

Ag 완충박막 두께에 따른 IGZO/Ag 적층박막의 특성 변화

김소영* · 김선경* · 김승홍* · 전재현* · 공태경* · 최동혁** · 손동일** · 김대일*[†]
*울산대학교 첨단소재공학부, **동국실업주식회사

Effect of Ag Underlayer Thickness on the Electrical and Optical Properties of IGZO/Ag Layered Films

So-Young Kim*, Sun-Kyung Kim*, Seung-Hong Kim*, Jae-Hyun Jeon*, Tae-Kyung Gong*,
Dong-Hyuk Choi**, Dong-Il Son**, Daeil Kim*[†]

*School of Materials Science and Engineering, University of Ulsan 680-749, Korea

**Dongkook Ind. Co., Ltd. Ulsan 683-804, Korea

Abstract IGZO/Ag bi-layered films were deposited on glass substrate at room temperature with radio frequency and direct current magnetron sputtering, respectively to consider the effect of Ag buffer layer on the electrical, optical and structural properties. For all deposition, while the thickness of Ag buffer layer was varied as 10, 15, and 20 nm, The thickness of IGZO films were kept at 100 nm. In a comparison of figure of merit, IGZO films with 15 nm thick Ag buffer layer show the higher figure of merit ($1.1 \times 10^{-2} \Omega^{-1}$) than that of the IGZO single layer films ($3.7 \times 10^{-4} \Omega^{-1}$). From the observed results, it is supposed that the IGZO 100 nm/Ag 15 nm bi-layered films may be an alternative candidate for transparent electrode in a transparent thin film transistor device.

(Received July 0, 2014; Revised August 0, 2014; Accepted August 0, 2014)

Key words : IGZO, Ag, Magnetron sputter, XRD, Figure of Merit

1. 서 론

고해상도 영상이나 이미지를 구현하는 데 있어 현재의 비정질 실리콘 소재는 증착공정이 간단하고 공정비용이 저렴하지만, 상대적으로 낮은 이동도와 불투명한 광특성 등의 문제가 언급되고 있다[1].

반면에, 저온 다결정 실리콘(Low Temperature Poly-Si)은 상대적으로 전하 이동도가 높지만, 균일한 대면적 증착이 어렵기 때문에 차세대 디스플레이를 구동할 박막 트랜지스터(Thin Film Transistor; TFT)소재로는 한계에 부딪히고 있다[2].

이러한 전기적, 광학적 문제점이 보완되어진 ZnO(Zinc Oxide), GZO(Gallium Zinc Oxide), AZO(Aluminum Zinc Oxide), IGZO(Indium Gallium Zinc Oxide) 산화물 박막 트랜지스터는 상대적으로 높은 이동도와 가시광 영역에서 우수한 투광성을 가지며 낮은 온도에서도 증착 공정이 가능하기 때문에

유연 디스플레이의 전극소재로 연구되고 있다[3, 4].

특히 비정질 IGZO 박막의 전기적 특성은 투광 TFT 소자의 성능 구현에 있어 중요한 역할을 하기 때문에 박막의 전기적 특성을 향상시키고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다[5].

본 연구에서는 IGZO 박막의 전기적 특성을 향상시키기 위해 DC 마그네트론 스퍼터로 Ag 박막을 완충층으로 증착하고, 상부에 100 nm의 IGZO 박막을 RF 마그네트론 스퍼터로 제작하였다. 증착 후 실온에서 Ag박막의 두께에 따른 IGZO/Ag 박막의 구조적, 전기적, 광학적 특성 변화를 고찰하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 3인치 직경의 IGZO(In_2O_3 : Ga_2O_3 : $\text{ZnO} = 1:1:1$ mol.%) 타겟과 Ag(Purity 99.99%) 타겟을 RF와 DC 마그네트론 스퍼터를 이용하여 유

[†]Corresponding author. E-mail : dkim84@ulsan.ac.kr
Copyright © The Korean Society for Heat Treatment

Table 1. The deposition conditions of IGZO/Ag thin films

Parameters	Conditions	
Thickness (nm)	IGZO, 100	Ag 10, 15, 20
Base pressure (Torr)	5.0×10^{-6}	
Deposition pressure (Torr)	1.0×10^{-3}	
Power density (W/cm^2)	RF, 5	DC, 3
Ar gas flow rate (sccm)	10	

리기판(corning 1747, $3 \times 3 \text{ cm}^2$)에 IGZO/Ag 박막을 적층형태로 증착하였다. IGZO 박막의 두께는 100 nm로 고정하고 Ag 박막의 두께는 10, 15, 20 nm로 변화를 주었다.

유리기판은 아세톤, 메탄올, 증류수의 순서로 초음파 세척을 10분간 실시하고 질소가스로 건조하였으며 자세한 증착 조건을 Table 1에 나타내었다.

IGZO 단층박막과 IGZO/Ag 적층박막의 가시광 투과도는 자외선-가시광 분광도계(UV-Visible spectrophotometer, Cary100 Cone, Varian)를 사용하여 측정하였고, Van der Pauw 방법을 이용한 Hall 효과 측정기(HMS-3000, Ecopia)를 이용하여 전하농도와 전하이동도를 측정하였다. Ag 완충 박막두께에 따른 결정구조의 변화는 X선 회절분석기(X'pert PRO MRD, Philips, 한국기초과학지원연구원, KBSI 대구센터)로 측정하였으며, 박막의 표면이미지와 표면거칠기(Root mean square; RMS)는 각각 전자주사현미경(JSM-820M JEOL)과 원자간력현미경(측정영역 $2 \times 2 \mu\text{m}^2$, XE-100, Park System)으로 측정하였으며, Figure of Merit(FOM)수치를 이용하여 IGZO 단층박막과 IGZO/Ag 적층박막의 구조적, 전기적, 광학적 특성 변화를 고찰하였다.

3. 실험결과

Fig. 1은 IGZO 단층박막과 서로 다른 두께를 갖는 IGZO/Ag 박막의 XRD 회절패턴 분석결과이다. IGZO 단층박막에서는 특정 회절 피크가 측정되지 않았으나, IGZO 100 nm/Ag 15 nm 박막에서 Ag(111) 회절피크가 나타남을 확인하였다. 이는 Ag의 두께가 증가함에 따라 결정화가 일어났다고 사료된다. 또한 Yun의 선행연구와 같이 본 연구에서 제작된 모든 박막에서도 34° 부근에서 Nano-crystalline

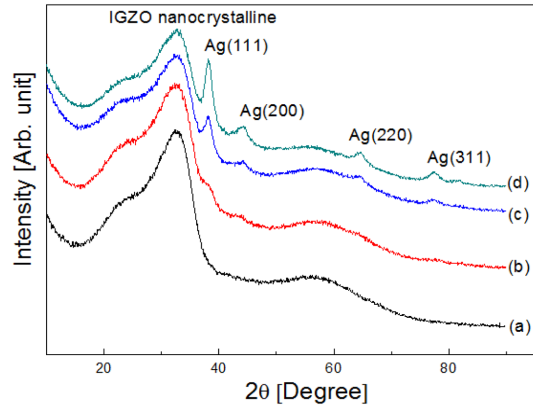


Fig. 1. XRD pattern of IGZO and IGZO/Ag films with different thickness. (a) IGZO 100 nm, (b) IGZO 100 nm/Ag 10 nm, (c) IGZO 100 nm/Ag 15 nm, (d) IGZO 100 nm/Ag 20 nm.

의 IGZO 결정을 뜻하는 Halo peak가 나타남을 알 수 있었다[6].

Fig. 2는 Ag 완충층 두께에 따른 박막의 표면거칠기 분석결과이다. 거친 표면은 투명전극(Transparent and Conducting Oxide; TCO) 박막의 비저항 증가와 가시광 투과도 감소의 원인이 되므로 박막의 표면거칠기는 디스플레이 소자 적용에 중요한 부분이다[7].

본 실험에서 IGZO 단층박막의 평균거칠기는 1.39 nm이었으나, Ag 적층박막의 두께가 증가함에 따라 평균거칠기는 감소하여 Fig. 2(d)와 같이 IGZO 100 nm/Ag 20 nm인 박막에서는 가장 낮은 1.27 nm의 평균거칠기가 측정되었다. 이는 Ag 10 nm 단층을 증착시켰을 때 평균거칠기가 2.9 nm이고, Ag 두께가 15 nm, 20 nm로 증가함에 따라 각각 2.5 nm, 2.2 nm로 점점 감소하는 경향을 보였다. 이를 통해 하부 Ag 박막의 평균거칠기가 상부 IGZO 박막에 영향을 주어 Ag층이 증가할수록 더 평탄한 평균거칠기가 나타났다고 사료된다.

Fig. 3은 Ag 완충층 두께에 따른 박막 표면의 형상 변화를 측정한 전자주사현미경 분석 결과이다. IGZO 100 nm/Ag 10 nm인 박막은 듬성듬성하게 섬 구조로 형성되었고, IGZO 100 nm/Ag 15 nm와 IGZO 100 nm/Ag 20 nm로 증착된 박막의 표면은 IGZO 100 nm/Ag 10 nm에 비해 상대적으로 조밀한 섬 구조 표면이 제작되었다.

Fig. 4는 IGZO 박막과 IGZO/Ag 박막의 가시광

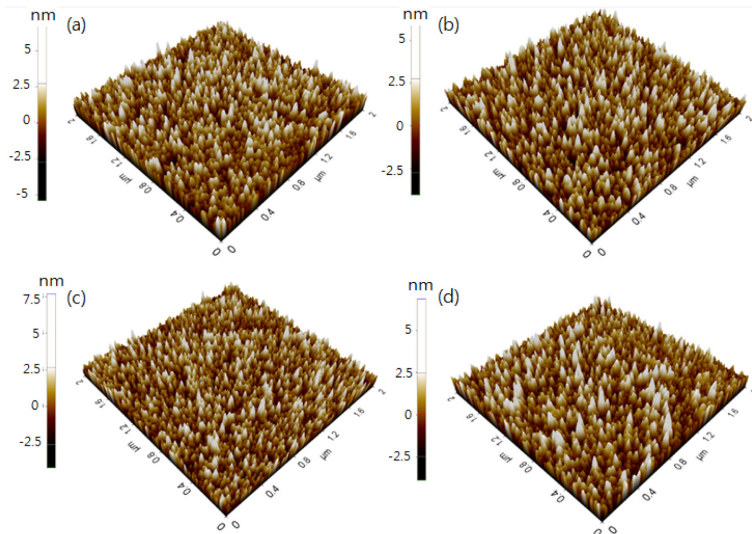


Fig. 2. Surface morphology (scan area; $2 \times 2 \mu\text{m}^2$) and RMS roughness of IGZO and IGZO/Ag films with different thickness. (a) IGZO 100 nm, RMS; 1.39 nm, (b) IGZO 100 nm/Ag 10 nm, RMS; 1.40 nm, (c) IGZO 100 nm/Ag 15 nm, RMS; 1.34 nm, (d) IGZO 100 nm/Ag 20 nm, RMS; 1.27 nm.

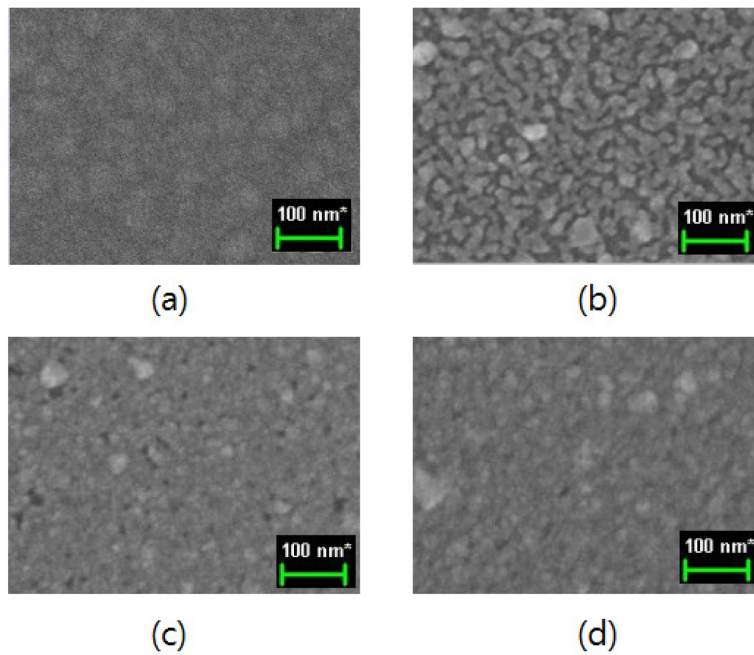


Fig. 3. FE-SEM images of the surface morphology of IGZO and IGZO/Ag thin films. (a) IGZO 100 nm, (b) IGZO 100 nm/Ag 10 nm, (c) IGZO 100 nm/Ag 15 nm, (d) IGZO 100 nm/Ag 20 nm.

영역(380~780 nm)에서의 투과율 측정 결과이다. 모든 박막은 기판을 포함한 투과도이며, IGZO 단층박막의 가시광 투과도는 84.9%이고, IGZO 100 nm/

Ag 20 nm 박막의 가시광 투과도는 71.2%으로 감소하였다. 이는 Ag 원층층의 두께가 증가함에 따라 IGZO 100 nm/Ag 20 nm 박막에서는 반사율이 20.9%

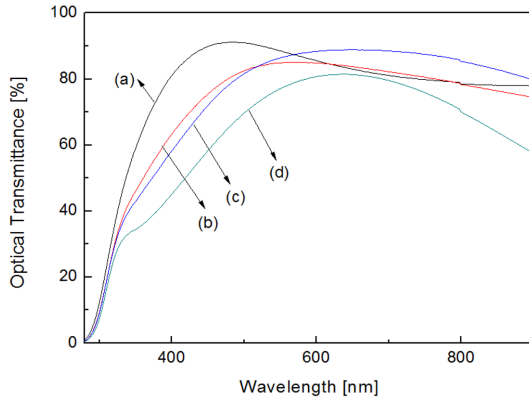


Fig. 4. Optical transmittance of IGZO and IGZO/Ag films with different thickness in a wavelength of 300-900 nm. (a) IGZO 100 nm, (b) IGZO 100 nm/Ag 10 nm, (c) IGZO 100 nm/Ag 15 nm, (d) IGZO 100 nm/Ag 20 nm.

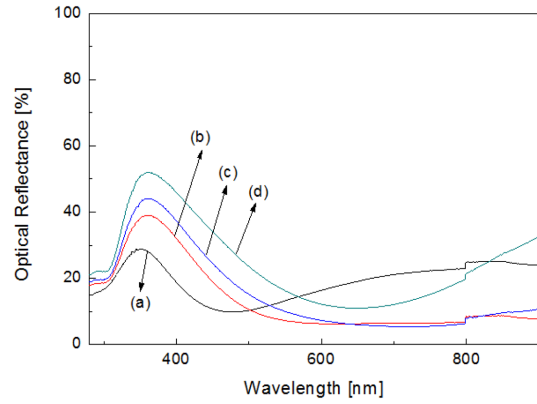


Fig. 5. Optical Reflectance of IGZO and IGZO/Ag films with different thickness in a wavelength of 300-900 nm. (a) IGZO 100 nm, (b) IGZO 100 nm/Ag 10 nm, (c) IGZO 100 nm/Ag 15 nm, (d) IGZO 100 nm/Ag 20 nm.

Table 2. Variation of electrical properties of IGZO/Ag bi-layered films as a function of film thickness

Film thickness (nm)	Carrier concentration (cm^{-3})	Mobility (cm^2/Vs)	Resistivity ($\Omega \cdot \text{cm}$)
IGZO 100	1.6×10^{20}	3.5	1.0×10^{-2}
IGZO 100/Ag 10	3.9×10^{21}	3.0	5.3×10^{-4}
IGZO 100/Ag 15	9.8×10^{21}	4.3	1.5×10^{-4}
IGZO 100/Ag 20	1.9×10^{22}	5.9	5.5×10^{-5}

Table 3. Figure of Merit of IGZO/Ag bi-layered films as a function of film thickness

Film thickness (nm)	Sheet resistance (Ω/\square)	Optical Transmittance (%)	FOM (Ω^{-1})
IGZO 100	1000	84.9	3.7×10^{-4}
IGZO 100/Ag 10	48	79.8	2.2×10^{-3}
IGZO 100/Ag 15	12	81.7	1.1×10^{-2}
IGZO 100/Ag 20	5	71.2	6.7×10^{-3}

까지 증가하여 투과율이 감소하였다고 사료된다.

Table 2는 IGZO 박막과 IGZO/Ag 박막에서 Ag 완충층 두께 변화에 따른 전기적 특성변화이다. IGZO 단층박막의 전하농도, 이동도, 비저항은 각각 $1.6 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, $3.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, $1.0 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ 로 측정되었다.

IGZO 100 nm/Ag 15 nm 박막에서 전하이동도가 $4.3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 로 증가하는 것은 XRD 분석 결과와 같이 Ag 완충층 박막의 결정화에 의한 것으로 추측되며 전하농도와 이동도가 증가함에 따라 비저항이 감소하는데 IGZO 100 nm/Ag 20 nm 박막에서 가장 낮은 비저항이 측정되었다.

Figure of Merit(FOM)은 TCO 박막의 전기적, 광학적 물성을 비교할 수 있는 척도로서 관련수식은 다음과 같다[8].

$$\text{FOM} = T^{10}/R_{\text{sh}}$$

위 수식에서 T는 가시광 영역에서 광투과도이며, R_{sh} 는 박막의 면저항 수치이다. TCO 박막의 특성은 가시광 투과율과 전기전도도에 민감하게 의존하지만, 일반적으로 투과도와 전기전도도는 서로 반비례 되는 관계를 갖기 때문에 적절한 가시광 투과도와 면저항의 선택적인 제어가 필요하다. Table 2는 Ag 완충층 두께에 따른 IGZO/Ag 박막의 FOM 수치 결과이다.

본 연구에서 단일 IGZO 박막의 FOM 수치는 $3.7 \times 10^{-4} \Omega^{-1}$ 이었으나, IGZO 100 nm/Ag 15 nm 박막의 FOM 수치가 $1.1 \times 10^{-2} \Omega^{-1}$ 로 증가하여 최적화된 Ag 완충층 증착을 통하여 IGZO 박막의 전기적, 광학적 완성도가 향상되었음을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 RF와 DC 마그네트론 스퍼터를 이용하여 IGZO/Ag 박막을 증착하며 Ag 완충층 박막의 두께에 변화를 주어 박막의 구조적, 전기적, 광학적 특성 변화를 고찰하였다.

Ag 완충 박막 두께가 15 nm 이상일 때 Ag(111)면이 성장하였으며, Ag의 두께가 증가함에 따라 비저항이 감소됨을 보였다.

IGZO 단층박막의 FOM 수치는 $3.7 \times 10^{-4} \Omega^{-1}$ 이었으나 IGZO 100 nm/Ag 15 nm 박막에서 $1.1 \times 10^{-2} \Omega^{-1}$ 로 증가하여 Ag 완충 박막에 의해 IGZO 박막의 전기적 광학적 완성도가 제고됨을 알 수 있었다.

Acknowledgement

본 연구는 교육부와 한국연구재단의 지역혁신인력

양성사업으로 수행된 연구결과임(No. NRF-2013H1B8A2032122).

References

1. J. H. Shin, Y. J. Cho and D. K. Choi : J. Kor. Inst. Met. & Mater, **47** (2009) 38-43.
2. 서태원 : Co-Sputtering 방법으로 제작한 Si doped InSnO 산화물 박막 트랜지스터의 물성 연구, 단국대학교 석사 학위논문 (2013).
3. 최용석 : IGZO TFT의 어닐링 조건에 따른 특성과 안정성에 관한 연구, 한양대학교 석사 학위논문 (2013).
4. 김호범 : 졸겔법을 이용한 Mg첨가 Zn-Sn-O 산화물 박막 트랜지스터의 제작과 특성연구, 경북대학교 석사 학위논문 (2012).
5. S. H. Kim, Y. H. Park and H. B. Kim : Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, **23** (2010) 293-297
6. S. H. Jeong, B. S. Bae, K. M. Yu, M. K. Ryu, K. I. Cho and E. J. Yun : Journal of the Korean Physical Society, **61** (2012) 867-872.
7. S. J. Kim, K. Choi and S. Y. Choi : Journal of Photonic Science and Technology, **21** (2012) 29-38.
8. G. Haacke : J. Appl. Phys, **47** (1976) 4086.