

IGZO, ZnO, AZO OMO 구조의 Ag 두께 변화에 따른 투과율과 에너지 밴드 갭의 변화

이승민¹, 김홍배², 이상열^{2,a}

¹ 청주대학교 전자공학과

² 청주대학교 반도체공학과

Change in the Energy Band Gap and Transmittance IGZO, ZnO, AZO OMO Structure According to Ag Thickness

Seung-Min Lee¹, Hong-Bae Kim², and Sang-Yeol Lee^{2,a}

¹ Electronics Engineering, Cheongju University, Cheongju 363-764, Korea

² Semiconductor Engineering, Cheongju University, Cheongju 363-764, Korea

(Received September 15, 2014; Revised January 30, 2015; Accepted February 24, 2015)

Abstract: In this study, we fabricated the indium gallium zinc oxide (IGZO), zinc oxide (ZnO), aluminum zinc oxide (AZO). oxide and silver are deposited by magnetron sputtering and thermal evaporator, respectively transparency and energy bandgap were changed by the thickness of silver layer. To fabricate metal oxide metal (OMO) structure, IGZO sputtered on a corning 1,737 glass substrate was used as bottom oxide material and then silver was evaporated on the IGZO layer, finally IGZO was sputtered on the silver layer we get the final OMO structure. The radio-frequency power of the target was fixed at 30 W. The chamber pressure was set to 6.0×10^{-3} Torr, and the gas ratio of Ar was fixed at 25 sccm. The silver thickness are varied from 3 to 15 nm. The OMO thin films was analyzed using XRD. XRD shows broad peak which clearly indicates amorphous phase. ZnO, AZO, OMO show the peak [002] direction at 34° . This indicate that ZnO, AZO OMO structure show the crystalline peak. Average transmittance of visible region was over 75%, while that of infrared region was under 20%. Energy band gap of OMO layer was increased with increasing thickness of Ag layer. As a result total transmittance was decreased.

Keywords: IGZO, ZnO, AZO, RF magnetron sputtering, Ag thickness

1. 서론

최근 건축 트렌드를 살펴보면 남과 다른 개성 있는 디자인에 대한 소비자들의 요구가 꾸준히 증가하고 있

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

Copyright ©2015 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.

고, 이를 가장 잘 표현할 수 있는 외장재로 유리의 위치는 독보적이라고 할 수 있다. 하지만 이러한 유리는 열선(heat flux)의 투과가 용이하여 겨울에는 실내 난방열의 손실이 발생하며 여름에는 태양열이 실내로 유입되어 냉방 에너지의 손실이 일어나는 통로가 되기도 한다. 이러한 문제점은 대단위 냉난방이 필요한 중대형 건물에서 특히 부각되고 있다. 다수의 에너지 조사 보고서에 따르면 우리나라 총 에너지 소비의 25%는 건축물이 차지하고 있다. 이러한 창부분의 에너지 문제를 해결할 수 있

는 방안 중 하나가 유리의 표면에 전도성 박막 코팅을 하여 투명성은 유지하는 동시에 단열성이 우수한 Low-E (emissivity) 유리를 사용하는 것이다. Low-E 유리란 방사율 (emissivity)이 낮은 유리를 지칭하며, 유리의 표면에 전도성 금속 박막 코팅을 하여, 투명성은 유지하고 동시에 적외선만을 반사시켜 에너지의 흡수/재방사에 의한 열 손실을 원천적으로 막아주는 기능성 유리로 투명 전도 코팅의 일종이다 [1]. 그러나 우리나라에서는 유리의 단열 기준에 대해 상대적으로 관대하여 Low-E 유리 사용률은 5% 미만이었다. 하지만, 정부는 점차적으로 건축물에서 소비되는 에너지를 절약하기 위해 건축물에 대해 기술적으로 기준을 제시하고 이를 지키도록 강제하는 것을 건축물 에너지 관리의 줄기로 잡아, 건축물 자체의 에너지 효율 성능을 높임으로써 에너지 절약을 꾀하려 하였다.

본 연구에서는 에너지를 절약하기 위해서 산화물층/금속박막층/산화물층(oxide/metal/oxide, OMO) 다층 박막으로 구성된 Low-E 유리를 제작하였고, 금속 박막층의 Ag 두께 변화에 따른 Low-E 유리의 투과율과 에너지밴드 갭의 변화를 알아보았다.

2. 실험 방법

3 cm × 3 cm 크기의 Corning 1737 유리 기판 위에 RF magnetron sputtering을 이용하여 oxide layer인 a-IGZO, AZO, ZnO 박막을 각각 증착하였다.

Metal layer의 Ag는 thermal evaporation을 이용하여 증착하였다. Oxide & metal layer의 증착 조건은 표1, 2와 같다. 유리기판 표면의 오염을 제거하기 위하여 기판을 acetone, methanol, 탈 이온수(DI water)에 각각 5 min 동안 담가 초음파 세척기로 세척하였고, 질소 가스를 사용하여 건조시켰다. 건조 후에 즉시 기판을 챔버 내의 substrate holder에 장착하고, 챔버를 닫았으며, mechanical pump와 diffusion pump를 가동하여 챔버 내부의 공기를 배기시켰다. 초기 압력을 3.0×10^{-6} Torr까지 배기한 후에 MFC (mass flow controller)로 고순도의 Ar 가스를 25 sccm으로 주입하며, 밸브를 조절하여 챔버의 압력을 6.0×10^{-3} Torr로 유지시켰다. 증착 온도는 상온이며, 13.56 MHz의 RF 출력으로 플라즈마를 형성하고, 10 min 동안 pre-sputter하여 target의 오염을 제거하였다. X선 회절분석기(XRD;MAC,M03XHF)를 이용하여 증착된 박막의 결정성을 확인하였으며 광투과도는

Table 1. RF magnetron sputtering system (oxide fabrication).

Target	3 inch target 99.999%
Substrate	Glass (Corning #1737)
Target-substrate Distance [mm]	55
RF power [W]	30
Ar gas rate [sccm]	25
Base pressure of system [Torr]	$< 3.0 \times 10^{-6}$
Working pressure [Torr]	6.0×10^{-3}
Time [min]	15

Table 2. Thermal evaporator system (metal layer fabrication).

Target	Ag 99.999%
Rotate rate [rpm]	2
Voltage [V]	0.3
Thickness [nm]	5, 7, 9, 11, 13
Target-substrate Distance [cm]	20
Working pressure [Torr]	$< 6.0 \times 10^{-6}$

UV-VIS분광기(Chameleon-XR)를 사용하여 투과 스펙트럼으로 측정하였다. 이로부터 박막의 투과 특성 및 광학적 밴드 갭(optical band gap)을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1(a)는 유리 기판 위에 증착한 a-IGZO OMO Low-E 유리의 X-선 회절 패턴이다. 유리기판 위에 증착된 OMO 구조의 박막은 Bragg's 법칙 ($2d\sin\theta=n\lambda$)을 만족하는 회절피크가 없어 비정질 구조임을 확인할 수 있다. 20~34° 사이의 넓은 피크는 유리와 같은 비정질상에서 관찰되는 전형적인 halo이다. 모든 영역에서 보강적 간섭에 의한 회절 피크가 나타나지 않는 것으로부터 IGZO 박막은 결정성이 거의 없음이 확인된다.

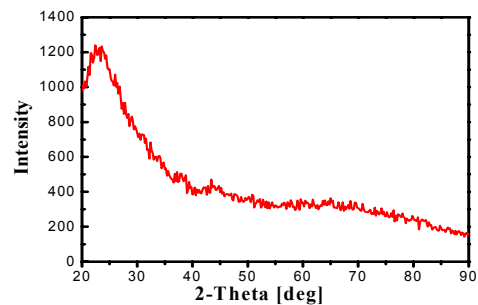


Fig. 1(a). XRD pattern of the IGZO OMO.

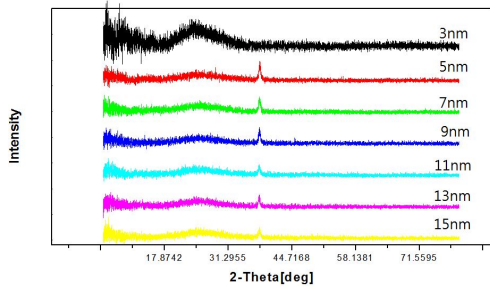


Fig. 1(b). ZnO OMO with different Ag layer thickness.

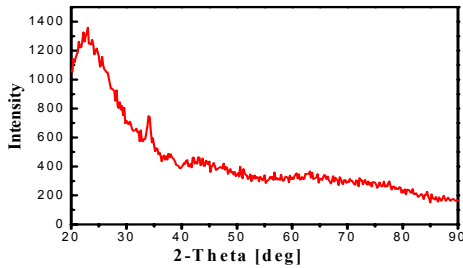


Fig. 1(c). XRD pattern of the AZO OMO.

그림 1(b), (c)는 각각 ZnO와 AZO OMO Low-E 유리의 X-선 회절 패턴이다. ZnO와 AZO OMO Low-E 유리의 경우 34° 부근에 (002)면의 ZnO 회절 피크를 확인할 수 있었다. 이로부터 ZnO와 AZO 박막은 결정상을 이루고 있음을 알 수 있다.

그림 2(a)~(c)는 metal layer 두께 변화에 따른 각 물질별 Low-E 유리의 광학적 특성을 나타낸다. Low-E 유리의 광학적 특성은 가시광선 영역과 근적외선 영역의 빛을 대부분 투과시키고 장파장 영역의 빛을 반사시키게 된다. 적외선 영역의 투과율은 metal layer 두께가 증가함에 따라 투과도가 떨어지는 경향을 보인다.

$$\lambda_p = 2\pi c \sqrt{\frac{m\epsilon_0}{ne^2}} \quad (1)$$

n- 전자 농도 [m^{-3}]

e- 전자의 전하량 = $1.6 \times 10^{-19} [C]$

m- 전자의 질량 = $9.1 \times 10^{-31} [Kg]$

ϵ_0 - 진공의 유전율 = $8.854 \times 10^{-12} [F/m]$

c- 광속도 = $2.998 \times 10^8 [m/s]$

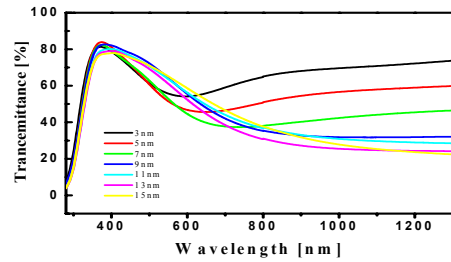


Fig. 2(a). Transmittance of the IGZO OMO.

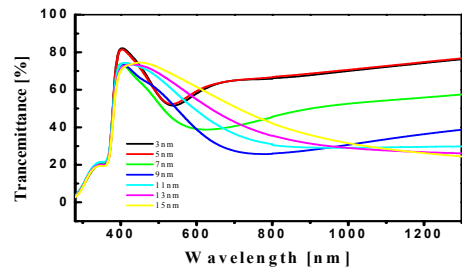


Fig. 2(b). Transmittance of the ZnO OMO.

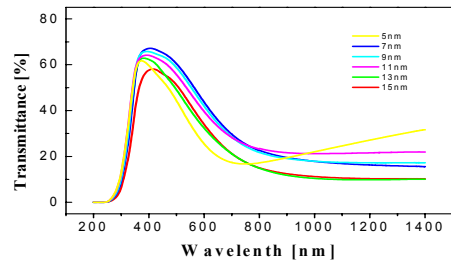


Fig. 2(c). Transmittance of the AZO OMO.

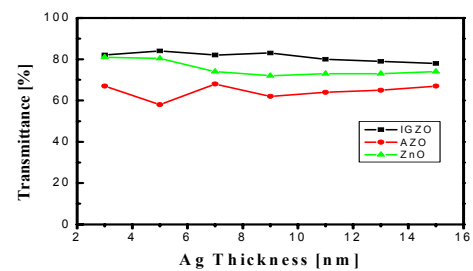


Fig. 2(d). Transmittance of IGZO, AZO, ZnO (550 nm).

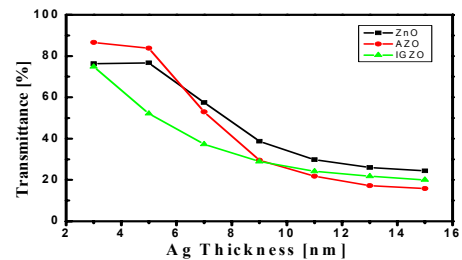


Fig. 2(e). Transmittance of IGZO, AZO, ZnO (1,100 nm).

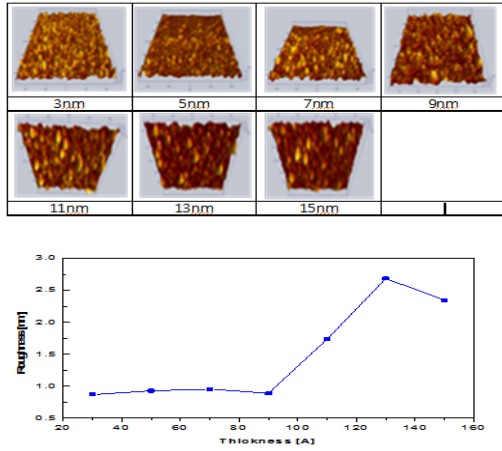


Fig. 3(a). AFM image of the IGZO OMO.

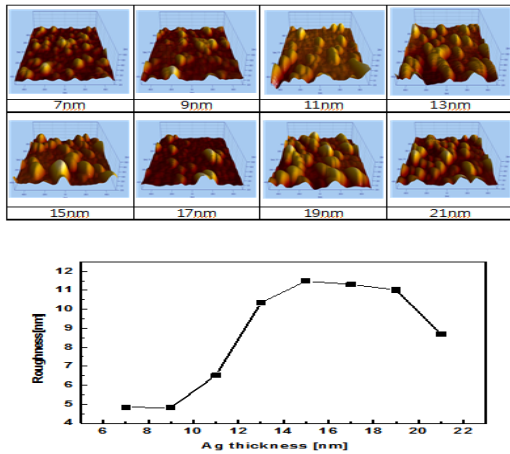


Fig. 3(b). AFM image of the AZO OMO.

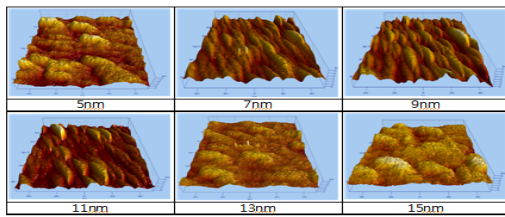


그림 14. Metal 두께에 따른 ZnO OMO AFM 이미지

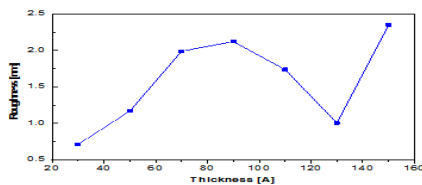


Fig. 3(c). AFM image of the ZnO OMO.

식 (1)에서 n 값을 제외한 값은 고정된 상수이며 n 값의 변화에 따라 투과되는 파장대의 λ_p 값이 변하게 된다. λ_p 는 가시광선 영역과 장파장 IR 영역에서 투과도가 감소하는 파장이다. n 값이 증가하면 λ_p 값은 감소하여 투과되는 파장대의 영역이 가시광 영역으로 쉬프트되는 것을 예측할 수 있다. Oxide layer에 증착된 물질의 농도보다 metal layer에 증착된 물질의 농도가 높다면, oxide layer의 두께를 증가시켜 확산을 유도해 n 값을 낮추는 결과를 갖는 것을 예측 가능하다.

그림 2(d)는 각 물질별 Low-E 유리의 550 nm영역에서 metal layer인 Ag의 두께 변화에 따른 투과도를 나타낸다. a-IGZO의 경우 평균 표면거칠기가 다결정 물질인 ZnO, AZO보다 낮기 때문에 박막 내부로 입사하는 빛의 산란 확률이 감소하여 가시광영역에서 Low-E 유리의 투과도가 더 높게 나타난다.

그림 2(e)는 각 물질별 Low-E 유리의 1,100 nm에서의 metal layer인 Ag의 두께 변화에 따른 투과도를 나타낸다. a-IGZO 박막의 경우 평균 표면거칠기가 낮아 적은 양의 Ag로도 metal layer가 형성되기 때문에 장파장 영역의 빛을 결정질 박막보다 더 많이 반사시키는 것을 보여주고 있다.

그림 3(a)~(c)는 각각 제작된 Low-E 유리의 표면거칠기를 측정한 결과이다. 표면거칠기는 비정질인 a-IGZO의 경우 평균 2 nm 이하로 Low-E 유리에 적용 가능한 수준이다. 제작된 Low-E 유리의 oxide 층의 두께는 각각 80 nm, 100 nm, 110 nm 정도이다.

그림 4는 식 (2)에 나타낸 것과 같이 흡수 계수 α 를 이용하여 에너지 밴드 갭을 계산한 결과이다.

$$(\alpha h\nu) = A(h\nu - E_g)^{1/2} \tag{2}$$

여기서, A 의 값은 상수이며 $h\nu$ 는 광자 에너지이다. 또한 α 는 박막의 흡수 계수로, 투과율 T 와 박막 두께 d 를 이용한 식 (3)을 통한 관계식으로 계산될 수 있다.

$$T = \exp(-\alpha d) \tag{3}$$

이때 Low-E 유리의 에너지밴드 갭은 흡수 계수 $(\alpha h\nu)^2$ 대 광자에너지 $h\nu$ 의 그래프에서 직선 구간의 접선을 연장한 $(\alpha h\nu)^2 = 0$ 인 지점의 광자에너지로 계산된다. 에너지밴드 갭은 Ag 두께가 증가함에 따라 점차 감소하게 되며 이는 투과도의 감소로 나타난다.

4. 결론

본 실험에서는 에너지 열손실을 감소시키기 위해서 유리창의 단일 성능을 향상시킬 수 있는 Low-E 유리를 제작하였다. Metal layer인 Ag의 두께는 박막의 광학적 특성에 영향을 미치며 Ag 두께의 증가는 공정 단계의 증가를 의미하기 때문에 적은양의 Ag로도 우수한 Low-E 특성을 구현하도록 하였다.

광학적 특성으로 a-IGZO의 경우 가시광 영역에서 최대 83%, 장파장 영역에서 20% 이하의 투과도를 나타내었다. 또한 Low-E 유리의 oxide layer 증착 시 다결정 ZnO보다 a-IGZO를 사용하는 것이 적은 양의 Ag를 사용하여 Low-E 특성을 구현할 때 유리하다는 것을 보여주고 있다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 청주대학교 연구장학 지원에 의한 것임.

REFERENCES

- [1] S. H. Mohamed, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, **69**, 2378 (2008).
- [2] R. L. Hoffman, B. J. Norris, and J. F. Wager, *Appl. Phys.*, **82**, 733 (2003).
- [3] J. F. Wager, *Science*, **300**, 1245 (2003).
- [4] W. T. Lim, S. H. Kim, Y. L. Wang, J. W. Lee, D. P. Norton, and S. J. Pearton, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **26** (2008).
- [5] S. Y. Kuo, K. C. Liu, F. I. Lai, J. F. Yang, W. C. Chen, M. Y. Hsieh, H. I. Lin, and W. T. Lin, *Microelectron. Reliab.*, **50**, 730 (2010).
- [6] K. Nomura, H. Ohta, A. Takagi, T. Kamiya, M. Hirano, and H. Hosono, *Nature*, **432**, 488 (2004).
- [7] H. Yabuta, M. Sano, K. Abe, T. Aiba, T. Den, H. Kumomi, K. Nomura, T. Kamiya, and H. Hosono, *Appl. Phys.*, **89**, 112123 (2006).
- [8] K. Nomura, T. Kamiya, H. Ohta, T. Uruga, M. Hirano, and H. Hosono, *Physical Review B*, **75**, 035212 (2007).
- [9] T. Iwasaki, H. Itagaki, T. Den, H. Kumomi, K. Nomura, T. Kamiya, H. Hosono, *Appl. Phys. Lett.*, **90**, 242114 (2007).
- [10] H. Kumomi, K. Nomura, T. Kamiya, and H. Hosono,

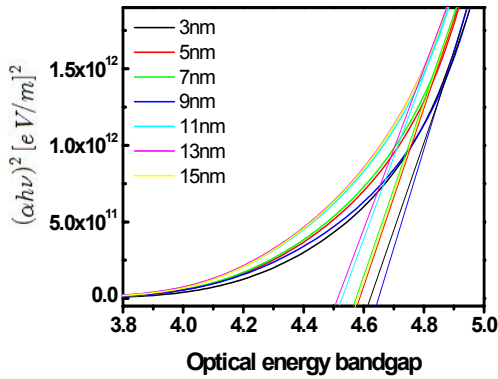


Fig. 4(a). Band-gap image of IGZO OMO.

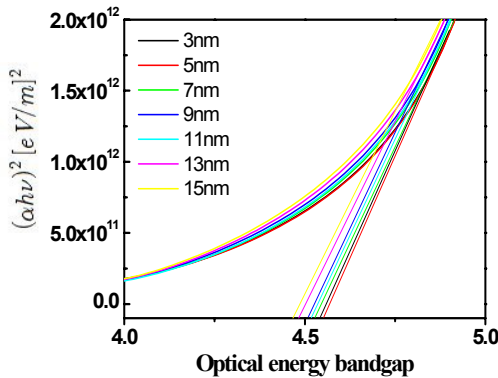


Fig. 4(b). Band-gap image of ZnO OMO.

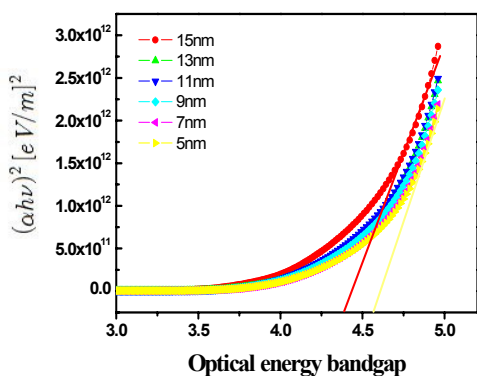


Fig. 4(c). Band-gap image of AZO OMO.

계산된 광학 Eg은 제작된 Low-E 유리의 결보기 값이며 산화물의 광학 Eg을 의미하지 않는다.

- Thin Solid Films*, **516**, 1516 (2008).
- [11] N. Itagaki, T. Iwasaki, H. Kumomi, T. Den, K. Nomura, T. Kamiya, and H. Hosono, *Phys. Stat. Sol.*, **205**, 1915 (2008).
- [12] H. Hosono, *Journal of Non-Crystalline Solids*, **352**, 851 (2006).
- [13] A. Suresh, P. Gollakota, P. Wellenius, A. Dhawan, and J.F. Muth, *Thin Solid Films*, **516**, 1326 (2008).
- [14] X. Chen, W. Guan, G. Fang, and X. Z. Zhao, *Appl. Surf. Sci.*, **252**, 1561 (2005).