

내장형 및 외장형 마그네트론을 사용하여 증착한 ITO박막의 물성 Properties of ITO films deposited using different types of magnetron cathode

조상현^{1*}, 박준홍², 김도근³, 이진환³, 송풍근¹
 (1) 부산대학교, 재료공학과
 (2) 삼성코닝, DIM사업부 타겟기술G
 (3) 한국기계연구원, 표면기술연구센터

초 록 : ITO는 평판디스플레이에서 사용되어지고 있는 대표적인 실용화 투명전극재료로서, ITO박막은 DC 마그네트론 스퍼터링법에 의해 생산되어지고 있다. 이러한 마그네트론 스퍼터링법을 사용할 경우, 캐소드 자장의 강도나 모양은 박막의 물성에 많은 영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 외장형 마그네트론과 내장형 마그네트론을 장착한 캐소드를 사용하여 증착한 ITO박막에 대하여 열처리에 따른 박막의 물성변화에 대하여 연구하였다.

Veeco), Hall effect measurements (HMS-3000, ECOPIA), UV-visible spectroscopy (Agilent Tech. 8453E)를 각각 사용하여 평가하였다.

1. 서 론

ITO(Indium Tin Oxide)박막이란 투명전도성 세라믹박막의 한 종류로 가시광선영역(400 ~ 800nm)에서 높은 투과율과 비저항이 $1 \times 10^{-3} \text{ohm-cm}$ 이하의 높은 전기전도성을 가지므로 LCD(Liquid Crystal Display), PDP(Plasma Display Panel), OLED(Organic Light Emitting Display) 등의 평판디스플레이에 있어서 투명전극으로 가장 많이 사용되어지고 있다. 또한 디스플레이의 다양한 기능에 부합하여 투명전극재료의 용도별 특성에 대한 요구도 더욱 고도화되어지고 있는 실정이며, 한 예로 차세대 디스플레이인 플렉시블(flexible) 디스플레이를 들 수 있다.[1,2] ITO 박막을 제작하는 방법으로는 스프레이 법 (Spray method), 전자빔 증착법 (Electron Beam Evaporation), 화학적 증착법 (Chemical Vapor Deposition), 스퍼터링법 (Sputtering)[3] 등이 사용되고 있다. 이 가운데 대면적에 균일한 박막형성이 용이하고 및 저온성막이 가능한 DC 마그네트론법이 가장 많이 사용되어지고 있다.[3] ITO 박막의 생산라인에서는 Sn을 10wt% 함유하고 있는 세라믹 ITO 타겟을 사용하고 있다. 이러한 DC 마그네트론 스퍼터링에서 ITO 박막의 물성은 캐소드의 자장강도 및 형태에 크게 의존한다고 보고되어 있다.[4] 본 연구에서는 외장형 및 내장형 마그네트론이 장착되어진 캐소드를 사용하여 ITO박막을 증착함에 있어서 산소유량에 대한 박막의 물성 변화에 대해서 연구하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

약 150nm의 두께를 가지는 ITO 박막을 외장형 및 내장형의 마그네트론이 장착된 DC 마그네트론 스퍼터링법에 의하여 기판가열 없이 non-alkali glass(corning E2000) 기판위에 증착했다. 가스유량은 Ar용 MFC와 O₂ 전용 MFC를 사용하여 0~10sccm 범위에서 미세조절이 가능하도록 하였으며, Ar (순도: 99.9999%) 가스와 Ar+O₂ 가스를 각각 사용하였다. 스퍼터링용 타겟은 지름 3.0", 두께 50mm, 순도 99.98% 및 밀도 99.99%의 고밀도 ITO세라믹(SnO₂ 10wt%) 타겟을 사용하여 표1에 나타난 실험조건하에서 성막을 행하였다.

증착한 ITO박막의 두께, 전기적 특성 (비저항, 홀이동도, 캐리어밀도) 및 투과율은 surface profiler (DekTek3, ,

표 1. 증착 조건

DC 파워	100 W
초기압력	~ 1.0×10^{-3} Pa
작업압력	0.7 Pa
기판온도	RT
막 두께	150 ~ 160 nm
산소유량	0 ~ 1.25 %
마그네트론 type	(a)외장, (b) 내장

2.2 전기적 특성

그림 1은 (a)외장형 마그네트론과 (b) 내장형 마그네트론을 각각 사용하여 산소첨가량을 변화시켜 증착한 ITO박막의 비저항, 캐리어밀도 및 홀이동도를 나타낸다. (a)의 경우, 산소유량 증가와 함께 비저항은 산소유량 0.7%까지는 $2.7 \times 10^{-4} \text{ohm-cm}$ 로 감소하다가 그 이상 산소를 첨가했을 경우 비저항은 다시 증가하는 경향을 보인 반면, (b)의 경우는 산소유량의 증가와 함께 비저항은 크게 증가함을 확인 할 수 있었다. 이러한 비저항의 증가는 산소첨가에 의하여 ITO의 캐리어 생성기구의 하나인 산소공공의 소멸에 의한 캐리어 밀도의 감소에 기인한다고 생각되어진다.

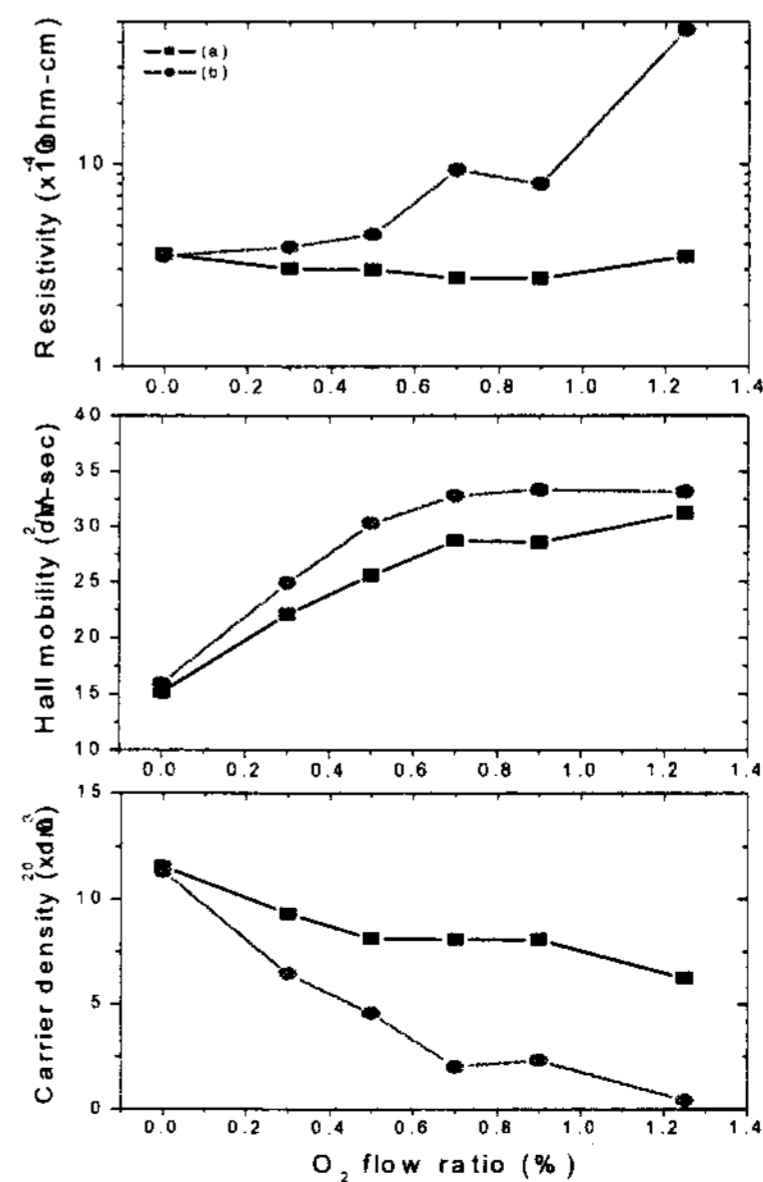


그림 1. 산소첨가량에 따른 ITO박막의 전기적 특성. [(a)외장형 마그네트론, (b)내장형 마그네트론]

2.3 광학적 특성

그림 2는 산소유량을 변화시켜 증착한 ITO박막의 투과율을 나타낸 것이다. (a), (b) 캐소드로 증착된 모든 막이 가시광선영역(600nm)에서 75%이상의 투과율을 보여주었다. 그리고 산소유량이 증가함에 따라 (a)캐소드로 증착한 막은 투과율이 78%에서 83%로 (b)캐소드로 증착한 막은 85%에서 88%로 각각 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 산소의 증가에 따른 막의 결정성의 증가에 기인한다고 생각되어진다. 또한 이러한 경향은 (b)의 내장형 마그네트론의 경우 더욱 뚜렷이 나타났으며, 이것은 그림 1의 결과로부터도 확인할 수 있듯이 내장형의 마그네트론의 경우 박막의 산화반응이 촉진되는 것으로 생각되어진다.

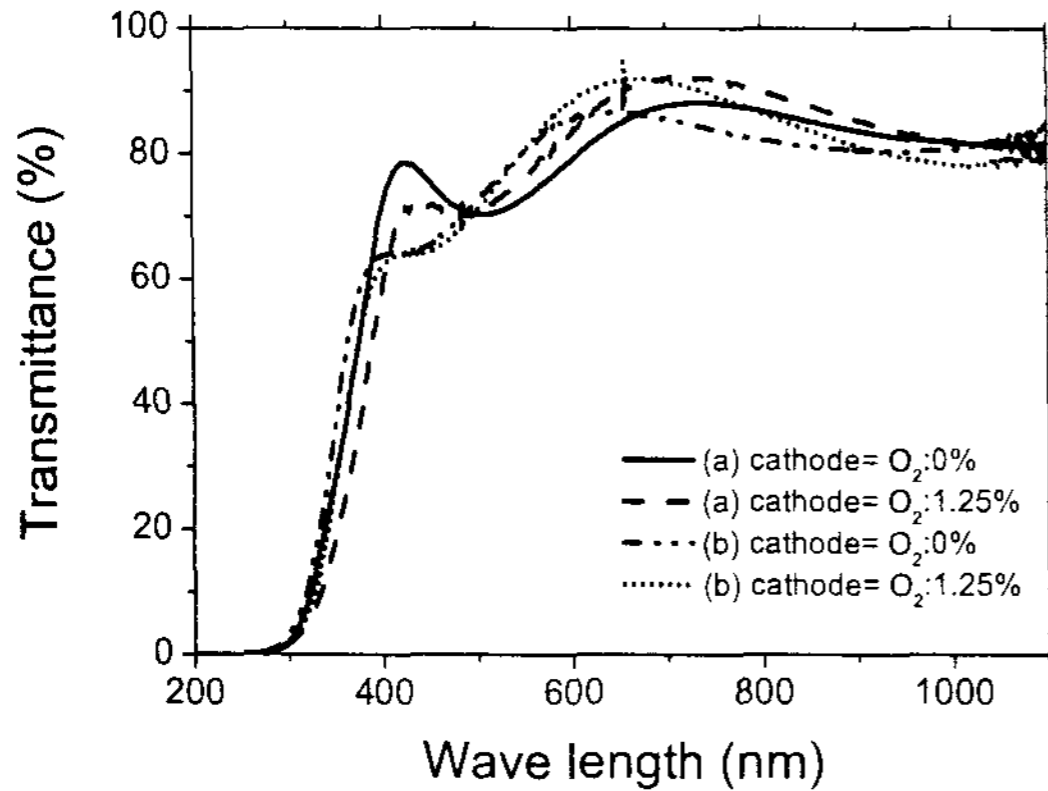


그림 2. 산소유량 증가에 따른 ITO박막의 투과율

2.4 구조적 특성

표 2는 RT에서 성막한 ITO 박막에 대하여 후열처리 (post-annealing)한 조건을 나타내며, 이러한 조건에서 열처리한 ITO박막의 XRD 측정결과를 그림 3에 나타낸다.

표 2. 후-열처리 조건

시편	(a), (b)캐소드로 산소유량 0%에서 증착된 막
초기압력	Vacuum ($\sim 1.0 \times 10^{-3}$ Pa)
온도	170 ~ 250 °C
가스	Ar (99.9999%)
분위기	Ar
작업압력	1.0 Pa

외장형 및 내장형 마그네트론을 사용하여 RT에서 성막한 ITO박막은 모두 비정질인 것으로 확인 되었으나, 170°C 이상에서는 결정화가 일어나 다결정의 XRD패턴을 나타내었다.

외장형 마그네트론을 사용한 ITO박막의 경우, (222)면의 피크보다 (400)면의 피크가 더 큰 것으로 나타났다. 이것은 ITO결정구조에서 산소의 최밀충진면이 (222)면이므로 박막의 표면은 산화반응은 그다지 촉진되지 않았다고 생각되어진다.[5] 한편, 내장형 마그네트론의 경우, ITO박막의 (222)면의 피크강도가 (400)면의 피크강도보다 상대적으로 크게 나타났으며, 이것은 박막의 산화반응은 촉진되었음을 의미한다. 이상의 결과에서, 외장형 마그네트론의 경우 박막은 환원성이며, 산소공공에 의한 캐리어 밀도의 증가에 기인하여 내장형 마그네트론 보다 낮은 비저항을 나타낼 수 있었다.

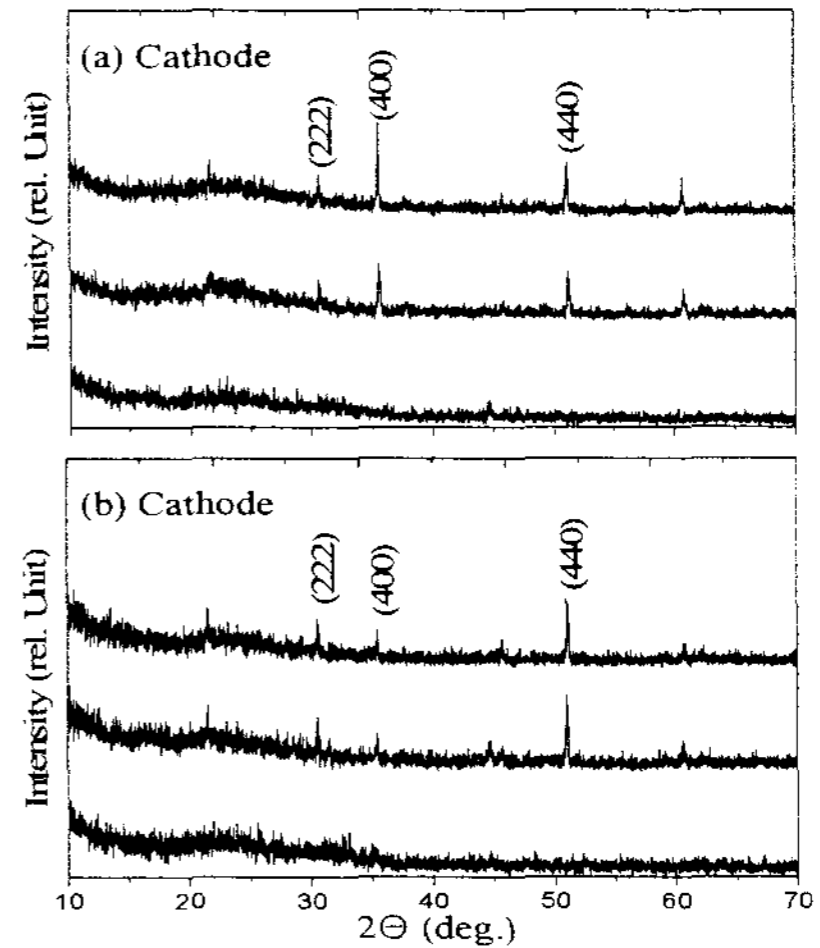


그림 3. 후-열처리에 따른 XRD 패턴.
[(a)외장형 마그네트론, (b)내장형 마그네트론]

3. 결 론

외장형의 마그네트론을 사용하여 증착한 ITO박막의 경우, 산소첨가량 0.7%에서 최저 비저항 값을 나타내었다. 그러나, 내장형 마그네트론의 경우, ITO박막의 비저항은 산소첨가량의 증가와 함께 비저항은 급격하게 증가하였으며, 이것은 증착과정에서 박막표면의 산화반응이 촉진되어 야기된 캐리어생성기구인 산소공공의 소멸에 기인한다고 생각되어진다. 후-열처리한 ITO 박막의 경우, 170°C부터 결정화가 일어났으며, 내장형의 마그네트론은 ITO박막의 산화반응을 촉진시키는 효과가 있음을 XRD 측정 결과로부터 확인할 수 있었다.

감 사 의 글

본 연구는 한국기계연구원 및 삼성코닝(주)의 지원으로 이루어졌습니다.

참 고 문 헌

- [1] Kazuhiro Noda, Hirotohi Sato, Hisao Itaya and Minoru Yamada, "Characterization of Sn-oped In₂O₃ Film on Roll-to-Roll Flexible Plastic Substrate Perpared by DC Magnetron Sputtering", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42, 217-222, 2003.
- [2] Z. W. Yang, S. H. Han, T. L. Yang, Lina Ye, D. H. Zhang, H. L. Ma, C. F. Cheng, "Bias volrage dependence of properties for depositing transparent conducting ITO films on flexible substrate", Thin Solid Films, 366, 4-7, 2000
- [3] R. Latz, K. Michael and M. Scherer, "High Conducting Large Area Indium Tin Oxide Electrodes for Displays Prepared by DC Magnetron Sputtering", Jpn. J. Appl. Phys, Vol. 30, No. 2A, 149-151, 1991
- [4] 신성호, 김현후, 박광자, "DC 마그네트론 스퍼터링의 비대칭 자석구조에 의한 ITO 박막 제조 및 물성에 관한 연구", 전기전자재료학회지, Vol. 10, No. 7, 700-705, 1997
- [5] C. H. Yi, I. Yasui and Y. Shigesato, "Effects of Tin Concentrations on Structural Characteristics and Electrooptical Properties of Tin-Doped Indium Oxide Films Prepared by RF Magnetron Sputtering", Jpn. J. Appl. Phys." Vol. 34, 600-605, 1995