

대향타겟스퍼터법으로 증착된 ZnO:Al 박막의 전기적 광학적 특성

양진석*, 성하윤*, 금민중*, 박용욱**, 가출현***, 김경환*
 *경원대학교 전기전자공학과, **남서울대학교 전자정보통신공학부, ***신성대학 전기과

Electrical and optical properties of ZnO:Al thin films deposited by Facing Targets Sputtering

J.S.Yang*, H.Y.Seong*, M.J.Keum*, Y.W.Park**, C.H.Ka***, K.H.Kim*
 *Kyungwon Univ. **Nameoul Univ. ***Shinsung College

Abstract - ZnO:Al transparent conductive thin films were prepared by facing targets sputtering system with a DC power supply which can deposit a high quality thin films and control deposition condition in all range of O₂ gas ratio using ZnO target containing 8 at% of Al. Sputtering was carried out at a substrate temperature of R·T with a DC current of 0.6 A and O₂ flow rate of 0~0.9. The characteristics of ZnO:Al thin films was investigated by α -step, four point probe, X-ray diffraction and UV/VIS spectrometer.

1. 서 론

ZnO 박막은 대칭육방정계(hexagonal)로서 결정 구조에서의 이방성, 비화학양론적 결합구조, 높은 굴절율과 압전 결합계수, 다양한 전기적, 광학적 그리고 탄성파적 성질 때문에 현재 여러 응용 분야에서 각광을 받고 있는 재료 중의 하나이다[1]. 특히 이러한 특성을 갖는 ZnO 박막을 이용하여 광전소자나 평판표시 소자에 대한 투명 전도성 박막, 계기용 패널에 대한 정전방지코팅, 압전 특성을 이용한 광학소자, 표면 탄성파 필터 등의 소자에 사용되고 있다[2]. 또한 ZnO 박막은 그 성분 조성 및 제조 조건에 따라 저항률이 폭넓게 변화하는 성질을 갖는데, 화학양론적인 조성을 갖는 벌크 상태의 ZnO 박막은 본래 고저항체로서 최대 10²⁵ Ωcm까지의 비저항 값을 갖고 이를 박막화 시키는 과정에서 Al, In, Si, F 등과 같은 전도성 물질을 첨가하게 되면 투명 전도막으로서 응용이 가능한 낮은 비저항의 특성을 얻을 수 있게된다[3]. ZnO 투명전도막을 제작하는 방법에는 CVD법[4] 진공증착법[5], 스퍼터링법[6] 등이 있는데 주로 스퍼터링법이 많이 연구되고 있다. 스퍼터링법으로 ZnO 투명전도막을 제작하는 경우 투입전력, 기판온도, 분위기 가스 압력, 산소 분압비, 타겟간 거리 등의 증착 조건에 의해 결정학적, 전기적, 광학적 특성이 영향을 받게 된다. 그러므로 결정학적으로 양호하며 전기적, 광학적특성이 우수한 ZnO 투명전도막을 제작하기 위해서는 최적의 증착조건을 확립할 필요가 있다[7]. 따라서 본 연구에서는 증착시 낮은 온도와 스퍼터 가스압력에서도 방전이 가능한 대향타겟스퍼터법[8]을 이용하여 O₂ gas 유량비가 ZnO 투명전도막의 결정학적, 광학적, 전기적 특성에 주는 영향을 연구하였다.

2. 실험방법

본 실험에서는 그림 1과 같은 대향타겟스퍼터장치를 사용하여 ZnO:Al 박막을 제작하였다. 대향타겟식 스퍼터장치는 타겟을 음극으로 설드링과 챔버는 양극으로 한다. 타겟 뒷면에는 영구 자석을 배치하여 타겟간에 형성되는 플라즈마내의 2차 전자를 구속하며 기판은 plasma-free 위치인 타겟간 중심점에 대향한 위치에

배치한다. 따라서 스퍼터링 현상이 일어날 때 2차 전자에 의한 기판손상을 최소화시킬 수가 있으며 또한 2차 전자의 왕복운동에 의해 가스 이온화가 촉진되어 0.1 mTorr의 스퍼터링 가스압력에서도 박막을 증착할 수 있는 장점을 가지고 있다.

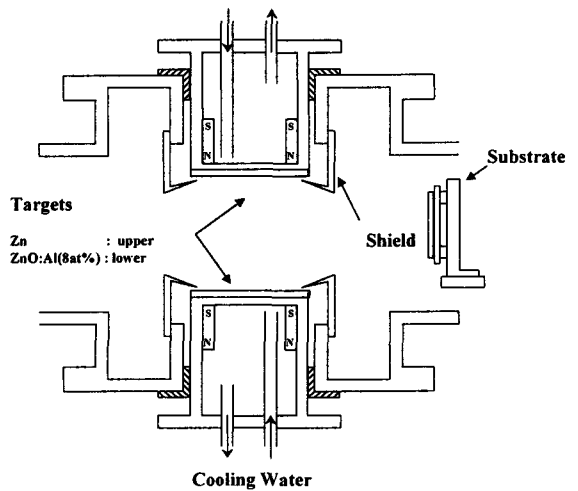


그림 1. 대향타겟식 스퍼터 개략도

표 1. 스퍼터링 조건

Deposition parameter	Condition
Targets	Zn, ZnO:Al(8 at%)
Substrate	slide glass
target-target distance	100mm
target-substrate distance	100mm
Base pressure	2×10 ⁻³ mTorr
Working gas pressure	1 mTorr
O ₂ flow ratio	0 ~ 0.9
Substrate temperature	R.T
Applied current	0.6A
Sputtering Time	20 min

본 실험에서는 직경 100 mm인 Zn(99.99%) 금속 타겟과 자체 제작한 ZnO:Al(8at%)의 세라믹 타겟을 각각 상하부에 장착하였으며 타겟간 거리 100 mm, 타겟중심축과 기판간의 거리는 100 mm로 고정하였고 25×75×1 mm 크기의 비정질 slide glass 기판위에 ZnO:Al 박막을 제작하였다. base pressure는 2×10⁻³ mTorr로 배기하였으며 분위기 가스로는 산소와 아르곤의 혼합

가스를 사용하였다. 전체가스압 1 mTorr, 투입전류 0.6 A, 기판온도 R.T, 시간 20 min로 고정하였고 산소 유량비 변화에 따라 증착되는 ZnO:Al 박막의 증착률과 결정학적, 전기적, 광학적 특성을 고찰하기 위하여 O₂ 유량비를 0~0.9 로 각각 변화시켜 ZnO:Al 박막을 제작하였다. 증착된 막의 두께는 Tencor 사의 α -step 으로 측정하여 분당 증착속도를 구하였고, ZnO:Al 박막의 비저항 특성은 창민테크의 four point probe로 측정하였다. 또한 제작된 박막의 결정성을 평가하기 위해 Rigaku 사의 XRD(X-ray Diffractometer)를 사용하여 측정하였으며 광학적 특성 평가를 위해 Perkin Elmer 사의 UV/VIS Spectrometer를 사용하여 250 ~ 1000 nm영역에서 ZnO:Al 박막의 투과율을 측정하였다.

3. 실험결과 및 검토

3.1 산소 유량비에 따른 ZnO:Al 박막의 증착률

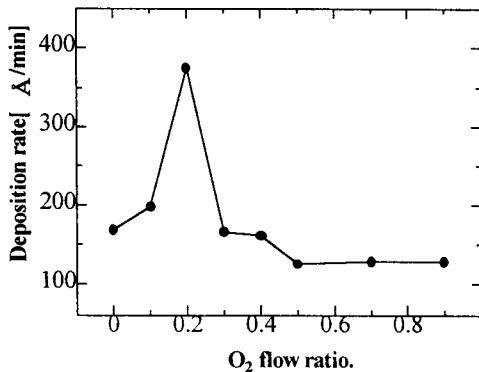


그림 2. O₂ 유량비에 따른 ZnO:Al 박막의 증착률

그림 2는 투입전류 0.6 A, 가스압력 1 mTorr, 스퍼터링 시간 20 min, R.T 에서 O₂ 유량비에 따라 증착한 박막의 증착률이다. 여기서 O₂ 유량비 0~0.5까지는 Ar gas의 유량을 10 sccm 으로 고정하고 O₂ gas 유량비 0.6~0.9까지는 O₂ gas를 10 sccm 으로 고정하여 박막을 증착하였다. 그림에서 보는 바와 같이 박막의 증착률은 Ar gas의 유량에 따른 영향보다는 O₂의 유량비에 따라 영향을 받음을 알 수가 있는데 O₂ 유량비가 0~0.2까지 증착속도의 증가 경향이 나타났는데 이것은 O₂ 유량의 증가에 따라 plasma impedance가 감소하여 reactive gas인 O₂가 이온화됨에 따라 sputter 된 입자와 급격히 결합하기 때문인 것으로 사료되며 O₂ 유량비 0.3 이후에는 실제적으로 target과 충돌하는 Ar 이온 감소로 인하여 증착속도가 감소하는 경향을 나타내었다(9).

3.2 산소유량비에 따른 ZnO:Al 박막의 전기적인 특성

그림 3은 O₂ 유량비에 따라 증착한 ZnO:Al 박막을 four point probe로 비저항값을 측정한 결과이다. 비저항 측정 결과 두 개의 영역으로 구분되며 전기적 특성이 변하는 전이영역이 존재함을 확인 할 수가 있었다. O₂ 유량비 0.3까지는 $1.5 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ 의 비저항값을 나타내다가 O₂ 유량비 0.4 부터는 급격한 증가를 보이며 O₂ 유량비 0.5부터는 $3.0 \times 10^3 \Omega \text{cm}$ 이상 증가하질 않았다. 이것은 O₂ 유량비가 0 일 경우 과량의 Zn의 박막내에 존재하기 때문에 비저항이 낮은 ZnO:Al 박막이 제작되는 것이나 O₂ 유량비의 증가에 따라 박막내에 있

는 산소 void들을 산소가 치환함에 따라 0.3 이상에서는 비저항값이 증가한 것으로 사료된다(10).

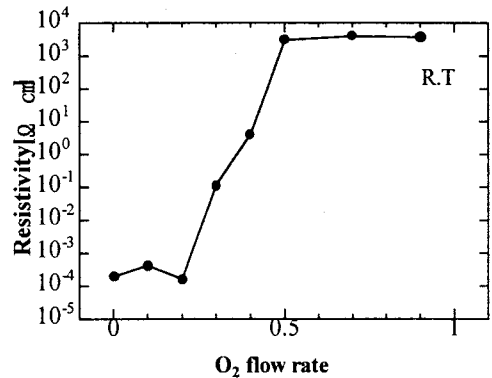


그림 3. O₂ 유량비에 대한 ZnO:Al 박막의 비저항

3.3 산소유량비에 따른 ZnO:Al 박막의 결정학적 특성

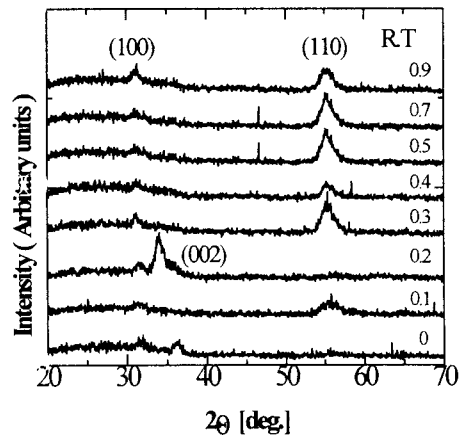


그림 4. O₂ 유량비에 따른 ZnO:Al 박막의 결정성

그림 4는 O₂ 유량비에 따른 ZnO:Al 박막의 결정학적 특성이다. O₂ 유량비 0.2에서 제작된 막은 다른 O₂ 유량비에서 제작된 막이 (100)면과 (110)면을 갖는 것과는 상이하게 (002)면이 나타났으며, 이때 박막의 두께는 약 7500 Å 이었다. 이는 낮은 비저항 특성을 갖는 양질의 ZnO:Al 투명 전도막은 표면에너지가 최소화된 (002)면으로 우선배향 되어야 하며 그림 4에 나타난 결과에 따르면 제작된 박막중 O₂ 유량비가 0.2 인 경우 상대적으로 양질의 특성을 나타내는 박막이 제작되었다고 할 수 있다.

3.4 산소유량비에 따른 ZnO:Al 박막의 광학적 특성

그림 4는 O₂ 유량비에 따라 제작된 ZnO:Al 박막을 UV/VIS Spectrometer로 wavelength 250~1000 nm 범위에서 광투과율을 측정한 것이다. O₂가 첨가되지 않은 상태의 박막의 평균투과율은 약 20 %로 낮았는데

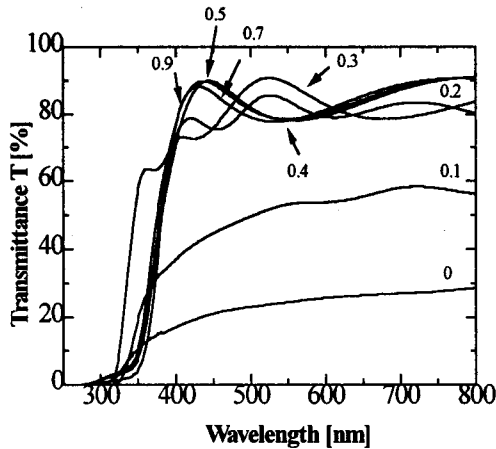


그림 5. O₂ 유량비에 대한 ZnO:Al 박막의 광투과율

이는 막자체의 흡수에 의한 것으로 이 조건에서는 증착된 박막의 조성이 산소의 결핍으로 인하여 광학적 투과도가 낮은 박막이 제작되는 것으로 사료된다. O₂의 첨가에 따라 투과율은 점차 증가하여 O₂ 유량비 0.2 이상에서는 가시광선 영역에서 평균 투과율 80% 이상에 도달하였으며 O₂ 유량비 0.4 이상에서는 더 이상의 큰 변화가 나타나지 않았으며 330 nm 이하의 자외선 영역과 850 nm 이상의 적외선 영역에서 뛰어난 광 차단 효과를 가지고 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

낮은 가스압에서도 안정한 방전을 유지할 수 있으며 plasma-free 상태로 2차전자 등에 의한 기관으로의 손상이 없어 고품위 박막을 제작할 수 있는 대향 타겟식 스퍼터링 법을 이용하여 상부에는 Zn(4N) metal 타겟, 하부에는 자체 제작한 ZnO:Al(8at%) ceramic 타겟을 장착하여 O₂와 Ar 혼합 가스를 이용해 slide glass 기관위에 ZnO:Al 박막을 제작하였다. 가스압 1 mTorr, 기관온도 R.T, 투입전류 0.6 A, 증착시간 20 min의 조건으로 O₂ gas 유량비 0~0.9에서 ZnO:Al 전도막을 제작할 수 있었다. O₂ gas 유량비 0.2에서 제작된 Al이 첨가된 ZnO:Al 박막은 비저항 $1.5 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$ 와 (002)면 우선 배향을 나타내 전기적, 결정학적으로 안정하였으며 이때 가시광 영역에서의 투과율은 80% 이상으로 우수한 광학적 특성을 보여 투명전도막의 조건에 부합되는 양질의 ZnO:Al 박막을 제작하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Y. Igasaki and H. Saito, J. Appl. Phys., 70, 3613, 1991
- [2] F. S. Hickernell, J. Appl. Phys., 44, 1061, 1973
- [3] M. D. Ambersley and, J. Appl. Phys., 44, 1061, 1981
- [4] M. Labeau, P. Rey, J. L. Deschanvres, J. C. Joubert and G. Delabouglise, "Thin films of high-resistivity zinc oxide produced by a modified CVD method", Thin Solid Films, Vol.213, pp.94-98, 1992
- [5] Masaru Shimizu, Yoojiro Matsueda, Tadashi Shiosaki and Akira Kawabata, "Growth of ZnO Films by the Plasma Enhanced Metalorganic

Chemical Vapor Deposition Techniques", J. of Crystal Growth, 71, 209, 1991

- [6] K. Ellmer, R. Cebulla, R. Wendt, "Transparent and conducting ZnO:Al films deposited by simultaneous RF- and DC-excitation of a magnetron", Thin Solid Films, Vol.317, pp.413-416, 1998
- [7] Takashi Tsuji, Mitsuji Hirohashi, "Influence of oxygen partial pressure on transparency and conductivity of RF sputtered Al-doped ZnO thin films, Applied Surface Science 157, pp.47-51, 2000
- [8] 綜合技術資料集, 스파ッタ法にする薄膜技術, 經營開發センター出版部, pp82-91, 1985
- [9] E. Ellmer et al., "Influence of Discharge Parameters on the Layer Properties of Reactive Magnetron Sputtered ZnO:Al Films.", Thin Solid Films, 247, 15, 1994
- [10] N. Tsuji, H. Komiyama and T. Tanaka, "Growth Mechanism of ZnO Film by Reactive Sputtering Method Significance of Thermodynamics in a Plasma System.", J. Appl. Phys., 29(5), 835, 1990

감사의 글

"본 연구는 한국전력 공사의 지원에 의하여 기초전력 공학 공동 연구소 주관으로 수행되었음"