Sol-Gel 법에 의해 제조된 Al-doped ZnO 박막의 Al 농도에 따른 광학적, 구조적, 전기적 특성

Optical and structural, electrical properties of Al-doped ZnO thin films with Al concentration by Sol-Gel process

이가은, 정종민, 최원석, 성승기, 한성홍, 김의정*

울산대학교 물리학과, *생명화학공학부

love100lke@mail.ulsan.ac.kr

ZnO 박막이 가시광 영역에서의 빛 투과도가 좋은 Ⅱ-Ⅳ 족의 n형 반도체이기 때문에 가스센서, 투명전도체, 표면 탄성자 소자(SAW device), 발광 소자 등에 널리 활용되고 있다[1]. ZnO 박막의 제조는 sol-gel, r.f. sputtering, chemical vapor deposition(CVD) 등 다양한 방법이 있다. 특히 sol-gel 법은 조성 제어가 용이하면 낮은 결정화 온도로 저비용으로 박막을 제조할 수 있는 큰 장점을 가지고 있다[2].

본 연구에서는 sol-gel 법을 이용하여 Al-doped ZnO 박막을 제작하고, Al 도핑 농도에 따라 Al-doped ZnO 박막의 광학적, 구조적, 전기적 특성을 조사하였다. 졸 제작 시 출발물질로 zinc acetate dehydrate($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$)와 $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$(extra purity)를 사용하여 ethanol에 1차 용해하고, diethanolamine($HN(CH_2CH_2OH)_2$, DEA)를 첨가하여 2차 용해한 후 하루 동안 교반시켜서 투명한 sol을 제조하였다. zinc acetate와 DEA의 몰 비는 1:1로 Zn acetate의 농도는 0.5 mol/l, 그리고 dopant로서 Al의 양은 0.0 at%, 0.5 at%, 1.0 at%, 2.0 at%, 4.0 at%로 첨가하여 Al 농도가 서로 다른 각각의 sol을 제조하였다. Dip-coater를 사용하여 인상속도 40 mm/min로 quartz glass에 sol을 코팅하여 박막을 제작하였다. 제작된 박막을 승온속도 10 ℃/min로 400 ℃에 4분간 건조 후 650 ℃에서1시간 동안 후열처리 하였다. Al-doped ZnO 박막의 결정 배향성을 조사하기 위해 X-선 회절기(Philips PW3710)를 이용하였으며, UV-visible spectrometer를 사용하여 투과율을 측정하고 광학적 밴드갭 에너지를 계산하였다.

그림 1은 Al 도핑 농도를 달리하여 6번 코팅으로 제작한 박막의 XRD 패턴을 나타낸 것이다. 모든 박막은 결정성을 이루고 있으며, 우선적으로 c-축 배향성이 뛰어난 hexagonal 구조를 가지는 것을 확인 할 수 있었다. 도핑 농도가 증가함에 따라 intensity가 감소하였고, 회절 피크의 반칙폭(FWHM)이 넓어지는 것을 알 수 있었다. 결정립의 크기는 FWHM과 2θ 값을 이용하여 Scherrer 식인 grain size = $0.9 \times \frac{\lambda}{B\cos\theta}$으로 계산하였다[3]. 이때, λ는 사용한 X-선의 파장길이, B는 반치폭, θ는 회절각도를 나타낸다. 계산결과, Al 도핑 농도가 증가함에 따라 결정립의 크기는 84에서 35 nm로 감소하는 것으로 나타났다.

그림 2는 Al 도핑 농도에 따른 박막의 투과율을 나타낸 것이다. 모든 박막은 가시광선 영역에서 평균 85 %의 높은 투과율을 나타내었다. Al 도핑 농도가 증가함에 따라 UV 흡수단은 단파장 쪽으로 이동함을 알 수 있다. 투과율 그래프로부터 밴드갭 에너지를 구해보면 Al 도핑농도가 0.0, 1.0, 2.0, 4.0 at% 일 경우 밴드갭 에너지의 값은 각각 3.26, 3.27, 3.28, 3.29 eV를 갖는다. 이 결과는 Al 도핑농도

의 증가로 인해 전도대의 가장 낮은 state를 방해하여 Fermi level이 전도대 위에 존재하게 되어 밴드 갭 에너지가 상승한다는 Burstein-Moss effect와 잘 일치한다[4].

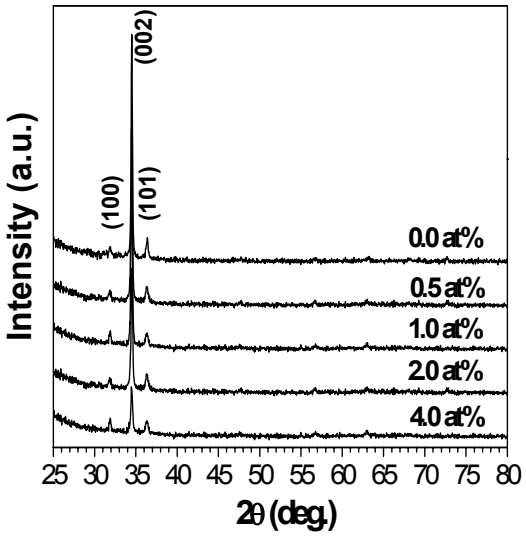

그림 1. Al 도핑 농도에 따른 Al doped ZnO 박막의 XRD patterns

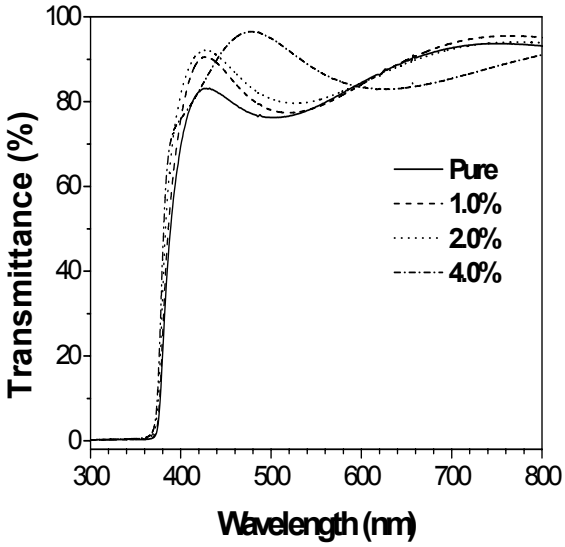

그림 2. Al 도핑 농도에 따른 Al doped ZnO 박막의 투과율

참고문헌

1. Y. F. Chen, D. M. Bagnall, H. J. Koh, K. T. Park, K. Hiraga, Z. Zhu, and T. Yao, "Plasma Assisted Molecular Beam Epitaxy of ZnO on c-plane sapphire : Growth and Characterization", J. Appl. Phys. 84, 3912-3918 (1998).

2. C. J. Brinker and G. W. Scherer, "Sol-gel Science : The physics and chemistry of Sol-gel Processing" Academic press, New York (1990).

3. B.D. Cullity,"Elements of X-ray Diffraction", Addison-Wesley, Reading, MA, 100-103 (1978).

4. F. K. Shan and Y. S. Yu, "Band Gap Energy of Pure and Al-Doped ZnO Thin Films", J. Eur. Ceram. Soc. 24, 1869-1872 (2004).