

ITO/Ni/ITO 박막의 광학적 전기적 특성 연구

김소라^a, 서정은^a, 김상호^{a*}, 이인선^a, 김동원^b

^a한국기술교육대학교 신소재공학과, ^b경기대학교 신소재공학과

Optical and Electrical Properties of ITO/Ni/ITO Thin Films

So-Ra Kim^a, Jung-Eun Seo^a, Sang-Ho Kim^{a*}, In-Seon Lee^a, Dong-Won Kim^b

^aKorea University of Technology and Education, Advanced Materials Engineering, 307 Gajeon-ri
 Byungcheon-myun Cheonan Chungnam 330-708, Korea

^bKyonggi University, Yeongtong-gu, Suwon-city, Gyeonggi-do 443-760, Korea

(Received 28 February 2005 ; accepted 31 March 2005)

Abstract

ITO/Ni/ITO thin films were deposited on the PET by RF magnetron sputtering. Dependence of the process parameters such as deposition pressure, positions of Ni layer, on the transmittance, reflectance and sheet resistance of ITO/Ni/ITO film were investigated. When the Ni layer is placed at the center of ITO and deposition pressure is low, ITO/Ni/ITO films showed better optical and electrical properties. At these conditions, the transmittance, reflectance and sheet resistance of the ITO film were 90%, 0.38% and 185 Ω/\square , respectively.

Keywords : Indium Tin Oxide (ITO), RF Sputtering, Ni, Transmittance, Sheet resistance

1. 서 론

투명 전도성 산화물(TCO; transparent conductive oxides) 박막은 낮은 전기 저항과 가시광선 영역에서 높은 광 투과도를 가진다. 이러한 투명 전도성 박막의 특성은 넓은 범위에 응용될 수 있는데 solar cell, LCD(liquid crystal display), OLED(organic light emitting diodes), EL(electro luminescence) display 등의 전극으로 사용되며 에너지 효율을 높여주는 heat mirror 등으로도 사용된다. 이런 여러 가지 용도로 사용되는 투명 전도성 산화물 박막 중에서도 ITO(indium tin oxide) 박막은 낮은 전기 저항을 가지고 있어 가장 널리 사용되고 있다.

Half-mirror는 아크릴판등 투명한 기판에 알루미늄, 크롬, 니켈, SiO₂, TiO₂ 등을 증착시켜서 마치 거울처럼 보이게 하는 신기술로 반사효과 이외에도

반투명의 투시감까지 제공한다. 이러한 half-mirror 막은 구성하는 재료 및 그 막 두께를 적절하게 선택함으로써, 성능을 자유로이 설계하는 것이 가능하다^{1,2)}.

이에 본 실험에서는 RF magnetron sputtering법을 이용하여 ITO/Ni/ITO 박막을 설계하였다. 설계한 박막의 sputtering 조건과 박막의 전기적, 광학적 특성과의 상관관계를 조사하여 TCO로써 가져야할 가시광선 영역에서 높은 광 투과율, 낮은 반사율, 높은 전기적 특성을 갖는 sputtering 조건을 조사하였다.

2. 실험방법

본 실험에서는 ITO/Ni/ITO 박막을 RF magnetron sputter를 이용하여 PET(polyethylene terephthalate) 기판 위에 증착하였다. 시편의 크기는 3 cm×3 cm으로 표면세정은 PET 필름 표면에서 실험 직전 보호 필름을 제거한 후 질소 가스를 이용하여 표면의

*Corresponding author. E-mail : shkim@kut.ac.kr

이물질을 제거하였다.

ITO 타겟은 $\text{In}_2\text{O}_3:\text{SnO}_2 = 9:1$ 의 조성비를 가지는 것을 사용하였고, Ni 타겟은 99.99%인 것을 사용하였다. 타겟의 size는 ITO: $\phi 2" \times t 1/4"$, Ni: $\phi 2" \times t 1/8"$ 인 것을 사용하였다.

진공은 로타리 펌프와 디퓨전 펌프로 초기 진공도인 2×10^{-5} torr까지 도달된 후 아르곤 가스를 이용하여 플라즈마 시동이 용이할 수 있는 분위기를 조성하였다.

박막 증착 시 주입한 가스의 양은 일정하게 고정하고 ITO 박막 증착 시 산소 유량비는 8%로 유지하며 실험하였고 Ni 박막 증착 시에는 100% 아르곤만 주입하였다.

증착 시 RF 파워는 60 W로 고정하고 증착압력은 배기 밸브를 조절하여 7×10^{-3} torr에서 3×10^{-4} torr까지 변화를 주며 증착하였다. 또한 ITO 박막 내에 일정한 두께의 Ni 박막을 위치 시켜의 ITO/Ni/ITO 다층 박막으로 증착시키면서 다층박막내 Ni층을 최하부 부터 최상부까지 9단계로 변화를 주어 증착하였다. 최상단부를 위치 1로 하고 최하단부를 위치 9로 표시하며, 증착 후 열처리는 100°C 에서 5시간 동안 공기 중에서 행하였다.

박막 증착 후 UV-spectrophotometer(Varian Cary 500)를 사용하여 측정하였으며 360~800 nm의 측정 파장 범위에서 각 파장에 대한 광 투과율을 측정하였다. 또한 전기적 특성을 조사하기 위해 4-point probe(Guardian scientific 402S)을 이용하여 면저항을 측정하였다. 각각의 성능에 대한 막의 특성을 알아보기 위해 atomic force microscope(AFM: NT-MTT), α -step (Tencor P-2), hall effect measurement (ECOPIA)을 이용하여 분석하였다. 이상의 조건들을 표 1에 정리하여 나타내었다.

Table 1. Deposition condition of ITO/Ni/ITO thin films on PET

Target	(90%) In_2O_3 -(10%) SnO_2 , Ni(99.99%)
Substrate	PET
Base pressure	2×10^{-5} torr
Working pressure	3×10^{-3} torr~ 3×10^{-4} torr
Gas	ITO Ar: $\text{O}_2 = 27.4:2.6$ (sccm)
	Ni Ar 30 sccm
RF power	60 W
Heat treatment	100°C , 5hour annealing
Substrate temp.	Room Temp.
Thickness	1160Å
Analysis equipment	4-point probe, UV-spectrophotometer, AFM, α -step, Hall effect measurement

3. 결 과

3.1 증착 압력

증착 압력 변화에 따른 광 투과율과 반사율, 면저항의 변화에 대해 살펴보았다. 그림 1은 증착 조건을 60 W, room temperature, 타겟과 기판 간격(T-S 간격)은 65 mm, 박막의 두께 1160Å, 증착 시 투입되는 가스의 양은 ITO(Ar: $\text{O}_2 = 27.4:2.6$ (sccm)), Ni(30 sccm)으로 고정하고 배기 밸브를 조절하여 증착 압력만 3×10^{-3} torr, 7×10^{-4} torr, 3×10^{-4} torr으로 변화시켜가며 광 투과율을 측정한 그래프이다. 또한 그림 2는 wavelength가 550 nm일 때 증착 압력 변화에 따른 광 투과율과 반사율 대해서 측정한 그래프이다. 광 투과율은 항상 90% 이상을 나타내지만 반사율은 3×10^{-4} torr로 증착 압력이 낮을 때 가장 낮은 값이 측정되었다.

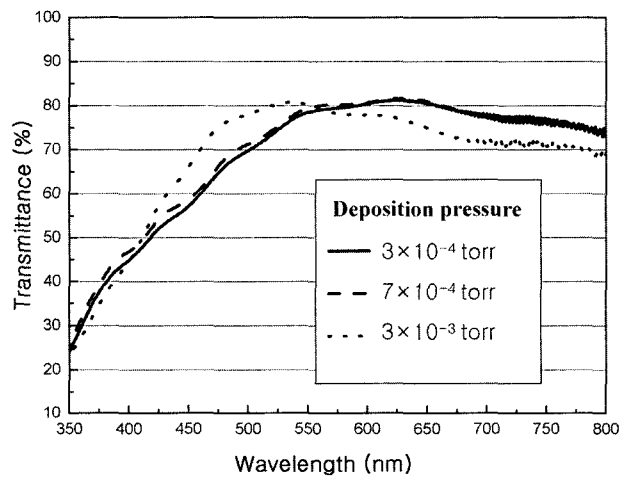


Fig. 1. Effect of deposition pressure on the transmittance of ITO/Ni/ITO thin films.

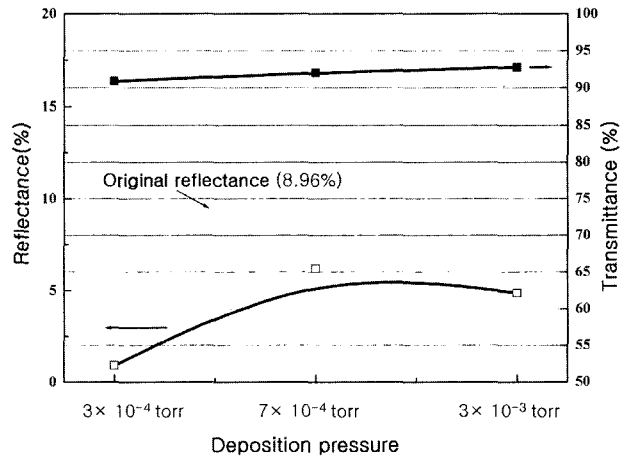


Fig. 2. Effect of deposition pressure on the transmittance and reflectance of ITO/Ni/ITO thin films when wavelength was 550 nm.

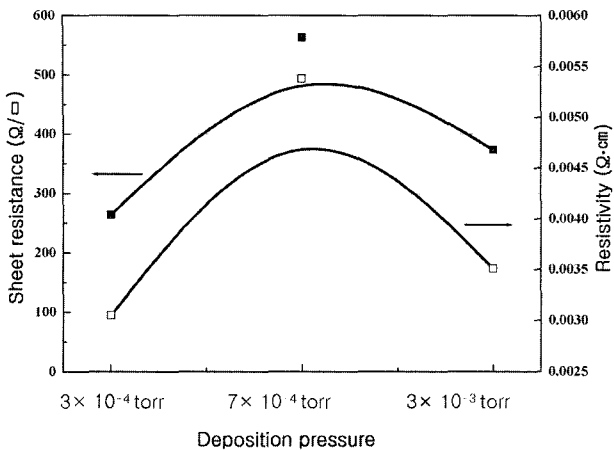


Fig. 3. Effect of deposition pressure on the sheet resistance and resistivity of ITO/Ni/ITO thin films.

그림 3을 통하여 증착 압력이 3×10^{-4} torr일 때 면저항은 $264 \Omega/\square$, 비저항은 $0.00305 \Omega \cdot \text{cm}$ 값이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 반사율과 저항이 3×10^{-4} torr일 때 좋은 결과를 나타내는 원인을 알아보기 위하여 AFM(그림 4), hall effect measurement(표 2)를 통해 분석하였다.

3×10^{-4} torr가 확연히 작은 반사율 값을 갖는 결과의 원인을 그림 4인 AFM 결과에서 살펴보았다. 증착 압력이 증가할수록 작은 grain들이 균데균데 섬 구조를 이루며 표면이 거칠어진다^{3,4)}. 표면 거칠

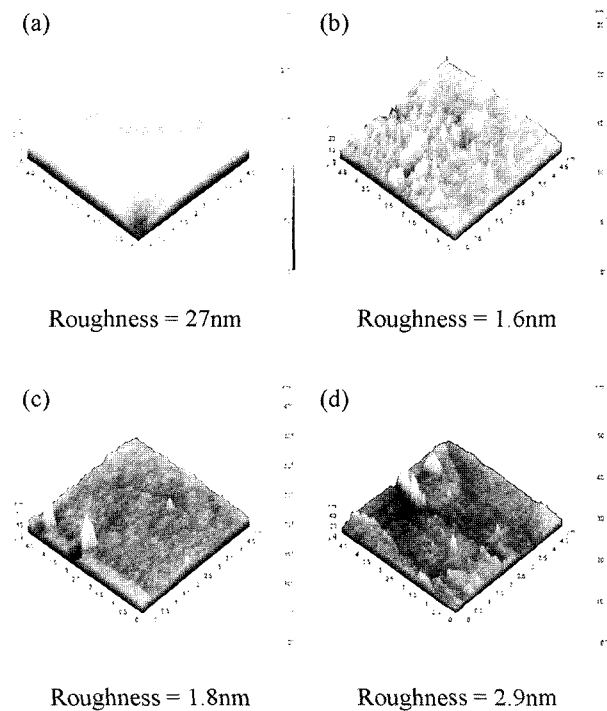


Fig. 4. AFM images of ITO/Ni/ITO thin films with different deposition pressure: (a) PET original, (b) 3×10^{-4} torr, (c) 7×10^{-4} torr, (d) 3×10^{-3} torr.

Table 2. Hall effect measurement of ITO/Ni/ITO thin films with different deposition pressure

Deposition pressure	Carrier concentration (NB)	Mobility (μ)
3×10^{-4} torr	$1.5100\text{E}+19$ (/cm ³)	135.5263 (cm ² /V)
7×10^{-4} torr	$3.2752\text{E}+19$ (/cm ³)	35.49578 (cm ² /V)
3×10^{-3} torr	$8.7445\text{E}+18$ (/cm ³)	237.72131 (cm ² /V)

기 값은 3×10^{-4} torr 값이 가장 작게 나타났지만 표면이미지상에 전체적으로 미세한 돌기들이 형성되어 있는 것을 확인할 수 있다. 이러한 작은 돌기들은 표면에서 난반사가 일어나게 하고 이러한 난반사로 인하여 반사율이 감소하게 된다.

표 2를 살펴보면 3×10^{-4} torr에서 증착된 박막은 7×10^{-4} torr에서 증착된 박막에 비하여 캐리어의 농도는 낮지만 캐리어의 이동도에서 매우 높음을 알 수 있다. 이이유로 면저항과 비저항이 3×10^{-4} torr 증착된 박막이 낮은 것으로 판단된다⁵⁾.

3.2 Ni의 증착 위치

ITO/Ni/ITO 박막의 증착 중 Ni의 증착 위치 변화에 따른 광 투과율과 반사율, 면저항, 비저항의 변화에 대해 살펴보았다. PET 기판위에 ITO/Ni/ITO를 증착할 때 ITO 사이에 Ni(100Å)의 위치는 Ni의 위치가 ITO/Ni/ITO 다층 박막의 최상층부터 최하층까지 9단계씩 이동하여 증착을 실시하였다. 증착 압력은 3×10^{-4} torr로 모든 증착 막의 두께는 1160Å 정도로 유지하도록 하였다. 이 실험에 대한 모식도를 그림 5에 나타내었다.

그림 6은 증착 조건을 60 W, room temperature, T-S(Target-Substrate) 간격은 65 mm, 박막의 두께 1160Å, ITO와 Ni 박막의 증착 시 투입되는 가스의 양은 ITO(Ar:O₂ = 27.4:2.6 (sccm)), Ni(Ar = 30

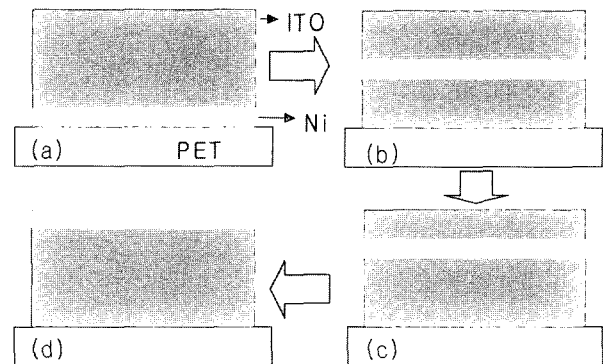


Fig. 5. Positions of Ni layer were varied while thickness of ITO and Ni layer were kept constant: (a) Sample 1, (b)(c) Sample 2~8, (d) Sample 9.

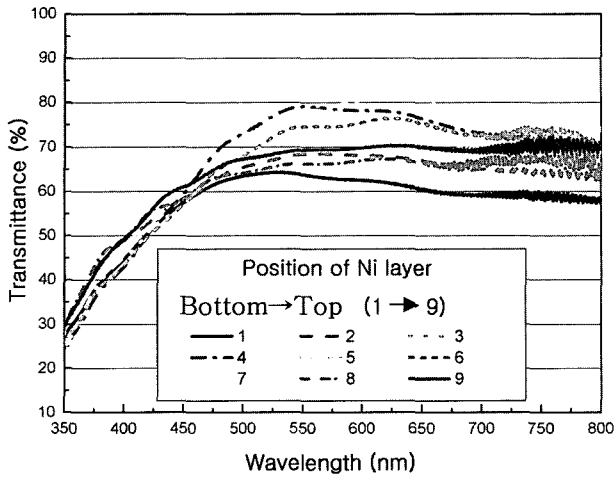


Fig. 6. Effect of positions of Ni layer on the transmittance of ITO/Ni/ITO thin films.

sccm), 증착 압력은 3×10^{-4} torr으로 고정하고 증착막 내의 Ni의 위치만 변화시켜가며 광 투과율을 측정 한 그래프이다. 또한 그림 7은 wavelength 가 550 nm일 때 Ni의 증착 위치 변화에 따른 광 투과율과 반사율 대해서 측정 한 그래프이다. Ni 층의

위치가 PET기판에서 멀어짐에 따라 광 투과율은 증가하다가 감소하고 반사율은 이와 반대의 그래프를 그리고 있다.

그림 7의 그래프를 살펴보면 증착막내 Ni의 위치가 중간쯤에 있는 시편 4와 5가 현저히 낮은 반사율을 가진 것을 볼 수 있고 Ni이 아래쪽에 있는 시편 2가 높은 반사율을 가진 것도 볼 수 있다. 이러한 결과들의 원인을 알기 위해 그림 8로 나타낸 AFM 결과를 살펴보면 Ni이 중간에 위치 하였을 때 박막 표면에 작은 돌기들이 올라와 있는 것을 볼 수 있다. 이 돌기들의 난반사로 반사율이 감소하게 된 것으로 볼 수 있다.

그림 9에서 보면 Ni의 위치가 1에서 8까지는 면저항과 비저항이 비슷한 패턴을 보임을 알 수 있고, Ni의 위치가 3일 때 면저항은 $154 \Omega/\square$, 비저항은 $0.0014 \Omega \cdot \text{cm}$ 으로 가장 작은 면저항과 비저항을 보임을 알 수 있다. 표 3은 캐리어의 농도와 이동도를 나타낸 것인데, 증착막내 Ni의 위치가 5일 때는 ITO내에서 Ni의 위치가 중간쯤에 있는 것이고, 9번은 Ni이 맨 위에 있는 것인데, Ni이 9의 위치에 있

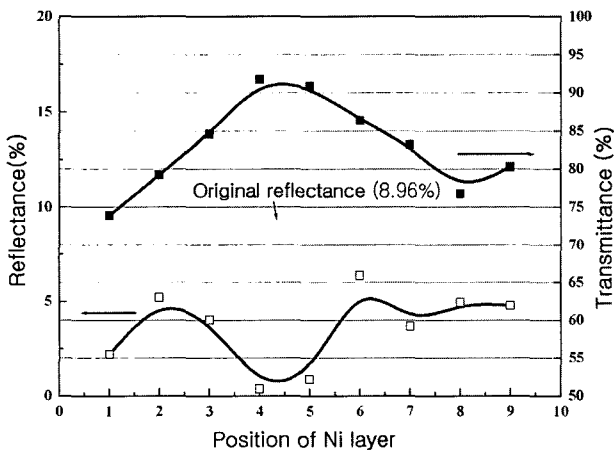


Fig. 7. Effect of positions of the Ni layer on the transmittance and reflectance of ITO/Ni/ITO thin films which wavelength was 550.

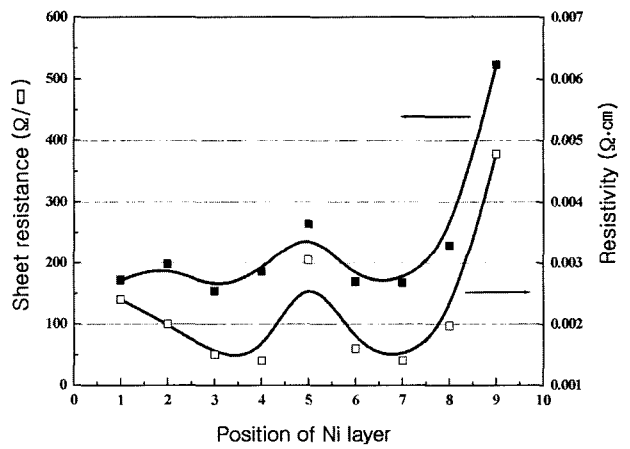


Fig 9. Effect of position of Ni layer on the sheet resistance and resistivity of ITO/Ni/ITO thin films.

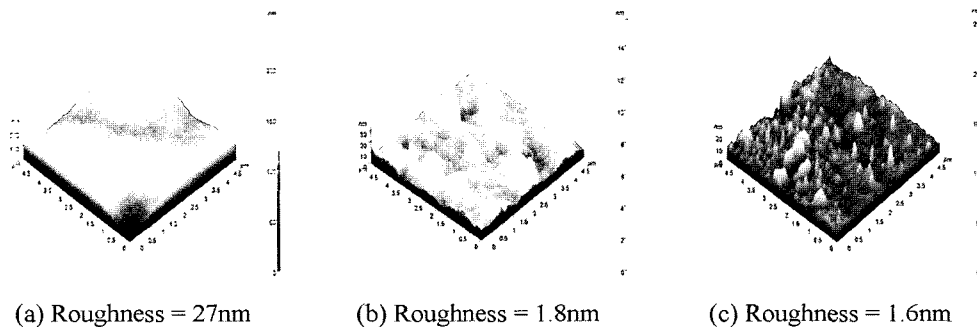


Fig. 8. AFM images of ITO/Ni/ITO thin films with different position of Ni layer: (a) PET original, (b) sample 2, (c) sample 5.

Table 3. Hall effect measurement of ITO/Ni/ITO thin films with different position of Ni layers

Position of Ni layer	Carrier concentration (NB)	Mobility (μ)
1	4.5983E+18 (/cm ³)	547.04907 (cm ² /V)
2	4.4506E+18 (/cm ³)	505.35518 (cm ² /V)
3	2.8251E+18 (/cm ³)	1.4078E+03 (cm ² /V)
4	1.3660E+19 (/cm ³)	277.40036 (cm ² /V)
5	1.5100E+19 (/cm ³)	135.5263 (cm ² /V)
6	1.2971E+19 (/cm ³)	297.84999 (cm ² /V)
7	3.0025E+19 (/cm ³)	142.03167 (cm ² /V)
8	9.2516E+18 (/cm ³)	340.20728 (cm ² /V)
9	7.5475E+19 (/cm ³)	42.61624 (cm ² /V)

을때 이동도가 매우 낮은 것을 알 수 있다. 즉 Ni의 위치가 PET 쪽이나 ITO층의 중간에 위치할 때 적절한 캐리어의 농도와 이동도 때문에 면저항과 비저항이 낮게 나타나는 것으로 볼 수 있다⁵⁾.

4. 결 론

PET 기판위에 각각의 증착 조건을 변화시켜가며 ITO/Ni/ITO 박막을 증착하고 그 특성을 분석하였을 때 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. PET 기판 위에 ITO/Ni/ITO를 증착 압력, Ni의 위치 같은 조건에 따라 증착하였다. 이때 압력은 낮을 때, Ni이 ITO의 중앙에 위치하게 증착하였을 때

transmittance는 90% 이상, reflectance는 0.38%, sheet resistance는 185 Ω/\square 결과가 나타났다.

2. Reflectance는 표면에 작은 돌기들이 무수히 퍼져 있을 때 난반사가 일어나 낮은 반사율을 가지는 성과를 이룰 수 있었고, sheet resistance와 resistivity는 캐리어의 농도와 이동도가 적절히 조화된 값을 보일때 낮은 값을 얻을 수 있었다.

후 기

본 연구는 한국 산업 기술재단에서 지원된 지역 혁신 인력 양성 사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. K. L. Chopra, S. Major, D. K. Pandya, Thin Solid Films, 102 (1983) 1.
2. Tom Feng, Amal K. Ghost, Chales Fishman, J. Appl. Phys., 50(7) (1979) 4972.
3. L. R. Cruza, C. Legnania, I. G. Matosoa, C. L. Ferreira, H. R. Moutinho, Materials Research Bulletin, 39 (2004) 993.
4. L.-J. Meng, M. P. Dos Santos, Thin Solid Films, 303 (1997) 151.
5. Y.-S. Kim, Y.-C. Park, S. G. Ansari, J.-Y. Lee, B.-S. Lee, H.-S. Shin, Surface and Coatings Technology, 173 (2003) 299.