

Low-e용 산화물 다층박막 IGZO/Ag/IGZO의 구조적, 광학적 특성 분석

왕흥래¹, 김홍배², 이상렬^{2,a}

¹ 청주대학교 전자공학과

² 청주대학교 반도체공학과

Structural and Optical Properties of Multilayer Films of IGZO / Ag / IGZO for Low Emissivity Applications

Hong Rae Wang¹, Hong Bae Kim², and Sang Yeol Lee^{2,a}

¹ Department of Electronic Engineering Cheongju University, Cheongju 360-764, Korea

² Department of Semiconductor Engineering Cheongju University Cheongju 360-764, Korea

(Received January 28, 2013; Revised March 24, 2013; Accepted March 24, 2013)

Abstract: In this study, The RF magnetron sputter and evaporator was on glass substrates 30 mm × 30 mm OMO multilayer thin film structure is applied to the low-e. Structural and optical properties, a thin film was produced, the variable was placed into a variable deposition time of the oxide layer. According to the XRD measurement results there is no peak that satisfies the Bragg's law ($2d\sin\theta = n\lambda$) which confirmed that it is an amorphous structure. RMS value of the results of the AFM measurement, has a roughness of less than 2 nm. transmittance measurements results, visible light region an average 80%, IR region 40% showed.

Keywords: Low-e, Oxide, Multilayer, OMO, IGZO/Ag/IGZO

1. 서론

OMO (oxide-metal-oxide) 구조는 두 개의 산화물 층과 하나의 메탈 층으로 구성이 되어있다. 이 구조는 organic solar cell이나 TCO 등의 여러 가지 분야에 연구되어 새로운 유리 코팅인 low-emissivity, flat

panel display, organic light-emitting diodes 등 매우 낮은 시트저항을 갖으며 높은 투과율을 보이는 것을 OMO 박막의 광학적, 전기적 특성 변화에 대해 증명됐다 [1-5]. 또한 1.43 eV의 밴드갭을 가지고 있는데 밴드갭 이상의 에너지를 가지고 있는 가시광이 비취지면 가전자대의 전자가 전도대로 여기되는 현상으로 빛 에너지가 손실되고, 이로 인해 투과되는 빛 에너지가 줄어들게 되는 반면 산화물 반도체는 3.1 eV 이상의 높은 밴드갭을 가지고 있어 가시광의 흡수가 일어나지 않고 투과되어 투명한 박막제작에 용이하다 [6].

본 연구는 OMO 박막의 산화물 층의 증착 시간에 따른 특성에 대해 연구했다.

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.

2. 실험 방법

본 연구에서는 알에프 마그네트론 스퍼터 (RF magnetron sputter)을 이용하여 유리기판 위에 OMO 구조의 상부와 하부층은 In:Ga:ZnO (1:1:1 mol%)의 조성비로 조성된 2인치 타겟으로 박막을 증착하였으며, 메탈 (metal)층은 이베퍼레이터 (evaporator) 장비를 이용하여 은(Ag) (99.999%)을 증착하였다. 준비된 유리기판은 30 mm × 30 mm 크기를 아세톤, 메타올, 증류수 순으로 각각 5분 간 초음파 세척을 하였으며, 질소 가스를 이용 물기를 제거하고, 약 3분 간 150℃에서 가열 후 즉시 스퍼터 내부에 장착하였다. 초기 진공은 3.0×10^{-6} Torr 이하로 유지하였고, 공정 진공은 3.0×10^{-6} Torr에서 증착을 하였다. 박막 증착 시 반응 가스로는 Ar gas를 사용하였으며, 실험 변수로는 상부와 하부의 산화물 증착 시간을 5, 7, 9, 11분의 변수를 주어 실험을 진행하였다. 모든 박막의 메탈층인 은 (Ag)을 이베퍼레이터의 증착막 두께계 (thickness monitor)로 100 Å으로 고정시켜 증착하였다.

표 1은 증착시간에 따른 OMO의 두께가 나타나있다. 제작된 박막은 저 방사율 (low-e) 활용을 위하여 구조적, 광학적 특성 변화를 관찰하였다.

Table 1. The thickness of the oxide layer by deposition time.

Deposition time[min]	5	7	9	11
Thickness [nm]	31	34	38	44

단면의 미세구조를 확인하기 위해 FE-SEM (WUPRA 60/Carl Zeiss) 측정을 하였으며, 박막의 결정성 및 배향성을 판단하기 위해 XRD (SmartLab/RIGAKU) 측정을 하였다. 표면의 거칠기는 AFM (dimension V/Veeco)를 사용하여 측정 후 박막의 특성을 비교 분석하였다. 가시광 영역에서의 광학 투과도는 UV/Vis-NIR spectrophotometer (V-670/JASCO)를 사용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

유리기판 위에 증착된 OMO구조 박막의 결정성은 XRD에 의해 분석되었다.

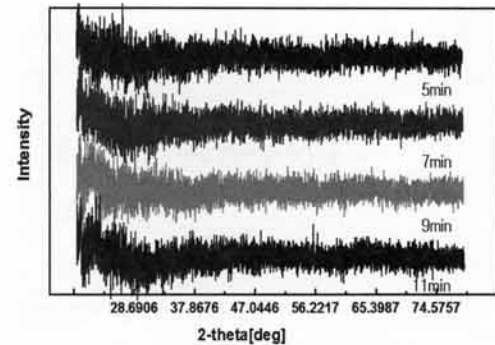


Fig. 1. XRD patterns due to the deposition time. (IGZO/Ag/IGZO).

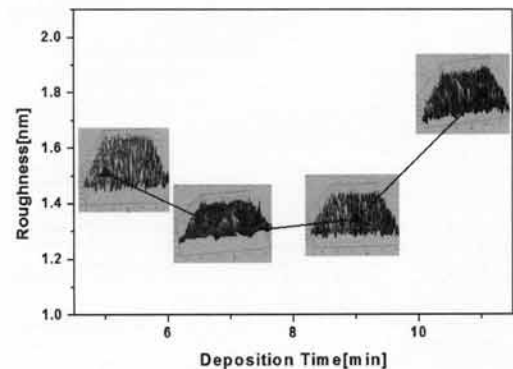


Fig. 2. RMS roughness due to the deposition time (IGZO/Ag/IGZO).

그림 1은 OMO 구조의 XRD 패턴을 보여주며, 모든 박막은 Bragg's 법칙 ($2d\sin\theta = n\lambda$)을 만족하는 피크가 없어 비정질 구조임을 확인할 수 있었다 [7].

그림 2는 증착 시간에 따른 OMO 박막의 표면 현상을 나타낸 AFM 표면 및 평균값이다. 그림을 통하여 결정립들이 조밀하게 성장함을 확인할 수 있다. 증착 시간이 증가함에 따라 거칠기는 다소 증가하는 경향을 보이는데, 이는 스퍼터링된 이온들이 증착 시간이 증가함에 따라 박막에 데미지를 입어 거칠기가 증가한 것으로 예상된다. 거칠기는 최소 0.384 nm, 최대 1.954 nm로 측정되었으며, 저 방사율 (low-e)에 응용 가능한 수준이다.

그림 3은 증착시간에 따른 OMO 박막의 광학적 특성을 나타내며 UV-VIS 분광광도계를 사용하여 250 ~ 1,200 nm 파장 영역에서 광학적 투과율을 측정하는 것이다. 투과도 측정 결과 박막은 최대 88%의 투과도를

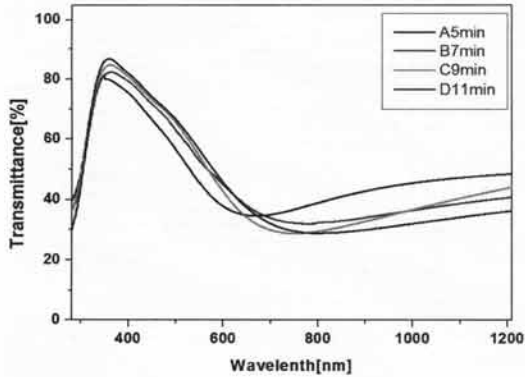


Fig. 3. Transmittance due to the deposition time.

나타내었으며, 자외선 영역은 약 40% 이하의 투과율을 보여주고 있다. 이러한 투과율의 변화는 SPR (surface plasmon resonance) 현상으로 설명할 수 있다. SPR은 메탈 층과 산화물 층 계면사이에서 일어나는 공명현상을 말한다. 즉 음의 유전함수를 갖는 금속과 양의 유전함수를 갖는 매체의 계면을 따라 전파되는 전도대 전자들의 집단적인 진동운동 현상을 말한다 [8]. SPR 현상이 지속적으로 계면 사이에 일어나게 되면 가시광 영역의 파장은 투과를 시키게 되며, 적외선 영역대의 파장은 반사를 하게 된다. 수식 1은 SPR의 E_p 에 대한 수식을 λ_p 로 변환시킨 수식이다.

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

- n - 전자 농도
- e - 기본 전하 [1.6 × 10⁻¹⁹]
- m - 전자의 질량 [9.11 × 10⁻³¹]
- ϵ_0 - 진공의 유전율 [8.85 × 10⁻¹²]
- c - 광속도 [3.0 × 10⁸]

여기서 n은 전자의 농도를 의미한다. 전자의 농도는 박막의 두께가 두꺼워질수록 증가됨을 예측할 수가 있다. 하지만 산화물 층인 IGZO의 경우 은 (Ag) 보다 농도가 낮기 때문에 산화물 층이 두꺼워질수록 오히려 농도는 반대로 줄어들게 됨을 예측할 수 있다. 즉, 그림 3에서 보는 바와 같이 산화물 두께가 증가함에 따라 투과도가 적외선 영역대로 쉬프트됨을 확인할 수 있다.

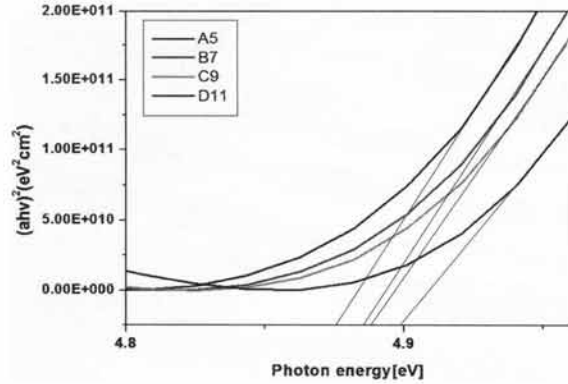


Fig. 4. The optical energy band gap due to the deposition time (IGZO/Ag/IGZO).

그림 4는 그림 3의 투과도를 광학적 에너지 밴드갭으로 나타내었으며, 다음과 같은 수식을 이용하여 에너지 밴드갭을 구하기 위한 특성 곡선을 나타내었다 [9].

$$(\alpha hv) = A(hv - E_g)^{1/2} \quad (2)$$

여기서 A의 값은 상수, hv는 광자 에너지 (photon energy)이며, α 는 박막의 흡수 계수로, 각 시편의 투과율 (T)와 박막 두께 (d)를 식 (2)에 적용하여 계산하였다.

$$T = \exp(-\alpha d) \quad (3)$$

광학적 밴드갭은 곡선의 선형 영역으로부터 외삽 (extrapolation)한 직선이 hv축과 교차할 때의 값으로부터 얻어진다. E_g 은 증착시간 증가에 따라 소량 증가하는 경향은 있으나 크게 변화하진 않았다. 홀 측정 결과 모든 박막에서 전기적 특성은 보이지 않았다.

4. 결론

RF magnetron sputter와 evaporator 장비를 이용하여 상온에서 OMO 구조를 제작하였다. OMO 구조의 결정학적 특성이 비정질에 가까운 것을 FESEM과 XRD 결과를 통하여 확인할 수 있었다. 모든 박막의 두께는 2 nm 이하의 거칠기, 가시광 영역에서 약 80% 이상의 투과율, 적외선 영역에서 40% 이하의 투

과율을 보였다. E_g 는 4.87~4.90을 갖는 것을 확인하였다. 산화물 층의 증착시간이 증가함에 따라 거칠기와 투과도도 같이 증가하였으며 좋은 특성을 나타내는 시간은 11분으로 판단된다. 다른 박막에 비해 다소 높은 거칠기를 갖고 있다고 판단되나 가시광 영역에서 가장 높은 투과도를 갖고 있으며 적외선 영역에서 가장 낮은 투과율을 갖고 있기 때문이다. 모든 박막은 low-e분야에 응용 가능한 수준으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원 [20102020100440]의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

REFERENCES

- [1] C. Guillén and J. Herrero, *Sol. Energ. Mater. Sol. Cells*, **92**, 938 (2008).
- [2] J. A. Jeong and H. K. Kim, *Sol. Energ. Mater. Sol. Cells*, **93**, 1801 (2009).
- [3] E. Ando and M. Miyazaki, *Thin Solid Films*, **392**, 289 (2001).
- [4] K. H. Choi, Y. Y. Choi, J. A. Jeong, H. K. Kim, and S. Jeonb, *Electrochem. Solid-State Lett.*, **14**, H152 (2011).
- [5] H. K. Park, J. A. Jeong, Y. S. Park, S. I. Na, D. Y. Kim, and H. K. Kim, *Electrochem. Solid-State Lett.*, **12**, H309 (2009).
- [6] D. P. Notron, *Mat. Sci. Eng.*, **43**, 139 (2004).
- [7] N. Kawasaki, Y. Kubozo, H. Okamoto, A. Fujiwara, and M. Yamaji, *Appl. Phys. Lett.*, **94**, 043310 (2009).
- [8] Junxi Zhang, Lide Zhang, and Wei Xu, *Appl. Phys.*, **45**, 113001 (2012).
- [9] X. Chen, W. Guan, G. Fang, and X. Z. Zhao, *Appl. Surf. Sci.*, **252**, 1561 (2005).