

펄스 레이저 증착법으로 성장된 투명 TFTs 채널층을 위한 ZnO 박막 분석

이원용, 김지홍, 노지형, 조대형, 문병무, 구상모*
 고려대학교 전자전기공학과, *광운대학교 전자재료공학과

Characterization of ZnO Thin Films Grown by Pulsed Laser Deposition for Channel Layer of Transparent TFTs

Wonyong Lee, Ji-Hong Kim, Ji-Hyoung Roh, Dae-Hyung Cho, Byung-Moo Moon, Sang-Mo Koo*
 Korea University, *Kwangwoon University

Abstract : ZnO thin films were deposited on glass substrates by pulsed laser deposition (PLD) at various oxygen pressures. We observed structural, electrical and optical properties of ZnO films. Structural properties were analysed by XRD and FE-SEM. Electrical properties for applications of transparent thin film transistors (TTFTs) were measured by hall measurement using van der pauw methods at room temperature. In order to apply in transparent devices, we measured transmittance, and optical bandgap energy was calculated by Tauc's equation. The results showed that ZnO films deposited at 200mTorr oxygen pressure were applicable to channel layers of transparent TFTs. It had high hall mobilities ($52.92\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$) and suitable transmittance at visible wavelength region (above 80%).

Key Words : ZnO, pulsed laser deposition, channel layers, XRD, hall measurement

1. 서 론

최근에 투명 박막 트랜지스터 분야의 연구가 매우 활발하게 진행되고 있다. 박막 트랜지스터의 채널 특성에 가장 큰 영향을 미치는 파라미터는 채널 내 캐리어의 이동도인데, 이는 증착 공정 시 산소압에 의해 많은 영향을 받는다 [1]. 본 논문에서는 다양한 산소압에서 증착된 ZnO 박막의 구조적, 전기적, 광학적 특성을 분석하였다.

2. 실험

ZnO 박막은 유리기판 위에 PLD를 이용하여 증착하였다. 타겟은 순도 99.99%의 ZnO 타겟을 사용하였고, 레이저 소스는 355nm의 파장 영역을 갖는 Nd:YAG 레이저(Continuum, Surelite III)를 사용하였다. 증착 시 타겟과 기판 사이의 거리는 5cm, 기판 온도는 400°C로 유지하였고, 증착시간은 10분이었다. 증착 시 산소압을 5 ~ 200mTorr로 변화하면서 실험하였고, 타겟에 레이저가 고르게 조사될 수 있도록 타겟을 6rpm으로 회전시켰다. 증착 후 ZnO 박막의 구조적, 전기적, 광학적 특성을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1에 성장된 ZnO 박막의 X선 회절 패턴을 나타내었다. 삽입된 그림에는 산소압에 따른 (002) 피크의 2θ 값 변화를 요약하였다. ZnO 박막은 c축 우선 배향성을 보였으며, 산소압이 커짐에 따라 (002) 피크의 2θ 값이 커지는 형태를 나타내었다. ZnO 박막은 V_o 또는 Zn_i 의 결함에 의해 n-type 캐리어가 생성된다 [2]. Bragg's law ($n\lambda = 2d\sin\theta$)에 의해 (002) 피크의 2θ 가 벌크일 때보다

작으면 c축 방향의 면간 거리가 커진다고 생각할 수 있는데 이것은 Zn_i 에 의한 것으로 사료된다. 반대로 벌크일 때보다 2θ 가 크면 V_o 에 의해 c축 방향의 면간거리가 작아지는 것으로 해석할 수 있다.

100mTorr에서 성장된 박막은 (002) 피크의 2θ 가 34.42°로 벌크일 때의 값과 일치하였다. 따라서 100mTorr에서 성장된 ZnO 박막은 Zn^{2+} 이온과 O^{2-} 이온의 조성비가 1:1인 stoichiometry 특성을 나타낼 것으로 예상된다. 이러한 결과는 B. L. Zhu *et. al.* [2]의 연구결과와도 잘 일치한다.

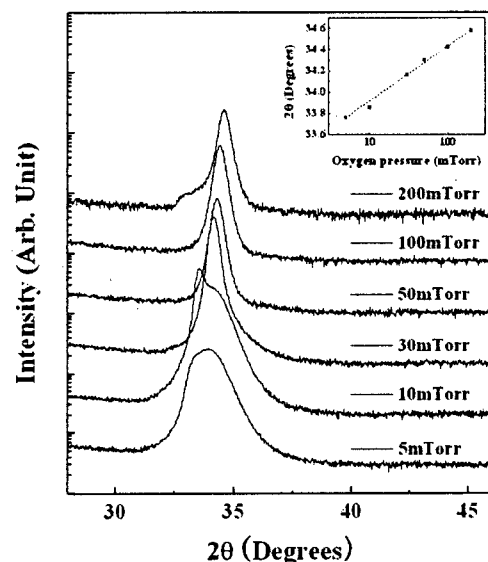


그림 1. ZnO 박막의 X선(CuK α) 회절 패턴.

그림 2에 ZnO 박막의 전기적 특성을 알아보기 위해 Van Der Pauw법에 의해 시행한 Hall measurement 결과를 제시

하였다. ZnO 내 캐리어의 농도는 앞서 논의한 V_o , Zn_i 결함에 의해 결정된다 [2]. 따라서 XRD의 결과와 Hall 측정 결과를 종합하여 ZnO 박막의 캐리어 생성원인을 분석해 보면 5~50mTorr의 경우 Zn_i 에 의한 것이 지배적이고, 200mTorr에서 성장한 박막의 경우는 V_o 가 캐리어 생성에 기인한 것으로 볼 수 있다.

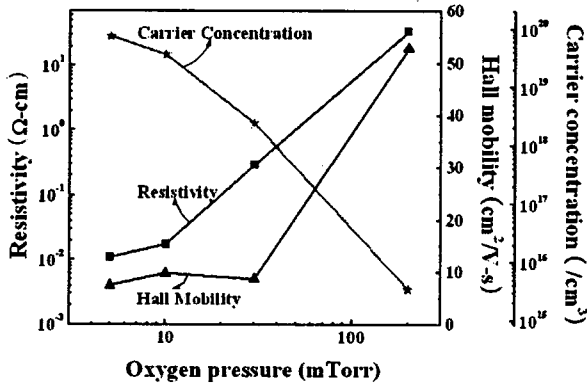


그림 2. Hall measurement 측정 결과.

산소압이 높아짐에 따라 Hall 이동도와 비저항은 점점 증가하는 추세를 나타내었고, 캐리어농도는 점차 작아지는 경향을 보였다. 특히 50mTorr, 100mTorr에서 성장된 ZnO 박막은 표면의 저항이 너무 높아 Hall 측정이 불가능했다. 이는 벌크 특성의 ZnO가 매우 높은 절연 특성을 보이기 때문인데 이러한 결과는 앞서 논의한 XRD 결과와도 일치한다.

증착된 박막이 박막 트랜지스터에 적용되기 위해서는 캐리어 농도는 낮아야 하고, 캐리어 이동도는 높아야 한다 [1]. 200mTorr에서 증착된 박막은 캐리어 농도가 $3.44 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ 수준으로 비교적 낮고, 캐리어 이동도는 $52.92 \text{cm}^2/\text{V-s}$ 로 매우 좋은 특성을 나타내고 있다.

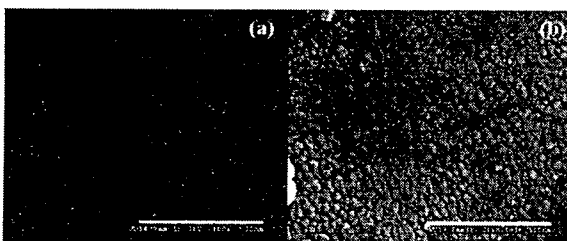


그림 3. ZnO 박막의 표면 이미지.
(a) 10mTorr, (b) 200mTorr

그림 3에 10mTorr와 200mTorr에서 각각 성장한 ZnO 박막의 표면 사진을 나타내었다. 산소압이 클수록 표면의 결정립이 크게 관찰되었다.

그림 4는 ZnO 박막의 투과도를 측정한 결과이고, 삽입된 그림은 투과도 결과를 바탕으로 Tauc's equation을 사용하여 optical bandgap energy를 계산한 결과이다. 5, 10mTorr에서 증착된 박막은 가시광영역에서 투과도가 60% 정도

로 낮은 수치를 나타내었고, 그 외의 박막에서는 투과도 80% 이상을 나타내었기 때문에 투명소자에 적용하기에 충분한 것으로 사료된다.

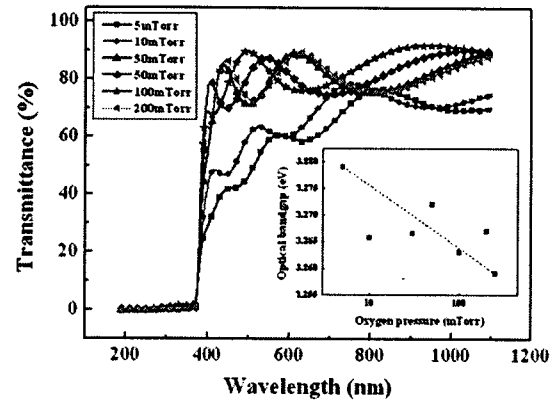


그림 4. ZnO 박막의 투과도 측정 결과

투과도 결과를 아래의 Tauc's equation [3]에 대입하여 optical bandgap을 계산하여 보면,

$$\alpha h\nu = C(h\nu - E_g)^{1/2}$$

산소압이 높을수록 optical bandgap이 작아지는 경향을 나타내는데 이러한 결과는 산소압이 높아짐에 따라 결정립의 크기가 조대해지고, 캐리어의 농도가 감소함에 따른 것으로 해석할 수 있다.

4. 결론

Stoichiometry 특성이 관찰되는 증착조건을 기준으로 산소압을 적게 했을 경우 Zn_i 에 의해 주로 캐리어가 생성되었다. 반대로 산소압을 크게 했을 경우에는 V_o 에 의한 캐리어 생성이 지배적임을 알 수 있었다.

200mTorr에서 증착된 박막이 높은 캐리어 이동도 ($52.92 \text{cm}^2/\text{V-s}$)를 나타냄에 따라 박막 트랜지스터의 채널층으로서 응용이 가능함을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] Y. J. Li, Y. W. Kwon, M. Jones, Y. W. Heo, J. Zhou, S. C. Luo, P. H. Holloway, E. Douglas, D. P. Norton, Z. Park, S. Li, "Progress in semiconducting oxide-based thin-film transistors for displays", *Semicond. Sci. Technol.* Vol. 20, p. 720, 2005.
- [2] B. L. Zhu, X. Z. Zhao, S. Xu, F. H. Su, G. H. Li, X. G. Wu, J. Wu, J. Liu, "Oxygen Pressure Dependences of Structure and Properties of ZnO Films Deposited on Amorphous Glass Substrates by Pulsed Laser Deposition", *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 47, No. 4, p. 2225, 2008.
- [3] S. S. Lin, J. L. Huang, "Effect of thickness on the structural and optical properties of ZnO films by r.f. magnetron sputtering", *Surf. Coat. Technol.* Vol.185, p. 222, 2004.