

RF-스퍼터링의 POWER 변화에 따른 플라스틱 기판 위에 증착된 ZnO 박막의 구조적, 광학적, 전기적 특성

김준제* · 이주영* · 이종훈* · 장보라** · 김홍승***

* 한국해양대학교 반도체 물리학과 대학원 ** 한국해양대학교 반도체 물리학과 *** 한국해양대학교 나노반도체 학과 교수

The Effects of RF Sputtering Power on the Structural, Optical and Electrical Properties of ZnO Films

Jun-Je Kim* · Ju-Young Lee* · Jong-Hoon Lee* · Bo-La Jang** · Hong-Seung Kim***

*Graduate school of Semiconductor Physics, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**Dept. of Semiconductor Physics, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

***Dept. of Nano-Semiconductor Engineering, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 상온에서 RF-마그네트론 스퍼터링의 파워를 변화시키는 방법으로 PC(polycarbonate), PES(polyethersulphone) 기판 위에 ZnO 박막을 증착 하였다. 100 W에서 200 W까지의 스퍼터링 파워변화에 따른 플라스틱 기판위의 ZnO박막의 구조적, 광학적, 전기적 특성들이 조사되었다. XRD측정에서는 기판의 종류와 관계없이, 플라스틱기판 위의 모든 ZnO박막에서 hexagonal구조의 (002)면 우선배향 증착 되는 것을 보였다. 구조적으로는 스퍼터링 파워 175 W에서 증착된 ZnO박막이 가장 우수한 특성을 나타냈으며, 100 W에서 증착된 ZnO박막이 가시광 영역에서 85 %이상의 광투과율을 보여 안정된 광특성 및 선형적인 전기 전도성을 보였다.

핵심용어 : ZnO, 폴리카보네이트, 폴리에테르술폰, 스퍼터링 파워

ABSTRACT : Zinc oxide (ZnO) films were deposited on polycarbonate (PC) and polyethersulphone (PES) substrates by R.F. magnetron sputter at room temperature. The effects of sputtering power in the range from 100 W to 200 W on the structural, optical and electrical properties of ZnO films on plastic substrates were investigated. Regardless of substrate types, the XRD measurements revealed that all of the ZnO films on plastic substrate had (0 0 2) preferred orientation associated with the hexagonal phase. While the most excellent ZnO film on the structural properties was obtained in the condition of sputtering power at 175 W, the ZnO films deposited around 100 W showed stable optical transmittance over 85 % in the visible range and linear electrical conductance.

KEY WORDS : ZnO, PC, PES, sputtering power

1. 서 론

최근에 ZnO 박막은 우수한 전기적, 광학적 특성들로 인해 차세대 전자, 광학장치 및 태양전지, 센서, 디스플레이를 포함한 정보기술 디바이스의 제작에 있어서 매우 주목받고 있다[1][2]. 근래에는 진성 ZnO가 트랜지스터의 활성층 채널로써 적용이 가능하여 투명한 산화물 반도체로써 활용될 수 있다[3]-[5]. ZnO는 비정질 유리기판과 플라스틱 기판을 포함한 여러 가지

기판위에 상대적으로 저온증착 온도로 결정성장이 가능한 몇 안되는 산화물중 하나이다. 게다가, 비정질 실리콘 TFTs와 다 결정 실리콘 TFTs와는 다르게, 3.4eV의 넓은 직접천이형 밴드 갭을 가지는 ZnO 박막은 가시광 노출로 인한 기능이 저하되지 않으므로, 가시광으로부터 채널층을 보호할 필요가 없다. ZnO 박막증착은 스퍼터, 화학적 기상법, 진공증착, 분무열분해와 같은 매우 다양한 방법이 이용되었다[6]-[8]. 그 중에서 가장 보편적으로 사용되는 기술은 상대적으로 매우 저렴하고 낮은 기판

* sherajard@nate.com

** jbl117@naver.com

***hongseung@hhu.ac.kr

온도에서도 우수한 박막성장이 가능한 이점을 가진 RF 마그네트론 스퍼터법이다. 폴리머 기판위에 박막을 증착하기 위해서는 상온과 같은 매우 낮은 기판온도가 요구된다. 그러므로 RF 스퍼터를 이용하여 고품질의 ZnO 박막을 얻기 위하여서는 RF 스퍼터파워, 증착압력, 가스등과 같은 여러 가지 중요 파라미터 등의 적절한 조절이 요구된다. 본 연구에서는 상온에서 다양한 플라스틱 기판위에 ZnO 박막을 증착시켰다. 그리고 RF 스퍼터 파워에 따른 ZnO 박막의 구조적, 광학적, 전기적 특성들을 조사하였다. 또한 RF 스퍼터의 파워와 여러 종류의 폴리머 기판과의 관계에 관하여 논의하였다.

2. 실험

본 실험에서는 RF-마그네트론 스퍼터를 이용하여 PC(PolyCarbonate), PES(PolyEtherSulphone)과 같은 플라스틱 기판 위에 ZnO(4N)을 타겟으로 사용하여 상온에서 ZnO박막을 증착하였다. 증착하는 동안 챔버 내의 Ar가스의 유량은 55 sccm, 진공도는 5 mTorr를 유지시켰다. 스퍼터의 파워는 100 W~200 W 범위에서 25 W씩 증가시키며 1시간 동안 증착하였다. ZnO 타겟의 표면오염을 제거하기 위하여 Ar분위기에서 30분동안 presputter를 하였다. 증착 후, ZnO박막의 두께는 α -Step 500 surface-profile system을 통하여 측정되었고 XRD(X-ray diffraction) θ - 2θ 측정법으로 ZnO 박막의 결정구조 및 배향성을 알아보았다. AFM(atomic force microscope) 장비의 접촉방식으로 박막의 표면상태를 조사하였고 광 투과도는 UV-visible photometer 이용하였다., 전기적 특성 측정은 전자빔 증착법으로 Ni/Au 전극을 형성하여 I-V measurement system을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 ZnO 박막은 플라스틱 기판위에 물리적으로 매우 안정되고 잘 흡착 되었다. Fig. 1 (a)와 (b)는 여러가지 스퍼터링 파워에서의 PC와 PES기판 위에 증착된 ZnO박막의 XRD 패턴을 보여준다. XRD 패턴에서는 ZnO박막이 스퍼터의 파워크기와 기판의 종류와 관계없이 2θ 는 34.4° 근방에서 매우 강한 피크가 나타나는 것을 볼 수있다. 이 피크는 Hexagonal 구조를 가지는 ZnO의 (002)면과 관계되고 기판위에 ZnO박막이 c축으로 우선 배향되는 것을 의미한다. PC, PES 두 기판 모두에서 스퍼터의 파워가 100 W~175 W로 증가 할수록 순차적으로 높은 XRD 피크 강도를 보였고, 스퍼터의 파워가 175W일 때 가장 높은 피크강도를 나타내었다. 하지만 200 W에서 증착된 ZnO 박막에서는 XRD 피크는 나타나지 않았다.

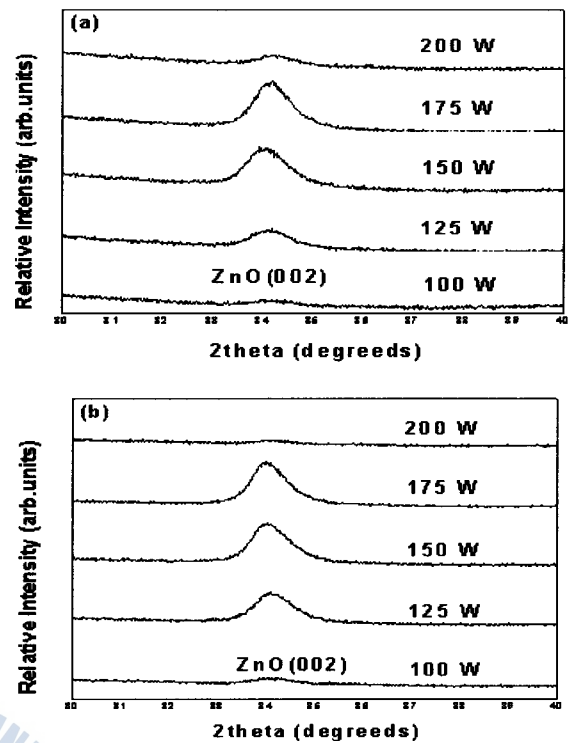


Fig. 1. XRD patterns of ZnO films at various Sputtering Power (a) PC substrate (b) PES substrate

Fig. 2는 스퍼터의 파워와 ZnO박막의 (002)면의 XRD 피크강도와의 정형화된 관계를 나타내며, Fig. 3에서는 스퍼터의 파워가 증가할수록 (002)면 XRD 피크의 반치폭값이 감소하는 것을 보여준다. 이는 스퍼터의 파워가 증가할 때, ZnO 박막의 결정성이 향상됨을 의미한다. 하지만 주목할 만한 것은, 200 W에서 증착된 박막의 (002)면 반치폭 값이 100 W에서 증착된 박막의 반치폭값 만큼 크다. 이것은 지나치게 높은 스퍼터 파워인가는 입자의 표면반발과 박막손상을 일으켜 오히려 박막의 결정성을 떨어뜨리는 것을 의미한다.

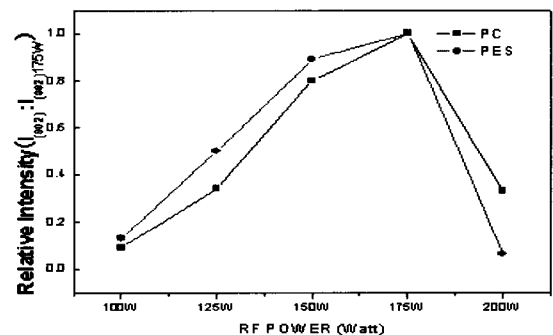


Fig. 2 The relation of relative intensity of (002) peaks with RF. sputtering power

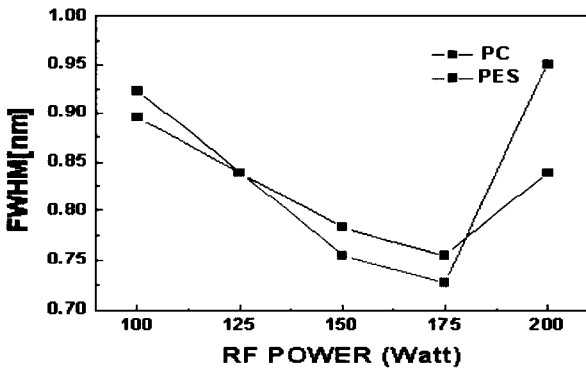


Fig. 3. FWHM of XRD in ZnO films with various R.F. sputtering power.

Fig. 4는 여러가지 스퍼터 파워에 따른 ZnO 박막의 AFM사진이며, Fig. 5는 여러가지 스퍼터 파워에서의 ZnO 박막의 아일랜드 크기와 표면거칠기를 나타낸다. ZnO박막의 표면입자들은 매우 연속적이고 조밀하였다. 특히, 스퍼터의 파워 200 W에서 PES 기판위에 증착된 ZnO 박막에서는 표면의 손상을 볼 수 있었다. Fig. 5(a)에서는 125 W~ 150 W범위에서 스퍼터의 파워가 증가할수록 ZnO 박막의 표면 아일랜드 크기가 증가하는 것을 보인다. 하지만 150 W~ 200 W범위 내에서는 아일랜드 크기가 오히려 감소하는 것을 보였다. 이는 스퍼터의 파워가 80 W~250 W범위에서는 스퍼터의 파워증가에 따른 다소 약간의 그레인 크기증가가 나타날지라도 스퍼터파워와 입자크기가 크게 의존적이지 않다는 보고와 유사한 결과이다[11]. Fig. 5(b)에서와 같이 박막의 표면거칠기를 의미하는 RMS값은 스퍼터파워 100 W~150 W범위에서는 증가하였지만 150 W이상에서는 오히려 감소하였다. 본 실험의 표면거칠기 결과에서는 스퍼터파워가 150 W일 때 증착된 ZnO 박막이 가장 큰 RMS값을 나타냈고 175 W에서 가장 작은 값을 보였다. 기판에 따른 박막의 RMS 값은 PES기판이 PC기판보다 더 작게 나타났다. 특히, 스퍼터의 파워 200 W로 PES 기판에 증착된 ZnO 박막에서는 RMS 값이 급격히 증가하는 것이 나타났다.

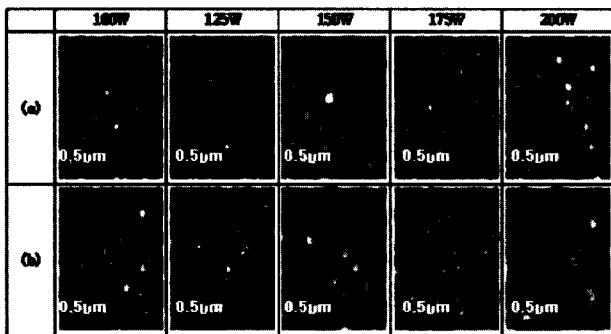


Fig. 4. AFM surface images of ZnO films at various R.F. sputtering power : (a) PC substract (b) PES

이것은 플라스틱 기판소재의 열적특성인 치수변화율(Coefficient of Thermal Expansion)로 인한 기판의 변형과 박막의 손상으로 판단된다. 식 (1)은 스퍼터의 파워에 따른 기판의 온도를 나타낸다.

$$T=(W/a)^{1/4} \quad (1)$$

T는 기판온도, a는 기판재료로 결정되는 상수, W는 입사열량 즉 스퍼터의 전력이다. 스퍼터에 인가하는 전력을 증가하면 기판온도가 증가된다. 본 실험에서는 200 W의 스퍼터 파워로 PES기판위에 증착된 ZnO 박막에서 Fig. 4와 같은 열적손상이 나타났다.

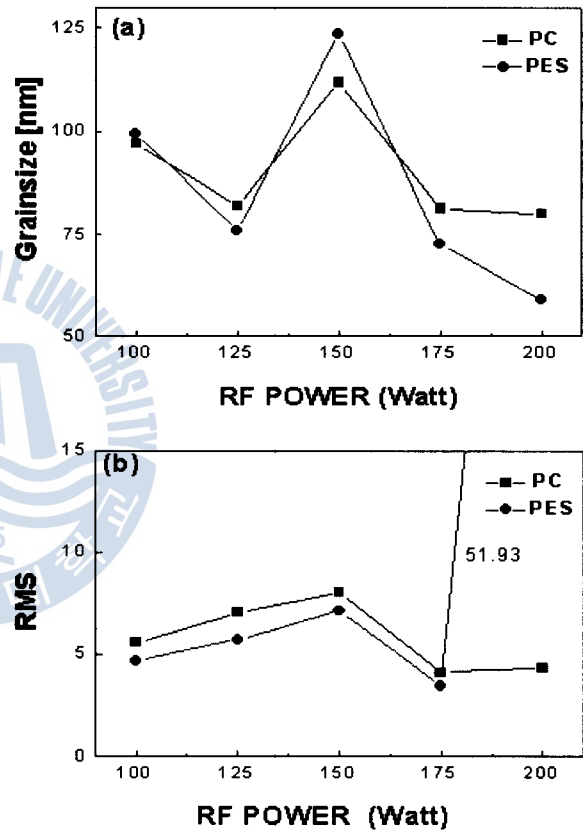


Fig. 5. (a) Islands size of ZnO films and (b) surface roughness of ZnO films at several R.F. sputtering power

Fig. 6은 여러 가지 스퍼터 파워에 따른 플라스틱 기판위에 증착된 ZnO 박막의 광투과율을 나타낸다. 스퍼터파워 100 W~150 W범위에서 플라스틱 기판위에 증착된 ZnO 박막이 500 nm이상의 파장영역에서 85 %이상의 광투과율을 나타냈고 500 nm이하의 파장 영역에서는 스퍼터의 파워가 증가 할수록 박막의 광투과율이 다소 낮아졌다. 식(2)는 박막의 두께와 광투과율의 관계를 보여준다.

$$T=A \exp(-ad) \quad (2)$$

여기서 A는 상수, a는 흡수계수, 그리고 d는 박막의 두께를 나타낸다. 식에서 박막의 두께 증가는 광투과율의 감소를 나타낸다. 직접천이형 반도체의 밴드에서 밴드 전이를 위한 광학적 에너지값 E_{opt} 는 아래의 관계를 이용한 흡수계수 a를 통하여 구할수 있다.

$$ahv = A'(hv - E_{\text{opt}})^{1/2} \quad (3)$$

여기서 hv는 광자 에너지이다, 흡수계수 a는 식 (2)의 $a = \ln(1/T)/d$ 를 이용하여 투과율 T로부터 구할 수 있다. 식(2),(3)은 스퍼터의 파워증가에 따른 박막의 두께증가로 밴드갭이 감소되고 그결과로 흡수율이 증가함을 설명한다[12]. 스퍼터파워에 따른 광투과율의 변화는 PES기판위에 증착된 ZnO 박막이 PC기판보다 덜 민감하였다.

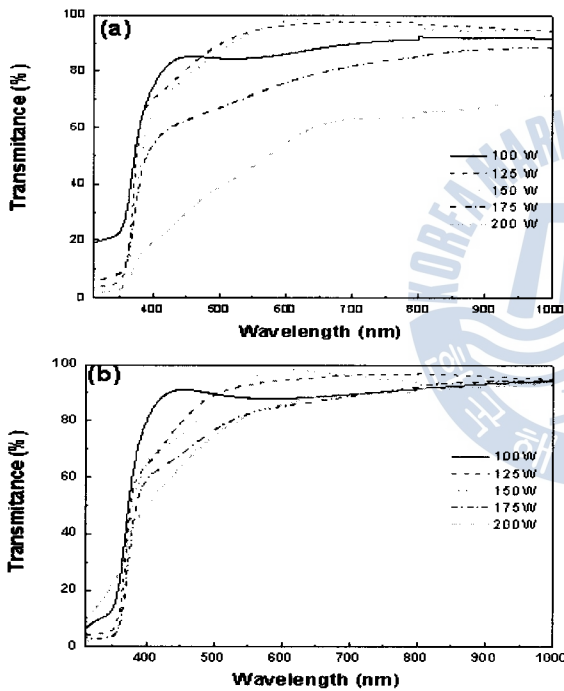


Fig. 6. Optical transmission of ZnO films at several RF sputtering power on Plastic substrate (a) PC substrate (b) PES substrate

Fig. 7은 스퍼터파워 100 W로 (a)PC기판과 (b)PES기판위에 증착된 ZnO 박막의 전류(I)-전압(V)특성을 보여준다. ZnO 박막위에 Ni/Au오믹접합이 전극으로 형성되었다. PC기판위에 ZnO 박막이 PES기판보다 더 선형적인 전류-전압곡선을 나타내었다. PC기판에서는 스퍼터의 파워가 125 W이상, PES기판에서는 150 W이상에서 증착된 ZnO 박막이 매우 높은 저항으로 인해 낮은 전류 특성을 보였다. 일반적으로 진성 ZnO 반도체는 절연체이므로 전기적으로 높은 전도도를 지닌 고품질 박막을 얻기 위해서는 저온에

서의 열처리 또는 도핑농도 조절이 요구된다.

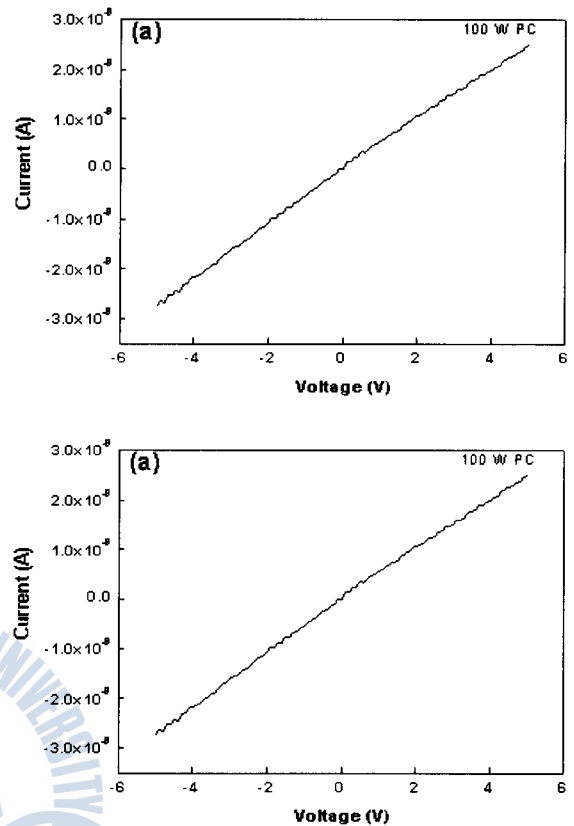


Fig. 7. Current (I) - Voltage(V) graph of the ZnO film deposited in condition of sputtering power 100 W on (a) PC and (b) PES substrate.

3. 결 론

상온에서 RF 마크네트론 스퍼터를 이용하여 여러 가지 스퍼터 파워로 PC, PES기판위에 ZnO박막을 증착하였다. 증착 후 ZnO 박막의 구조적, 광학적, 그리고 전기적 특성을 조사하였다. 기판의 종류와 스퍼터의 파워에 관계없이, 플라스틱 기판위의 ZnO 박막은 기판에 수직인 c축 우선 배향되어 증착되었다. ZnO 박막의 그레인 크기는 100 W~200 W의 스퍼터파워 범위내에서는 인가파워에 크게 의존하지 않았으며, 200 W로 PES기판위에 증착된 ZnO박막에서 열적손상이 나타났다. ZnO박막의 표면거칠기 값은 스퍼터파워 150 W에서 가장 높은 값을 가졌고 175 W에서 가장 낮은 값을 보였다. 광학적 특성으로는, 기판종류에 관계없이 스퍼터의 파워가 100 W~150 W에서 증착된 ZnO박막이 500 nm이상의 파장영역에서 평균 85%이상의 높은 광투과율을 보였다. PC, PES두기판 모두에서 스퍼터의 파워 100 W~125 W 범위 내에서 증착된 ZnO박막은 선형적인 전류-전압곡선을 보였지만 125 W이상에서는 매우 높

은 저항으로 인한 낮은 전류특성을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] S. Bandyopadhyay, G.K. Paul, S.K. Sen, Sol. Energy Matter. Sol. Cells 71, 103 (2002).
- [2] Y. Natsume, H. Sakata, Thin Solid Films 372, 30 (2000).
- [3] S. Masuda, K. Kitamura, Y. Okumura, S. Miyatake, J. Appl. Phys. 93, 1624 (2003).
- [4] J. Lee, K. Kim, J.H. Kim, S. Im, D. Y. Jung, Appl. Phys. Lett. 82, 4169 (2003).
- [5] R.L. Hoffman, B.J. Norris, J.F. Wager, Appl. Phys. Lett. 82, 733 (2003).
- [6] H.W. Kim, N. H. Kim, C. Lee, J. Ryu, and N. E. Lee, J. Korean Phys. Soc. 44, 14 (2004).
- [7] C. S. Son, S. M. Kim, Y. H. Kim, S. I. Kim, Y. T. Kim, K. H. Yoon, I. H. Choi, and H. C. Lopez, J. Korean Phys. Soc. 45, S685 (2004).
- [8] T. E. Park, D. C. Kim, B. H. Kong, and H. K. Cho, J. Korean Phys. Soc. 45, S697 (2004).
- [9] Y. M. Lu, W. S. Hwang, W.Y. Liu, and J. S. Yang, Matter. Chem. Phys. 72, 269 (2001).
- [10] J. H. Lee, D. J. Lee, D. G. Lim, and K. J. Yang, Thin Solid Films 515, 15 (2007).
- [11] N. H. Kim and H. W. Kim, Matter Lett 58, 938 (2004).
- [12] Y. G. Kim, D. S. Kim, D. H. Cho, J. M. Yang, B. R. Rhee, J. J. Kim, S. H. Park, W. P. Hong, and H.M. Kim, Sae Mulli 55, 5 (2007).

원고접수일 : 2008년 12월 15일
원고채택일 : 2009년 01월 05일

