)을 관찰하였다.

3. 결 과

3.1 전기적 특성

그림 1은 예비실험을 통하여 우수한 막 특성을 나타낸 RF power 60W, 증착압력 1.1×10^{-1} torr에서 증착된 AZO 박막을 상·하 동일조건으로 900 Å의 두께로 증착하고 중간에 Ag 박막을 RF power 60W, 증착압력 3.0×10^{-3} torr에서 조건에서 증착한 AZO/Ag/AZO 다층박막의 Ag 두께에 따른 전기적 저항을 나타낸 것이다. 그림 1에서 Ag가 중간에 증착되지 않은 AZO 단층박막의 경우 AZO/Ag/AZO 다층박막과 비교하여 면저항 $540 \Omega/\square$, 비저항 $6 \times 10^{-2} \Omega\text{cm}$ 로 다소 높은 전기 저항률을 나타내고 있다. 중간에 Ag가 증착된 AZO/Ag/AZO 다층박막의 경우 Ag의 두께가 증가할수록 급격한 전기적 특성의 향상효과가 나타났고, Ag 두께가 112Å에서 면저항 $6 \Omega/\square$, 비저항 $1.3 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$ 의 낮은 전기 저항률이 관찰되었다. 이러한 전기적 특성변화를 분석하기 위해 캐리어 농도와 홀 이동도를 측정하여 그림 2에 나타내었다. Ag의 두께가 증가함에 따라 캐리어 농도와 홀 이동도가 점차 증가하는 양상을 보이다가 Ag 두께 84Å 이상에서 급격한 증가를 나타내었다. 이는 중간에 증착된 Ag가 섬 형태의

Table 1. Experiment conditions of RF magnetron sputtering

Target	ZnO(98 wt%)+Al ₂ O ₃ (2 wt%)	
	Ag(99.95%)	
Substrate	PET	
Base pressure	1.2×10^{-5} torr	
RF power	60W	
Substrate temp.	RT	
Gas flow rate (Ar)	AZO	80 sccm
	Ag	40 sccm
Thickness	AZO	1800Å
	Ag	28Å~112Å
Working pressure	AZO	1.1×10^{-1} torr
	Ag	3.0×10^{-3} torr
Distance Sub.~Target	65 mm	

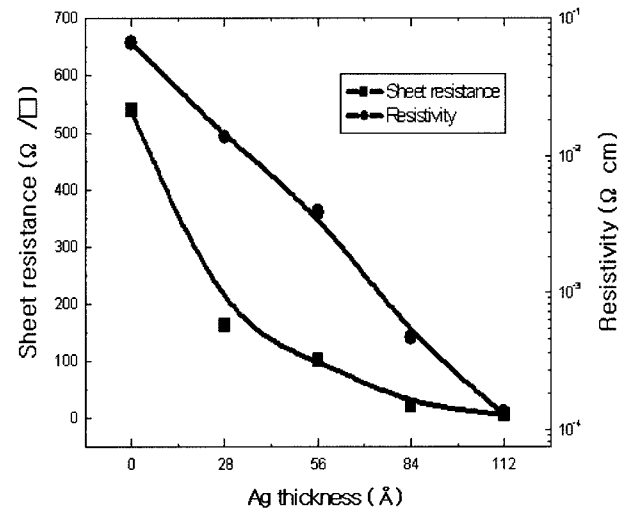


Fig. 1. Sheet resistance and resistivity of AZO/Ag/AZO films with different thickness of Ag layers.

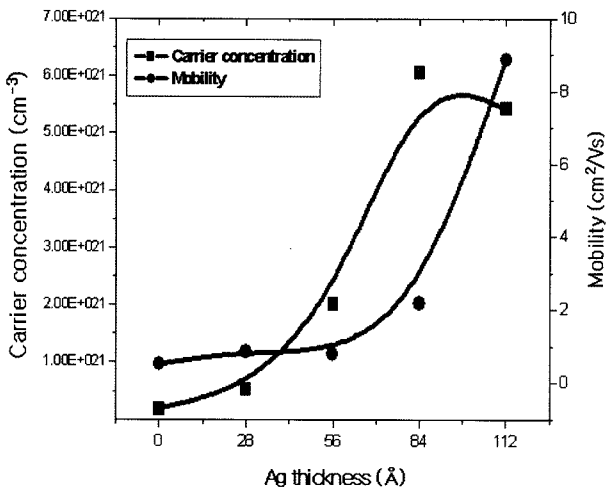


Fig. 2. Carrier concentration and mobility of AZO/Ag/AZO films with different thickness of Ag layers.

구조에서 두께 84Å 이상에서 연속적인 박막 형태를 이루게 되면서 캐리어의 농도와 홀 이동도가 향상되어 전기적 특성 향상 효과가 나타난 것으로 사료된다.

그림 3은 Ag 두께에 따른 AZO/Ag/AZO 다층박막의 X선 회절분석의 결과를 나타낸 것이다. 그림 3에서 알 수 있듯이 28Å~112Å의 Ag 두께 범위에서 두께와 관계없이 (002)면의 우선 배향성을 보여 주며, (002)회절 피크에서의 2θ 값은 standard ZnO crystal (34.45°)에서 Al₂O₃의 첨가에 의해 오른쪽으로 미세하게 이동한 데이터 값을 나타내었다. 주 배향면인 (002)배향의 강도는 Ag 두께변화와 관계없이 일정하게 관찰되었으며 Ag의 배향면인 (111)배

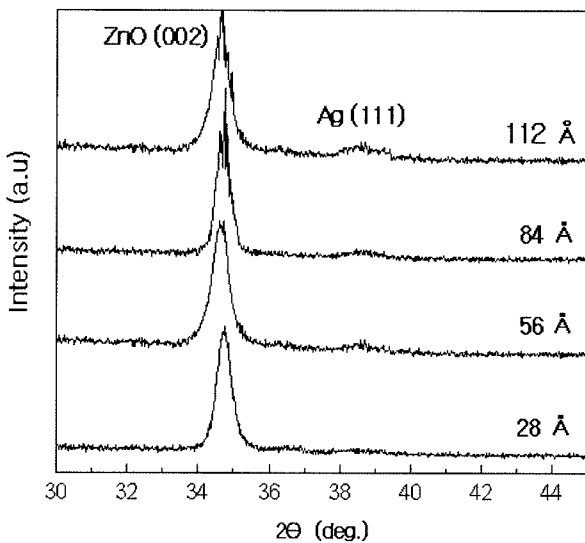


Fig. 3. X-ray diffraction patterns of AZO/Ag/AZO films with different thickness of Ag layers.

향의 경우 Ag가 연속적인 박막의 형태를 이루게 되면서 결정 입자의 성장이 용이해져 강도가 미세하게 증가함을 확인할 수 있었다.

3.2 광학적 특성

일반적으로 금속이 중간층에 삽입된 다층박막 구조를 가지는 투명 전도체 산화물의 경우 광 투과율 특성은 금속층의 두께와 금속층 위에 증착되는 투명 전도체 산화물의 증착 조건과 밀접한 관계를 가지고 있다. Ag 단층박막의 경우 Ag 박막의 두께가 증가할수록 Ag층이 bulk와 같은 특성을 나타내며 광 흡수 및 표면산란, 반사등으로 투과율이 감소하게 되나, Ag 단층박막과 달리 AZO/Ag/AZO 다층박막의 경우 Ag의 두께 변화에 따라 Ag층의 구조가 섬 구조에서 연속적인 박막 형태로 변화하게 되고 이에 따라 상층 AZO의 증착조건 변화에 광 투과율이 많은 영향을 받게된다⁴⁾.

그림 4는 Ag 두께 변화에 따른 광 투과도 스펙트럼을 나타낸 것이다. AZO 단층박막의 경우 400~800 nm 영역의 가시광 영역에서 90% 이상의 높은 투과율을 나타낸 반면 Ag가 중간에 증착된 다층박막의 경우 70~90%의 비교적 낮은 광 투과율이 나타났다. 그림 5는 550 nm 영역에서의 AZO/Ag/AZO 다층박막의 Ag 두께 변화에 따른 광 투과도 변화를 나타낸 그래프이다. AZO 단층박막의 경우 광 투과율은 95%로 가장 우수한 광학적 특성을 나타냈고 저항률이 가장 우수한 Ag 두께 112Å에서의 광 투과도는 87%로 비교적 우수한 광학적 특성을 나타냈다. 또한 다층박막의 경우 Ag 두께가 증가함에 따라 투과도가 개선되는 양상을 나타내었

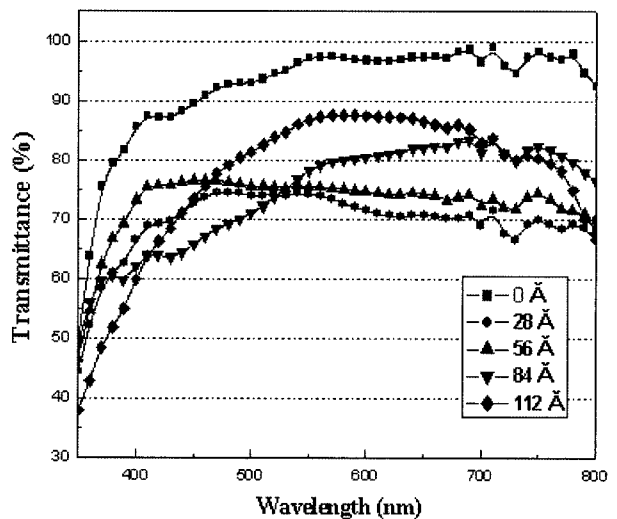


Fig. 4. Optical transmittance of AZO/Ag/AZO films at a visible rays.

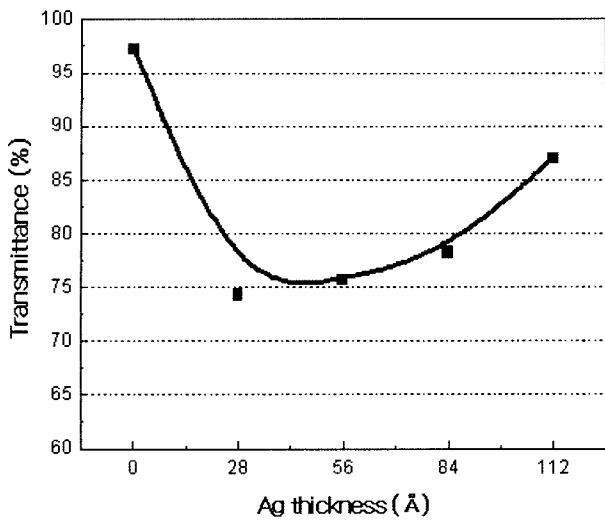


Fig. 5. Optical transmittance of AZO/Ag/AZO films at a 550 nm wavelength.

는데 이는 Ag 두께가 너무 얇은 경우 중간에 증착된 Ag층이 연속된 박막형태를 이루지 못하고 섬 구조를 이루게 되면서 상층 AZO의 증착시 Ag층이 particle bombardment에 의해 손상됨에 따라 투과율이 감소한 것으로 사료된다⁵⁾.

그림 6은 AZO 단층박막과 AZO/Ag/AZO 다층박막의 FESEM 표면 이미지를 나타낸 것이다. AZO 단층박막의 경우 50~100 nm의 입자 크기를 가지는 각진 표면 형상을 나타내었고 다층박막의 경우에는 단층박막과 비교하여 입자 구조가 밀집되고 미세한 형상이 관찰되었다. 또한 Ag의 두께가 증가함에 따라 이러한 현상은 더욱 두드러지게 나타났다. 본 실험에서 Ag를 중간에 증착한 다층박막의 경우 Ag층이 연속적인 구조를 형성하게 되면서 AZO 입자가 미세하게 밀집된 형상을 나타내게 되고 광 투과도의 향상을 가져온 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 실험에서 PET기판 위에 AZO/Ag/AZO 다층박막의 증착시 Ag 두께변화에 따른 광학적 전기적 특성 변화를 관찰하고 최상의 증착조건은 다음과 같다.

Ag 두께가 증가함에 따라 전기적 특성 개선효과가 나타났으며 Ag 두께 112Å에서 AZO/Ag/AZO 다층박막의 면저항과 비저항은 각각 $6 \Omega/\square$ 와 $1.3 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$ 로 AZO 단층박막보다 우수한 전기적 특성을 나타냈다. 또한 AZO 단층박막과 비교하여 AZO/Ag/AZO 다층박막의 광 투과도는 다소 감소되었으나 전기적 특성이 우수한 112Å에서의 광학적 특성은 87%로 다층박막 가운데 가장 우수한 광학적 특성을 나타냈다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업과 지방기술혁신사업(RTI04-01-01) 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

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

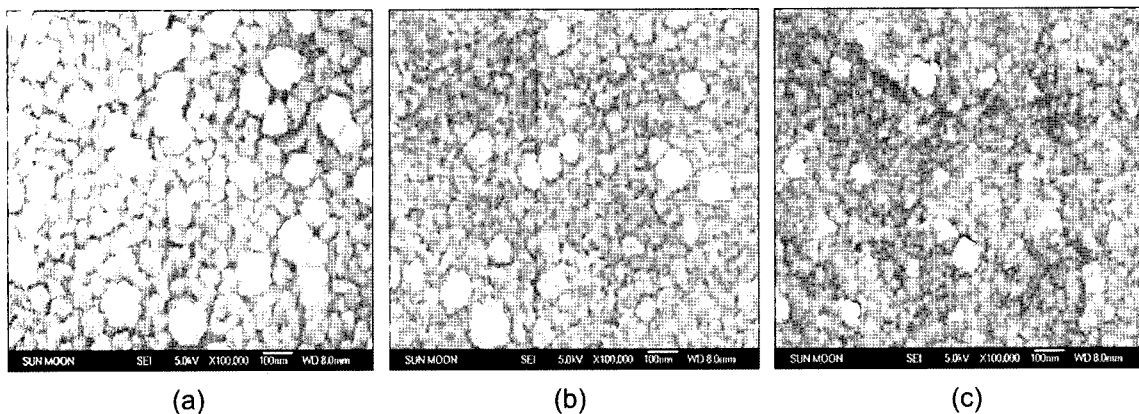


Fig. 6. SEM images of the single-layer and multi-layer films, (a) AZO single-layer, (b) AZO/Ag (54 Å)/AZO multi-layer, (c) AZO/Ag (122 Å)/AZO multi-layer.