

압전 박막의 증착변수에 따른 비저항 분석

Resistivity Analysis to Deposition Parameters of Piezoelectric Thin Film

이동윤

중부대학교 전기전자공학과

Dong-Yoon Lee

Joongbu Univ.

요약

ZnO박막을 c-축 방향으로 실리콘(Si 100)기판 위에 rf 마그네트론 스퍼터링 법으로 증착 하였고, 증착변수가 박막의 결정학적, 전기적 특성에 미치는 영향을 연구하였다. 기판온도 200°C, rf전력이 150W, 산소:아르곤 가스의 비율이 50%:50%, 그리고 증착압력이 10mTorr의 조건에서 증착된 박막이 강한 c-축 성장과 우수한 결정성을 나타내었다. 증착변수의 변화에 의한 ZnO 박막의 전기비저항은 크게 영향을 받고 있었는데, 산소비율이 증가할수록, 기판온도가 감소할수록, 비저항이 증가하였다.

Abstract

C-axis oriented zinc oxide thin films were deposited on Si(100) substrate by rf magnetron sputtering. The effects of deposition parameters on the crystallinity and electrical properties of ZnO films were investigated. As-deposited ZnO films showed the strong c-axis growth and excellent crystallinity under the deposition conditions as follows ; substrate temperature : 200°C, rf power : 150W, gas ratio : O₂/Ar = 50/50, chamber pressure : 10mTorr. The resistivity of ZnO films was significantly affected by deposition parameters. With increasing percentage of oxygen, and decreasing substrate temperature, the resistivity of ZnO films increased.

1. 서론

ZnO(zinc oxide)는 결정을 박막화하여 압전특성을 이용함으로써 탄성표면과 필터, 발광 다이오드 및 투명 전도막 등에 널리 활용되고 있다. ZnO 박막을 제조하기 위한 방법에는 스퍼터링(sputtering)법, 화학기상증착(CVD : Chemical Vapor Deposition)법, 반응성 증발(reactive evaporation)법 및 spray pyrolysis법 등이 있다. 스퍼터링법은 두께의 균일성이나 c-축 배향성에서 우수하고 저온증착이 가능한 장점이 있으나 성막시 전자의 충돌로 인한 결함이 발생할 가능성이 높고 증착률도 비교적 낮다. 이러한 일반적인 스퍼터링법에서 발생하는 문제점을 보완하기 위해 본 연구에서는 rf 마그네트론 스퍼터링법을 이용하였다. rf 마그네트론 스퍼터링법은 일반적인 스퍼터링법보다 증착율이 10배 이상 크고, 입자들이 자력선에 의해 타겟 주위를 맴돌기 때문에 입자들이 증착되는 박막과 충돌로 결함이 발생할 가능성이 상당히 줄어들며 자장에 의한 타겟 근처에 플라스마 밀도를 높일 수 있어 낮은 압력에서 공정이 가능하여 우수한 박막을 증착할 수 있다.

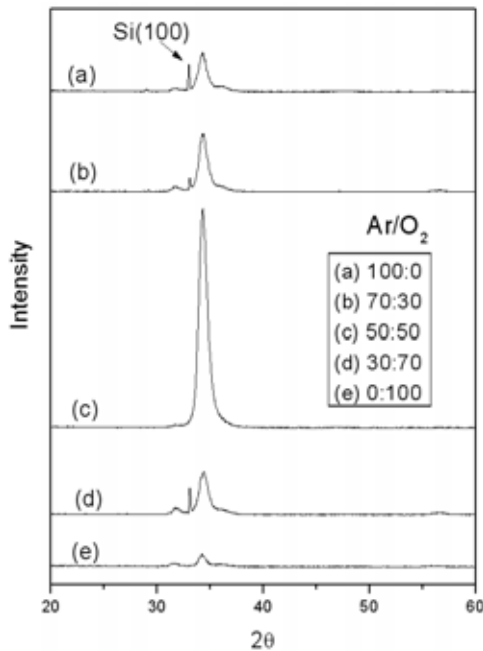
2. 실험

ZnO박막을 c-축 방향으로 실리콘(Si 100)기판 위에 rf 마그네트론 스퍼터링 법으로 증착 하였고, 각 증착 조건에서 제작된 ZnO 박막의 두께는 Tencor의 Alpha-step 200을 이용하여 측정된 다음 SEM으로 측면 사진을 찍어 두께를 보정하였다. ZnO 박막의 구조적 특성을 분석하기 위해 X-ray diffractometer를 이용 결정성 및 우선 배향성을 조사하였다. ZnO 압전 박막 층의 표면을 조사하기 위해 주사전자 현미경(SEM)으로 관찰하였다. 그리고 전기적 특성 변화를 분석하기 위해 Pt 기판 위에 ZnO박막을 증착한 다음 dc sputter system을 이용하여 상부 전극으로 Al을 증착 한 후 RT66A 프로그램을 사용하여 각각 증착 조건에 따른 저항을 구한 다음 비저항을 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

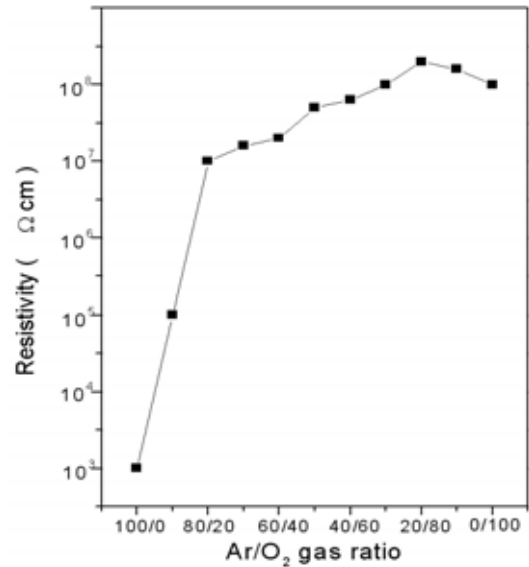
그림 1은 챔버압력 10 mTorr, 인가전력 150W, 기판온도 200°C 및 타겟과 기판과의 거리 40mm의 증착 조건에서 Si(100)기판에 Ar/O₂ 가스 비의 변화에 따라 증착된 ZnO박막의

결정성을 나타낸 그림이다. Ar/O₂ 가스 비에 따른 특성의 변화는 결정성뿐만 아니라 ZnO박막을 타겟표면과 필터로 응용하기 위한 특성 중 전기적 특성에 큰 영향을 미치므로 정확한 분석이 요구된다. 일반적으로 스퍼터링된 ZnO박막은 다결정이며 각 결정들은 기판에 수직인 결정학적 c-축으로 성장한다.



▶▶ 그림 1. RF power 150W, 기판온도 200°C에서 Ar /O₂ 가스 비에 따른 ZnO 박막의 XRD.

Ar/O₂ 가스 비의 조성비 변화에 대한 ZnO박막 결정성은 그림 1의 결과에서 알 수 있듯이 기판에 수직인 100(2 θ =31.770), 002(2 θ=34.422), 101(2 θ=36.253) 회절피크가 관찰되고 있다. 스퍼터링 가스 중 산소의 조성비에 대한 결정성은 산소의 조성비가 증가할수록 (002) 결정면에 대한 XRD 회절 피크는 산소의 조성비가 50 % 일 때까지 증가하다가 그 이상 산소 양이 증가하면 2θ가 34° 부근에서 기판에 수직인 (002) 방향에 ZnO의 peak intensity가 감소하는 특성을 보인다. 아르곤과 산소의 가스비가 50 % 일 때 XRD 회절 피크가 가장 컸고 (002) 결정면만이 성장되었다. 이와 같은 결과는 ZnO 박막 제조에서 ZnO 산화물 타겟을 사용할 경우 일정 정도의 산소 유입이 있어야 우수한 결정성을 가진 매끄러운 표면을 제작할 수 있으나, 스퍼터링 가스인 산소 조성비가 50 % 이상으로 증가할 경우 Zn, O, ZnO 의 스퍼터링 율의 차이와 ZnO 와 O의 표면 결합에너지차이 및 결정학적 구조의 관점에서 octahedral interstitial site로 Zn원자가 들어가기 때문에 과도한 산소의 유입에 따른 입자 배향성등의 변화에 따라 결정성이 저하된다.



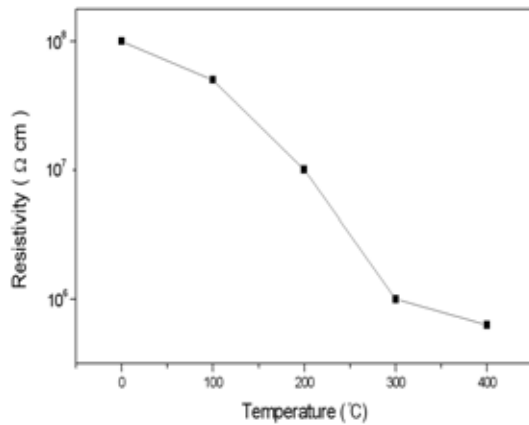
▶▶ 그림 2. ZnO박막의 Ar/O₂ 가스 비에 따른 비저항 변화.

그림 2는 인가전력 150W, 기판온도 200°C 및 타겟과 기판과의 거리 40mm의 증착 조건에서 각각 아르곤과 산소 비의 변화에 따라 증착된 ZnO박막의 Ar/O₂ 가스 비에 따른 비저항의 변화를 나타냈다. 전기적 특성 변화를 분석하기 위해 Pt 기판 위에 ZnO박막을 증착한 다음 dc sputter system을 이용하여 상부 전극으로 Al을 15분간 1000Å 두께로 증착 한 후 RT66A를 사용하여 각각 증착 조건에 따른 저항

$$(R = \rho \frac{L}{A}) \text{을 구한 다음 비저항 } \rho[\Omega\text{cm}] \text{를 계산하였}$$

다. Ar/O₂ 가스 혼합비에 따른 비저항의 변화는 산소의 유입이 없는 순수한 아르곤 분위기에서 증착한 ZnO 박막의 비저항은 10³Ωcm 정도로 비교적 낮은 비저항 값을 가지지만 산소의 유입이 시작되면 급격히 비저항이 증가하여 유입되는 산소의 양이 50% 정도면 약 9×10⁷Ωcm의 값을 가지며 그 이상의 산소가 유입되어도 증가폭은 미미하고 포화되는 특성을 보였다. 이와 같이 비저항이 증가하는 원인은 산소량이 증가됨에 따라 ZnO박막의 선택방위(preferred orientation)가 감소하여 비저항의 증가에 기여를 한 것이며 산소량의 증가에 따라 입자 크기의 감소에 따른 kernel 크기의 감소와 입계 영역의 증가가 전도를 감소시켜 비저항을 증가 시킨 것이다. 그러므로 비저항과 표면현상은 유입되는 산소에 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 이는 산소가 유입되면 산소는 표면 및 불순물과 산화 반응을 일으켜 전도 물질이 급격히 감소하게 되어 비저항이 증가 한다. ZnO 박막을 타겟표면과 필터에 응용 시에 외부로부터의 전기 신호의 왜곡을 막기 위해서 이와 같은 높은 비저항 값을 가져야한다. 그림 3은 Ar/O₂가스비가 50:50, 인가전력 150W, 챔버압력 10mTorr 및 타겟과 기판과의 거리 40mm의 증착 조건에서 기판온도를 변화시키면서 증착된 ZnO박막

의 비저항 변화를 나타내고 있다.



▶▶ 그림 3. ZnO박막의 기판온도에 따른 비저항변화.

기판온도가 상온에서 300°C로 증가함에 따라 비저항 값이 감소하는 특성을 보여준다. 이와 같이 기판온도가 증가함에 따라 비저항이 감소하는 것은 비 화학 양론적인 관점에서 기판온도가 증가함에 따라 결합에너지가 낮은 산소 원자가 증착된 ZnO 박막 내에서 높은 에너지를 갖는 입자들의 충돌이 있을 경우 우선적으로 재스퍼터링 되어 박막을 Zn 과잉 상태로 촉진시켜 과잉 Zn 이온, 산소 결합등과 같은 결합수의 증가로 인한 전도 물질의 증가가 비저항의 감소의 원인이 된다. 그리고 기판온도에 따른 비저항의 변화는 기판온도가 상온에서 300°C로 증가함에 따라 약 $2 \times 10^8 \Omega \text{cm}$ 에서 $8 \times 10^6 \Omega \text{cm}$ 로 비저항 값이 감소하였다.

■ 참고 문헌 ■

- [1] Colin Campbell, "Surface Acoustic Wave Devices and Their Signal Processing Applications", Academic Press, p. 332, 1987.
- [2] David P. Morgan, "Surface-Wave Devices for Signal Processing", Elsevier Science, p. 60, 1985.
- [3] Ben G. Streetman "Solid State Electronic Devices", Prentice Hall, p. 131, 1980.
- [4] Qian Zhenxing et al., "A modified ZnO film model for calculating elastic and piezoelectric properties," IEEE Trans. Sonics Ultrason., SU-32, 5, 630, 1985.
- [5] Kentaro Setsune and Kiyotaka Wasa, "Use of Three IDT SAW devices in high definition satellite TV receivers," IEEE Trans. Sonics Ultrason., SU-31, 6, 652, 1984.