

2단계 증착 방법에 의한 ZnO 박막의 c-축 배향성 및 비저항 향상에 관한 연구

이혜정, 이명호, 이진복, 서수형*, 박진석
 한양대학교 전자전기제어계측 공학과, *전자재료 및 부품 연구센터

A study on the improvement of c-axis preferred orientation and electrical resistivity of ZnO thin films by two-step deposition method

Hye-Jung LEE, Myung-Ho LEE, Jin-Bock LEE, Soo-Hyung SEO*, Jin-Seok PARK
 Dept. of Electrical Eng., *Center for Electronic Materials and Components, Hanyang University

Abstract - ZnO thin films are prepared on Si(111) substrate by RF magnetron sputtering. Two-step deposition method is proposed to obtain ZnO thin films with high c-axis (002) TC value and electrical resistivity. This method consists of the following two-step deposition procedures: 1st-deposition for 10~30 min without oxygen at 100W and 2nd-deposition with oxygen added in the range of $O_2/(Ar+O_2)=10\sim50\%$.

SAW filters with IDT/ZnO/Si(111) configuration are also fabricated. From the frequency response characteristics, the insertion loss and the side-lobe rejection are estimated.

1. 서 론

표면탄성과(surface acoustic wave, SAW) 필터는 HDTV 및 CATV 등의 새로운 영상 시스템, 휴대전화기와 같은 이동통신 분야에서 소형화 및 양산성 등에 많은 장점을 가지고 있어 그 핵심소자로서 주목받고 있다.^{[1],[2]} 그 중 박막형 SAW 필터의 경우 값싼 기판재료를 사용하기 때문에 저렴한 가격으로 SAW 필터를 제작할 수 있으며, 특히 다이아몬드나 사파이어 기판을 이용할 경우에는 높은 SAW 속도를 갖기 때문에 큰 선폭으로도 고주파수의 SAW 필터를 제작할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한 Si를 기판으로 이용하는 경우에는 SAW 필터 제작시 기존의 Si 공정을 그대로 적용하여 소자의 집적화가 가능하다는 장점이 있다.^[3]

이러한 박막형 SAW 소자의 제작을 위해 ZnO박막을 이용할 경우 높은 c-축 배향성과 비저항이 동시에 요구된다. ZnO 박막의 비저항을 높이는 방법으로 스퍼터링 증착시 산소를 첨가하여 Zn과 산소를 화학양론적 조성이 되도록 박막을 증착시키는 방법이 있으나, 이 방법을 사용할 경우 산소를 과량 첨가하면 증착률이 저하되고 (002) c-축 배향이 저해된다는 문제점이 있다.^{[4],[5]}

이러한 문제점을 해결하기 위해서, 본 연구에서는 2단계 증착 방법을 이용하여 배향성과 비저항을 동시에 높이고자 하였으며, 이렇게 증착한 박막을 이용하여 SAW 소자를 제작하고 기존의 방법으로 증착된 ZnO 박막을 이용한 SAW 소자와 주파수 응답 특성을 비교하였다.

2. 본 론

2.1 실험 방법

ZnO 박막은 Si(111)기판 위에 RF 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 증착하였으며, ZnO 타겟은 99.999%의 순도를 갖는 4 inch 크기의 소결체를 사용하였다. 박막 증착시 약 1×10^{-6} Torr의 초기 고진공을 유지하였고,

MFC를 이용하여 반응가스인 Ar과 O_2 를 챔버내로 주입하였다.

본 연구에서는 산소의 유량을 변화시켜 가면서 단일 증착과 2단계 증착법으로 ZnO박막을 증착하여 배향성과 비저항의 변화를 살펴보았다. 2단계 증착 방법은 높은 c-축 우선 배향성 박막을 증착하는 첫 번째 단계와 첫 번째 단계에서 유도된 높은 c-축 배향성을 갖는 박막위에 증착시 산소를 첨가하여 배향성과 비저항을 모두 만족시키는 박막을 증착하기 위한 두 번째 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서는 배향성을 높이기 위해 산소를 첨가하지 않았으며 T_{sub} 는 200°C, RF 전력은 100W, 증착압력은 5mTorr로 고정하고, 증착시간은 10분~30분으로 변화시켰다. 두 번째 단계는 증착된 첫 번째 박막위에 산소 유량을 10%~50%, RF 전력은 100W~200W로 변화시켜 실험하였고, T_{sub} 는 200°C, 증착압력은 5mTorr로 고정시켰으며 증착 시간은 총 증착 시간이 2시간이 되도록 하였다.

증착된 XRD(x-ray diffractometer) 분석으로 (002) 우선 배향성을 확인하였고, XRD 결과를 이용하여 ZnO 박막에서 나타나는 모든 배향을 관찰하고, 이로부터 (002) 우선 배향에 대한 상대적인 TC(texture coefficient)값을 산출하여 정량적으로 비교하였으며, I-V 측정을 통한 저항과 박막의 두께 및 금속막 접촉면적을 고려하여 박막의 비저항을 산출하였다.

ZnO SAW 필터는 상기한 바와 같은 Si(111) 기판 위에 약 2000Å 두께의 Al 박막을 DC 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 증착하고 lift-off 공정을 이용하여 2μm의 선폭(λ/4)을 갖는 IDT(interdigital transducer) 전극을 형성하여 IDT/ZnO/Si(111)의 구조로 제작하였다. 제작된 SAW 필터를 측정용 PCB에 고정하고 network analyzer(HP 8720 C)를 이용하여 주파수 응답 특성을 측정하였으며, 이로부터 단일증착한 ZnO 박막과 2 단계로 증착된 ZnO 박막으로 제작한 SAW 필터의 주파수 응답 특성을 비교하였다.

2.2 결과 및 고찰

2.2.1 2단계 증착에 따른 ZnO 박막의 물성 변화

그림1의 (a)는 단일 ZnO 박막의 경우 산소의 유량 변화에 따른 박막의 배향성 변화를 나타낸 것이다. 그림에 나타난 것과 같이 산소가 첨가되지 않은 경우는 우수한 (002) 배향 특성을 나타낸다. 그러나, 산소의 첨가량이 증가함에 따라서 (002) 배향 특성이 저해되며, 산소의 유량이 전체 유량의 50% 인 경우에는 (002) 배향 특성이 거의 사라지는 것을 볼 수 있다. 이는 과도하게 산소가 첨가된 경우에는 ZnO 박막의 표면에서 화학 양론적 비가 맞지 않기 때문에 높은 에너지를 갖는 산소 중성 입자들이 박막의 격자나 틈새에 침입하여 특정한 방향으로의 성장을 저해하였기 때문으로 사료된다.^[6]

그림1의 (b)는 2단계로 박막을 증착한 경우 산소의 유

량에 따른 ZnO 박막의 배향성 변화를 나타낸 결과이다. 첫 번째 단계는 산소를 첨가하지 않고 증착 시간을 30 분으로 고정하여 증착 하였으며, 두 번째 단계는 그 위에 산소 유량을 10% ~ 50%까지 변화 시켜 가면서 증착 하였다. 그림에 나타난 바와 같이 단일 증착에 의한 ZnO 박막의 경우 산소유량의 변화에 따라서 박막의 배향 특성이 현저하게 저하되지만, 2단계 증착법을 사용한 경우에는 첫 단계의 영향으로 산소의 유량 증가에 따라서 다른 배향 특성이 나타나지 않고 (002) 방향으로 우선 배향된 ZnO 박막이 계속적으로 증착되었음을 확인할 수 있었다. 일반적으로 박막 증착시 박막과 기판과의 격자 상수와 결정 구조가 박막의 증착에 중요한 영향을 미치는 요인으로 보고되고 있다.⁽⁷⁾ 따라서, 2 단계 증착법에 의한 박막의 증착은 우수하게 c-축 배향된 첫 번째 단계의 영향으로 두 번째 단계 증착시 박막과 기판사이에서 발생할 수 있는 격자 부정합과 결정구조의 불일치를 감소시킬 수 있기 때문에 산소가 첨가된 경우에도 단일 증착에서 나타났던 (002) 배향성이 저해되지 않은 것으로 판단된다.

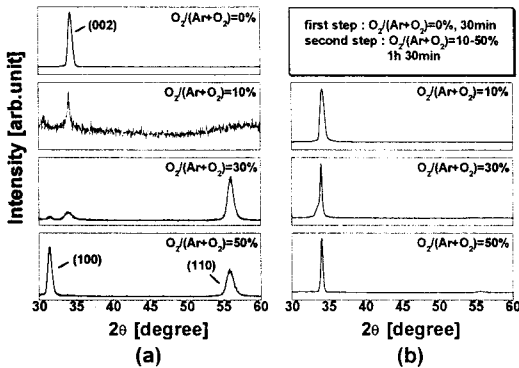


그림1 산소 유량에 따른 XRD 패턴 : (a) 단일 증착한 ZnO 박막 (b) 2단계로 증착한 ZnO 박막

그림2는 위와 같이 증착된 ZnO 박막의 (002) 배향성에 대한 TC 값 및 비저항을 나타낸 것이다. 단일 증착에 의한 ZnO 박막의 경우(○), 산소가 첨가되지 않은 경우에는 (002) 배향 외에 다른 배향이 없지만 산소의 첨가량이 증가함에 따라서 다른 방향으로의 배향이 존재하여 (002) TC 값이 감소하는 경향을 볼 수 있다. 그러나 산소가 첨가된 경우에는 박막의 비저항이 약 $10^{10} \Omega\text{cm}$ 정도로 매우 증가함을 알 수 있다. 한편, 2 단계 증착법으로 증착한 박막의 경우(■), 산소의 유량에 관계없이 모두 c-축으로 우선 배향된 박막을 얻을 수 있었다. 또한, 비저항 값은 산소 유량을 증가시킬수록 점차 증가하여 50% 산소유량의 경우에는 약 $2 \times 10^9 \Omega\text{cm}$ 정도로 단일 증착에 의해 제작된 박막의 비저항과 거의 유사한 값을 나타내었다. 단일 증착에 비해 비저항이 낮아지는 이유는 산소를 첨가하지 않고 증착한 첫 번째 단계의 박막 표면에 존재하는 과잉 Zn 원자가 두 번째 단계의 ZnO 박막 증착시 반응에 참여할 수 있기 때문으로 사료되며, 이에 따라 두 번째 증착 단계시 산소 유량이 증가할 수록 첫 번째 박막 표면의 과잉 Zn 원자가 더 많은 산소와 반응하여 계면에서의 Zn와 산소의 화학양론적비에 근접하게 되어 비저항이 증가되는 것으로 판단된다.

그림3은 첫 번째 단계의 증착 시간 변화에 따른 박막의 배향 특성 및 비저항을 측정된 결과이다. 2단계 증착법을 사용할 경우 ZnO 박막의 배향 특성은 첫 번째 단계의 증착 시간에 관계없이 거의 유사한 결과를 보인다. 그러나, 비저항 값은 첫 번째 단계의 증착 시간이 감소함에 따라서 증가하는 경향을 볼 수 있다.

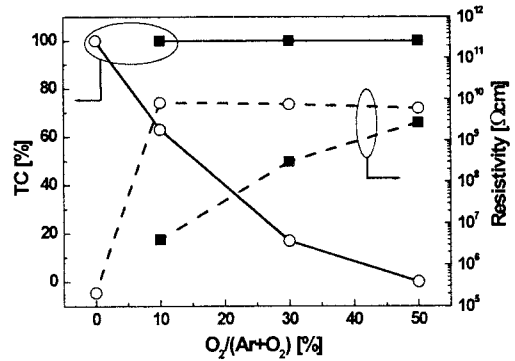


그림2 산소 유량에 따른 ZnO 박막의 (002) 배향에 대한 TC 값 및 비저항 (○: 단일 증착법, ■: 2단계 증착법)

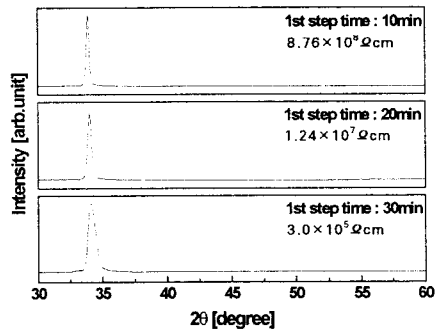


그림3 2단계 증착법으로 ZnO 박막 증착시 첫 번째 단계의 증착 시간 변화에 따른 XRD 패턴 및 비저항

이는 첫 번째 단계의 증착시간이 짧아짐에 따라 전체 ZnO 박막의 두께 중에서 상대적으로 비저항이 낮은 첫 번째 단계의 박막이 차지하는 두께가 얇아지기 때문에 전체 비저항이 낮아진 것으로 판단되며, 이것이 상기한 산소 유량의 변화 실험에서 단일 증착 방법에 비해 2 단계 증착법에 의해 제작된 ZnO 박막의 비저항이 낮아지는 이유라고 판단된다.

그림4는 2단계 증착시 RF 전력을 200W로 높여서 증착한 박막의 배향성을 단일 증착한 박막과 비교한 그림이다. 단일 증착법으로 높은 전력에서 증착한 경우에는 다양한 배향이 공존함을 볼 수 있다. 이는 기존의 연구 결과에서 보고된 바 있듯이 높은 전력이 인가될 경우 박막 증착에 참여하는 원자들이 충분히 격자 평형 위치로 이동하지 못한 상태에서 지속적으로 스퍼터링된 다른 입자들이 기판에 도달하기 때문에 특정 방향으로의 우선 성장이 이루어지지 못하기 때문이다.⁽⁸⁾ 그러나, 2단계 증착법을 사용할 경우 높은 전력에서도 c-축 우선 배향 특성이 나타남을 알 수 있다.

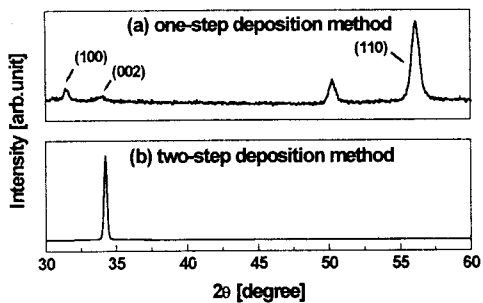


그림4 RF 전력 200W에서 증착한 ZnO 박막의 XRD 패턴 : (a) 단일 증착 (b) 2단계 증착

따라서, 상기한 산소 유량 변화의 실험과 같이 두 번째 단계의 ZnO 박막이 (002) 배향이 지배적이지 않더라도 (002) 배향성이 우수한 buffer층을 사용하여 2단계로 증착할 경우 기판 배향의 영향으로 우수한 배향 특성을 갖는 박막을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 RF 전력을 100W로 증착할 때보다 200W로 높일 경우 증착률이 3배 이상 증가하므로 RF 전력을 높여 2단계 증착법을 이용하면 SAW 소자 제작시 공정의 효율성을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

2.2.2 SAW 필터의 특성 비교

그림5는 산소 유량이 10%, 50%인 경우에 대해서 각 단일 단계와 2단계로 증착한 ZnO 박막을 이용하여 제작된 SAW 필터의 주파수 응답 특성을 나타낸 것이다. ZnO 박막의 두께는 SAW 필터의 특성 향상을 위해서 파장에 대한 두께의 비 (h/λ)를 0.5로 고정하였다. 그림에서 알 수 있듯이 2단계로 증착한 ZnO 박막을 사용할 경우는 단일 증착법으로 증착한 ZnO 박막을 사용한 것에 비해서 SAW 필터의 주파수 응답 특성이 보다 우수하다. 이는 상기한 결과와 같이 단일 단계에 비해서 2 단계로 증착한 ZnO 박막의 경우에 c-축 배향성이 더욱 우수하기 때문이라고 판단된다.

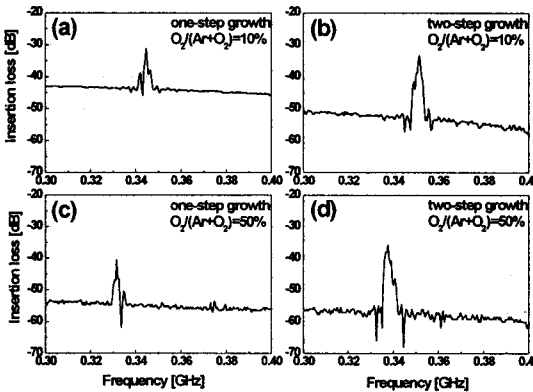


그림5 (a) 단일증착(산소 10%) (b) 2단계증착(산소 10%)
(c) 단일증착(산소 50%) (d) 2단계증착(산소 50%)
으로 제작한 ZnO SAW 필터의 주파수 응답 특성

그림6은 RF 전력을 200W로 높여서 단일 증착과 2 단계로 증착한 ZnO 박막을 이용하여 제작한 SAW 필터의 주파수 응답 특성을 나타낸 것이다. 2단계로 증착한 박막을 사용할 경우 주파수 응답 특성이 더 우수함을 알 수 있는데 이것 또한 우수한 c-축 배향성의 영향으로 판단된다.

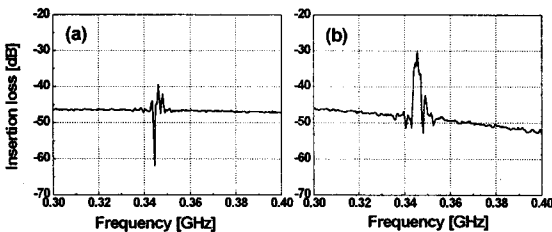


그림6 RF 전력 200W에서 증착한 ZnO 박막 SAW 필터의 주파수 응답 특성 : (a) 단일 증착 (b) 2단계 증착

표1은 본 연구에서 제작한 ZnO SAW 필터의 주파수 응답 특성으로부터 삽입 손실, 저지대역폭 등을 산출하여 비교한 것이다. 단일 증착한 ZnO 박막을 이용한 경우에 비하여 2단계로 증착한 박막을 이용한 경우 삽입손실은 약간 증가하였으나 저지대역폭이 월등히 증가하여 전체적인 특성이 향상되었으며, RF 전력을 200W로 증착하여 제작한 SAW 필터의 경우에는 삽입손실과 저지대역폭 특성 모두 향상되었음을 알 수 있다.

표1 제작된 SAW 필터의 주요 특성 파라미터 비교

ZnO 증착 조건		Min. IL[dB]	Max. Side lobe rejection [dB]
O ₂ /(Ar+O ₂) = 50%	1-step	-40.53	13.89
	2-step	-35.76	22.66
O ₂ /(Ar+O ₂) = 10%	1-step	-31.06	12.42
	2-step	-33.15	19.62
RF 전력 = 200W	1-step	-39.49	7.07
	2-step	-30.03	20.72

3. 결 론

고주파 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 Si(111)기판위에 기존의 단일 증착 방법과 본 연구에서 제시한 2단계 증착법으로 산소 유량을 10~50%까지 변화시켜 가면서 ZnO 박막을 증착하고 그 특성을 비교하였다. 2단계 증착 방법을 이용하는 경우 산소가 첨가되어도 우수한 c-축 배향성을 유지하였고 동시에 높은 비저항을 갖는 박막을 얻을 수 있었다. 또한 초기 단계의 시간을 줄임으로서 전체적인 박막의 비저항을 더욱 증가시킬 수 있었고 증착시 RF 전력을 높임으로서 증착률도 개선할 수 있었다. 이렇게 만든 박막을 이용하여 SAW 필터를 제작하고 주파수 응답 특성을 조사한 결과, 단일 증착한 ZnO 박막을 이용한 경우에 비하여 2단계로 증착한 박막을 이용한 경우에 훨씬 더 낮은 삽입손실과 높은 저지 대역폭 특성을 나타내었다.

본 연구는 한국학술진흥재단의 연구비(KRF-99-041-E00165) 지원과 한양대학교 전자재료 및 부품 연구센터(EM&C)의 시설/기자재 지원 등에 의하여 수행되었음.

(참 고 문 헌)

- (1) J.Koike, H.Tanaka, and H.Ieki, Jpn. J.Appl. Phys., Vol.34, pp.2678-2682, 1995
- (2) S.J.Chang, Y.K.Su, and Y.P.Shei, J. Vac. Sci. Tech. A 13(2), pp.385-388, 1995
- (3) 이용희, 김형준, 양형국, 박순섭, 박종철, 김영진, 한국결정학회지, 6권 2호, pp134-140, 1995
- (4) 이영환, 성영권, 김종관, 한국전자재료학회지, 10권 2호, pp.126-133, 1997
- (5) 이진복, 이해정, 서수형, 박진석, 대한전기학회지, 49C권 12호, pp.654-664, 2000
- (6) C.R.Aita, A.J.Purdes, R.J.Lad, and P.D.Funkenbusch, J. Apply. Phys., Vol.51 (10), pp.1768-1772, 1980
- (7) W.T.Lim, B.K.Son, D.H.Kang, and C.H.Lee, Thin Solid Films 382, pp.56-60, 2001
- (8) D.K.Murti and T.L.Bihum, Thin Solid Films, Vol.87, pp.57-61,1982