

자기장 분포 제어에 의한 마그네트론 스퍼터링 증착 특성 연구

김현수, 김일영, 민상홍, 김창교, 변상두*
 순천향대 전자정보공학과, *(주)씨디에스

A study on the property of magnetron sputtering deposition by control of a magnetic field distribution

Hyun-Soo Kim, Il-Young Kim, Sang-Hong Min, Chang-Kyo Kim, Sang-Doo Byun*
 Department of Electronics Information, Soonchunhyang University, *CDS Co. Ltd.

Abstract - ITO 박막의 전기·광학적 특성을 향상시키기 위해 열처리 공정은 필수적이다. 하지만 향후 발전시켜나갈 플렉서블 디스플레이(flexible display)에서는 ITO를 저온에서 증착해야 할 필요성이 대두되었고, 이에 따라 기판의 온도를 상온으로 유지하면서 고품질의 ITO 박막을 제조하고자 하는 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 상온에서 유리 기판 위에 RF 마그네트론 스퍼터링(magnetron sputtering) 장치의 자기장 분포를 제어하여 ITO 박막을 증착하였다. 제작된 시편의 두께와 투과도 및 이동도를 측정·비교하였다.

1. 서 론

최근 광·전자 분야의 발전에 따라 높은 광 투과율과 전기전도성을 함께 가지는 투명전도막(Transparent Conducting Oxide Film)에 관한 요구가 높아지고 있다. 투명하면서 전기전도성을 갖는 박막 가운데 현재는 ITO 박막(Indium Tin Oxide film)이 가장 많이 연구되고 산업화 되어 있다[1]. ITO 박막이 다른 여러 투명전도성 박막보다 많은 연구가 진행되고 실용화 단계로 먼저 응용된 요인으로는 다음과 같은 세 가지 요인으로 요약될 수 있다. 첫 째는 ITO 박막의 낮은 전기전도도 특성을 보여주고 있다. 낮은 전기전도도는 디스플레이 장치를 구동시키는데 요구되는 전압을 낮게 하여 디스플레이 장치 설계의 유연성을 높이고, 에너지 절약 효과는 물론 장치의 열화를 방지하여 제품의 생명력을 길게 하는 장점을 갖고 있다. 두 번째는 높은 가시광선 투과도를 들 수 있다. 특히 가시광선 중 청색 파장의 박막 내 흡수율이 다른 투명 전도성 박막보다 낮은 색의 구현 범위가 보다 넓은 장점을 갖고 있다. 마지막으로 주변 환경에 대한 안정성이다. ITO 박막이 사용될 장소가 갖는 주변 환경에 대한 안정성이 다른 박막에 비하여 뛰어나다[2]. 이러한 ITO 박막을 포함한 투명전도성 박막의 제조는 CVD, Evaporation, Spray Pyrolysis, Sputtering 등의 다양한 방법이 있다. 그 중에 Sputtering 방법의 경우, 증착조건을 조절하기 쉽고, 특히 대형 기판을 사용하여 제조할 경우, 박막의 두께 및 특성을 균일하게 재현하는데 용이하다.

본 연구에서는 자기장의 분포를 제어한 마그네트론 스퍼터링 방법을 이용하여 ITO박막을 제작한 후에 기판 온도를 인가하여 스퍼터링법으로 제작한 박막과 전기 및 광학적 특성을 비교·분석하였다.

2. 본 론

2.1 Indium Tin Oxide

본 연구에서 타겟으로 사용한 ITO는 n-type 반도체로써 높은 투과도와 전기전도도 특성을 가지고 있는 물질이다. 여러 투명전극 소재 중에서도 ITO가 평판형 디스플레이 장치에서 투명전극 소재로 특히 많이 사용되고 있고, 이것은 다른 재료에 비하여 Sn 원자의 도핑으로 인한 낮은 전기 저항과 안정성 때문인 것으로 알려져 있다. 이처럼 우수한 특성을 가진 ITO 박막의 전기·광학적 특성은 박막 증착 시 기판의 온도, 공정 압력, 반응성 가스 분압, 증착 후 열처리 온도 및 열처리 분위기 등과 같은 여러 공정 변수에 민감한 영향을 받는다[3].

2.2 Sputtering

스퍼터링(Sputtering)이란 진공을 이용하여 이루어지는 대표적인 물리기상증착(Physical Vapor Deposition; PVD)방법의 한 종류로써 수십 keV 이상의 운동에너지를 가진 이온을 고체의 타겟(Target)에 조사시켜 타겟 표면 근방의 원자가 입사 이온이 가진 에너지의 일부를 얻어서 타겟 표면에서 분리되어 진공 중으로 방출되는 현상으로, 고 에너지의 입자와 방출되는 표면 원자 사이의 충돌에 의해서 일어난다. 가속 입자로는 이온, 원자, 중성자, 전자 혹은 광전자 등이 이용된다. 스퍼터링 증착은 타겟에서 방출된 원자나 분자들이 플라즈마 속의 가스들과 충돌 과정을 거치면서 증착된다. 스퍼터링 방법에는 DC, RF 스퍼터링 방법이 있으며, 영구 자석이나 전자석을 타겟에 배열하는 Magnetron 스퍼터링이 방법 있다.

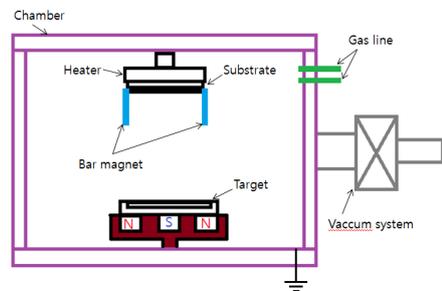
본 연구에서는 RF 마그네트론 스퍼터링 방법을 사용하였다. 이 방법은 방전 가스의 압력을 작게 하여 안정적인 방전을 일으키며 박막 원자의 산란을 줄일 수 있다. 또한, 이온화를 일으키는 고에너지의 전자에 타겟 근방에서의 회전 운동을 일으키는 동시에 전자를 기판 표면의 근처에서 구속하여 이온의 생성 효율을 증가시킬 수 있고, 절연체에서도 증착이 가능하다는 장점이 있다.

3. 실험

3.1 Sputtering 장치

본 연구에서 사용한 RF Magnetron Sputtering 장치의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 진공 챔버는 SUS 304 재질이며, 크기는 높이가 약 400mm, 폭이 약 700mm이다. 진공펌프로는 로터리 펌프(Rotary pump)와 디퓨전 펌프(Diffusion pump)를 사용하였다. 타겟과 기판 사이에 별도로 자석을 설치하여 타겟의 원자가 자장으로 인해 타겟과 기판의 사이에 더 머물러 증착될 수 있게 하였고, 또한 온도에 따른 증착률을 실험 해 볼 수 있는 히터를 작동 시켰다.

타겟은 순도 99.99%의 ITO 타겟을 이용하여 박막을 증착하였으며, 기판은 세정이 완료된 유리기판을 사용하였다. ITO 박막 증착과정 중에 산소 가스와 아르곤 가스는 연장 튜브를 이용하여 주입하였다. 이러한 아르곤, 산소 튜브의 사용으로 챔버 내부의 압력이 전체적으로 균일하지 않기 때문에 산소 분압 대신 산소의 주입량 즉, 산소 유량을 sccm 단위로 조절하였다.



〈그림 1〉 스퍼터 장치 개략도

3.2 박막 증착

스퍼터링 장치에 ITO 타겟과 PC 기판을 장착 한 후, 초기 진공도가 3.1×10^{-5} torr 가 되도록 센서를 작동하여 진공을 유지하는 상태에서 아르곤 가스와 산소 가스를 주입하여 공정압력을 2.3×10^{-3} torr 로 유지하였다. RF 전력을 100W로 고정하고 대기의 노출에 의한 타겟 표면의 산화층 및 불순물을 제거하기 위해 아르곤 가스와 산소가스를 이용해 약 30분간 Pre-sputtering 을 실시하였다. 이후, 셔터(Shutter)를 열어 실험 하고자하는 시간동안 증착하였다. 박막 증착 시 타겟과 기판 사이의 거리는 80mm 로 고정시켰으며, 아르곤 가스와 산소가스의 비율, 공정압력, RF Power는 고정하였다.

기판에 가하는 히터의 온도는 상온과 200℃로 실험 하였고, 자장은 기판 주변에 4개의 자석을 설치했을 때와 자석이 없을 때를 나눠서 실험 진행 하였다. 각 조건별 박막의 두께를 알아보기 위해 증착시간은 30분으로 고정하였다. 표 1은 각 조건별 박막의 증착 두께와 증착율이다. 표에서 Normal 조건은 온도와 자장을 인가하지 상태이고, Temp 조건은 200℃의 온도를 인가한 상태를 나타내고, Magnetron 조건은 자장을 각각 기판에 인가한 조건이다. Temp&Mag 조건은 기판에 200℃의 온도를 가하며 자석을 설치하여 자장을 형성한 조건이다.

〈표 1〉 각 조건별 박막의 증착 두께 및 증착율

Normal	Temp	Magnetron	Temp&Mag
1400Å	2000Å	2200Å	2600Å
0.78Å/s	1.11Å/s	1.22Å/s	1.44Å/s

위와 같이 증착율이 증착 조건에 따라서 변화한 것을 보여주고 있다. ITO 박막의 두께가 같았을 경우에 전기 및 광학적 특성을 조사하기 위해서 각 조건별 증착 시간을 조절하여서 박막의 두께를 2000Å으로 동일하게 증착하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 ITO 박막의 전기 및 광학적 특성

각 조건에 따라 유리기판위에 2000Å의 두께로 증착된 ITO 박막의 전기 및 광학적 특성을 조사하였다. ITO 박막의 면저항은 Four-point probe를 사용하여 측정하였으며, 투과율은 분광계(UV-VIS)를 사용하여 측정하였다. 마지막으로 이동도는 홀 효과 측정 장비를 사용하여 측정하였다. 다음의 표 2에 박막의 전기 및 광학적 특성의 측정값 을 나타내었다.

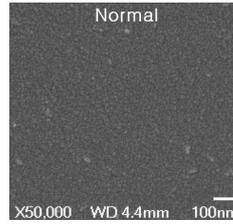
〈표 2〉 ITO 박막의 전기 및 광학적 특성

	Normal	Temp	Magnetron	Temp&Mag
면저항	82Ω/□	78Ω/□	78Ω/□	76Ω/□
투과율	84%	83%	82%	82%
이동도	29.1cm ² /Vs	34.8cm ² /Vs	34.3cm ² /Vs	41.2cm ² /Vs

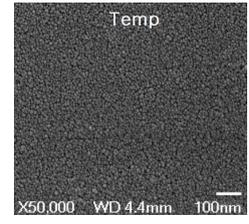
표에서 보는 바와 같이 기판에 온도와 자기장을 동시에 인가하였을 때 면저항이 가장 낮았으며 이동도 또한 우수하다는 것을 알 수 있다. 또한 자기장만을 인가하였을 경우 200℃의 온도에서 면저항, 투과율 이동도 등이 거의 유사한 것을 보여주고 있다. 이는 200℃의 온도를 인가하지 않고 자기장의 변화만으로 우수한 특성의 ITO 기판을 형성할 수 있음을 보여주고 있다.

4.2 ITO 박막의 표면 현상

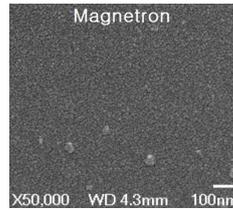
각 조건별 ITO 박막의 표면 현상은 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope: SEM)을 통해 분석하였다. 각 조건별 박막의 표면을 그림 2부터 그림 5까지 보였다.



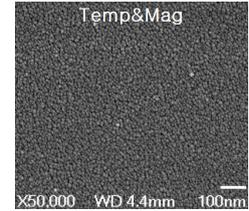
〈그림 2〉 Normal



〈그림 3〉 Temp



〈그림 4〉 Magnetron



〈그림 5〉 Temp&Mag

SEM 미세조직 사진을 보면 Normal 조건 보다 200℃에서 스퍼터링을 진행하였을 때 박막의 결정화가 이루어졌음을 보여주고 있다. 또한 200℃에서 자기장을 인가하였을 경우 제작한 박막이 상온에서 자기장을 인가하여 제작한 박막보다 결정화가 더욱 진행되었음을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 자기장 분포 제어에 의한 ITO 박막의 전기 및 광학적 특성과 표면 현상을 조사하였다. 증착된 박막은 온도를 가하거나 자기장을 형성한 경우에 특성이 더 우수해지는 것을 볼 수 있다. 이동도와 표면현상을 보면 Normal 조건 보다 자기장 형성, 혹은 기판을 가열한 조건에서 이동도가 더 우수했으며, 결정화도 잘 이루어졌음을 알 수 있다. 이에 따라 결정화의 정도가 이동도에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 그리고 이동도와 결정화 정도는 온도를 가한 조건과 자기장을 형성한 조건이 비슷했는데, 여기서 확인 할 수 있는 것은 기판을 가열하지 않고 자기장만 형성하여도 비슷한 효과가 있다는 것이다. 또한, 본 연구에서는 보이지 않았지만 증착 두께에 따른 면저항 특성은 박막의 두께가 2000Å 일 때, 가장 우수했다. 면저항은 두께가 2000Å일 경우 가장 낮았으며 그보다 너무 얇거나 두꺼울 경우에는 다시 증가하는 경향을 보였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Y. Leterrier, L. Medico, F. Demarco, J.-A.E. Manson, U. Betz, M. F. Escola, M. Kharrazi Olsson, F. Atamny, Thin Solid 460, 156 (2004)
- [2] H.L. Hartnagel, A. L. Dawar, A. K. Jain, and C. Jagadish, Semiconduction Transparent Thin Films, Insitute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia (1995)
- [3] J. O. Park, J. H. Lee, J. J. Kim, S. H. Cho, Y. K. Cho, Thin Solid Films 474, 127 (2005)