

RF magnetron sputtering 법으로 증착된 GZO와 ZnO 박막의 광학적 특성

황보수정¹ · 전훈하¹ · 김금채¹ · 이지수¹ · 김도현¹ · 최원봉² · 전민현^{1*}

¹인제대학교 나노 메뉴팩처링 연구소 나노시스템공학과, 김해 621-749

²Department of Mechanical and Materials Engineering, Florida International University, Miami, FL 33156, USA

(2007년 9월 21일 받음)

상온에서 RF magnetron sputtering 을 이용하여 10nm에서 50nm 의 두께를 가지는 ZnO 와 GZO 를 유리 기판위에 증착하여 두 물질 간의 구조적 특성과 광학적 특성을 평가하였다. 구조적인 특성은 투과전자현미경 (TEM) 과 주사전자현미경 (SEM) 을 통해 이루어졌다. 광학적 특성 평가는 spectrophotometer를 이용하여 UV-VIS-NIR 영역에 관한 투과도를 측정하였다. ZnO의 결정크기가 GZO보다 상대적으로 더 크게 나왔으며 이는 결정 경계면에서 발생하는 광산란을 줄임으로서 투과도의 향상을 가져왔다. 투과 전 영역에서 ZnO의 투과도가 더 높게 나왔으며, 특히 50nm 박막의 경우 ZnO 의 투과도가 GZO 보다 20% 이상 더 뛰어난 것을 확인 할 수 있었다.

주제어 : ZnO, GZO, 주사전자현미경, 투과전자현미경, 투과도

I. 서 론

전도성 투명 전극은 디스플레이 산업 분야에서 중요한 부분을 차지하고 있다 [1]. 주로 가시광선 영역 (380~780nm)에서 낮은 저항도(resistivity), 높은 투과도(transmittance), 그리고 매끄러운 박막 표면을 얻기 위해서 활발한 연구가 진행되고 있다 [2,3]. 낮은 저항도와 가시광선 파장 영역에서 높은 투과를 가져야하는 투명전극은 최근에 태양전지, 발광다이오드 그리고 액정 표시장치 등의 여러 산업 분야에서 응용되고 있다. 현재 투명 전도막으로써 산업 전반에 널리 사용되고 있는 물질은 ITO 박막이다. 그러나 재료의 고갈성과 높은 가격 및 열처리 과정 등의 단점으로 인해 최근에 ZnO 라는 전도성 투명전극에 대한 많은 연구가 진행되고 있다[4,7,9,10]. 이러한 박막의 전기적, 광학적 특성은 박막의 결정화 정도, 결정의 크기, 밀도 등의 박막의 구조적인 특성과 박막 내의 성분비의 차이에 의해 결정된다. 최근에는 전기전도도를 향상시키기 위해 불순물을 도핑한 AZO, GZO, FZO 등이 광범위하게 연구되어 지고 있다. 그 중에서도 가장 많은 주목을 받고 있는 것이 Ga doped ZnO (GZO) 이다. 이는 Ga-O (1.92Å) 과 Zn-O (1.97Å) 의 결합길이가 아주 비슷하여 [4] Ga 원자가 ZnO 결정내부에서 가장 적은 변형을 일으

키기 때문이다. 불순물이 도핑된 ZnO 의 경우의 비저항 값은 약 $10^{-4}\Omega\text{cm}$ 이며, 순수한 ZnO 의 비저항 값은 약 $1.5\times 10^{-4}\Omega\text{cm}$ 이다 [4,5,11,12]. 도핑된 ZnO 의 비저항 값이 더 낮기는 하지만 순수한 ZnO 의 경우 광소자로 이용되기 위한 박막표면의 거칠기와 전기적, 광학적 특성이 충분하다. 특히 광학적 응용에 있어 박막의 구조적, 광학적 성질은 기판온도, 두께, 도핑 물질 등에 따라 결과에 많은 변화가 일어난다 [6-10]. 그 중에서도 두께에 따라 소자의 광학적 성질이 급격히 변하게 되므로, 이상적인 두께 값을 찾아내는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 RF magnetron sputtering을 이용하여 ZnO 와 GZO를 유리기판위에 증착하였다. 증착된 박막은 투명 전극으로 적용될 경우 공정 단가와 소자의 결합을 줄이기 위해 어떠한 후처리 공정이나 증착 중 열처리를 실시하지 않았으며 상온에서 모든 공정이 이루어졌다. 박막의 구조적인 특성과 광학적인 특성을 평가하기 위해 투과전자현미경 (TEM), 주사전자현미경 (FE-SEM), spectrophotometer을 사용하였다.

II. 실험방법

RF power를 75W로 유지하여 아르곤 가스 분위기 하에서 유리기판 위에 ZnO 와 GZO 박막을 증착시켰다. 타겟은

* [전자우편] mjeon@inje.ac.kr

원형의 2인치 크기이며 GZO 의 경우 여러 연구 문헌들을 참고로 적절한 성분비인 Ga 1%wt이 첨가된 타겟을 사용하였고 ZnO는 99.99%의 순수 ZnO 가 사용되었다. 박막의 두께에 대한 선택은 100nm 이하로 하였는데 이는 광소자에 쓰이는 박막의 두께인 100nm 이하에서 일어나는 광학적, 전기적 특성을 분석하기 위함이다. 또한 박막의 두께가 두꺼워짐에 따라 광소자로 적합한 성질이 점차 사라지기 때문이다.

본 실험에서는 ZnO와 GZO의 두께를 10nm, 35nm, 50nm 세 가지의 두께에 다른 특성을 분석하였으며, 자세한 증착 실험조건은 표 1 에 나타내었다.

표 1. 100nm 이하의 두께를 가지는 박막을 증착시킨 세부 실험 조건

파라미터	증착조건
RF 파워	75W
분위기 가스	아르곤
공정압력	5mtorr
두께	10nm/35nm/50nm
온도	상온

각각의 박막에 대한 구조적 분석을 통하여 광학적 특성과 연관 짓기 위해 결정크기와 표면 거칠기는 TEM과 SEM 을 이용하였으며, 최종적으로 광학적 특성평가를 위해 spectrophotometer 를 이용하여 투과도를 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

그림 1은 100nm 두께를 가지는 ZnO와 GZO 의 결정도를 분석하기 위해 찍은 TEM 의 회절패턴이다. 그림1 에서 보듯이 두 경우 모두 다결정상태로 증착이 이루어 졌다. 결정 성장의 방향각 분포도 또한 ZnO가 일정한 방향으로 뚜렷이 성장 하였음을 확인 할 수 있다. 본 논문에는 생략하였으나 XRD 측정을 통해 나타나는 intensity peak 위치가 (002) 방향에서 가장 강하게 나타났으며 이 방향으로 결정 성장이 우수하게 배양되었음을 확인 할 수 있다. 이는 TEM 측정을 통한 회절 패턴상의 분포도와 비교하여 볼 때 증착된 GZO와 ZnO 박막이 단일 결정에 가까운 다결정 상태로 증착되었음을 비교 확인할 수 있는 측정 결과이다.

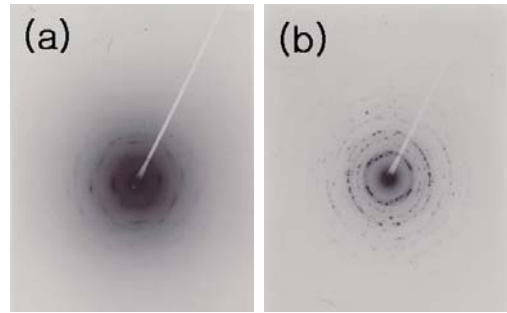


그림 1. 결정 상태를 측정하기 위한 ZnO (a) 와 GZO (b) 의 TEM 회절패턴

그림 2는 100nm 두께를 가지는 ZnO 와 GZO 박막의 표면 상태를 SEM 으로 관찰한 이미지이다. GZO 의 결정크기가 ZnO 보다 전체적으로 작은 것을 확인 할 수 있다. 또한 그림 2에 각각 삽입된 ZnO 와 GZO 의 AFM 측정 결과에서 ZnO 의 결정 크기는 평균 20~30nm, GZO 는 10~15nm 로 ZnO 의 결정 크기가 2배 이상 큰 것으로 나타났다. 이 결과는 XRD와 TEM 측정에서 분석한 결과와 거의 일치하

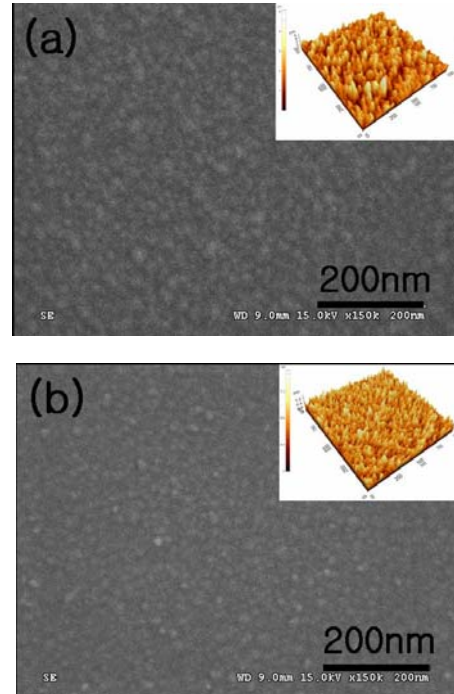


그림 2. 표면거칠기와 결정크기를 비교하기 위한 ZnO (a) 와 GZO (b) 의 SEM 이미지와 AFM 이미지

는 것을 보여준다. 결과적으로 결정의 크기는 투과도 평가에서 결정경계 산란 정도가 결정이 커짐에 따라 감소하게 된다. 이러한 관계로 인해 ZnO의 투과도가 GZO 박막보다 우수함을 예측할 수 있으며 투과도 측정결과와 일치함을 확인하였다.

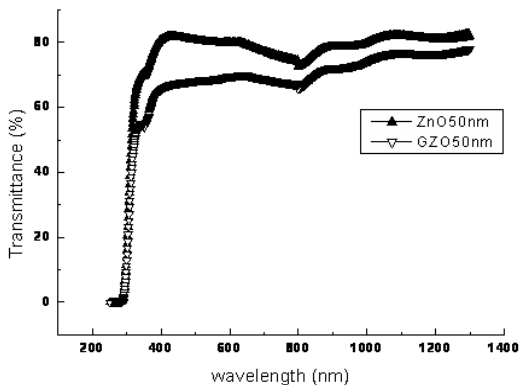
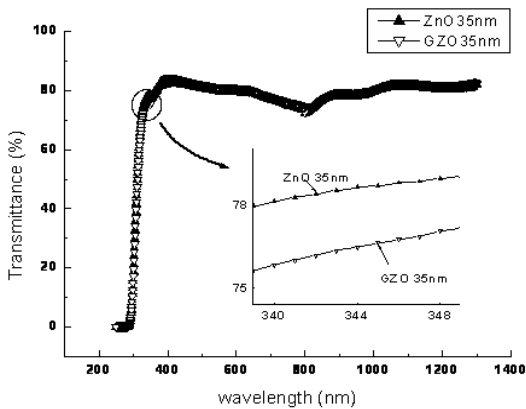
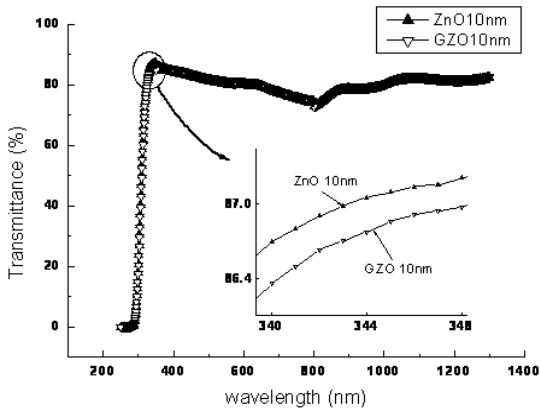


그림 3. 유리를 base-line 으로 하여 측정한 UV-VIS-NIR 영역 파장에 대한 투과도(a)10nm-1%차이,(b)35nm-4% 차이,(c)50nm-20%이상 차이

그림 3은 증착두께가 10nm(a), 35nm(b) 50nm (c) 인 ZnO 와 GZO의 투과도를 나타낸 측정 결과이다. 측정결과, 두께가 점점 두꺼워 짐에 따라 두 물질사이의 투과도 차이가 점점 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 또한 투과도 곡선에서 나타나는 간섭무늬는 박막 표면의 높은 반사율과 박막 내에서의 산란손실이나 흡수손실이 많지 않음을 나타내어주는 것이다. 그림 3(a)의 경우 모든 구간에서 투과도가 서로 비슷해 보이지만 400nm 부근에서 약 1%정도 ZnO 가 높은 것을 볼 수 있으며 그림 3(b)에서는 그 차이가 약 3~4%, (c)에서는 약 20% 이상 차이가 나는 결과를 얻었다. 이 결과는 결정크기가 클수록 투과도가 좋다는 기존의 경향과 일치함을 나타내어 주는 결과이다.

IV. 결 론

박막 증착 시 이루어진 모든 공정을 상온에서 수행하여 (002)에 대한 우수한 결정성을 가지는 다결정 ZnO와 GZO 박막을 성장시켰다. ZnO 와 GZO 박막을 두께를 달리하여 증착시킨 후 각 두께에 대한 투과도 측정에서 ZnO의 투과도가 전체적으로 GZO 보다 높게 나왔다. 특히 50nm의 경우에는 ZnO의 투과도가 10nm, 35nm의 경우와는 달리 GZO의 투과도보다 20%이상 높게 나왔다. 이는 ZnO의 평균적인 결정크기가 GZO의 결정크기가 보다 2배정도 크게 측정이 되었으며 이로 인해 결정면에서 생겨나는 광산란을 감소시킴으로서 투과도의 향상을 보이는 것으로 결론지을 수 있다. 또한 투명 디스플레이 소자의 채널로 사용되는 ZnO와 GZO 박막 물질의 경우 소자의 전기적 효율과 광학적 특성을 위해 100nm 이하의 박막 두께가 요구되는데 본 실험의 결과는 채널 응용에 있어 광학적 특성을 이해하는데 도움이 될 것이다.

감사의 글

본 논문은 2004년도 인제대학교 학술연구조성비 보조에 의한 것임.

참고 문헌

- [1] T. Minami, T. Miyata, Y. Ohtani, and T. Kuboi, Phys. Stat. Sol. **1**, 31-33 (2007).
- [2] T. Minami, MRS Bull. **25**, 38 (2000).
- [3] T. Minami, Semicond. Sci. Technol. **20**, S35 (2005).
- [4] C. Bundesmann, N. Ashkenov, M. Schubert, D. Spemann, T. Butz, E.M. Kaidashev, M. Lorenz, and M. Grundmann, Appl. Phys. Lett. **83**, 1974 (2003).
- [5] K. Ellmer, J. Phys. D : Appl. Phys. **34**, 3097-3108 (2001).
- [6] T. Matsumoto, H. Kato, K. Miyamoto, M Sano, and T. Yao, Appl. Phys. Lett. **82**, 1231 (2002).
- [7] M. Zerdali, S. Jamzaoui, F J. Teherani, and D. Rogers, Mater. Lett. **60**, 504 (2006).
- [8] T. W. Kim, K. D. Kwack, J. K. Kim, Y. S. Yoon, J. H. Bahang, and H. L. Park, Solid State Commun. **127**, 4376 (2003).
- [9] I. S. Kim, S. J. Heong, S. S. Kim , and B. T. Lee, Semicond. Sci .Technol.**19**, L29 (2004).
- [10] K. Keem, J. Kim, G. T. Kim, J. S. Lee, B. Min, K. Cho, M. Y. Sung, and S. Kim, Appl. Phys Lett. **84**, 4376 (2004).
- [11] E. J. Egerton, A. K. Sood, R. Singh, Y. R. Puri, R. F. Davis, J. Pierce, D. C. Look and T. Steiner, J. Electronic Materials. **34**, 949 (2005).
- [12] J. Hu and R. G. Gordon, Sol. Cells. **30**, 437 (1991).
- [13] B. H. Choi, H. B. Im, J. S. Song and K. H. Yoon, Thin Solid Films. **193**, 712 (1990).

The optical properties of GZO and ZnO thin films deposited by RF magnetron sputtering

S.J. Hwangboe¹, H.H. Jeon¹, G.C. Kim¹, J.S. Lee¹, D.H. Kim¹, W.B. Choi², M.H. Jeon^{1†}

¹*Department of Nano Systems Engineering, Center for Nano Manufacturing,
Inje University, Gimhae 621-749*

²*Department of Mechanical and Materials Engineering, Florida International University,
Miami, FL 33156, USA*

(Received September 21 2007)

Zinc oxide (ZnO) and Ga doped zinc oxide (GZO) with different thickness in range of 10nm to 100nm are prepared on glass substrate by RF magnetron sputtering at room temperature. The structural and optical properties of the thin films is evaluated. The structural properties of ZnO and GZO are investigated by Tunneling Electron Microscopy (TEM) and scanning electron microscopy (SEM). Optical properties are also investigated by UV-VIS-NIR spectrophotometer (200~1400nm). The much larger grain size of ZnO compared to GZO decreased the light scattering at the grain boundary and improved the transmittance. The transmittance of ZnO is higher than that of GZO through all of the ranges of wavelengths. In case of over 50nm, we found that the transmittance of ZnO is 20% higher than that of GZO.

Keywords : ZnO, GZO, SEM, TEM, transmittance

*[E-mail] : mjeon@inje.ac.kr