

폴리머 기판위에 형성된 ZnO 박막의 특성 연구

K. J. Suh*, A. Wakahara*, 장호정**, A. Yoshida*

*Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Toyohashi University of Technology, Japan

** 단국대학교 전자공학과

초 록

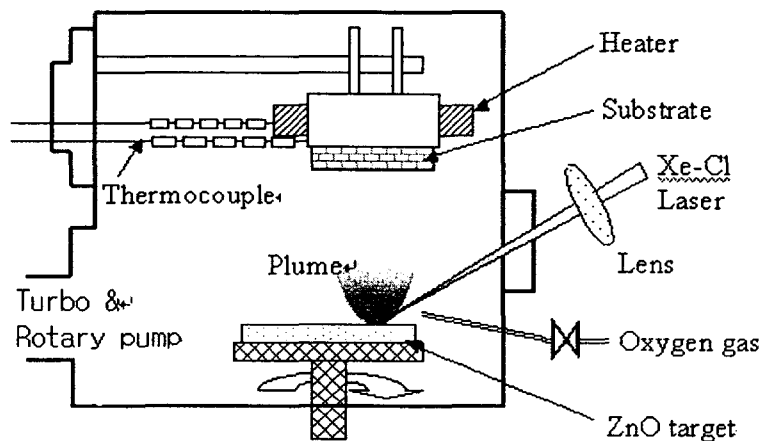
투명전극용 ZnO 박막을 펄스레이저 증착방법으로 형성한 후 산소압력과 기판온도에 따른 결정학적, 전기적 특성을 조사하였다. 200°C의 기판온도에서 증착한 ZnO 박막은 C축의 0002 방향으로 우선 배향한 결정구조를 보여주었다. 산소 압력이 10 mTorr 일때 반가폭(FWHM)은 0.34°의 값을 나타내었다. ZnO 박막의 캐리어 농도는 약 $4 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 으로 산소농도에는 크게 영향을 받지 않았으며, 약 $5 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 의 저항율을 나타내었다.

1. 서 론

각종 평판디스플레이 예를 들어 유기 EL (Organic Electroluminescent), PDP (plasma Display Panel), TFT-LCD (Liquid Crystal Display) 등은 투명한 유리기판위에 전도성을 갖는 ITO (Indium Tin Oxide) 투명전극을 사용하고 있다. 산화아연(ZnO)은 과잉의 아연(또는 Oxygen vacancy)이 도너 역할을 하는 비화학양론적 n형 산화물 반도체이다. ZnO는 약 3.37eV의 넓은 밴드갭과 상온에서 60meV의 아주 큰 여기자 결합에너지를 가지며 가시영역에서 높은 투과성과 굴절율을 보인다. ZnO 투명전극은 플라즈마에 대한 내구성이 ITO 전극에 비해 우수하며 전극패턴 형성을 위한 에칭특성도 ZnO 투명전극이 우수하여 이에 대한 연구가 필요하다. 또한 ZnO 물질은 태양전지 구조에서 고 밴드갭을 가지는 반도체 박막을 저 밴드갭을 갖는 박막 위에 다층으로 성장을 하면, 태양전지의 효율이 증가하여 차세대 태양전지의 재료로서도 기대를 모으고 있다. 또한 ZnO 박막은 최근 TCO(transparent conducting oxide)로 이미 상용화된 ITO(indium tin oxide)에 비해 많은 우수한 특성이 부각되면서 관심의 대상으로 널리 연구되고 있다 [1-4]. ZnO 박막은 chemical vapor deposition(CVD), molecular beam epitaxy(MBE), R.F. magnetron sputtering, Electron-beam evaporation 등 여러 가지 방법으로 형성시킬 수 있지만 본 연구에서는 형성된 막의 구성성분이 타겟의 성분과 유사하고 낮은 기판온도에서도 박막이 형성되어지는 장점을 가지는 pulsed laser deposition (PLD)방법을 사용하여 막을 형성시켰다.

2. 실험 방법

ZnO박막을 증착하는 pulsed laser deposition 장치의 대략적인 모형을 그림1에 나타내었다. 반응실 내의 진공은 터보펌프와 로타리 펌프를 사용하여 유지시켰으며 초기 진공도는 2×10^{-6} Torr에서 이루어졌다. 형성된 막의 저항을 감소시키고 전기 전도도를 증가시키기 위하여 ZnO (99.99%) 에 $Al_2O_3(99.999\%)$ 를 2w% 도핑한 소결된 지름 50mm의 타겟을 사용하였다. 기판은 테프론과 폴리이미드를 사용하였고 기판과 타겟과의 거리는 30mm였다. 또한 증착 할 때 기판온도를 상온에서 300℃로 유지하여 균일하고 안정된 ZnO박막의 형성을 도모하였다. 광원은 Xe-Cl ($\lambda=308nm$, 5Hz, 70mJ) 레이저를 사용하였고, 레이저 빔이 타겟의 가로, 세로 $2 \times 2mm^2$ 의 지점에 각도 45°로 입사하도록 고정시켜 60분 동안 증착하였다. 막의 결정구조와 표면 상태를 x-ray diffraction(XRD:RIGAKU, RAD-B system)과 atomic force microscopy(AFM: Dimension 3100 4A)를 사용하여 관찰하였고, 형성된 막의 전기적 특성을 Keithley 224로 측정하였다.



<Fig 1. Pulsed Laser Ablation system >

<Table. 1 Deposition condition of ZnO thin films>

Items	Conditions
Light Source	XeCl Laser (Wavelength : 308 nm)
Power	70 mJ
Target	ZnO+ Al_2O_3 (2 wt%)
Substrates	Teflon, Polyimide (Kapton, Dupont)
Substrate Temperature	R.T - 300℃
Atmosphor	Oxygen (0.1 - 10 mTorr)

3. 실험결과 및 고찰

ZnO 박막이 디스플레이소자의 투명전극이나 가스 센서등으로 응용되기 위해서는 기판과 수직한 C축 방향의 ZnO 박막이 형성되는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 챔버 내의 산소 압력을 0.1mtorr, 1mtorr, 10mtorr로 변화시켜 각각 소자를 제작하였고, 각 증착 조건에 따라 제작한 시료가 기판에 대해 수직한 C축의 ZnO(0002) 결정방향으로 배향 하고 있는가를 확인하기 위해 X선 회절 분석을 하였다. 그 결과 200℃의 온도에서 증착한 모든 ZnO 박막은 C축의 0002 방향으로 우선 배향함을 알 수 있었으며, ZnO(0002)의 반가폭(Full Width Half Maximum)은 산소 압력이 0.1mtorr에서 10mtorr로 높아질수록 반가폭은 0.51°에서 0.34°로 크게 감소하여, 산소압력이 높을수록 결정성이 개선되는 것으로 나타났다. 그림 1에는 200℃의 기판온도에서 형성한 ZnO 박막의 XRD 회절곡선을 보여주고 있다.

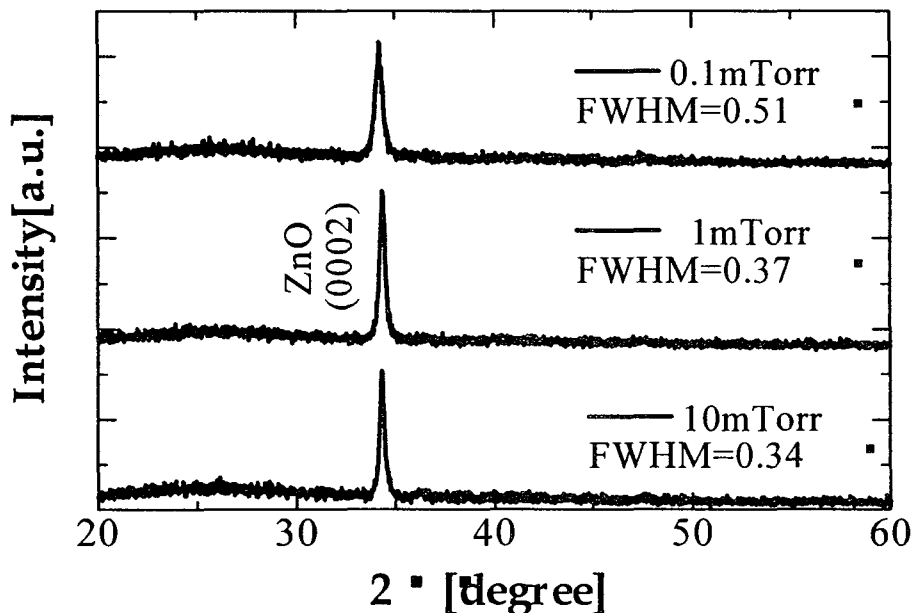


Fig. 1. XRD patterns of ZnO thin films deposited on teflon substrates.

그림 2는 테프론 기판위에 증착된 ZnO 박막의 전기적 특성을 홀효과 측정법인 Van der Pauw 법으로 측정한 결과를 보여주고 있다. 캐리어 농도는 약 $4 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 으로 산소농도에는 크게 영향을 받지 않은 결과를 나타내었다. 또한 200℃의 낮은 온도에서도 약 $5 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$ 의 비교적 작은 저항율을 나타내었다. 산소농도가 높아질수록 ZnO 박막의 저항값은 증가하는 경향을 보여주었다. 이동도의 경우 산소농도가 커지면 이동도가 감소하였으며, 이는 캐리어의 감소와 저항율의 증가에 따른 영향으로 판단된다. 0.1 mTorr에서 20 이상의 이동도를 나타낸 것은 유리 기판위에 더 높은 온도에서 성장된 다결정 ZnO 박막에서와 유사한 값을 얻을 수 있었다.

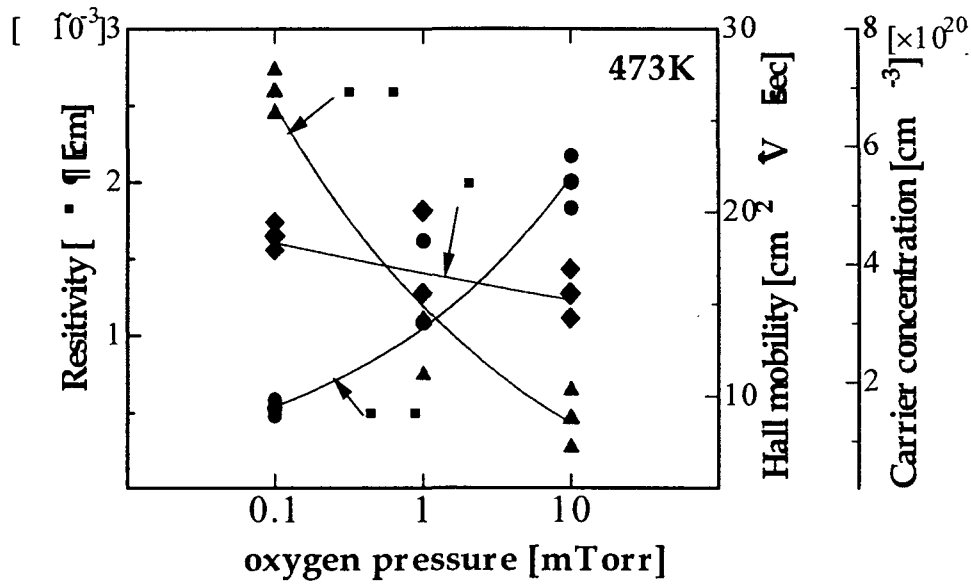


Fig. 2. Resistivity, Hall mobility and carrier concentration of ZnO thin films on teflon substrate as a function of oxygen pressures.

4. 결론

Flexible 투명전극 기판을 개발하기 위해 테프론 기판위에 ZnO 박막을 펄스 레이저 증착방법으로 형성한 후 결정학적, 전기적 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 200°C의 기판온도에서 증착한 ZnO 박막은 C축의 0002 방향으로 우선 배향한 결정구조를 보여주었다. 산소 압력이 10 mTorr 일때 반가폭(FWHM)은 0.34°의 값을 나타내었다.
- 2) ZnO 박막의 캐리어 농도는 약 $4 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 으로 산소농도에는 크게 영향을 받지 않았으며, 약 $5 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$ 의 저항율을 나타내었다.

참고 문헌

- [1] S. Masuda, K. Kitamura, Y. Okumura, S. Miyatake, H. Tabata and T. Kawai, J. Appl. Phys, 93 (3), p.1624, 2003.
- [2] A. V. Sinha, R. M. Mehra, N. Buthrath, A. Wakahara and A. Yoshida, J. Appl. Phys, 90(11), p.5661, 2001.
- [3] H. Kim, C. M. Gilmore, Appl. Phys. Lett., 76(3), p.259, 2000.
- [4] A. Van Dijken, E. A. Meulenkaamp, D. Vanmaekelbergh, J. Phys. Chem.B, 104, p.1715, 2000.