

ZnO 분말 타겟을 스퍼터링하여 Glass 기판위에 증착한 ZnO 박막의 구조적, 광학적 특성

선정호 · 강현철*

조선대학교 신소재공학과, 광주 501-759

(2009년 8월 17일 받음, 2009년 9월 20일 수정, 2009년 9월 21일 확정)

본 논문은 ZnO 분말 타겟을 스퍼터링하여 glass 기판 위에 증착한 ZnO 박막의 구조적, 광학적 특성을 보고한다. 소결된 ZnO ceramic target을 사용하는 보통의 radio-frequency magnetron sputtering과 달리 본 연구에서는 전처리과정이 필요하지 않은 ZnO 분말 target을 사용하였다. ZnO 박막은 wurtzite (0002) 우선배향면으로 성장하였다. 초기의 ZnO 박막은 매우 평평한 층구조로 증착되었고, 두께가 증가함에 따라 삼구조로 전이하였다. 400-1000 nm 광원에 대하여 평균 88% 이상의 광투과도를 나타내었으며, 220 nm 시편의 경우, 3.23 eV의 near bandedge emission 흡수단을 측정하였다.

주제어 : ZnO, RF magnetron sputtering, 박막, 투명전극, Powder target

I. 서 론

Zinc Oxide (ZnO)는 3.37 eV의 bandgap 에너지(E_g)와 상온에서 60 meV의 exciton 결합에너지 등 우수한 광학적 특성으로 인하여 최근 많이 연구되고 있다 [1-6]. 또한 나노와이어, 나노점, 나노벽 등 저차원 나노구조체로 제작되었을 때, 기존의 bulk 상태에서 보고된 광학적, 전기적 특성과 매우 다른 양상을 보임으로서 ZnO 나노구조체를 적용한 field-emission-transistor [7], ultraviolet light-emitting diode [8], gas sensor [9] 등 신기능 전자소자의 활용 가능성이 보고되고 있다.

ZnO의 응용 가능성 중 하나는 바로 투명전극이다. PDP, LCD, OLED등의 디스플레이 장치 및 TFT등에서 중요한 부분을 차지하는 투명전극은 가시광선 영역에서 높은 광투과도(optical transmittance), 낮은 저항(resistivity), 그리고 우수한 박막 표면 거칠기(roughness) 등의 물성이 요구된다. 현재 가장 활발히 사용되고 있는 투명전극은 ITO(Indium Tin Oxide, $In_2O_3-SnO_2$)박막으로서 광학적, 전기적 특성(면저항 $<10 \Omega/\square$, 가시광투과도 $>80\%$)이 매우 우수하다 [10-12]. 하지만 사용되는 원료 재료인 In이 상대적으로 열적 안정성이 낮아 제조과정에서 필수적으로 수반되는 열처리가 제한적이다($<500^\circ C$). 아울러 높은 원

료 단가로 인하여 경제적인 측면에서 약점으로 지적되고 있다. 이러한 ITO 투명전극의 대체 재료로서 ZnO 박막에 대한 연구가 최근에 활발히 진행되고 있다 [13,14].

ZnO 투명전극이 가지는 가장 우수한 물성은 바로 Hydrogen plasma에 대한 열적, 화학적 안정성이다 [10, 12]. 아울러 광투과도가 ITO에 견줄 수 있을 뿐만 아니라 제조 과정 또한 비교적 간단하여 제조원가를 낮출 수 있다. ZnO 투명전극을 제조하기 위하여 널리 사용되는 방법은 진공 증착법이다. 현재까지 Atomic Layer Deposition [13], Metal-Organic Chemical Vapor Deposition [15], Pulse Laser Deposition [16], DC [17] 혹은 RF magnetron sputtering [18] 방법 등이 사용되었다. 그 중에서도 특히 DC magnetron sputtering 방법은 대면적의 기판에 균일한 박막을 증착시킬 수 있을 뿐만 아니라 제조 방법이 상대적으로 경제적이기 때문에 실제 소자 제조 공정에 채택되어 증착조건, 기판의 영향, 반응 기체의 영향 등이 활발히 연구되고 있다.

통상적으로 DC 및 RF magnetron sputtering을 이용한 ZnO 박막의 제조에는 고온에서 소결된 ZnO ceramic target(Fig. 1의 왼쪽 사진)을 주로 이용하였다. 그러나, ZnO ceramic target은 제조과정이 복잡할 뿐만 아니라 증착과정에서 수반되는 고밀도의 plasma에 의한 고온에서의

* [전자우편] kanghc@chosun.ac.kr



Figure 1. Photograph illustrates the sequence to produce the ZnO powder target. The sintered ceramic target typically used is also shown(left).

열적 안정성이 취약하여 장시간 사용 시 열충격에 의한 crack이 발생하는 등 고가임에도 불구하고 수명이 짧은 단점이 있다. 이러한 ceramic target의 태생적 한계를 극복하는 기술 개발이 다양하게 시도되고 있다. 그 중에서도 주목할 만한 성과가 최근에 발표되었는데, 바로 ZnO 분말을 sputtering하는 방법이다 [19,20]. Fig. 1에 나타난 바와 같이 본 연구에 사용된 ZnO sputter target은 소결과정 등 전처리과정을 거치지 않고, 상용화된 ZnO 분말을 구리로 제조한 원형 틀에 담아 사용하였다. Fig. 1의 하단부에 나타난 사진은 본 연구에서 사용한 ZnO target을 sputtering 한 후 촬영한 것이다. 고밀도의 plasma에 의한 sputter된 원형자국이 선명하게 나타난다.

본 논문에서는 분말형 ZnO target을 이용하여 glass 기판 위에 증착한 ZnO 박막의 구조적, 광학적 특성을 보고하고자 한다. 상온에서 ZnO 박막을 증착하였음에도 불구하고, (0002) 우선성장방향을 갖는 결정질 박막으로 성장하였다. 박막의 표면은 매우 균일하였으며, 두께가 증가함에 따라 표면 거칠기가 증가하였다. 아울러 흡수분광도 측정 결과 확인한 Near Bandedge Emission(NBE) 흡수단을 확인하였으며 400-1000 nm 영역의 광원에 대하여 평균적으로 88% 이상의 높은 광투과도를 나타내었다.

II. 실험방법

분말형 ZnO sputter target을 제조하기 위하여 상용화

된 ZnO분말(일본의 고순도화학사, 순도 99.999%)을 사용하였다. 분말의 크기는 $<1 \mu\text{m}$ 이다. Fig. 1에서 보인 구리 원형틀의 크기는 지름 50 mm이다. ZnO 박막은 능동형 LCD 제조에 쓰이는 glass 기판(Corning EAGLE2000)을 사용하였다. 증착온도는 상온이며, 반응기체로는 Ar과 O_2 를 혼합하였는데, 가스미량조절장치를 이용하여 유량은 각각 20 sccm 및 10 sccm으로 조절하였다. 증착 도중의 압력은 6×10^{-3} torr로 유지하였다. 증착과정에서 성장속도를 결정하는 중요한 변수 중 하나인 입력 rf power는 150 W이다. 이때의 증착속도는 평균 39.5 nm/min이다. 시편과 target 사이의 거리는 40 mm로 고정하였다. 박막의 두께 변화에 따른 광학적, 구조적 특성을 분석하기 위하여 증착 시간을 달리하여 다수의 시편을 제작하였다. 이때 박막의 두께는 54, 84, 118, 220 nm이다.

증착된 시편은 표면 형상 및 표면 거칠기 등 표면의 구조적 특성을 분석하기 위하여 Atomic Force Microscopy (AFM) 및 Scanning Electron Microscopy (SEM) 측정을 수행하였다. SEM 측정에서는 기본적으로 표면 형상(top-view)을 촬영하였고, 200 nm이상의 두꺼운 박막의 두께를 측정하기 위하여 단면(cross-section view)을 촬영하였다. 또한 결정학적 방위관계 및 결정질 ZnO 박막의 결정립 크기를 분석하기 위하여 x-선 회절(XRD) 실험을 수행하였다. 이때 $\text{CuK}\alpha$ (파장=1.541 Å) x-선 발생 장치를 사용하였다. 박막의 두께 측정 및 표면 분석을 위하여 고분해능 x-선 반사율(x-ray reflectivity, XRR) 곡선을 포항방사광가속기의 5C2 광주과학기술원 전용 빔라인에서 측정하였다. 방사광 x-선은 연속파장 분포를 가지는 x-선이 발생되므로 두개의 Si(111) 단결정을 갖춘 monochromator를 이용하여 10 keV(파장=1.24Å)의 에너지를 갖는 단색광 x-선을 선택하였다. XRR은 임계입사각 근처로부터 약 5도의 입사각까지 측정하였다. 마지막으로 ZnO 박막의 광투과도를 분석하기 위해 UV-VIS 투과 분광 실험(Carry500scan, Varian)을 수행하였다. 이때 광원의 파장 대역은 300-1000 nm이다.

III. 실험결과 및 고찰

초기 형성된 얇은 ZnO 박막은 glass 기판의 표면과 매우 잘 정렬되어 있는 표면 구조를 나타낸다. Fig. 2는 54

nm, 118 nm 두께를 가지는 ZnO 박막으로부터 측정된 고분해능 XRR 곡선을 나타낸다. 통상 XRR은 박막의 표면에서 반사된 x-선과 박막/기판의 계면에서 반사된 x-선의 간섭이다. 표면이 원자크기에서 잘 정렬된 ZnO 박막은 거울면과 같이 작용하게 되어 소각으로 입사된 x-선을 반사하게 되는데, 반사율은 박막 표면의 형상, 표면 거칠기, 박막의 두께, 박막 물질의 굴절률 등에 의해서 좌우된다. Born Approximation에 따르면 [21,22], 평활한 표면을 가지는 박막에서 전반사된 x-선의 강도는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I = \frac{I_0 A}{q_z^2} [\rho_1^2 \exp\{-q_z^2 \sigma_1^2\} + (\rho_1 - \rho_2)^2 \exp\{-q_z^2 \sigma_2^2\} + 2 \cos(q_z d) \rho_1 (\rho_1 - \rho_2) \exp\left\{-q_z^2 \frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}{2}\right\}]$$

여기에서, I 는 ZnO 박막으로부터 반사된 x-선의 강도, I_0 는 입사된 초기 x-선의 강도, A 는 흡수인자, 노출면적 등 측정과정에 수반되는 상수, q_z 는 표면에 수직방향으로의 x-선 momentum 전이로서 파장의 역수의 단위를 갖는다. ρ_1 (ρ_2)는 박막(기판)의 원자 밀도, σ_1 (σ_2)는 박막 표면(박막/기판 계면)의 거칠기, 그리고 d 는 박막의 두께이다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 XRR은 Fresnel 반사율에 따라서 반사강도가 감소하는 경향과 같은 주기를 가지고 진동하는 두 가지 형태로 구분할 수 있다. 반사강도의 감소되는 정도

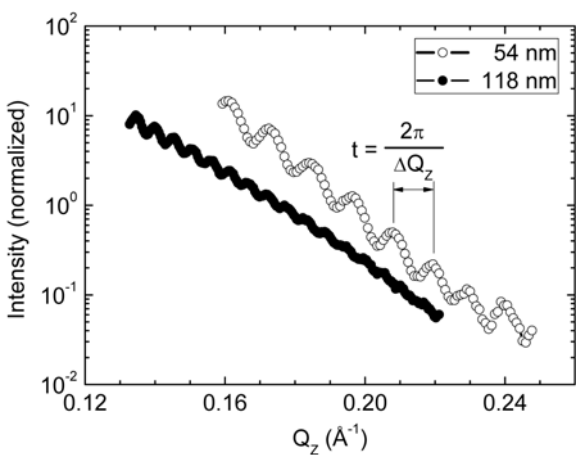


Figure 2. XRR curves of the 54 nm and 118 nm thick ZnO samples. The interference patterns are observed clearly. The sample thickness can be estimated from the period of the interference fringes.

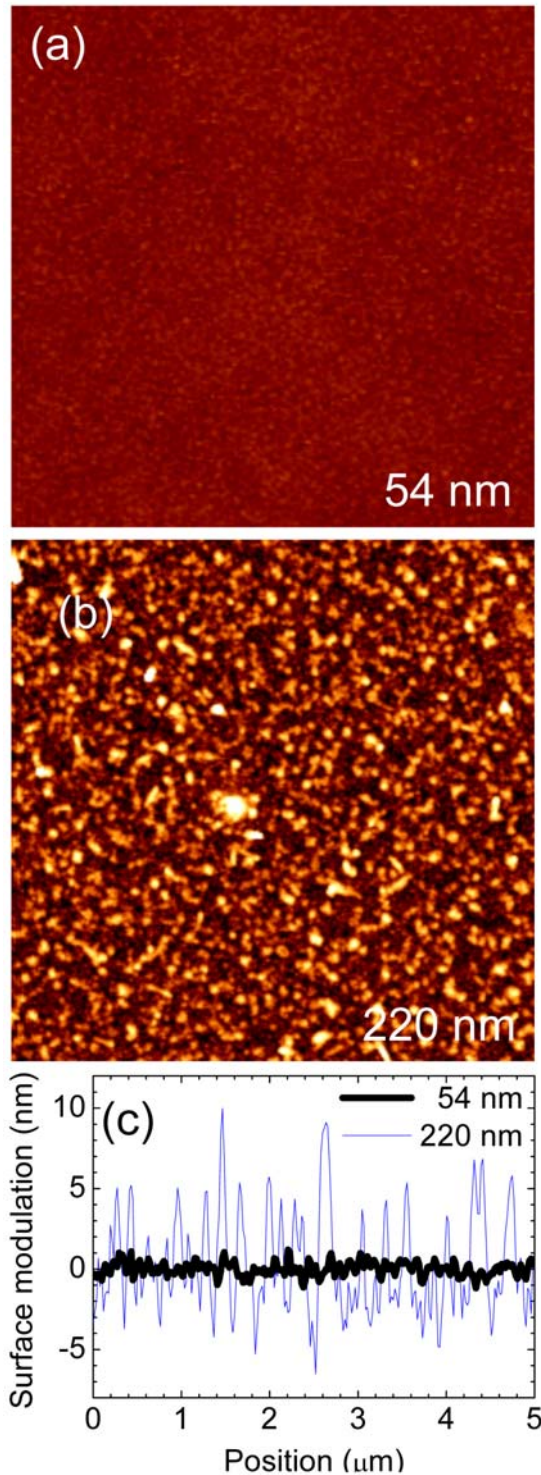


Figure 3. AFM image of (a) 54 nm thick sample and (b) 220 nm thick sample. The morphology is changed from the flat layered structure to the 3-dimensional islands structure. (c) The line profiles were obtained from the AFM images in (a) and (b).

는 박막 표면 거칠기 및 박막/기판 거칠기에 의해서 좌우된다. 표면 및 계면 거칠기는 XRR에서 간섭무늬에도 영향이 나타나는데, 진동의 뚜렷함이 바로 그것이다. 아울러 수식에서 표시된 cosine 함수에서 진동의 주기는 박막 두께에 의해 정의되는데, Fig. 2에서 표시한 바와 같이 $t = \frac{2\pi}{\Delta q_z}$ 를 통해서 박막의 두께를 구할 수 있다. 여기에서 Δq_z 는 진동 주기이다. Fig. 2에 나타낸 바와 같이 54 nm, 118 nm 박막 으로부터 측정된 XRR은 진동이 뚜렷하고 반사율의 강도 또한 매우 크기 때문에 이로부터 박막의 표면 및 계면의 거칠기가 우수함을 알 수 있다. 박막의 두께가 증가함에 따라 진동은 사라지고, 반사율은 급격히 감소하는 경향을 보이는데 이는 표면 거칠기가 크게 증가했음을 의미한다. 본 연구에서 사용된 시편 중 220 nm 두께의 시편은 XRR에서 진동이 완전히 사라졌기 때문에, cross-section SEM 분석을 통하여 두께를 측정하였다.

ZnO 박막의 표면 구조를 분석하기 위하여 측정된 AFM 이미지를 Fig. 3에 나타내었다. 54 nm 두께의 ZnO 박막은 매우 평활한 표면 구조를 나타낸다. 측정된 Root Mean Square (RMS) 표면 거칠기는 0.47 ± 0.2 nm 이다. 이 값은 사용된 glass 기판의 표면 거칠기 0.45 nm와 유사한 값으로 이는 결국 ZnO 박막과 glass 기판의 표면이 매우 잘 정렬되고 일치함을 나타낸다. ZnO 박막의 두께가 증가함에 따라 표면에는 작은 크기의 섬조직(islands structure)이 생성되어 표면 거칠기가 크게 증가된다. 220 nm 두께의 AFM 이미지를 보면 매우 뚜렷한 표면 기복(surface undulation) 현상이 관찰되고 측정된 RMS 표면 거칠기는 4.3 ± 0.7 nm이다. Fig. 3(c)에 54 nm와 220 nm 두께의 ZnO 박막으로부터 얻은 수평 방향의 1차원 표면 형상 곡선을 나타내었다. 54 nm 두께의 시편에서는 표면 기복 현상이 거의 나타나지 않고, 표면 굴곡 요동(surface profile fluctuation)이 1 nm 이하로서 매우 평활한 층조직(layered structure)임을 나타낸다. 이와 달리 220 nm 두께의 시편에서는 표면 굴곡 요동이 10 nm 까지 증가함을 알 수 있는데, 이는 표면 에너지를 낮추기 위하여 ZnO가 평활한 층조직에서 섬조직으로 전이함을 나타낸다. 표면 거칠기의 증가는 Fig. 2의 XRR 고찰을 통한 정성적인 결과와 매우 잘 일치한다.

증착한 ZnO/glass 박막의 구조적 특성을 분석하기 위하여 측정된 XRD 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 모든 시편에

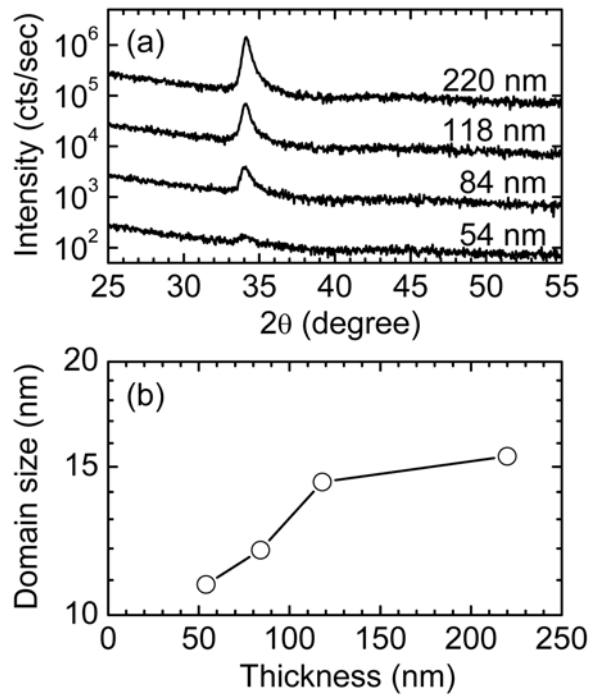


Figure 4. (a) XRD patterns measured at 54, 84, 118, 220 nm thick samples, respectively. Only the ZnO(0002) Bragg peak was detected. (b) Domain size, that is estimated using the Scherrer's equation, as a function of the film thickness.

서 오직 하나의 Bragg 회절 피크($2\theta=34.1^\circ$)만이 관측되었는데, 이 Bragg 피크는 hexagonal 구조의 ZnO(0002)이다. 이는 ZnO 박막이 표면에 수직방향으로 오직 (0002)면이 배향되었다는 것을 의미한다. ZnO는 wurtzite 구조를 가지는데, 가장 면밀도가 높은 결정면이 바로 (0002)이다. 보통의 다결정 ZnO 박막에서 관측되는 $(10\bar{1}0)$ ($2\theta=31.73^\circ$)면이나 $(10\bar{1}1)$ ($2\theta=36.21^\circ$) 면은 관측되지 않았다. 54 nm 두께의 시편에서는 매우 약하고 넓은 영역의 피크 형태를 보이다가 두께가 증가함에 따라 Bragg 피크는 더 강해지고 더 좁아지는 경향을 나타낸다. 피크강도의 세기는 ZnO 결정의 양에 비례하고, FWHM(full width at the half maximum)은 ZnO 결정립의 크기에 반비례한다. ZnO (0002) Bragg 피크의 회절패턴을 간단한 Gaussian 형태의 모양으로 모델링하여 FWHM을 구하였다. Scherrer's 방정식 [23]을 적용하여 획득한 결정립의 크기를 Fig. 4(b)에 나타내었다. Scherrer's 방정식은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$B = \frac{0.94 \times \lambda}{FWHM \times \cos\theta}$$

여기에서 B 는 ZnO 박막의 평균 결정립 크기이고, λ 는 사용된 x-선 광원의 파장이다. 또한 $FWHM$ 은 Bragg 피크의 반치폭이고, θ 는 Bragg 회절각이다. Fig. 4(b)에 나타냈듯이, 54 nm 두께의 ZnO 박막의 평균 결정립 크기는 10.9 nm이고, 두께가 증가함에 따라, 11.9, 14.4, 15.4 nm로 증가한다. 이는 두께가 약 4배정도 증가해도 평균 결정립 크기는 50% 정도 증가한다는 것을 나타낸다. 즉, ZnO 박막이 나노결정 형태로 존재하는 것을 의미한다. 통상 ZnO epitaxial 박막은 sapphire(0001) 기판에 상대적으로 고온(>300°C)에서 증착하는데, 이 경우에는 표면에 수직방향으로 평균 결정립 크기가 두께와 거의 일치하는 경향을 나타낸다 [24]. 본 연구에서 고찰한 ZnO/glass 박막은 수직 방향으로 많은 결정 결함을 가지고 있음을 암시한다.

Fig. 5는 ZnO(0002) Bragg 피크 위치로부터 구한 ZnO 박막의 c -격자상수를 나타낸다. ZnO(0002) Bragg 피크 위치는 두께가 증가함에 따라 34.03°에서부터 34.16°까지 변화한다. 이는 c -격자상수가 5.2664 Å부터 5.2469 Å으로 감소함을 나타낸다. 획득한 격자상수 값은 보통의 bulk 단결정의 c -격자상수, 5.2069 Å보다 큰 값이다. 이는 ZnO 박막이 증착 과정에서 strain을 받고 있으며, 이 strain은 두께가 증가함에 따라 점점 더 완화되는 경향을 나타낸다. 본 연구에서 사용된 기판은 비정질 glass 기판이기 때문에 기판과 ZnO 박막의 격자불일치에 의한 misfit strain은 거의 없다. 비록 RF plasma에 의하여 기판의 온

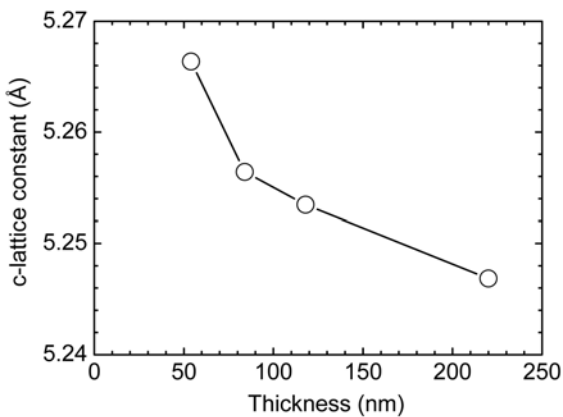


Figure 5. A variation of c -lattice constant as a function of film thickness.

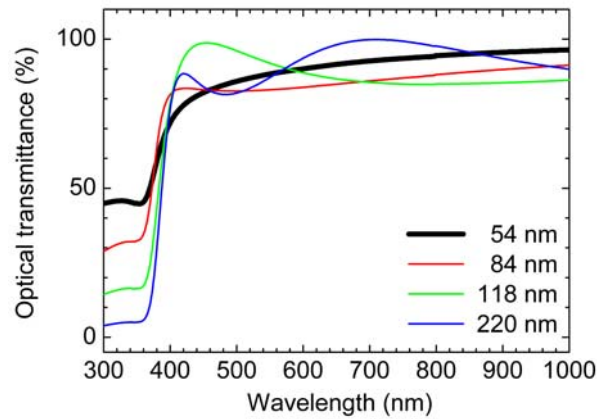


Figure 6. Optical transmittance curves in the range of 300–1000 nm. NBE near 360 nm was observed clearly. Samples <200 nm in thickness is too thin to block the UV lights completely.

도가 증착도중 약간 증가하긴 하지만, 상온에서 증착하였기 때문에 thermal strain의 효과도 미미할 것으로 예측된다. 따라서 ZnO/glass 박막의 strain은 ZnO 나노결정립의 texturing에 의한 growth strain일 가능성이 매우 높다. ZnO 박막의 수직 및 수평 방향으로의 결정립 크기가 10~15 nm정도로 매우 작기 때문에 각각의 결정립 사이에는 소각결정경계 등 많은 격자 결함들이 존재한다.(사실, (0002) Bragg 피크에서 측정된 θ -rocking 곡선의 FWHM은 12° 정도로서 mosaic 분포가 매우 크다.) Growth strain은 국부적으로 존재하고, 보통 다결정 박막에서 흔히 관찰된다. 또한 RF sputtering에서는 증착속도와 관계가 있으며, 본 연구에서는 상대적으로 높은 입력 RF power로 기인하여 bulk 격자상수보다 훨씬 더 큰 값으로 수렴한다. 사실 입력 RF power가 작은 시편(증착속도가 4 nm/min)에서는 bulk 격자상수에 근접하였다.

Fig. 6은 두께 변화에 따른 ZnO/glass 박막의 UV-VIS 광투과도 곡선을 나타낸다. 모든 시편에서 360 nm 근처의 NBE 흡수단이 관측되었다. 54, 84, 118 nm 두께의 시편의 경우 UV 흡수가 45.4%, 34.6%, 17.3%로 나타났는데, 이는 ZnO 박막이 충분히 두껍지 못해서 100% 흡수되지 않았기 때문이다. 물질의 광투과도 T 는 $T = A \exp(-\alpha t)$ 로 표현할 수 있는데 [25], 여기에서 A 는 상수, α 는 물질의 흡수계수이다. 360 nm 파장(UV영역)의 두께변화에 대한 광투과도를 고찰하여 획득한 흡수계수는 0.01519 ± 0.00325 이다. 가시광선영역에서 적외선 영역(파장=400nm-1000nm)

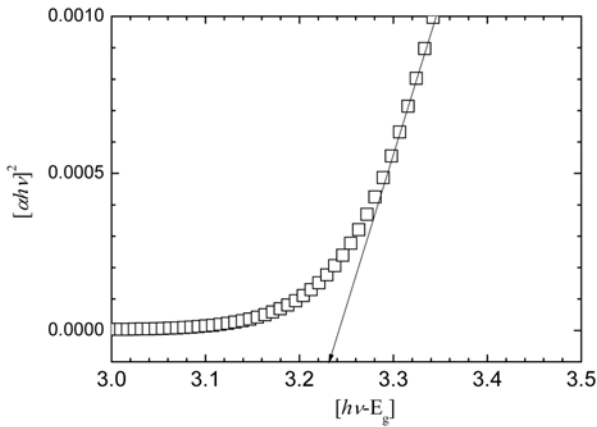


Figure 7. A plot of $[\alpha hv]^2$ vs $[hv-E_g]$ of the 220 nm thick sample. By extrapolating in the linear region as indicated by a solid arrow, E_g of 3.23 eV was estimated.

의 평균 광투과도는 각각 91.1%, 86.4%, 88.5%, 92.7%이다. 이는 ITO나 우수한 품질의 ZnO 박막의 광투과도와 견줄만한 수치이다. 가시광선 영역에서 뚜렷이 보이는 간섭 패턴은 박막의 표면과 박막/기판의 계면 사이의 경로차에 의한 간섭현상에 의한 것이다. 이는 AFM과 XRR을 통해서 확인했듯이 표면 및 계면이 매우 잘 정렬되어 있음을 나타낸다.

광투과도와 흡수계수 사이의 관계식에서 구한 흡수계수를 Fig. 7과 같이 광원의 에너지 함수로 그리면 선형 비례 관계를 통하여 ZnO 박막의 광학적 E_g 를 구할 수 있다 [25]. 즉, Fig. 7에서 x-절편이 바로 E_g 에 해당한다. Fig. 7의 곡선을 외삽(화살표로 표시한 부분)하여 얻은 220nm 두께를 가지는 ZnO 박막의 E_g 는 약 3.23 eV이다.

IV. 결 론

본 연구에서는 전통적인 ZnO ceramic target 대신 사용한 ZnO 분말 target의 RF magnetron sputtering 증착법에 대하여 보고하였다. Glass 기판위에 증착한 ZnO 박막의 구조적, 광학적 특성을 분석하였다. 증착한 ZnO 박막은 가시광 영역에서 매우 우수한 광투과도를 나타내었으며, 표면 거칠기 또한 양호하였다. 본 논문에서 획득한 ZnO 박막의 물성은 소결된 ZnO target을 사용하였을 경우와 견줄만하다 [4,26,27]. 본 연구에서 제시한 분말 target을 이용한 sputtering 방법은 Ga, Al 등 doping을 통한 ZnO 투

명전극을 제조하는데 응용할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서는 ZnO 박막의 구조적, 광학적 특성에 대하여 보고하였으나, ZnO 박막을 투명전극으로 활용하기 위해서는 전기적 특성을 규명하여야 한다. 특히 박막의 두께가 증가함에 따라 표면 거칠기가 매우 크게 증가하므로, 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] V. A. Coleman and C. Jagadish, *Zinc Oxide Bulk, Thin Films and Nanostructures-Processing, Properties and Applications* edited by C. Jagadish, S. Pearton (Elsevier, Amsterdam, 2007), Ch. 1.
- [2] S.-S. Park, J.-M. Lee, S.-J. Kim, S.-W. Kim, M.-S. Yi, S.-H. Kim, S. Maeng, and S. Fujita, *Nanotechnology* **19**, 245708 (2008).
- [3] S. Komura, D. Kim, S. Wakaiki, and M. Nakayama, *J. Kor. Phys. Soc.* **53**, 38 (2008).
- [4] D. S. Park, J. H. Yu, J. H. Kim, T. S. Jeong, and C. J. Youn, *J. Kor. Phys. Soc.* **53**, 3250 (2008).
- [5] 김준제, 박준용, 김홍승, 이원제, 조채룡, *Sae Mulli* **58**, 471 (2009).
- [6] Y.-S. No, D.-H. Park, T.-W. Kim, J.-W. Choi, and W.-K. Choi, *J. Kor. Vac. Soc.* **18**, 213 (2009).
- [7] W.-K. Hong, J. I. Sohn, D.-K. Hwang, S.-S. Kwon, G. Jo, S. Song, S.-M. Kim, H.-J. Ko, S.-J. Park, M. E. Welland, and T. Lee, *Nano Lett.* **8**, 950 (2008).
- [8] J.-H. Lim, C.-K. Kang, K.-K. Kim, I.-K. Park, D.-K. Hwang, and S.-J. Park, *Adv. Mater.* **18**, 2720 (2006).
- [9] H. T. Wang, B. S. Kang, F. Ren, L. C. Tien, P. W. Sadik, D. P. Norton, and S. J. Pearton, *Appl. Phys. Lett.* **86**, 243503 (2005).
- [10] Ray Swati, R. Banerjee, N. Basu, A. K. Batabyal, and A. K. Barua, *J. Appl. Phys.* **54**, 3497 (1983).
- [11] C. Cuillen, J. Herrero, *Thin Solid Films* **510**, 260 (2006).
- [12] S. H. Cho, Y. J. Hong, C. G. Son, Y. G. Han, Y.

- H. Jeong, G. C. Gwon, B. H. Hong, G. S. Cho, and E. H. Choi, *J. Kor. Vac. Soc.* **18**, 54 (2009).
- [13] A. Yamada and B. Sang, M. Konagai, *Appl. Surf. Sci.* **112**, 216 (1997).
- [14] M. N. Islam, T. B. Ghosh, K. L. Chopra, and H. N. Acharya, *Thin Solid Films* **280**, 20 (1996).
- [15] N. M. Sbrockey and S.i Ganesan, *III-Vs Review* **17**, 23 (2004).
- [16] K. Matsubara, P. Fons, K. Iwata, A. Yamada, K. Sakurai, H. Tampo, and S. Niki, *Thin Solid Films* **431-432**, 369 (2003).
- [17] J.-C. Lee, Y.-D. Kim, P.-K. Song, J.-H. Lee, Y.-S. Kim, and C.-S. Son, *J. Kor. Phys. Soc.* **53**, 416 (2008).
- [18] K. C. Park, D. Y. Ma, and K. H. Kim, *Thin Solid Films* **305**, 201 (1997).
- [19] K. Wasa and S. Hayakawa, *Handbook of sputter deposition technology* (Noyes Publications, Westwood, 1992).
- [20] S. H. Seo and H. C. Kang, *submitted* (2009).
- [21] L. G. Parratt, *Phys. Rev.* **95**, 359 (1954).
- [22] S. K. Sinha, *Phys. Rev. B* **38**, 2297 (1988).
- [23] B. E. Warren, *X-ray Diffraction* (Addison-Wesley Pub. Co, 1969) p. 253.
- [24] I. W. Kim and K.-M. Lee, *Nanotechnology* **19**, 355709 (2008).
- [25] E. A. David and N. F. Mott, *Philos. Mag.* **22**, 903 (1970).
- [26] 김덕규, *Sae Mulli* **56**, 143 (2008).
- [27] S.-K. Kwon, D.-W. Kim, Y.-H. Jung, and B.-J. Lee, *J. Kor. Phys. Soc.* **55**, 999 (2009).

Structural and Optical Properties of ZnO/Glass Thin Films Grown by Radio-Frequency Magnetron Sputtering with a Powder Target

J. H. Sun and H. C. Kang*

Department of Advanced Materials Engineering, Chosun University, Gwangju 501-759

(Received August 17, 2009, Revised September 20, 2009, Accepted September 21, 2009)

This paper reports the structural and optical properties of ZnO/glass thin films grown by radio-frequency magnetron sputtering with a powder target. In contrast to ZnO ceramic target typically used, a ZnO raw powder target was sputtered in this study. ZnO grew with the (0002) preferred orientation along the surface normal direction. Initially, the surface of ZnO thin films was flat considerably and then it became rougher as the thickness increased. The optical transmittance was as high as 88% in the range of 400-1000 nm. The bandgap energy of 3.23 eV at the 220 nm thick sample was estimated.

Keywords : ZnO, RF magnetron sputtering, Thin film, Transparent conducting oxide, Powder target

* [E-mail] kanghc@chosun.ac.kr