

반응성 직류마그네트론 스퍼터링에 의한 ITO박막 형성에 관한 연구

논문
8-6-3

The Study on Formation of ITO by DC Reactive Magnetron Sputtering

하홍주*, 조정수**, 박정후*

(Ha Hong-Ju, Cho Jung-Soo, Park Chung-Hoo)

Abstract

The material that is both conductive in electricity and transparent to the visible ray is called transparent conducting thin film. It has many fields of application such as Solar Cell, Liquid Crystal display, Vidicon on T.V, transparent electrical heater, selective optical filter, and a optical electric device, etc. In the recent papers on several TCO(transparent conducting oxide) material, the study is mainly focusing on ITO(indium tin oxide) because ITO shows good results on both optical and electrical properties. Nowaday, in the development of LCD(Liquid Crystal display), the low temperature process to reduce the production cost and to deposit ITO on polymer substrate (or low melting substrate) has been demanded.

In this study, we prepared indium tin oxide(ITO) by a cylindrical DC magnetron sputtering with Indium-tin (9:1) alloy target instead of indium-tin oxide target. The resistivity of the film deposited in oxygen partial pressure of 5% and substrate temperature of 140°C. is $1.6 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ with 85 % optical transmission in visible ray.

Key Word(중요용어) : ITO Thin Film (인듐주석산화물박막), Transmission(투과), Resistivity(비저항), magnetron Sputtering (마그네트론스퍼터링),

1. 서 론

가시광(약 380 - 780nm의 파장영역)에 대해 광투과도가 크고, 투명하며 더우기 전기 전도도가 큰 박막을 투명도전박막이라 부르고 있다. 구체적으로는 투과율이 약 80% 이상이고, 저항율이 $1 \times 10^{-2} \Omega\text{-cm}$ 이하의 박막을 투명도전박막이라 할 수 있다. 일반적으로 투명하기 위해서는 전도전자가

적어야 할 필요가 있으며, 한편 전기전도도가 크기 위해서는 전도전자가 많아야 한다. 투명도전박막은 이와 같이 서로 상반되는 조건을 동시에 만족해야 할 필요가 있다. 이들 재료로서 초기에는 SnO₂ 박막이 이용되었다. 이 박막은 자외선 영역까지 투과시키는 우수한 광학적 특성을 나타내었지만, 상당히 큰 전기저항을 나타내어서 현재는 Sn을 첨가한 In₂O₃(ITO : indium tin oxide)막을 중심으로 하여 개발이 주로 진행되고 있다. ITO는 액정표시소자(LCD), 전자루미네선트(ELD), 전자크로믹표시소자(ECD)등의 평판형 표시소자, 태양전지, 액정 혹은 EC조광장치등에 폭넓게 이용되고 있다.

* : 부산대학교 전기공학과

** : 부산대학교 전기공학과 교수

접수일자 : 1995년 6월 22일

심사완료 : 1995년 7월 14일

ITO제작 공정의 저온화는 박막의 경제성을 향상시킬 뿐만 아니라 유기물을 기판으로 한 플라스틱 카드에도 LCD를 만들 수 있을 것으로 예상되므로 박막제작 공정의 저온화가 크게 연구되고 있다.^{1),(2),(8)}

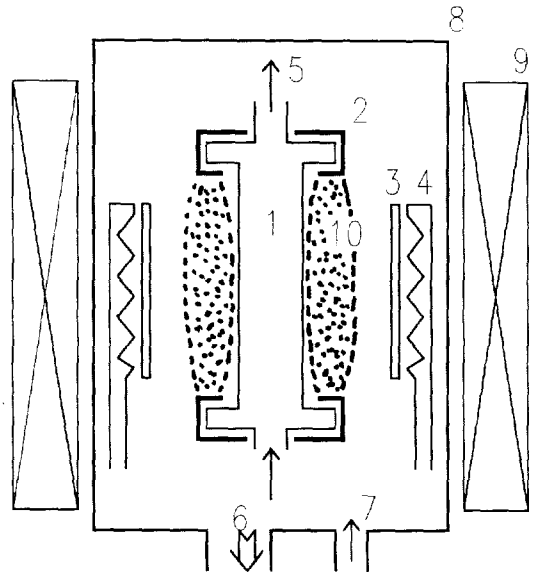
본 연구에서는 낮은 온도에서도 우수한 ITO 박막을 제작하기 위하여 방전효율이 뛰어난 반응성 원통형 DC 마그네트론 시스템을 제작하여 ITO를 제작하였으며, 특히 ITO 제작에 사용되고 있는 고가이며 유효 사용량이 적은 $In_2O_3:Sn$ 산화물타겟대신에 가격이 낮은 In-Sn 합금 타겟(Target)을 사용하여 반응성 스퍼터링에 의해 ITO박막을 제작한 후 이 박막의 전기적 및 광학적 특성을 검토하였다.

2. 실험 방법

2.1. 장치의 구성

ITO박막제작장치의 개략도는 그림 1과 같다. 진공조 내부의 음극타겟(Target)은 In-Sn합금으로 원통형으로 제작하여 사용하였으며, 타겟직경은 22mm, 길이 80mm의 원통상이다. 양극으로 둘러싸인 음극부위에서 불꽃방전이 일어나지 않도록 하기 위하여 두 전극사이의 간격을 파셴(Paschen) 최저값이하로 설계하였다. 진공조 외부에 자계코일을 설치하여 진공조 내부자계를 800G까지 변화할 수 있도록 하였다. 진공조 내부는 로타리펌프(rotary pump)와 확산펌프(diffusion pump)를 사용하여 약 10^{-6} Torr 까지 배기한 후, Ar 과 O_2 가스를 주입하여 약 10^{-3} Torr에서 실험을 행하였다. 타겟으로 사용되고 있는 인듐의 용점이 약 $156^{\circ}C$ 로 매우 낮아서 박막 증착시 쉽게 타겟이 용융되므로, 냉각수로 충분히 냉각시키면서 안정된 플라즈마가 형성되는 조건으로 (방전전압 및 인가자계를 각각 275V, 500G) 일정하게 유지하면서 실험을 행하였다.

그림 1과 같이 플라즈마가 발생되면 음극을 둘러싸고 있는 플라즈마층은 양극과 같은 역할을 하게 되고 그 결과 양극과 음극간에 형성되는 전계와 진공조 내부에 인가된 자계는 수직하게 된다. 이



1.Cathode 2.Anode 3.Substrate 4.Heater
5.Cooling water 6.Exhaust 7.Gas inlet
8.Vacuum chamber 9.Magnetic coil 10.Cold plasma

그림 1. 원통형 마그네트론 실험장치의 개략도
Fig 1. Experimental set-up in the Cylindrical Magnetron sputtering

때 방전에 미치는 직교 전자계의 효과는 다음과 같이 생각할 수 있다.

Z방향의 자계 B에 대하여 수직인 평면을 X와 Y 평면으로 가정하여, 전계에 의하여 이 평면에 수평으로 v의 속도를 가진 전자가 입사하면 진공중에서의 전자의 운동방정식은 식(1)로 나타낼 수 있으며, 운동방정식의 성분으로 나누면 식 (2),(3)의 식을 얻을 수 있다. 여기서 z 방향의 운동은 자계와 평행하므로 발생하지 않는다. 이 식을 미분하면 식 (4)와 (5)가 얻어지며 이 두식은 전자의 단순조화운동을 나타내고 있다. 이 식에서 사이클로트론 주파수는 식(6)과 같이 얻을 수 있다. 따라서 타겟표면에서 ω 의 주파수로서 자계에 수직으로 회전운동을 하게 될 것이다.³⁾

$$m\dot{v} = q(v \times B) \quad (1)$$

$$m\dot{v}_x = qv_y B \quad (2)$$

$$m\dot{v}_y = -qv_x B \quad (3)$$

$$v_x = -(qB/m)^2 v_x \quad (4)$$

$$v_y = -(qB/m)^2 v_y \quad (5)$$

$$\omega = qB/m \quad (6)$$

그 결과 전자는 타겟근방에 구속된 채로 계속적인 회전운동을 하므로서, 전자 한개가 가지는 중성기체와의 충돌횟수가 크게 증가하여, 동작 기체(Ar)의 이온 생성효율이 증가하게 된다. 이와같이 본 장치는 전리효율이 높기 때문에 고진공($10^{-3} - 10^{-4}$ Torr)에서도 타겟주위에 플라즈마의 형성이 가능하며, 고진공에서도 박막을 형성할 수 있으므로 동작가스에 의한 박막의 손상이 크게 감소하고, 또 플라즈마 외부에 기판을 둘 수 있어 플라즈마에 의한 박막의 손상을 최소화 할 수 있으므로 우수한 박막을 얻을 수 있다.⁴⁾

2.2. 시료 및 특성측정

ITO박막의 제작에는 SiO₂가 300Å 코팅된 1mm두께의 SLG(soda-lime silicate glass)평판유리를 초음파 세척하여 사용하였다. SiO₂박막은 유리로부터 Na⁺ 이온등의 불순물이 ITO내부로 확산하는 것을 막아서 불순물이 전자를 트랩하여 야기되는 도전율의 감소를 막을 수 있다. 기판에는 소형 히터를 설치하여 기판의 온도를 제어하였으며, 압력과 산소분압등을 변수로 하여 시료를 제작하였다. 박막의 표면저항율(surface resistivity)은 4 point probe 법을 이용하여 측정하였다. 박막의 캐리어 이동도(mobility)는 Van der Pauw법에 의한 Hall 측정으로 구하였다. 즉 Hall전압 측정으로 Hall계수 R_H를 구한후 Hall이동도μ_H와 캐리어농도 n은 다음식에서 구하였다.⁵⁾

$$\mu_H = \frac{R_H}{e} \quad (7)$$

$$n = \frac{1}{eR_H} \quad (8)$$

여기서, e는 전자의 전하이다. 또한 박막의 두께는 접촉식 단차 측정기(DEKTAK 3030) Ellipsometer를 사용하여 측정하였다. 한편, 형성된 ITO박막의 광투과율의 측정에는 UV-Spectrophotometer (Varian Techtron Model 635)를 사용하였으며, 투

과율은 공기에 대한 투과율의 비로서 표시하였다. ITO의 조직 및 표면화학분석에서는 각각 SEM(Scanning Electro Microscope) 및 SAM(Scanning Auger Microscope)을 이용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 2는 인가전압 275V, 자계 500G로 일정하게 유지할 경우 진공조내의 압력 변화에 대한 방전전류의 변화를 나타내고 있다. Ar과 O₂의 비율은 양호한 ITO 박막을 형성할 수 있는 범위인 아르곤에 대한 산소비율 5% 와 10%의 경우를 나타내고 있다. 압력의 변화범위는 글로우방전이 안정되는 1mTorr에서 10mTorr까지 변화하였다. 그림에서 압력이 증가하면 증가된 중성기체의 밀도에 의하여 전자충돌의 횟수가 증가하여 방전전류는 증가한다. 여기서, 압력이 더욱 증가하면 전자의 평균자유행정이 감소하게 되므로 전자의 전리효율은 그다지 증가하지 못하므로 방전전류는 점차 포화된다. 동일한 압력에서 산소의 비율이 증가하게 되면 방전전류는 감소하는 특성을 나타낸다. 그 이유는 산소비율이 증가할수록 타겟의 표면산화가

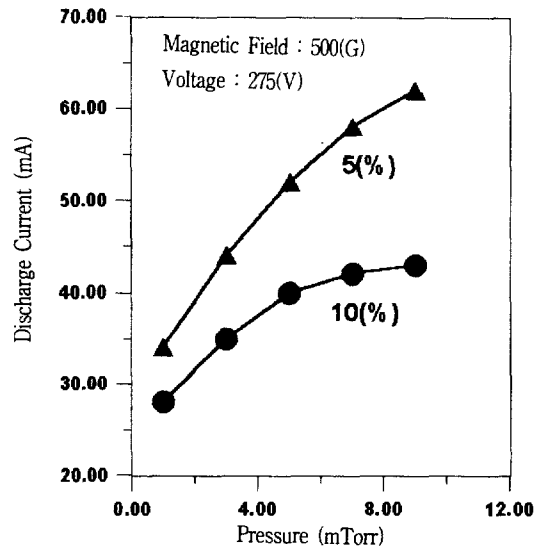


그림 2. 압력에 대한 방전전류 변화
Fig 2. The Variation of Discharge Current to Pressure

증가하여 표면에 산화막을 형성하게 됨으로 방전 효율이 감소하는 것으로 생각된다.

그림 3은 Ar과 O₂의 비율 93 : 7, 자계를 500G, 기판온도 140°C의 조건으로 일정하게 유지할 경우 압력의 변화에 대한 ITO의 증착율의 변화를 나타내고 있다. 1mTorr 근방에서 증착율이 낮은 이유는 고진공에서 전자의 평균자유행정이 길기 때문에 전계로부터 전자가 얻는 에너지는 충분하다고 볼 수 있다. 그러나 진공조내에 Ar밀도가 희박하므로 전리된 전체 Ar이온수가 적기 때문에 증착율이 감소하게 된다. 그러므로 압력이 증가하면 증착율도 증가하게 된다. 그러나 3mTorr이상이 되면 증착율이 다시 감소하기 시작하는데, 이것은 입자의 증가에 의한 전자의 평균자유행정의 감소와 산소의 증가로 인하여 타겟표면에 형성되는 산화층의 증가로 인하여 전리효율이 감소되기 때문으로 생각된다.

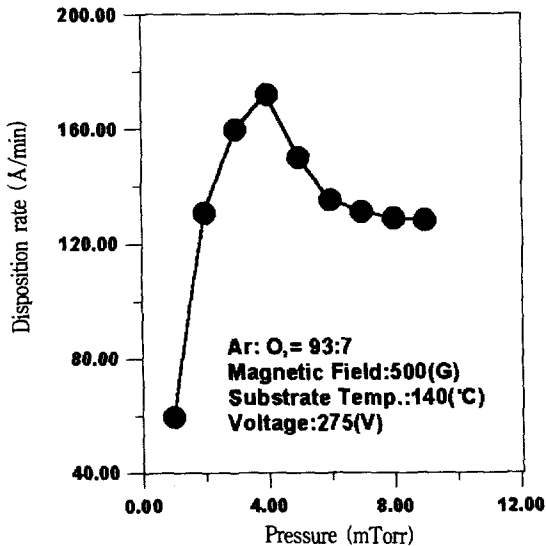


그림 3. 압력에 대한 증착율의 변화
Fig 3. Deposition Rate of the film deposited in various Pressure

그림 4는 산소비율 7%, 자계 500G에서 압력을 1mTorr로 일정하게 유지하고 기판온도변화를 변수로 하여 증착한 시료의 저항율의 변화를 나타내고 있다. 한편, 그림 5는 동일 실험조건하에서 얻

어진 시료의 가시광에 대한 투과율 특성을 나타내고 있다. 그림 4에서 알 수 있는 바와같이 기판온도가 증가하여 약140°C에 이르기까지 저항율은 급격히 감소하며 그 이후 거의 포화되는 특성을 나타내고 있다. 투과율 특성인 그림5에서도 기판온도가 증가하여 약140°C에 이르기까지 투과율이 크게 증가하지만, 그 이후의 투과율 변화는 거의 포화되고 있음을 알 수 있다. 이와같이 기판온도가 상승하면 저항율이 크게 감소하고 투과율이 증가하는 이유는 다음과 같이 생각할 수 있다. 즉, 기판의 온도가 낮으면 기판에 입사되는 입자는 비정질(amorphous)상으로 기판상에 퇴적하게 되지만 온도가 상승함에 따라 기판에 입사되는 입자는 기판상에서 활발한 이동이 가능하게 되므로 결정핵을 중심으로 다결정화 하거나 구조가 치밀하게 되기 때문으로 생각된다.⁶⁾

그림4 및 5에서 기판의 온도가 상승하면 저항율이 감소하게 되고 투과율이 증가하여 ITO의 특성으로는 바람직하지만, 박막 트랜지스터(TFT)나 태양전지등의 제작공정등에서 박막 증착온도는 가

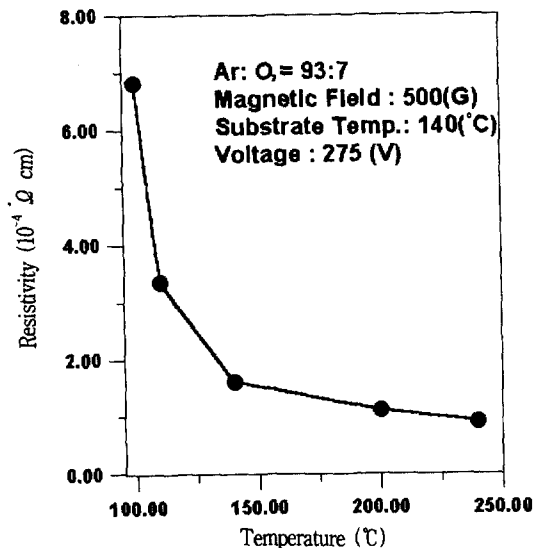


그림 4. 기판온도를 달리하여 증착한 ITO 박막의 저항율 변화
Fig 4. The resistivity Variation of ITO thin film deposited in various substrate temperature

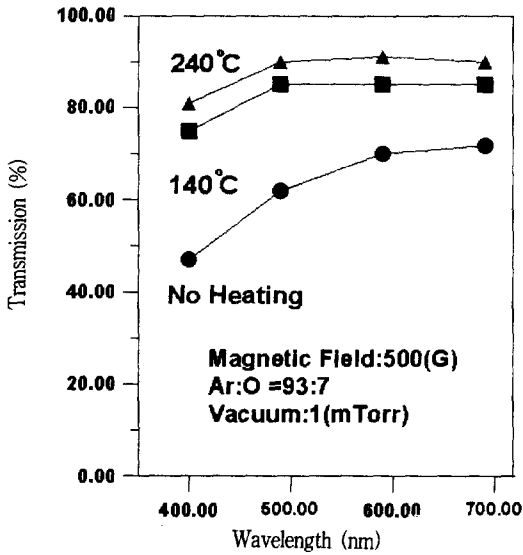
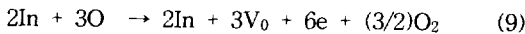


그림 5. 기판온도를 달리하여 증착한 ITO 박막의 투과율 변화

Fig 5. Transmission Variation of ITO thin film deposited in various substrate temperature

능한 낮을수록 유리하며, 특히 최근 경향으로 고분자등을 기판으로 사용한 소자등에서는 증착온도는 약 150°C이하로 저온화되어야 할 필요가 있다. 본 연구에서도 이러한 점을 고려하여 저항률 및 투과율이 거의 포화되는 기판온도인 140°C에서 박막을 형성하여 그 특성을 고찰하였다.^{7),8)}

그림 6은 아르곤에 대한 산소의 분압비를 5%, 7%, 10%로 달리하고 진공조내의 압력을 변수로 하여 제작된 ITO의 저항률의 변화를 나타내고 있다. ITO의 도전성은 주로 산소의 공공(vacancy: V_0)과 주석(Sn)의 도우너에 의한다. 산소에 의한 전도 기구는 식(9)과 같다.⁸⁾



여기서 V_0 는 산소를 트랩하고 있는 공공을 나타내고 있으며, 이와 같은 기구에 의하여 발생된 전자는 전도에 기여한다. 한편 또 하나의 전도기구는 Sn이온이 In이온과 치환하여 도우너로 작용하여 N형 반도체처럼 거동하여 전도에 참여한다고

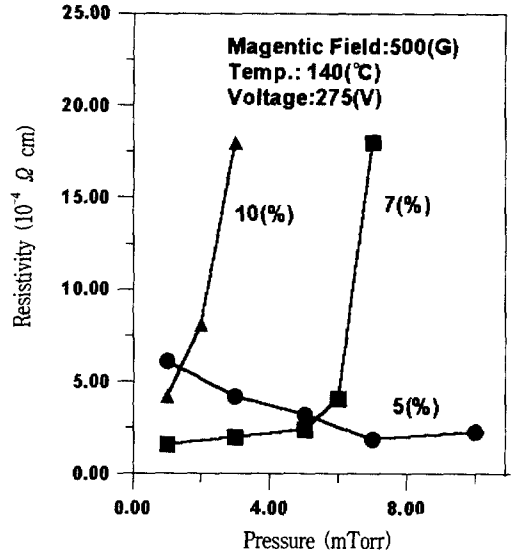
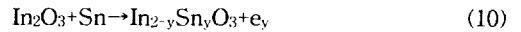


그림 6. 압력을 달리하여 증착한 ITO 박막의 저항률 변화

Fig 6. The resistivity Variation of ITO thin film deposited in various Pressure

알려져 있다.⁸⁾ 그러나 반도체와는 달리 도우너로 작용하는 Sn의 양이 수%에서 수십 %에 까지 이르고 있으므로 반도체와 같이 해석하기도 힘든 난점이 있다. 식(10)는 주석이 도우너로 작용 할 때의 전도기구를 나타내고 있다.^{8),9)}



식(2)에서 주석은 전자 하나를 방출하여 도우너로 작용하고 있다. 전자를 발생시키는 전도기구가 모두 산소와 관계되므로 박막의 전도성은 압력과 산소분압에 의해 크게 좌우된다. 따라서 스퍼터링으로 형성되는 박막의 경우 우수한 도전성을 나타내는 최적의 산소 분압이 존재하게 된다. 즉 과잉의 산소는 산소결핍에 의한 캐리어의 생성을 감소시키고, In_2O_3 상과 SnO_2 의 독립된 상을 증가시켜서 도우너로 작용하는 인듐과 주석 산화물의 결합구조가 감소되어서 저항이 증가하는 것으로 생각된다. 따라서 최소의 저항을 나타내는 산소분압을 넘어서면 박막의 저항은 다시 증가하는 특성을 나타내게 된다. 그림 6의 5% 곡선에서는 7Torr까지

비저항이 감소하다가 다시 비저항이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이 곡선은 전형적인 산화물 도전박막의 특성을 잘 나타내고 있다. 여기서 산소분압을 7%로 증가하여 성막한 박막의 경우는 산소의 증가로 인하여 압력이 증가함에 따라 비저항이 감소하는 5% 곡선의 전반부(1mTorr-7m Torr)특성이 나타나지 않고 있다. 즉 압력이 증가함에 따라 비저항이 증가하는 5%곡선의 후반부 특성이 나타나고 있다. 산소분압을 7%에서 10%로 더욱 증가시키면 증착된 박막은 7%곡선보다 더욱 급격하게 비저항이 상승하는 특성을 나타낸다.^{7),9)}

표 1은 산소분압 7%,기판온도 140℃에서 증착된 박막의 이동도와 캐리어 밀도를 나타내고 있다. 성막조건이 고진공으로 갈수록 이동도와 캐리어 밀도가 동시에 증가하고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 고진공에서 캐리어밀도와 이동도가 큰 것은 고진공으로 갈수록 큰 에너지를 가진 아르곤 이온이 타겟에 입사하게 되므로, 타겟에서 튀어나온 입자는 작용가스와 거의 충돌없이 높은 에너지의 상태로 기판에 증착되어 치밀하고 균일한 박막을 형성한다. 또한 고진공상태이므로 작용가스가 박막에 입자와 함께 증착되는 확률도 크게 감소하므로, 그레이의 크기는 증가하고 박막은 격자결함이 적고 치밀한 상태로 증착된다. 따라서 그레이와 그레이 사이의 계면이 감소하여 캐리어의 이동도와 캐리어 밀도가 동시에 증가하는 것으로 생각된다.

표 1. 진공도의 변화에 따른 ITO박막의 전기적 특성

Table 1. Electrical characteristics of ITO made as a function of vacuum degree

진공도 (mTorr)	8	5	3	1
Mobility (cm ² /Vs)	6	10	14	18
Carrier Concentration (10 ²³ 개/Cm ³)	3	8.6	18	22
Resistivity (10 ⁻⁴ Ω · Cm)	32	3.5	2.1	1.6

그림 7은 인가전압 275V, 기판온도 140℃에서

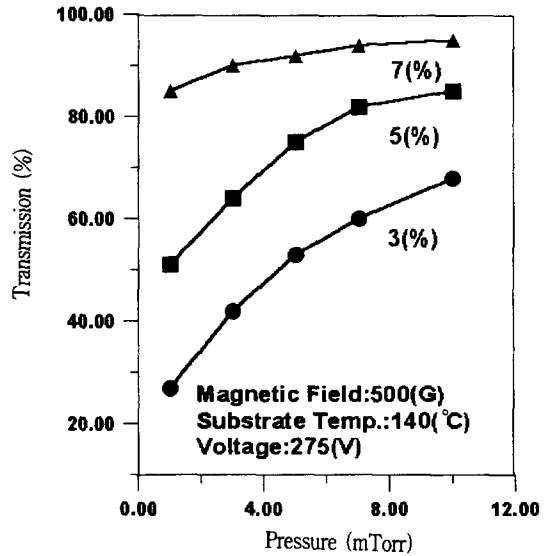
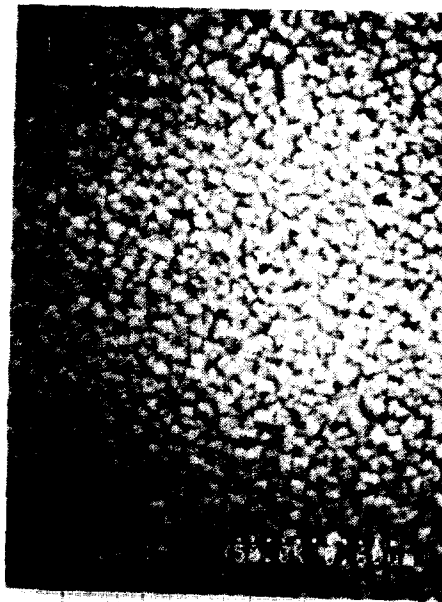


그림 7. 압력을 달리하여 증착한 ITO 박막의 투과율 변화

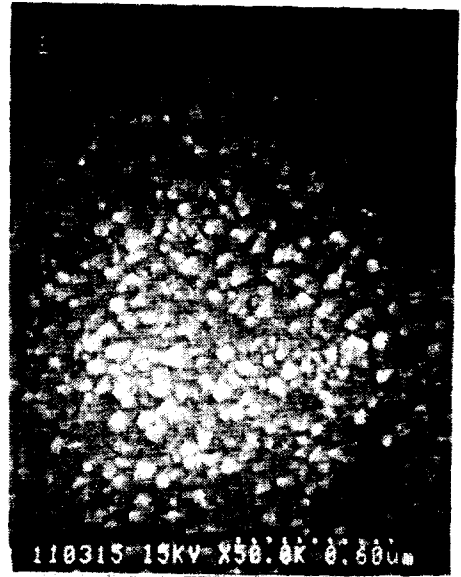
Fig 7. Transmission Variation of ITO thin film deposited in various Pressure
(a) 8mTorr (b) 5mTorr (c) 1mTorr (d) 1mTorr, 240℃

아르곤에 대한 산소의 분압비가 5%, 7%, 10%인 조건에서 압력을 변수로 하여 얻은 ITO시료에 대한 가시광에 대한 투과율 특성을 나타내고 있다. 산소의 분압비와 동작가스압이 증가할수록 투과율이 증가하는 것을 알 수 있다. 그 이유는 산소의 증가에 따라 투명체인 산화물 박막이 충분히 형성되어 투과율이 증가하기 때문으로 생각된다. 그러나 산소분압을 너무 증가하면 급격히 저항율이 증가하므로 산소분압은 일정값 이하로 제한되어야 한다.^{10),11)}

그림 8은 ITO 형성시 압력을 달리한 경우의 박막의 구조변화를 관찰한 SEM사진이다. 압력이 감소함에 따라 박막에 유입되는 Ar의 입자수가 감소하여, 고 에너지를 가진 타겟물질이 입사하므로 저온에서도 고온에서 성막된 박막의 구조와 유사함을 알 수 있다. 그림에서 고진공이 됨에 따라 그레이의 크기가 증가하여 압력 1mTorr에서는 전형적인 ITO박막의 구조를 나타내고 있다. 그림 (d)는 그림 (c)와 동일한 조건에서 기판의 온도만



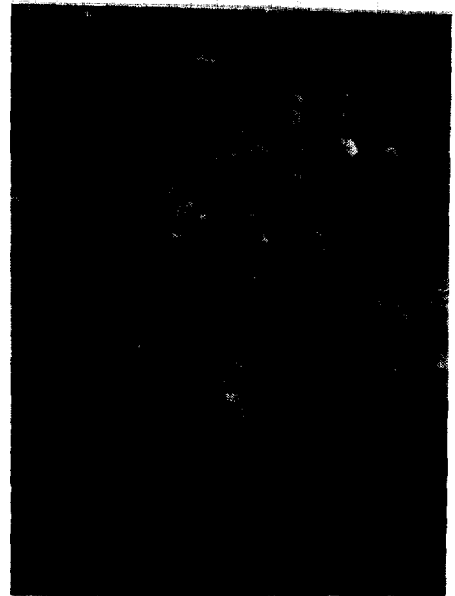
(a) 8mTorr



(b) 5mTorr



(c) 1mTorr



(d) 1mTorr, 240°C

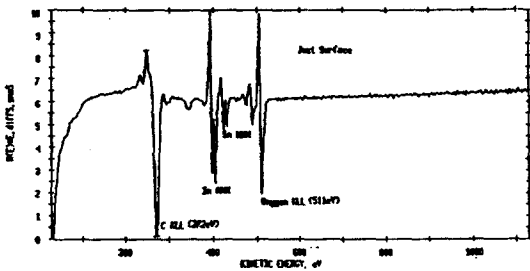
그림 8. (a),(b),(c):압력을 달리하여 증착한 ITO의 SEM사진(기관온도:140°C,자계:500G,산소 분압:7%)
(d): (c)에서 기관온도를 240°C로 하여 증착한 경우의 SEM사진

Fig. 8. (a),(b),(c): SEM photo of ITO thin film deposited in various Pressure (Substrate Temp.: 140°C, Magnetic field: 500G, O₂ Partial Pressure: 7%) (d): ITO deposited with conditon only changed the substrate temp. from (c) to 240°C

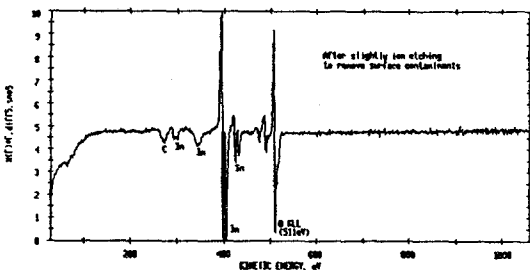
240°C로 증가하여 증착한 시료의 표면사진이다. 박막의 그레인 크기가 더욱 증가된 것을 알 수 있다,

그림 9는 기관온도 140°C, 산소분압 7%, 압력 5mTorr, 저항을 $2.4 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 인 시료의 오세

(Auger)전자에 의한 박막의 원소분석결과이다. 그림에서 횡축은 방출 전자를 나타내고 있으며 종축은 에너지에 대한 전자의 방출갯수의 변화율을 나타내고 있다. a)는 식각되지 않은 ITO의 표면의 SAM(Scanning Auger Microprobe) 결과를 나타내고 있다. 표면오염에 의한 탄소의 피크가 나타나 있다. b)는 기판 표면을 약 200A 정도 이온 에칭한 후의 SAM 결과이다. 인듐과 산소의 피크가 크게 나타나 있는 것을 알 수 있다. 원소의 비율을 정량적으로 분석한 결과 인듐 60%, 주석 10%, 산소20%, 탄소 2%의 원자비율로 박막이 이루어져 있음을 알 수 있었다.



(a) The analysis of the surface before ion etching



(b) The analysis of the surface after ion etching

그림 9. ITO박막의 표면 SAM(Scanning Auger Microprobe)스펙트럼

(성막조건:기판온도(140℃),산소분압(7% 압력(5mTorr),저항율(2.4x10⁻⁴Ω·Cm)

Fig 9. SAM spectrums of ITO Thin film Surface. Deposition condition: Sub. Temp.(140℃), O₂ partial pressure(7%), Pressure(5mTorr), Resistivity(2.4x10⁻⁴Ω·Cm) (a) 8mTorr (b) 5mTorr (c) 1mTorr (d) 1mTorr, 240℃

4. 결 론

인듐과 주석의 합금을 타겟으로 하여, 저온의 기판온도에서 원통형 반응성 마그네트론 스퍼터링에 의하여 형성한 ITO의 특성은 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전기적 및 광학적 특성이 우수한 ITO 시료는 Ar:O₂의 분압비가 93:7에서 얻었다. 산소 분압비가 이보다 낮아지면 순수 금속박막의 스퍼터링비율이 증가되어 투명도가 저하되며, 산소 분압이 이보다 높아지면 전도성이 저하하였다.
2. Ar:O₂의 분압비가 93:7의 조건하에서 전기적 및 광학적 특성이 최적인 경우의 시료 저항율은 1.6x10⁻⁴ Ωcm 이었고, 가시광선에 대한 투과율은 85%였다.
3. Ar:O₂의 분압비가 93:7의 조건하에서 압력(mTorr order) 변화에 대한 박막 증착율은 약 3mTorr에서 최대값을 나타낸 후, 더욱 압력이 증가하면 증착율은 오히려 감소하였다.
4. 박막 프로세스(process)의 압력이 감소할수록 형성되는 ITO박막의 그레인크기(grain size)가 증가하게 됨을 알 수 있었다.
5. 홀(Hall)측정에 의하면 ITO형성시 용기내 압력(mTorr order)이 감소할수록 캐리어(carrier)의 이동도 및 밀도가 증가 하였으며, 압력이 9mTorr에서 1mTorr로 변화할 경우 이동도는 3배, 밀도는 7배가 증가 하였다.

* 이 논문은 1994년도 산학협동재단의 학술연구비에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- 1 .D.B.Fraser,H.D.Cook,"HighlyConductive,Transparent Films of Sputtered In_{2-x}Sn_xO_{3-y}", J.Electrochem. Soc.,Vol. 119,No.10, pp.1368 - 1374, (1972)
2. B.Stjerna,C.G.Granqvist,"Optical and electrical

- properties of SnO_x thin films made by reactive R.F. Magnetron Sputtering", Vol.193, No.194, pp.704-711,(1990)
3. M.Alikettani,Max F. Hoyaux, Plasma Engineering, London Butterworths , pp.30-36,(1973)
 4. J.L.Vossen, Thin Film Processes, Academic Press,pp.86-93(1978)
 5. W.Scot Ruska, Microelectronic processing, McGraw-Hill,pp.22-29 ,(1987)
 6. H.Maiwa, K. Okazaki,"Preparation of thin film by reactive sputtering and optical emission spectroscopy during sputtering" Ferroelectrics, Vol.133 ,pp.83-89 ,(1992)
 7. K.Sreenivas,T.Sudersena Rao et al,"Preparation and characterization of rf sputtered indium tin oxide films" ,J.Appl.Phys. Vol.57 , No.2, pp.384-392,(1985)
 8. Yasushi Higuchi,"Low Resistivity ITO Film Prepared by DC Magnetron Sputtering"表面技術, Vol.43, No.2, pp.74-105(1992)
 9. John L. Vossen,"RF Sputtered Transparent Conductors,The system In₂O₃-SnO₂",RCA Review Vol.32,pp.289-296,(1971)
 10. Walter W.Molzen,"Characterization of transparent conductive thin film of indium oxide" J.Vac.Sci.Technol., Vol. 12,No. 1, pp.99-102, (1975)
 11. K.SuzuKi,Y.Akao et al,"Large scale and low resistance ITO films formed at high deposition rate" Thin Solid Film,vol.226, pp. 104-109,(1993)

저자소개

하홍주



1963년 11월 23일생. 1989년 부산대 공대 전기과 졸업. 1993년 동 대학원 전기과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

박정후



1945년 4월 8일생. 1968년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1974년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1980년~83년 일본 구주대학 대학원 졸업(공학). 현재 부산대 공대 전기공학과 교수.

조정수



1935년 12월 21일생. 1961년 서울대 공대 전기공학과 졸업(공학). 1983년~84년 미국 Oregon Univ. 교환교수. 현재 부산대 공대 전기공학과 교수.