Regular Paper
J. KIEEME
Vol. 26, No. 7, pp. 510-514, July 2013
DOI: http://dx.doi.org/10.4313/JKEM.2013.26.7.510

Ag 두께에 따른 IGZO/Ag/IGZO 다층 박막의 특성 연구

장야쥔[1], 김홍배[2], 이상렬[2,a]
[1] 청주대학교 전자공학과 반도체
[2] 청주대학교 반도체공학과

Characteristics of IGZO/Ag/IGZO Multilayer Thin Films Depending on Ag Thickness

Ya-Jun Zhang[1], Hong-Bea Kim[2], and Sang-Yeol Lee[2,a]
[1] Semiconductor of Electronic Engineering, Cheongju University, Cheongju 360-764, Korea
[2] Department of Semiconductor Engineering, Cheongju University, Cheongju 360-764, Korea

(Received March 6, 2013; Revised April 27, 2013; Accepted June 10, 2013)

Abstract: In order to prevent heat loss that occurs through the glass, low-emissivity (Low-E) coating methods with good insulating properties and high transmittance were used. InGaZnO/Ag/InGaZnO (IGZO/Ag/IGZO) multilayer thin films have been deposited on XG glass substrate by RF magnetron sputtering. Depending on the different thickness of Ag in multilayer films, the structural and optical properties of Low-E multilayer films were analyzed. By XRD analysis results, the multilayer thin films were observed to be amorphous structure regardless of Ag thickness. According to the AFM results, surface morphology of the multilayer films was observed and compared. Using UV-VIS spectroscopy, low emissivity property has been observed clearly with the transmittance of higher than 85% at visible range and lower than 30% at IR range.

Keywords: IGZO/Ag/IGZO, Oxide/Metal/Oxide(OMO), Low emissivity, Evaporator, RF sputter, Ag thickness

1. 서 론

한국 전체 에너지 사용량 중 약 24%의 에너지가 건축물 부분에 소비되고 있다. 건축물의 벽체나 유리창 등을 통해서 에너지 손실이 이루어진다. 유리창은 벽체에 비해 약 10배 이상 낮은 단열 특성을 가지고 있기 때문에 유리창을 통한 열손실량은 더 크다. 만일 유리창의 단열 성능 및 기밀 성능을 향상시킨다면 건축물의 에너지 절약 효과를 가지기 때문에 열손실 절감을 위해서 집중적인 노력을 하고 있다. 이러한 열손실 문제를 해결할 수 있는 방안으로 복층 유리 사이에 낮은 열전도성의 비활성 가스를 채우는 방법, 복층 유리 사이의 열류 흐름을 차단하는 단열간봉을 응용하는 방법, 우수한 단열 프레임을 적용하는 방법 등이 있다. 또한 유리의 표면에 전도성 박막 증착을 하여 가시광선 영역의 투과 특성을 유지하는 동시에 장파장 IR 영역의 적외선만은 차단하여 실내로 에너

a. Corresponding author: sylee@cju.ac.kr

Copyright ©2013 KIEEME. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

지의 흡수를 막아주는 로이 (low-emissivity) 유리를 적용하는 방법 등이 있다 [1].

본 연구에서는 좋은 단열 특성 및 낮은 방사율을 가지고 있는 로이 코팅 (low-e coating) 방법을 사용하여 옥사이드/메탈/옥사이드 (oxide/metal/oxide, OMO) 다층 박막의 은 (Ag) 두께 변화에 따라 로이 다층 박막의 구조적, 광학적 특성을 분석하였다. 로이 다층 박막의 금속층은 써멀 이배퍼레이터 (thermal evaporator) 장비로 형성된 반사율이 높은 은을 사용하였고, 산화층은 알에프 마그네트론 스퍼터링 (RF magnetron sputtering) 장비로 형성된 비정질 IGZO를 사용하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 XG 유리 기판 위에 IGZO/Ag/IGZO OMO 구조의 다층 박막을 증착하였다. 알에프 마그네트론 스퍼터링 방법을 이용하여 OMO 구조의 상부와 하부의 옥사이드 레어 (oxide layer)로 IGZO 박막을 증착하였고, 사용된 IGZO 타겟은 In_2O_3(99.99%), Ga_2O_3(99.99%), ZnO(99.99%)의 분말을 각각 1:1:1 mol% 조성비로 혼합하여 소결하여 제작하였다. 써멀 이베퍼레이터 장비를 이용하여 OMO 구조의 메탈 레어 (metal layer)로 은 (99.999%)를 증착하였고 실험 기판은 크기 30 mm × 30 mm의 0.7T XG 유리를 사용하였다. 유리 기판 위에 미세한 오염 물질을 제거하기 위해서 먼저 유리 기판을 아세톤, 메탄올, 그리고 탈 이온수 (DI-water)를 이용하여 초음파 세척기로 각 5분간 클리닝한 후 질소 가스를 이용하여 건조시켰다. 다음에 150℃, 1분간 베이킹을 함으로써 기판에 잔존의 수분을 제거하였다. 클리닝 작업이 완료된 후 바로 챔버 내부에 장착되었다.

OMO 구조의 산화층 IGZO 박막은 상/하층 동일 조건으로 기판 온도는 실온으로 고정하였으며, 초기 압력은 3.0×10^{-6} Torr, 증착 압력은 2.0×10^{-2} Torr로 유지하는 상태에서 pre-sputtering을 10분간 실시하였다. RF 파워 30 W, Ar 유량 50 sccm, 증착 시간을 10분으로 고정시키고, IGZO 박막을 증착하였다. OMO 구조의 메탈 레어의 은 증착 조건은 초기 진공도가 약 4.0×10^{-6} Torr 이하로 유지시키고, 기판을 2 Rpm의 속도로 회전시켰다. 열 전압을 0.3 V로 고정시키고 은을 10분간 가열하여 녹인 후 film thickness monitor로 은 증착 두께를 확인하였다. OMO 다층 박막의 은 두께 변화에 따라 로이 다층 박막의 구조적, 광학적 특성을 분석하였다. 증착된 다층 박막의 구조적 분석을 위해서 X선 회절 분석기 (XRD; X-ray diffraction, MAC, M03XHF)를 통해서 박막의 결정 구조와 각 위상에 대한 우선 배향성을 확인하였고 원자현미경 (AFM; PSIA, XE-150)으로 박막의 표면 거칠기를 측정하였다.

광 투과도는 UV-VIS 분광기 (Chameleon-XR)를 사용하여 투과 스펙트럼을 측정하였다. 가시광선 영역에서 투과되고 장파장 IR 영역에서 흡수 되는 로이 특성을 확인하였다. 이러한 박막의 투과 특성을 이용해서 광학적 에너지 밴드갭 (optical band-gap)을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 금속층의 은의 두께가 변화에 따라 IGZO/Ag/IGZO 다층 박막의 구조적 특성 XRD 분석 결과를 나타낸 것이다.

그림에서 보는 듯이 2-Theta가 18°부터 30°에 걸쳐 넓은 피크로 나타났는데 이것은 결정질 박막에서 보이는 폭이 좁은 intensity와 강한 피크가 아니라 단지 IGZO 박막의 비정질 상에서 나타는 유리 피크임을 알 수 있다. 이는 증착 조건인 은 두께의 증가함과 관계없이 Bragg's 법칙 ($n\lambda = 2dsin\theta$)을 만족할만한 피크가 나타나지 않는 것으로 보아 비정질 구조임을 확인할 수 있었다 [2].

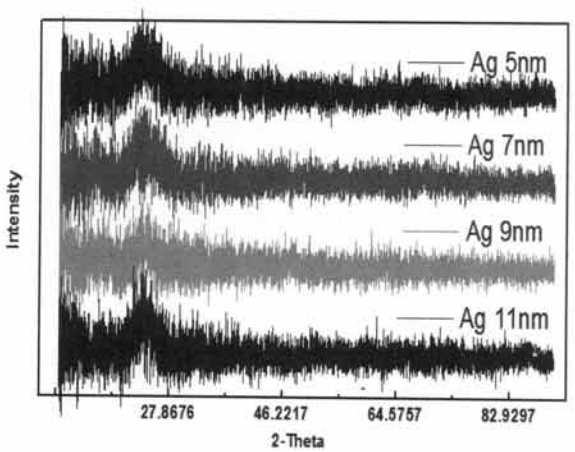

Fig. 1. XRD patterns of IGZO/Ag/IGZO multilayer films with various Ag thickness.

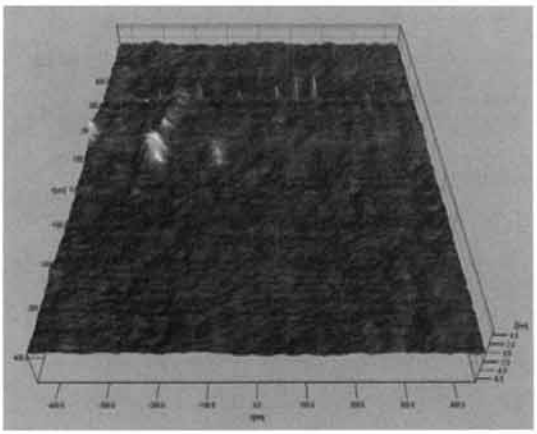

Fig. 2. AFM results of IGZO single films.

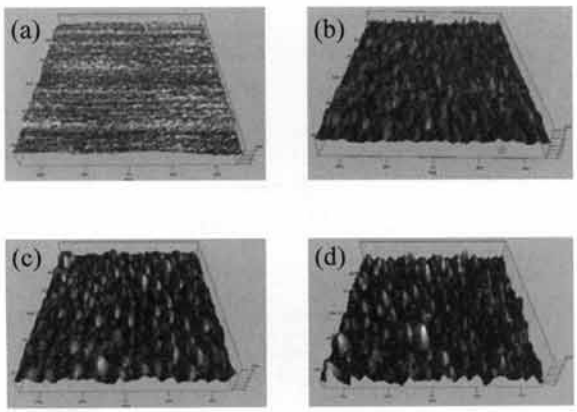

Fig. 3. AFM results of Glass//IGZO/Ag multilayer films with various Ag thickness. (a) Ag 5 nm, thickness: 0.44 nm, (b) Ag 7 nm, thickness: 0.69 nm, (c) Ag 9 nm, thickness: 0.7 nm, (d) Ag 11 nm, thickness: 1.36 nm.

XRD 분석 결과로부터 관찰된 IGZO/Ag/IGZO 다층 박막 구조적인 특성을 확인하기 위하여 원자현미경을 통해서 박막의 표면 이미지를 측정하였다. 그림 2~그림 4는 각각 증착 조건에 따른 로이 다층 박막의 표면 형상 변화를 나타낸 AFM 사진이다. 그림 2는 산화층 단일막 IGZO의 표면 이미지를 보여주고 있다. 산화층 단일막 IGZO의 거칠기는 0.35 nm의 낮은 값으로 나타났다. 단일막의 거칠기가 낮을수록 박막의 투과도가 좋아지는 것을 판단한다.

그림 3은 로이 다층 박막의 금속층으로 은의 두께 변화에 따른 Glass/IGZO/Ag 다층 박막의 표면 거칠기를 나타낸 것이다. 은 두께가 증가함에 따라 박막의 거칠기가 0.44 nm, 0.69 nm, 0.7 nm, 1.36 nm로 증가하였다. 그림 4는 로이 다층 박막의 금속층으로 은의 두께 변화에 따른 Glass/IGZO/Ag/IGZO의 표면 거칠기를 나타낸 것이다. 로이 다층 박막의 금속층으로 은 두께가 증가함에 따라 박막의 거칠기도 0.64 nm, 0.71 nm, 0.84 nm, 1.49 nm로 증가하는 경향을 보인다. 은 두께가 5 nm, 7 nm일 때 박막의 거칠기가 낮게 나타낸 것은 은 결정이 박막 형태로 이루지 못하고 은 결정이 작은 섬으로 형성되어 IGZO 박막과 밀접하게 접합되었기 때문이다. 은 두께가 9 nm, 11 nm일 때 은 결정이 박막 형태로 이루어지고 은 레어 위에 IGZO 박막을 증착하였다. IGZO 박막 표면의 거칠기가 증가함에 따라 다층 박막의 거칠기도 증가한 것을 확인할 수 있다 [3].

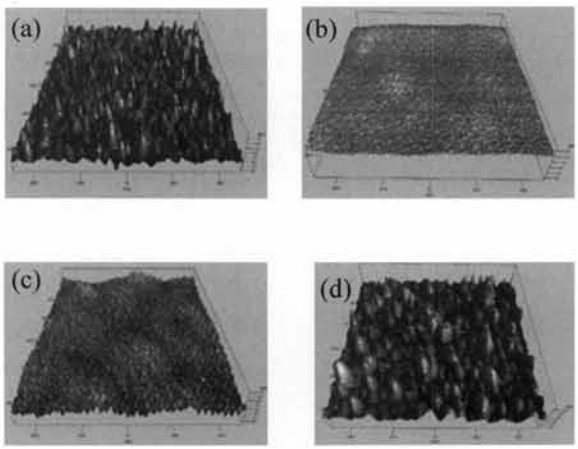

Fig. 4. AFM results of Glass/IGZO/Ag/IGZO multilayer films with various Ag thickness. (a) Ag 5 nm, thickness: 0.64 nm, (b) Ag 7 nm, thickness: 0.71 nm, (c) Ag 9 nm, thickness: 0.84 nm, (d) Ag 11 nm, thickness: 1.49 nm.

로이 다층 박막의 광학적 특성은 가시광선 영역과 근적외선 영역의 복사열을 대부분 투과시키고 장파장 IR 영역의 복사열을 반사시키게 된다. Fig. 5는 산화층 단일막 IGZO의 투과율을 보여주고 있다. 산화층을 10분 동안 증착시켰고 박막의 투과율은 95% 이상으로 높게 나타났다. 이는 단일막 IGZO의 표면 거칠기가 낮기 때문이다. 그림 6은 로이 다층 박막의 금속층으로 은 두께가 변화에 따른 Glass/IGZO/Ag 박막의 투과율 결과를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 모든 박막 가시광선 영역에서의 투과율은 80% 이상으로 나타났다. 은 두께가 5 nm, 7 nm일 때 은 결정

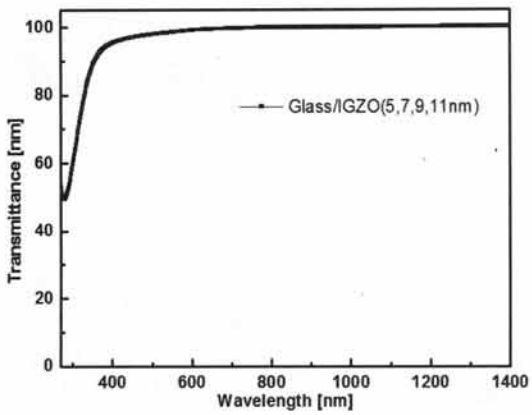

Fig. 5. Transmittance of IGZO singel films.

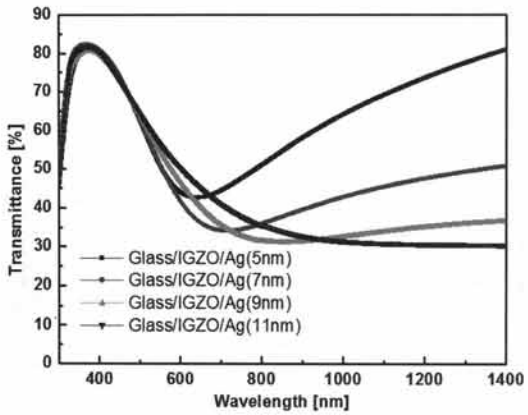

Fig. 6. Transmittance of Glass/IGZO/Ag multilayer films with various Ag thickness.

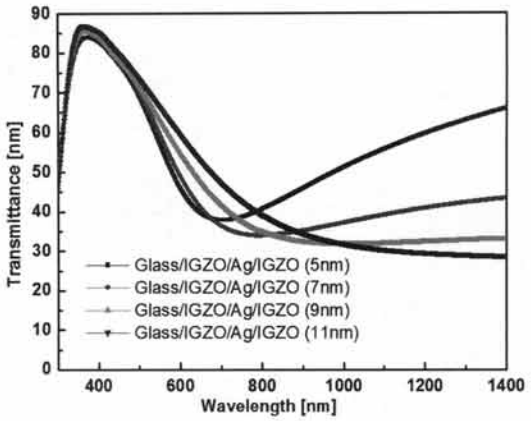

Fig. 7. Transmittance of Glass/IGZO/Ag/IGZO multilayer films with various Ag thickness.

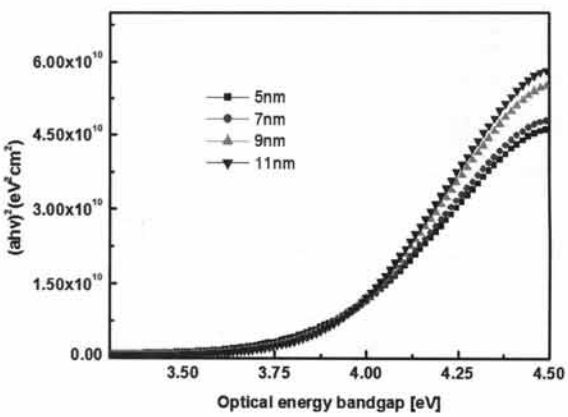

Fig. 8. Energy bandgap results of IGZO/Ag/IGZO multilayer films with various Ag thickness.

이 작은 섬으로 형성되어 로이 광학적 특성을 나타나지 못 한 반면에 은 두께가 9 nm, 11 nm일 때 은 결정이 박막 형태로 이루어지고 로이 광학적 특성이 나타난 것을 확인하였다. 장파장 IR 영역에서의 투과율은 35% 이하로 나타났다.

그림 7은 로이 다층 박막의 금속층으로 은 두께가 변화에 따른 Glass/IGZO/Ag/IGZO 다층 박막의 투과율의 변화를 나타낸 것이다. 그림 7은 그림 6보다 다층 박막의 투과율이 더 좋게 나타났다. 이는 금속 박막층 은이 대기 중에 장시간 방치되면 산화에 의한 변색이나 외부 충격에 의한 긁힘 현상으로 광학적 특성이 나빠지기 때문이다. 로이 광학적 특성을 향상시키고 금속층 은을 보호하기 위해서 최외각 층에 산화층을 증착하였다. 금속층으로 은 두께가 증가함에 따라 투과도가 좋아진 것을 확인하였다. 그림에서 보듯이 은 두께가 5 nm, 7 nm일 때 은 결정이 작은 섬으로 형성되어 결정과 결정 사이에서 결정 입계가 많이 생기기 때문에 박막의 표면에서 산란 형성을 발생되고 투과도가 낮아진다 [4]. 은 두께가 9 nm, 11 nm일 때 은 결정은 연속적인 박막 형태로 이루어져서 가시광선 영역에서의 투과율은 85% 이상으로 나타났고 장파장 IR 영역에서 30% 이하의 낮은 투과율 (또는 좋은 반사율)이 나타났다 [5-7].

그림 8은 로이 다층 박막의 금속층으로 은 두께 변화에 따른 Glass/IGZO/Ag/IGZO 다층 박막의 에너지 밴드갭을 나타낸 것이다. 은 두께가 증가함에 따라 박막의 에너지 밴드갭은 감소하는 것을 확인하였다.

이는 일반적인 IGZO의 밴드갭인 3.4 eV 보다 크게 확장된 결과로 그 이유는 삽입된 금속층으로 인해 박막으로부터 산소 이탈 현상이 증가하고, 박막 내의 산소 공공의 밀도가 높아지며, 점차 광학적으로 금속과 같이 거동함에 따라 에너지 밴드갭이 감소되기 때문이다 [8].

4. 결 론

본 연구에서는 좋은 단열 특성 및 낮은 방사율을 가지고 있는 로이 코팅 방법을 사용하여 유리 기판 위에 낮은 방사율을 가지고 있는 Glass/IGZO/Ag/IGZO 로이 다층 박막을 증착하여 금속층의 은 두께 변화에 따른 박막의 구조적 및 광학적 특성을 분석하였다. 박막은 평균 1.5 nm 이하의 낮은 거칠기의 구조적 특성을 가지며, Glass/IGZO/Ag/IGZO의 다층 구조로 증착된 박막의 투과율은 Glass/IGZO/Ag의 다층 구조로 증착된 박막의 투과율보다 좋게 나타났다. 은 두께가 9 nm, 11 nm일 때 은 결정이 연속적인 박막 형태로 이루어지고, 이때 가시광선 영역에서의 투과율은 85% 이상, 장파장 IR 영역에서의 투과율은 30% 이하로 나타났다. 이런 결과에 따라 Glass/IGZO/Ag/IGZO 다층 박막의 로이 특성을 볼 수 있었으며 이는 차후 건물의 대다수 열효율의 장애 요소인 창호의 에너지 절약 기능을 강화하는 새로운 전기가 되리라 기대한다.

감사의 글

본 논문은 한국에너지기술평가원의 에너지·자원기술 개발 사업-전략 응용기술인 "에너지 절약을 위한 그린빌딩용 로이코팅 창호 기술 개발" 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

[1] N. E. Lee, B. L. Ahn, C. Y. Jang, and S. B. Leigh, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, 32, (2012).

[2] J. H. Shin, Y. J. Cho, and D. K. Choi, *J. Kor. Inst. Met. & Mater.*, 47, 38 (2009).

[3] C. Charton and M. Fahland, *to be published in Proceedings of Conference on Plasma and Surface Engineering (PSE)* (2000).

[4] C. Sujatha, G. M. Rao, and S. Uthanna, *Mater. Sci. Eng.(A-C)*, B94, 106 (2002).

[5] S. M. A. Durani, E. E. Khawaja, A. M. Al-Shukri, and M. F. Al-Kuhaili, *Energy Build.*, 36, 891 (2004).

[6] K. H. Choi, J. Y. Kim, Y. S. Lee, and H. J. Kim, *Thin Solid Films*, 341, 152 (1999).

[7] G. Laukaitis, S. Lindroos, T. Tamulevieius, and M. Leskela, *Appl. Surf. Sci.*, 185, 134 (2001).

[8] X. Chen, W. Guan, G. Fang, and X, Z. Zhao, *Appl. Surf. Sci.*, 252, 1561 (2005).