

RF 스퍼터링 법에 의한 ZnO 박막의 결정성과 기판의 냉각속도

박성현, 이능현, 지승한, 전석환, 이상훈¹, 추순남²
 경원대학교, 재능대학¹, 경원전문대학²

The crystalline characteristics of ZnO deposited on various cooling rates by RF sputter

Sung-Hyun Park, Neung-Hun Lee, Seung-Han Ji, Seok-Hwan Jeon, Sang-Hoon Lee¹, Soon-Nam Chu²
 Kyungwon Univ., Jaeneung Col.¹, Kyungwon Col.²

Abstract : ZnO thin films were prepared by RF magnetron sputter deposition on p-Si(100) wafer with various cooling rates of substrate temperature such as the substrates were pre-heated to 400°C before the deposition and then cooled down naturally or slowly to 300°C, 200°C, 100°C, and R.T. by the temperature controller during the deposition. The crystalline and micro-structural characteristics of the films were investigated by XRD and SEM. ZnO films which cooled down naturally or slowly by temperature controller during deposition, especially the film were deposited with cooling down from 400°C to 200°C slowly, showed the most outstanding c-axis preferred orientation.

Key Words : ZnO, RF magnetron sputtering, c-axis orientation, cooling rate

1. 서론

ZnO 박막은 결정구조의 이방성 및 비화학양론적 결합 구조, 넓은 밴드 갭 에너지, 광학적 투광성, 큰 압전상수 등의 특성으로 인하여 SAW(surface acoustic wave) 필터 및 BAW(bulk acoustic wave) 소자, 마이크로 액츄에이터, 가스 센서, 태양전지용 투명전극, 발광 다이오드 등에 널리 응용되고 있다.^[1-2]

ZnO 박막을 형성하는 방법으로는 e-beam evaporation 법과 CVD 법, 스퍼터링 법 등이 주로 사용되고 있으며, 특히 RF 마그네트론 스퍼터링 법을 이용하여 증착된 ZnO 박막은 각기 다른 여러 응용분야의 요구에 따라 RF power와 증착압력, 혼합가스 비율, 기판온도, 타겟과 기판 사이의 거리 등과 같은 증착 변수에 따른 박막의 결정성 및 표면형상, 전기적 혹은 광학적 특성 등을 고려하여 연구되어져 왔다. 또한, 최근 정보통신 산업의 급속한 발전으로 인하여 이동통신 및 위성통신에 사용되는 고주파 대역의 필터소자로서 SAW 필터와 FBAR 소자 등에 응용되기 위해서는 우수한 c축 배향성을 갖는 ZnO 박막이 요구되고 있다. 또한, ZnO 박막의 c축 배향성을 향상시키기 위해서 ALD(atomic layer deposition)를 RF 스퍼터와 연계해서 이용하는 2단 증착법과 같은 연구가 많이 진행되고 있다.^[3]

본 연구에서는 ZnO 박막을 SAW 필터나 FBAR 소자에 응용하기 위하여 RF 마그네트론 스퍼터링 법을 이용하여 증착 중 기판온도를 다양하게 변화시키면서 증착하였고, 이를 XRD와 SEM을 이용하여 각 조건에 따라 증착된 ZnO 박막의 결정성 및 미세구조를 분석하였다.

2. 실험

본 연구에서는 그림 1과 같은 구조의 RF 마그네트론 스퍼터를 이용하여 ZnO 박막을 증착하였다. 기판으로는 4인치 p-Si(100) 웨이퍼를 아세톤과 알코올, 초순수에 세척하여 질소가스에 송풍건조 후 사용하였고, 타겟 물질로는

순도 99.999%, 4인치 ZnO 타겟(고순도화학)을 사용하였다. 표 1에 ZnO 박막의 기본 증착조건과 다양한 기판온도 변화 조건을 나타내었다. 제작된 박막은 α -step을 이용하여 두께를 측정하였고, XRD를 이용하여 결정성을 조사하였으며, SEM을 이용하여 미세구조를 관찰하였다.

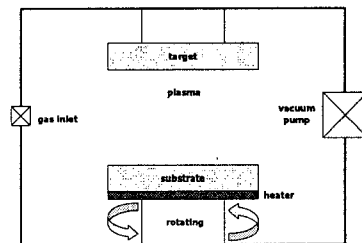


그림 1. RF 마그네트론 스퍼터의 구조.

표 1. ZnO 박막의 증착 조건.

Conditions	Value
RF power	200 W
working pressure	15 mTorr
working gas(ratio)	Ar:O ₂ (50:50)
gas flow rate	both 10 sccm
distance	10.5 cm
rotation speed	15 rpm
base pressure	low 10 ⁻⁷ Torr
deposition time	2 hrs
substrate temperature	RT 유지 200 °C 유지 400 °C 유지
* RT(room temperature)	400 °C to 300, TC
* NC(naturally cooling)	400 °C to 200, TC
* TC(slowly cooling)	400 °C to 100, TC 400 °C to RT, TC 400 °C to RT, NC

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 증착 전 미리 가열된 기판에 RF 마그네트론 스퍼터링 법을 이용하여 ZnO를 증착 시 시간에 따른 기판의 냉각 속도가 ZnO 박막의 결정성에 미치는 영향을 알아보기 위해서 그림 2와 같이 기판온도를 변화시켰다.

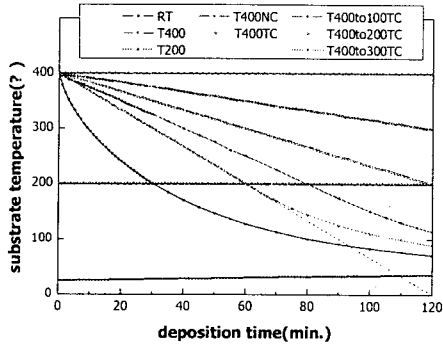


그림 2. 증착 시간의 증가 따른 기판의 온도변화.

다음은 각각의 기판온도 변화에 따라 증착된 ZnO 박막의 XRD 2θ 측정 결과를 그림 3에 나타내었다. 기판온도를 상온이나 200℃, 400℃로 유지 하는 것보다 400℃에서 냉각하면서 증착한 박막의 ZnO (002) 결정입자의 peak의 강도가 몇 배 이상 더 높게 나타났다. 특히 400℃에서 200℃까지 서냉하면서 증착한 박막의 peak의 강도가 가장 높게 나타났으며, 이때 냉각율은 약 -1.67℃/min.으로 계산되었다.

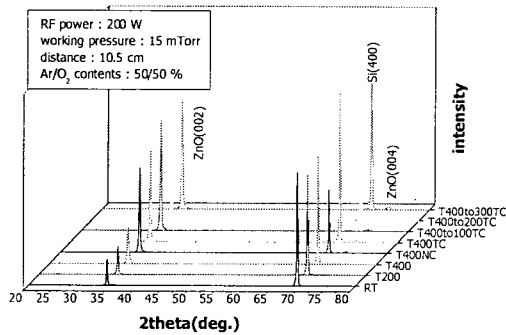


그림 3. XRD 2θ 측정 결과.

다음은 각각의 기판온도 변화에 따라서 증착된 박막의 SEM 관찰 결과를 그림 4에 나타내었다. 기판의 온도를 유지하며 증착한 박막에 비해 냉각시키며 증착한 박막의 입자의 크기(입경)가 더 조밀하게 나타났다. 4(b)의 경우 입경은 매우 작고 조밀하나 증착 중 과도한 기판온도로 인하여 입자들끼리 뭉쳐진 형상을 보이고 있으며 박막의 표면 상태도 매우 거친 모습을 보였다.

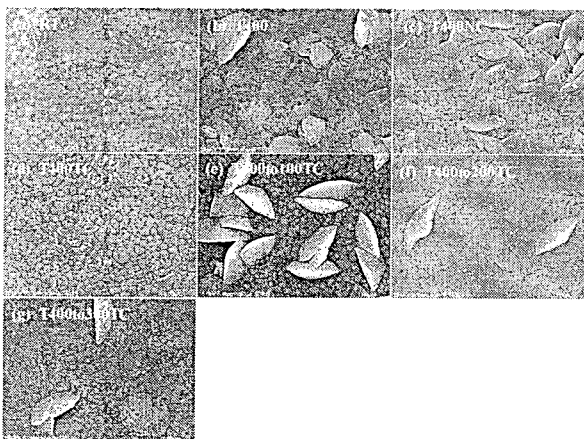


그림 4. SEM 관측 결과.

다음은 각각의 기판의 온도변화에 따라 증착된 ZnO 박막의 증착 및 XRD rocking curve의 반가폭, 기판의 냉각 속도 변화를 그림 5에 나타내었다. 냉각속도가 느릴수록 증착율은 조금씩 증가하였으며 ZnO (002) 결정입자의 XRD rocking curve의 반가폭이 낮게 나타남으로써 c축 우선배향성이 4° 이내로 우수하게 나타났다. 특히 400℃에서 200℃까지 서냉하면서 증착한 박막의 반가폭은 3.265° 정도로 가장 우수하게 나타났다.

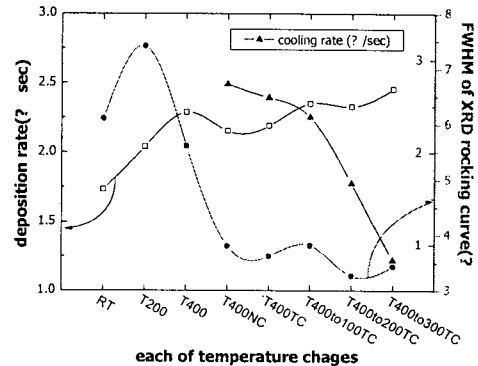


그림 5. ZnO 박막의 증착율 및 XRD rocking curve의 반가폭, 기판의 냉각속도 변화.

4. 결론

본 연구에서는 증착 전 미리 가열된 기판에 RF 마그네트론 스퍼터링 법을 이용하여 ZnO를 증착할 때 시간에 따른 기판의 냉각 속도가 ZnO 박막의 c축 배향성에 미치는 영향을 알아보았다. 증착 중 기판을 상온이나 200℃, 400℃로 유지하는 것보다 400℃에서 300℃나 200℃, 100℃, 상온으로 냉각시키면서 증착한 ZnO 박막의 XRD 측정 결과 및 SEM 관측 결과가 더 우수하게 나타났다. 특히, 400℃에서 200℃로 냉각시키면서 증착한 시편의 경우는 ZnO (002) 결정방향의 XRD rocking curve의 반가폭이 약 3.26° 정도로 매우 우수하게 나타났다. 이때 기판의 냉각 속도는 약 -1.67℃/min. 정도이다. 이러한 결과는 타겟에서 스퍼터링되어 기판에 도달한 입자들간의 표면 이동도 증가와 결합력 향상에 의해 고른 입경과 조밀한 층이 형성되고, 이는 박막 전체의 결정성을 향상 시킨 것으로 생각된다. 향후 이러한 증착법을 SAW 필터 및 FBAR 소자에 적용할 경우 우수한 RF 특성을 가질 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] 이종덕, 송준태, "RF magnetron sputtering 법으로 ZnO 박막 제조시 기판온도에 따른 c축 배향성에 관한 연구", 전기전자재료학회 논문지, Vol. 9, No. 2, p. 196, 1996.
- [2] 박성현, 추순남, 이능현. "압전층의 2단 증착법을 이용한 체적 음향파 박막형 공진기의 제작과 성능향상에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, Vol. 54C, No. 7, p. 308, 2005.
- [3] Hyoun Woo Kim and Nam Ho Kim, "Structural of room-temperature RF magnetron sputtered ZnO films under different RF powered conditions", Mater. Sci. & Eng. B, Vol. 103, p. 297, 2003.