

p-형 Al/SnO₂ 투명 전도성 다층박막에 미치는 열처리의 영향

Effect of annealing on p-type Al/SnO₂ transparent conductive multilayer films

박근영^{a*}, 김성재^a, 구분훈^a

^{a*}창원대학교 신소재공학부(E-mail: parken84@changwon.ac.kr),

초 록: 투명전극이란 전기 전도도를 갖는 동시에 가시광선 영역에서 빛을 투과하는 성질을 가지는 소재이다. 일반적으로 가시광선 영역(380nm~780nm)에서 80%이상의 광 투과도를 가지며, 비저항이 10⁻³ Ω·cm 이하, optical band gap 이 3.3 eV 이상인 물질을 TCO(Transparent Conducting oxide)라고 한다. 현재까지 국내의 TCO 관련 연구는 터치패널, 디스플레이, 태양전지 등 광전자분야에서 가장 널리 사용되고 있는 ITO(Sn:In2O3)에 치중되어 있으며, 관련 연구도 거의 디스플레이 맞춤형 연구개발이 주류를 이루어왔다. ITO가 전기전도성이 우수하고 동시에 가시광선 영역에서의 투과율도 80%이상으로 전기적, 광학적 특성이 우수하다는 장점을 가지고 있으나, In의 희소성으로 인한 고가격, 유독성, 접착력 문제 때문에 이를 대체하기 위해 제조원가가 ITO에 비하여 월등히 저렴하고 내화특성과 내마모성이 우수하면서도, 가시광선 영역에서의 광투과율이 80%이상으로 좋다는 SnO₂에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 적절한 dopant를 첨가하여 SnO₂자체의 높은 광학적 투과도를 유지하면서 전기전도성을 더 높일수 있고, 투명전극이 가져야 할 고온 안정성을 가지고 있으며 비독성이고 수소 플라즈마에 대한 내성이 더 클 뿐만 아니라 저온에서 성장이 가능하다. SnO₂의 전기 전도도를 높이기 위한 Al, In, Ga, B와 같은 3족 원소가 SnO₂의 n형 dopant로 널리 사용되고 있다. 그 중 Al은 반응성이 커서 박막 증착 중에 산화되기 쉬운 반면, 전기적 특성 및 광학적 특성의 향상을 이룰 수 있다. 본 연구에서는 Rf Sputtering법을 사용하여 quartz기판 위에 다층박막 형태의 투명전도막을 제작한 후, 열처리를 수행, 이에 의한 다층박막 내 계면간 상호확산 현상을 이용하여 투명 전도막의 특성변화를 관찰하였다. 박막의 구조적 특성은 XRD장비를 사용하여 분석하였으며, 전기적, 광학적 특성은 각각 표면저항기, 홀 측정 장비, 그리고 UV-VIS-NI를 사용하여 확인하였다.

1. 서론

박막증착법 중 하나인 Sputtering법을 이용하여 다층박막을 제작하였다. 투명전도성 SnO₂박막은 heat mirror, display system, solar cell 등으로 응용되기에 충분한 특성을 갖고 있기 때문에 그 동안 많은 연구가 진행되어 왔다. 이 실험에서는 SnO₂ sputtering target과 Al sputtering target을 사용하였는데 SnO₂자체의 높은 광학적 투과도를 유지하면서 반응성이 좋은 Al을 중간층에 증착하여 전기적 특성 및 광학적 특성의 향상을 이루는 것이 이 연구의 목적이라고 할 수 있다

2. 본론

본 연구에서는 타겟과 기판이 마주보는 RF Sputtering장비를 사용하였고, 사용된 타겟은 직경이 2inch인 금속 Al타겟(99.99%)과 2inch인 SnO₂타겟(99.99%)을 사용하였고, 사용된 기판은 Quartz plate(w15×d15×t1mm)로서 아세톤/에탄올/증류수 에 각각 10분간 초음파 세척 후 사용하였다. 사용한 가스는 Argon gas이며, 챔버내의 초기 진공도는 2.0×10⁻⁵torr로 하였고 기판과 타겟과의 거리는 20cm로 유지하여 박막을 증착하였다. 또한 기판을 4rpm으로 회전시켜 균일한 박막이 형성될 수 있도록 하였다. 제조된 박막의 두께는 surface profiler(α-step)를 사용하였으며, 이로부터 증착된 박막의 증착속도를 계산하였다. 증착한 샘플은 각각 온도에 따라 열처리를 실행하였고, 열처리가 끝난 샘플의 결정 분석은 X-ray diffractometer(XRD)를 사용하여 분석하였고 Fig.1에 나타내었다.

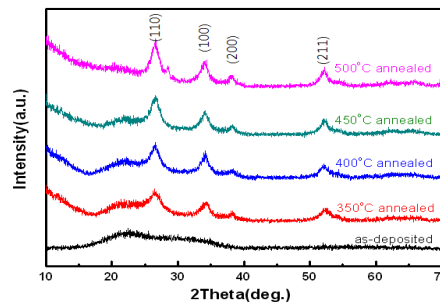


Fig.1. Results of the XRD of Al(50nm)/SnO₂(800nm)/Al(50nm) films annealed at different temperature

Fig.1에 나타난 것과 같이 SnO₂의 X-선 회절패턴의 주피크는 (110)면에서 나타났으며 as-deposited 상태에서는 보여지지 않던 피크들이 열처리 온도가 올라감에 따라 점점 더 뚜렷한 결정상이 나오는 것을 알 수 있다. 박막내의 캐리어 농도와 이동도는 상온에서 Hall effect measurement 장비를 사용하여 측정하였고 측정결과를 Table.1에 나타내었다.

Table.1 Results of the Hall measurements of Al(50nm)/SnO₂(800nm)/Al(50nm) films annealed at different temperature

Temperature (°C)	Concentration (Cm ⁻³)	Mobility (Cm ² V ⁻¹ s ⁻¹)	Resistivity (Ω·Cm)	Type
as-deposited	-5.586e+20	5.43	2.05e-3	n
350°C for 4h	+6.004e+19	1.94	5.36e-2	n
400°C for 4h	+1.010e+19	42.6	1.45e+1	p
450°C for 4h	+2.095e+19	5.53	5.38e-1	p
500°C for 4h	+1.0183e+15	2.6	2.35e+3	p

마지막으로 광학적 성질은 UV-visible spectrophotometer장비를 사용하여 300nm~800nm의 파장범위에서 투과율(transmittance)을 측정하였으며, Fig.2에 나타내었다.

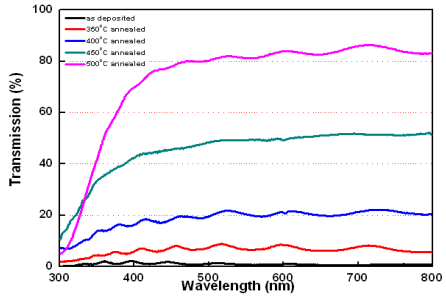


Fig.2. Results of the transmittance of Al(50nm)/SnO₂(800nm)/Al(50nm) films annealed at different temperature

3. 결론

RF Sputtering법에 의해 증착된 Al/SnO₂/Al 및 SnO₂/Al/SnO₂ 박막의 결정상 및 전기광학적 특성을 연구하였다. 증착변수는 각각 동일하게 해주었으나, 후 열처리가 결정성이나 전기광학적 성질에 크게 영향을 주고 있음을 알 수 있었다. 열처리 온도에 따른 결정상은 350°C 이상에서부터 주피크인 (110)면이 결정성을 관찰할 수 있었고, 열처리 온도가 올라감에 따라 결정상이 더 뚜렷해지는 것을 알 수 있었다. 그리고 홀 측정 결과 350°C까지는 n-type을 보이다가 400°C 이상부터 p-type을 확인할 수 있었다. 하지만 비저항이 높게 나와 이에 대한 해결책이나 연구가 더 필요한 것을 알 수 있었으며, 투과도 측정 결과 450°C까지는 낮은 투과율을 보이다가 500°C 이상에서는 가시광선 영역에서 평균적으로 80%이상의 투과율을 관찰할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임(2012H1B8A2026212), 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 ICT연구센터 육성지원 사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2014-H0301-14-1016)

참고문헌

1. H. De Wall and F. Simonis, Thin Solid Films, 77, 253(1981)
2. B. Stjerna and E. Olsson and C.G. Granqvist, J. Appl. Phys, 76(6), 3797(1994)
3. T. Maruyama and K. Tabata, J. Appl. Phys, 68, 4282(1990)
4. G. Haacke, J. Appl. Phys., 47, 4086(1976)
5. C. R. Aita, A. J. Purdes, R. J. Lad and P. D. Funkenbusch, J. Appl. Phys., 51(10), 5533(1980)