

SAW 필터용 ZnO 압전 박막의 전기적 특성

Electrical Characteristics of ZnO Piezo-electric Thin Film for SAW Filter

이동윤^{1,a}, 윤석진²

(Dong-Yoon Lee^{1,a} and Seok-Jin Yoon²)

Abstract

The structural and electrical property of RF magnetron sputtered ZnO thin film have been studied as a function of RF power, substrate temperature, oxygen/argon gas ratio and film thickness at constant sputtering power, sputtering working pressure and target-substrate distance. To analyze a crystallographic properties of the films, $\theta/2\theta$ mode X-ray diffraction, SEM, and AFM analyses. C-axis preferred orientation, resistivity and surface roughness highly depended on oxygen/argon gas ratio. The resistivity of ZnO thin film(6000 Å) rapidly increased with increasing oxygen ratio and the resistivity value of $9 \times 10^7 \Omega\text{cm}$ was obtained at a working pressure of 10 mTorr with the same oxygen/argon gas ratio. The surface roughness was also improved with increasing oxygen ratio and the ZnO films deposited with the same oxygen/argon gas ratio showed the excellent roughness value of 28.7 Å. With increase of the substrate temperature, The C-axis preferred orientation of ZnO thin film increases and the resistivity decreases due to deviation from the stoichiometric ZnO due to oxygen deficiency.

Key Words : ZnO, Preferred orientation, Roughness, Resistivity, Stoichiometric

1. 서 론

ZnO(zinc oxide)는 육방정계 불자이트(hexagonal wurtzite) 형태의 결정으로 6 mm 대칭성을 갖는 II-VI 족 화합물 반도체이며 압전성(piezo-electric),반도성(semiconducting),광도전성(photo-conducting) 재료로서 ZnO결정을 박막화하여 압전 특성을 이용함으로써 SAW(Surface Acoustic Wave; 탄성 표면파) 필터, 발광 다이오드 및 투명 전도막 등에 널리 활용되고 있다[1,2]. 압전 특성을 활용하기 위한 ZnO박막은 유리, 실리콘, 금속 박막 등의 기판 상에 형성되는 C-축 다결정 배향막과 사파이어 등의 단결정 기판 상에 형성되는 단결정 막이 디바이스에 응용되고 있으며 ZnO가 갖는 결

정 대칭성에 따라 다결정박막이라도 그의 C-축 방향과 극성이 일치되어 있으면 단결정 박막과 등가인 압전성을 갖는다. 압전 박막으로 ZnO를 이용할 때 가장 중요한 특성 가운데 하나가 바로 C-축 배향성이다[3]. ZnO 박막 증착 방법에는 스퍼터링법(dc, rf, ion beam, magnetron, reactive)이 있는데 이는 압전성을 이용한 소자의 응용에 주로 사용된다[4]. ZnO박막은 C-축이 기판(substrate)상에 수직으로 우선 배향(preferred orientation)현상을 나타낸다. ZnO박막이 양호한 압전성을 갖기 위해서는 결정구조에서 나타나는 C-축이 기판 상에 수직으로 배향하고 그 편차가 6° 이하이며 높은 압전 결합계수와 비저항은 $10^6 \Omega\text{cm}$ 이상의 값이 요구된다. ZnO 박막 성장 시 C-축으로 배향된 입자들의 기판에 대한 수직도가 감소할수록 압전 결합계수가 낮아져 그 효율성이 낮아진다. 그러므로 스퍼터링법으로 박막 제조 시에는 증착 조건의 변화 즉, RF전력, 기판온도, Ar/O₂ 가스 비, 스퍼터링 압력, 기판과 타겟 사이의 거리등에 따라 우선배향의 특성이 변하게 되며 증착 변수에 따른 C-축 배향성

1. 중부대학교 정보통신학과
(충남 금산군 추부면 대학로 101)
2. 한국과학기술연구원 박막재료연구센터
a. Corresponding Author : dylee@joongbu.ac.kr
접수일자 : 2005. 8. 11
1차 심사 : 2005. 8. 29
심사완료 : 2005. 9. 8

의 평가는 중요한 의미를 가진다[5-7]. 본 연구에서는 SAW 필터에 응용이 가능한 ZnO박막을 C-축 방향으로 실리콘(Si 100)기판 위에 RF 마그네트론 스퍼터링 법으로 증착 하였다. 스퍼터링 증착 시 박막의 C-축 배향성에 영향을 크게 미치는 RF 전력 및 Ar/O₂ 에 따른 C-축 배향성과 결정화 양상의 관계를 X선 회절법과 전자현미경 및 AFM으로 분석함으로써 SAW필터의 응용에 적합한 증착 조건을 제시하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험순서

본 연구에서 사용된 기판은 Si (100)으로 박막 성장의 기저 면인 기판 오염은 ZnO 박막 성장에 영향을 미칠 수 있으므로 이 물질을 제거하기 위하여 아세톤, 알코올, 증류수 속에서 각각 10분간 초음파 세척을 한 후 질소를 이용해 송풍 건조하였다. 증착 전 챔버내 불순물을 최대한 제거하기 위해 챔버의 초기 진공도는 로터리 및 확산펌프를 이용하여 5×10^{-6} Torr를 유지한 후 반응성 가스인 고순도의 Ar/O₂ 혼합가스의 비율을 변화시키며 챔버 내로 주입하였다. 그리고 타겟 표면에 형성된 불순물과 초기의 불안정한 상태의 플라즈마를 안정화시키기 위해 shutter를 닫은 상태에서 기판 홀더를 타겟으로 부터 180°회전시키고 각각 30분씩 pre-sputtering을 하였으며, 그 후에 타겟과 기판 홀더를 일직선으로 정렬한 다음 shutter를 열어 ZnO박막을 증착하였다. ZnO 박막은 4 inch ZnO 타겟(99.999 %)을 이용하여 조건을 변화시키면서 기초 실험을 한 후 양호한 조건인 스퍼터링 압력 10 mTorr, 기판온도 200 °C, 기판-타겟의 거리 40 mm에서 Ar/O₂가스 비, RF 전력을 변화시키면서 Si (100)기판 위에 ZnO박막을 증착하였다. 증착 조건은 표 1 과 같다.

표 1. ZnO 박막 증착 조건.

Table 1. Sputtering conditions of ZnO thin films.

Deposition parameters	Conditions
RF power	50 ~ 250 W
Substrate temperature	R.T. ~ 400 °C
Distance of target-substrate	40 mm
Ar/O ₂ gas ratio	100/0 ~ 0/100
Sputtering pressure	10 mTorr
Base Pressure	5×10^{-6} Torr

2.2 ZnO 박막의 구조적 특성 및 전기적 특성

각 증착 조건에서 제작된 ZnO 박막의 두께는 Tencor의 Alpha-step 200을 이용하여 측정된 다음 SEM으로 측면 사진을 찍어 두께를 보정하였다. 또한, Ar/O₂ 혼합 가스 비, RF전력 등의 증착 변수에 따른 ZnO 박막의 구조적 특성을 분석하기 위해 X-ray diffractometer를 이용 결정성 및 우선 배향성을 조사하였다. 이때 X-ray는 Cu ka line(=1.54060 Å)을 사용하였으며, 스텝 폭과 주사 속도는 각각 0.02, 0.2(sec) 이었다. ZnO 압전 박막층의 표면을 조사하기 위해 주사전자 현미경(SEM)으로 관찰하였다. 그리고 ZnO 박막의 평행도는 AFM으로 분석하였고 전기적 특성 변화를 분석하기 위해 Pt 기판 위에 ZnO박막을 증착한 다음 dc sputter system을 이용하여 상부 전극으로 Al을 15분간 1000 Å 두께로 증착 한 후 RT66A 프로그램을 사용하여 각각 증착 조건에 따른 저항을 구한 다음 비저항을 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 ZnO박막의증착속도변화

챔버압력 10 mTorr, 기판온도 200 °C 및 타겟과 기판과의 거리 40 mm의 증착 조건에서 Si 기판에 Ar/O₂가스 비가 같은 비율 일때, RF power를 50 W에서 250 W까지 50 W간격으로 변화시켜 ZnO 박막을 60분 동안 증착시킨 결과 막의 두께가 50 W 에서 약 2100 Å, 250 W 에서 약 10300 Å으로 RF power가 증가함에 따라 막의 두께는 거의 선형적으로 증가하였다. 그림 1에서와 같이 RF power에 따라 막의 두께는 선형적으로 변하여 막의 두께를 조절할 수 있었고 기판 온도의 변화는 증착된 박막의 두께에 큰 영향을 미치지 않았다. 이는 인가전력이 증가하면 입사하는 방전 가스인 아르곤과 산소의 이온 에너지가 커지게 되고, 그에 따라 스퍼터링율이 상승하여 증착 속도가 증가하기 때문이다. 그림 2는 인가전력 150 W에서 아르곤과 산소의 혼합 가스 비에 따른 박막의 두께를 나타낸 것이다. 증착속도는 아르곤과 산소의 혼합비가 100/0에서는 약 6,800 Å 그리고 0/100에서는 3,300 Å으로 ZnO박막이 성장되어 혼합 가스 중 산소의 함유량이 증가할수록 박막의 성장속도는 감소함을 알 수 있다. 스퍼터링시 산소의 분압비에 따른 박막의 증착속도 차이는 스퍼터링 가스내의

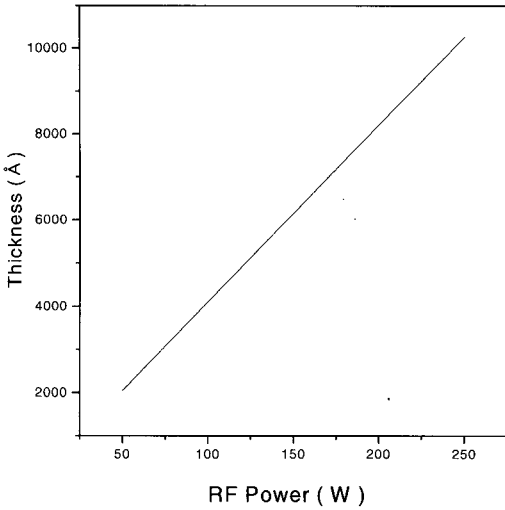


그림 1. 인가전력에 따른 ZnO 박막의 두께.
 Fig. 1. The thickness of ZnO films as a function of RF power.

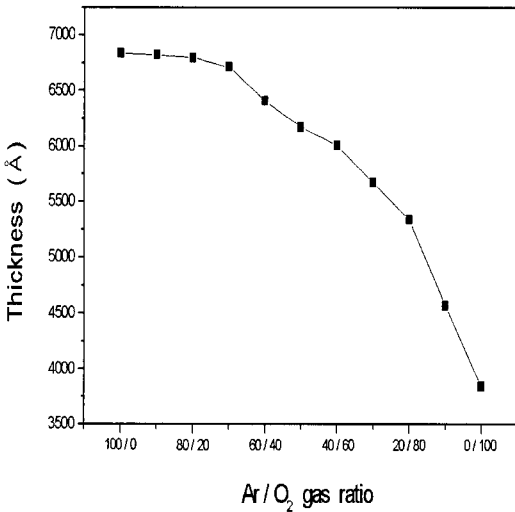


그림 2. 인가전력 150 W, 기판온도 200 °C에서 Ar/O₂ 가스비에 따른 ZnO 박막의 두께.
 Fig. 2. The thickness of ZnO films as a function of Ar/O₂ gas ratio at RF power of 150 W and substrate temperature of 200 °C.

산소 이온들이 스퍼터링 입자들의 기관 전달과정에 미치는 영향 때문으로, 아르곤과 산소의 이온화 에너지는 각각 15.76 eV와 13.61 eV로 ZnO 타겟에 충돌하는 입자와 스퍼터링되는 입자 사이의 에너지 전달은 두 입자의 에너지가 비슷할 경우에 최대가 되므로 산소가 존재하지 않을 경우 스퍼터링율이 가장 크게 되며 이온화된 입자 중 산소량이 증가하면 아르곤에 의해 타겟에서 스퍼터링되는 양이 줄어들 것이므로 ZnO의 증착속도는 감소하게 된다[8,9]. 특히 ZnO 타겟을 이용한 스퍼터링시 산소의 유입이 미미한 경우는 Zn과 O가 개별적으로 스퍼터링되는 양이 우세하다가 산소량이 증가하면 Zn, O 이외에 Zn-O 등의 원자 응집체들이 함께 스퍼터링되어 산소의 유입량이 증가할수록 증착속도는 감소하며 이와 같은 요인들이 박막의 성장속도와 결정성에 영향을 미친다[10].

3.2 RF power에 따른 박막의 결정성 및 배향성

ZnO 박막의 인가전력에 따른 결정성 및 C-축 우선배향성 정도를 분석하기 위해서 $\theta/2\theta$ 의 XRD 분석을 하였고, 그 결과를 그림 3에 나타내었다. 각 인가전력에 대한 정확한 분석을 위하여 ZnO 박막의 두께는 약 6000 Å으로 고정하였다. Si(100) 기관위에 증착된 ZnO 박막은 $\theta/2\theta$ XRD 결과에서 모든 인가전력에서 기관에 수직인 (002) 결정면만이 존재하는 것을 보여 주며 다른 이상의 결정면은 존재하지 않음을 알 수 있고 인가전력의 변화에 따른 회절 피크는 150 W의 전력을 인가했을 때 가장 큰 것을 알 수 있다. 50 W에서 peak은 기관인 실리콘 peak 이다. 인가전력에 따른 결정성의 변화는 주로 인가전력에 의한 증착속도의 변화, 즉 속도론적 관점이나 스퍼터링되는 입자들의 종류에 따른 성장 단위에 의해 설명될 수 있다. 낮은 인가전력의 경우 스퍼터링되어 기관에 도달하는 입자들의 운동 에너지가 낮아서 기관에 도달하는 입자들의 표면 이동도가 보장되지 않아 결정성이 좋지 않은 박막이 형성되나, 인가전력을 증가시킬 경우 원자들의 표면 이동도를 증가시켜 우수한 결정질의 박막을 증착할 수 있다[11]. 그러나 이 이상의 인가전력의 증가는 증착속도의 과도한 증가로 인하여 표면 원자들이 충분히 격자 평형 위치로 이동하지 못한 상태에서 이후에 증착되는 입자들이 기관에 도달하여 결정성을 저하시키게 되는 것이다.

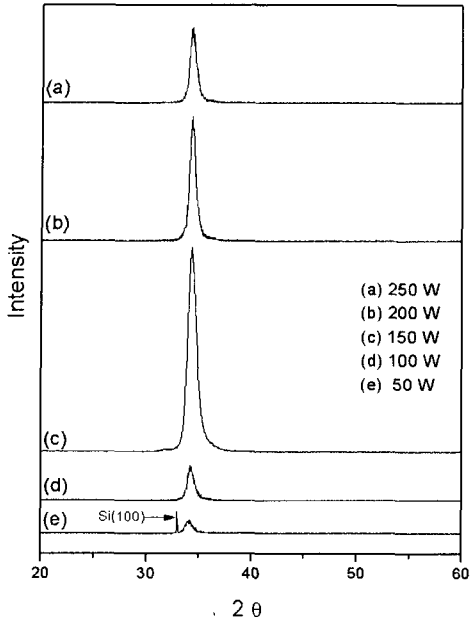


그림 3. Ar/O₂=50/50에서 인가전력에 따른 ZnO 박막의 XRD.

Fig. 3. XRD patterns of ZnO films as a function of RF power at Ar/O₂=50/50.

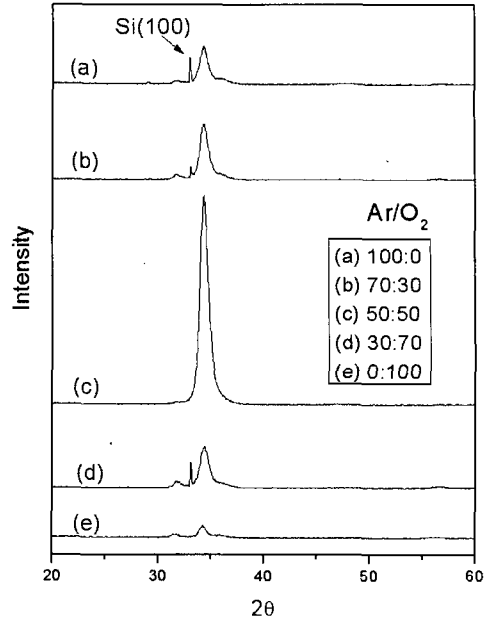


그림 4. RF power 150 W, 기판온도 200 °C에서 Ar/O₂ 가스 비에 따른 ZnO 박막의 XRD.

Fig. 4. XRD patterns of ZnO films at a function of Ar/O₂ gas ratio at RF power 150 W and substrate temperature of 200 °C.

3.3 Ar/O₂ 가스 비에 따른 결정성과 배향성

그림 4는 챔버압력 10 mTorr, 인가전력 150 W, 기판온도 200 °C 및 타겟과 기판과의 거리 40 mm의 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 SAW 디바이스로 응용하기 위한 특성 중 전기적 특성에 큰 영향을 미치므로 정확한 분석이 요구된다. 일반적으로 스퍼터링된 ZnO박막은 다결정이며 각 결정들은 기판에 수직인 결정학적 C-축으로 성장한다. Ar/O₂ 가스 비의 조성비 변화에 대한 ZnO박막 결정성은 그림 4의 결과에서 알 수 있듯이 기판에 수직인 100(2θ=31.770), 002(2θ=34.422), 101(2θ=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 가스비

가 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 제작 할 수 있으나, 스퍼터링 가스인 산소 조성비가 50 % 이상으로 증가할 경우 Zn, O, ZnO의 스퍼터링 율의 차이와 ZnO와 O의 표면 결합에너지차이 및 결정학적 구조의 관점에서 octahedral interstitial site로 Zn원자가 들어가기 때문에 과도한 산소의 유입에 따른 입자 배향성등의 변화에 따라 결정성이 저하된다[12]. ZnO 박막을 구성하는 입자들의 기판에 수직인 방향으로 배열한 정도는 알 수 없으므로 그림 5는 rocking curve라고 불리는 측정방법을 이용해서 Ar/O₂ 가스 비의 변화에 따른 rocking curve의 표준편차(σ) 값의 변화를 나타낸 것이다.

Rocking curve는 (002) 회절피크의 최대강도가 나오는 2θ지점에 X선 검출기를 고정시키고, 측정할 시편을 θscan하여 얻어지는 결과를 가우시안 분포로 근사화하여 표준편차 값을 구하는 방법으

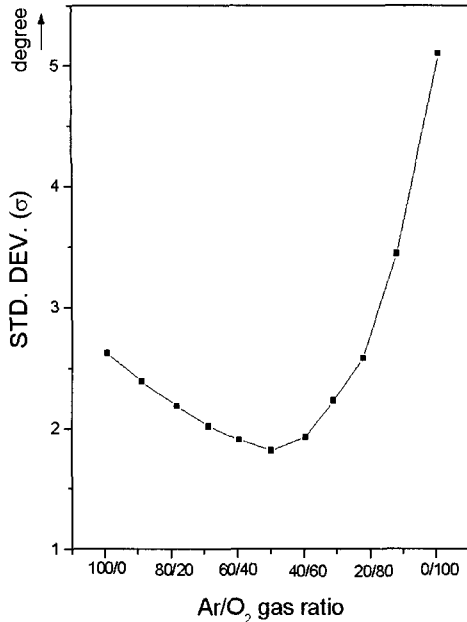


그림 5. Ar/O₂ 가스비에 따른 ZnO 박막의 (002) rocking curve의 표준편차 값의 변화.

Fig. 5. Variation of standard deviation of (002) rocking curve as a function of Ar/O₂ gas ratio.

로, 표준편차 값이 작을수록 특정 결정축이 기판에 수직인 정도가 우수한 것으로 증착된 박막의 우선 배향성을 알 수 있다. 본 실험에서 증착된 ZnO 박막은 산소량이 50 %까지 증가할수록 $\sigma = 2.7^\circ \sim 1.8^\circ$ 의 표준편차를 보였고 산소량이 50 %이상이 되면서 우선배향성의 감소가 큰 변화를 보여 산소만으로 스퍼터링한 경우 $\sigma = 5.2^\circ$ 의 표준편차를 보였다. 특히 ZnO 박막이 압전재료로 응용시 rocking curve의 표준편차가 6° 이내의 값을 가질 경우 양호한 수직도와 큰 압전 결합계수가 나타난다[13]. 그림 6은 인가전력 150 W, 기판온도 200 °C 및 타겟과 기판과의 거리 40 mm의 증착 조건에서 아르곤과 산소 비가 일정할 때 결정립의 미세구조를 나타낸 것으로 성장한 결정립의 구조가 매우 치밀한 형상을 보여 C-축 배향성이 향상되는 결과와 일치함을 알 수 있다. 성장한 결정립의 형상이 치밀하고 매끄러울수록 증착된 박막의 우선 배향성이 우수하게 나타난다. 본 실험에서는 인가전력 150 W, 기판온도 200 °C, 타겟과 기판과의 거리 40 mm의 증착 조건에서 아르곤과 산소의 혼합비 변화에 따라 제작된 ZnO박막의 결정성 및 표면현

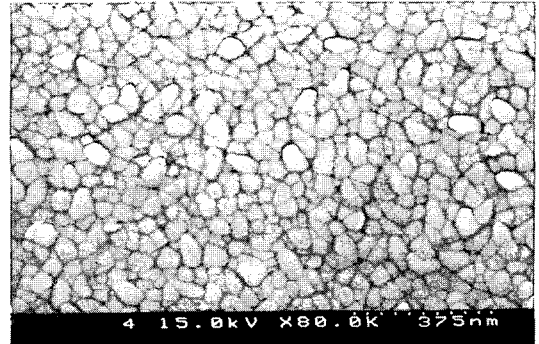


그림 6. RF power 150 W, 기판온도 200 °C에서 Ar/O₂ = 50/50 에서 ZnO 박막의 표면 SEM.

Fig. 6. SEM micrograph of ZnO film at 150 W, 200 °C and Ar/O₂ = 50/50.

상의 관계를 살펴보기 위해 가스 혼합비 변화에 따라 제작된 박막의 표면 현상 및 roughness 변화량을 AFM 분석으로 조사하였으며 그 결과는 그림 7에 나타내었다. 증착된 박막의 표면 거칠기는 아르곤과 산소의 혼합비가 50/50에서 약 28.7 Å으로 매끈하고 평탄한 표면을 가짐을 알 수 있다. SAW 필터에 응용 시에 박막표면이 거칠면 국부적인 속도 변화에 따른 주파수 변화가 심하게 되므로 평탄하고 매끄러운 표면의 ZnO박막이 요구된다. 그림 7과 8의 결과에서와 같이 스퍼터링 가스로 사용된 산소/아르곤의 가스 혼합비에 산소의 양이 50 %정도로 증가하면서 증착된 ZnO박막 표면의 평균 거칠기(average roughness)가 30 Å 이하로 감소하며 평탄한 표면이 제작되는 것을 알 수 있다. 특히 산소/아르곤의 가스 혼합비에서 산소의 양이 50 %이상 유입되면 표면의 거칠기는 큰 변화를 보이지 않으나 약간 개선되어 표면의 거칠기가 40 Å에서 30 Å 정도로 감소되나 유입되는 산소의 양이 50 %이하의 경우와 같은 급격한 표면 현상의 변화는 일어나지 않음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 스퍼터링 가스 혼합비에 변화에 따른 결정성의 변화 결과와도 잘 일치하는 것으로, 이것은 ZnO박막의 제작에 있어 Zn, O, ZnO 스퍼터링율의 차이와 Zn과 O의 표면 결합 에너지 차이에 기인하는 것으로 ZnO 박막 증착에 있어서 스퍼터링시 여분의 산소 유입이 있어야 결정성과 표면형상이 우수한 박막을 제작 할 수 있다[14]. 따라서, 결정성과 표면현상에 스퍼터링 가스인

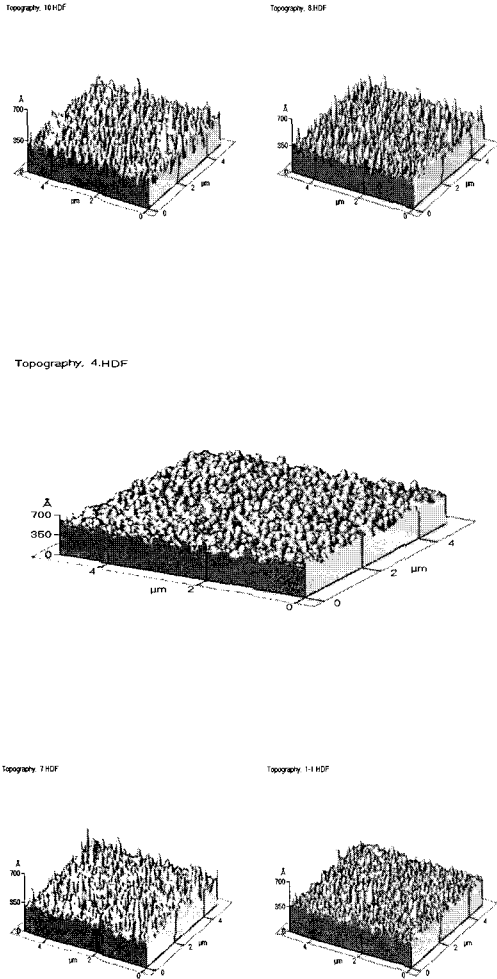


그림 7. $Ar/O_2 = 100/0, 80/20, 50/50, 70/30, 10/90$ 가스비에 따른 ZnO 박막의 AFM 형상.
 Fig. 7. AFM images of ZnO Films as a function of gas ratios ($Ar/O_2 = 100/0, 80/20, 50/50, 70/30, 10/90$).

산소/아르곤의 가스 혼합비가 중요한 영향을 미치는 것을 관찰할 수 있었고, SAW device에서 박막의 두께 편차에 의해 발생하는 주파수 변형의 문제를 해결하기 위해 요구되는 수십Å ~ 수Å 정도의 균일한 박막의 제조가 산소/아르곤의 가스 혼합비에 의해 정밀히 제어될 수 있음을 보여 주었다.

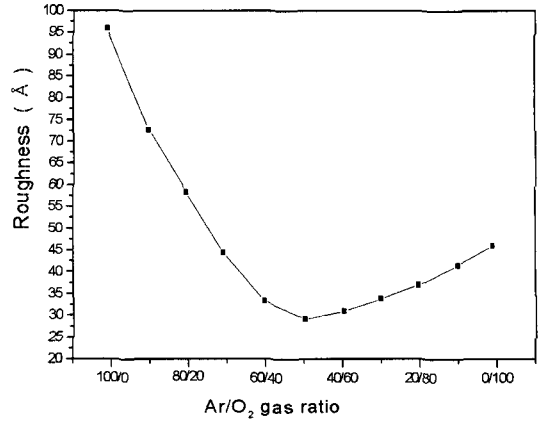


그림 8. 인가전력 150 W, 기판온도 200 °C에서 ZnO 박막의 Ar/O_2 가스 비에 따른 표면 거칠기.
 Fig. 8. Roughness of ZnO films as a function of Ar/O_2 gas ratio at 150 W, 200 °C.

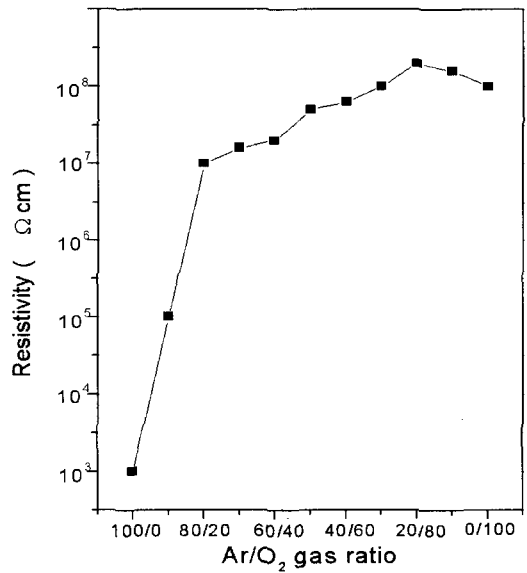


그림 9. ZnO박막의 Ar/O_2 가스비에 따른 비저항 변화.
 Fig. 9. The change of resistivity of ZnO films as function of Ar/O_2 gas ratio.

3.4 Ar/O_2 가스 비에 따른 비저항 변화

그림 9는 인가전력 150 W, 기판온도 200 °C 및 타겟과 기판과의 거리 40 mm의 증착 조건에서 각각

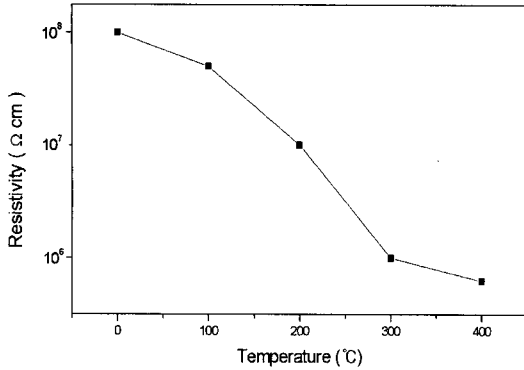


그림 10. ZnO박막의 기판온도에 따른 비저항변화.
Fig. 10. The change of resistivity of ZnO films as a function of substrate temperature.

아르곤과 산소 비의 변화에 따라 증착된 ZnO박막에 Al을 dc sputter system으로 상부 전극을 1000 Å 두께로 증착시켜 RT66A 프로그램을 이용하여 각 시편의 두께 저항을 구한 후에 비저항을 계산한 결과이다. Ar/O₂ 가스 혼합비에 따른 비저항의 변화는 산소의 유입이 없는 순수한 아르곤 분위기에서 증착한 ZnO 박막의 비저항은 10³ Ωcm 정도로 비교적 낮은 비저항 값을 갖지만 산소의 유입이 시작되면 급격히 비저항이 증가하여 유입되는 산소의 양이 50 % 정도면 약 9×10⁷ Ωcm의 값을 가지며 그 이상의 산소가 유입되어도 증가폭은 미미하고 포화되는 특성을 보였다. 이는 산소가 유입되면 산소는 표면 및 불순물과 산화 반응을 일으켜 전도 물질이 급격히 감소하게 되어 비저항이 증가한다. ZnO 박막을 SAW필터에 응용 시에 외부로부터의 전기 신호의 왜곡을 막기 위해서 이와 같은 높은 비저항 값을 가져야한다[15].

3.5 기판온도에 따른 비저항 변화

그림 10은 Ar/O₂가스비가 50:50, 인가전력 150 W, 챔버압력 10 mTorr 및 타겟과 기판과의 거리 40 mm의 증착 조건에서 기판온도를 변화시키면서 증착된 ZnO박막의 비저항 변화를 나타내고 있다. 기판온도가 상온에서 300 °C로 증가함에 따라 약 2×10⁸ Ωcm에서 8×10⁶ Ωcm 로 비저항 값이 감소하는 특성을 보여준다. 이와 같이 기판온도가 증가함에 따라 비저항이 감소하는 것은 비 화학 양론적인 관점에서 기판온도가 증가함에 따라 결합에너

지가 낮은 산소 원자가 증착된 ZnO 박막내에서 높은 에너지를 갖는 입자들의 충돌이 있을 경우 우선적으로 재스퍼터링되어 박막을 Zn 파잉 상태로 촉진시켜 과잉 Zn 이온, 산소 결합등과 같은 결합수의 증가로 인한 전도 물질의 증가가 비저항의 감소의 원인이 된다.

4. 결론

1. 본 실험에서 제작된 ZnO 박막은 모든 제작조건에서 기판에 수직인 (002) 결정면이 존재하는 우수한 C-축 우선 배향성을 보였다. 특히, RF 전력 150 W, 챔버 압력 10 mTorr, 기판온도 200 °C, 스퍼터링 가스인 Ar/O₂의 가스 혼합비가 50:50의 조건에서 증착된 ZnO박막은 최고의 C-축 우선 배향성과 높은 비저항값 그리고 평탄한 표면을 가지므로 고주파용 SAW device의 압전 재료로 사용 가능 하다.
2. 약 6000 Å의 두께인 ZnO박막에서 산소량의 증가에 따라 기판에 수직인 방향으로의 비저항이 증가하여 50 %의 산소 분위기 하에서 약 9×10⁷ Ωcm의 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 증가시킨 것이다. 그러므로 비저항과 표면현상은 유입되는 산소에 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 그리고 기판온도에 따른 비저항의 변화는 기판온도가 상온에서 300 °C로 증가함에 따라 약 2×10⁸ Ωcm에서 8×10⁶ Ωcm 로 비저항 값이 감소하였다.
3. ZnO 박막의 인가전력에 따른 결정성 및 C-축 우선배향성은 모든 인가전력에서 기판에 수직인 (002) 결정면만이 존재하는 것을 보여 주었으며 낮은 인가전력의 경우 스퍼터링되어 기판에 도달하는 입자들의 표면 이동도가 보장되지 않아 결정성이 좋지 않은 박막이 형성되나, 150 W의 전력을 인가했을 때 원자들의 표면 이동도를 증가시켜 우수한 결정질의 박막을 증착할 수 있었다. 그러나 이 이상의 인가전력의 증가는 증착속도의 과도한 증가로 인하여 표면 원

자들이 충분히 격자 평행 위치로 이동하지 못한 상태에서 이후에 증착되는 입자들이 기판에 도달하여 결정성을 저하시키는 특성을 보여준다.

감사의 글

이 논문은 2005년도 중부대학교 학술연구개발비 지원에 의하여 이루어진 것임.

참고 문헌

- [1] B. A. Auld, "Acoustic Fields and Waves in Solids", John Wiley & Sons, p. 101, 1973.
- [2] J. F. Nye, "Physical Properties of Crystals", Oxford, p. 82, 1955.
- [3] Mathews, "Surface Wave Filters", John Wiley & Sons, p. 120, 1977.
- [4] David P. Morgan, "Surface-wave Devices for Signal Processing", Elsevier Science, p. 60, 1985.
- [5] Mathews, "Surface Wave Filters", John Wiley & Sons, p. 283, 1977.
- [6] Ferry-Fannin, "Physical Electronics", Addison-Wesley, p. 230, 1971.
- [7] B. G. Streetman, "Solid State Electronic Devices", Prentice Hall, p. 131, 1980.
- [8] Navon, "Electronic Materials and Devices", Houghton Mifflin, p. 157, 1975.
- [9] A. J. Dekker "Electrical Engineering Materials", Prentice Hall, p. 131, 1973.
- [10] C. Campbell, "Surface Acoustic Wave Devices and Their Signal Processing Applications", Academic Press, p. 332, 1987.
- [11] S. Maniv and A. Zangvil, "Controlled texture of reactively RF sputtered ZnO film", J-Appl. Phys., Vol. 49, p. 2787, 1978.
- [12] T. Mitsuyu, O. Yamazaki, K. Ohji, and K. Wasa, Ferroelectrics, Vol. 42, p. 219, 1982.
- [13] A. V. Oppenheim and R. W. Schaffer, "Digital Signal Processing", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, p. 277, 1975.
- [14] J. L. Vossen and W. Kern, "Thin Film Process", Academic Press, p. 122, 1978.
- [15] John F. Moulder, William F. Stickle, Peter E. Sobol, and Kenneth D. Bomben, "Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy", Perkin-Elmer Corporation, p. 432, 1992.