

# 원통형 스퍼터링에서 자계와 인가전압이 ITO형성에 미치는 영향

(The effect on formation of ITO by magnetic field and applied voltage in cylindrical magnetron sputtering )

하홍주, 이우근, 광병구, 김규섭, 조정수, 박정후  
(H. J. Ha, W. G. Leen, B. G. Kawk, J. S. Cho, C. H. Park)

부산대학교 전기과 박사과정  
부산대학교 전기과 석사과정  
거제전문대 전기과 부교수  
동명전문대 전기과 교수  
부산대학교 전기과 교수  
부산대학교 전기과 교수

## Abstrate

ITO(indium tin oxide) that is both conductive in electricity and transparent to the visible ray is called transparent conducting thin film. Nowaday, according to the development of flat panel display such as LCD(Liquid Crystal display), EL(electroluminescence display), PDP(plasma display panel), ECD (electrocromic display), the higher quality in the low temperature process has been asked to reduce the production cost and to have a good uniformity on a large substrate.

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. To reduce the defect in ITO, the effect on ITO by varing the magnetic field intensity and the applied voltage ares studied. the resistivity of the film deposited in oxygen partial pressure of 5% and substrate temperature of 140℃. is  $1.6 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$  with 85 % optical transmission in viable ray.

## 1. 서 론

ITO는 가시광(약 380 - 780nm의 파장영역)에 대해 광투과도가 크고, 투명하며 더우기 전기 전도도가 매우 우수하여 대부분의 투명도전전극으로 사용되고 있다. 일반적으로 투명하기 위해서는

전도전자가 적어야 할 필요가 있으며, 한편 전기 전도도가 크기 위해서는 전도전자가 많아야 한다. 투명도전박막은 이와 같이 서로 상반되는 조건을 동시에 만족해야 할 필요가 있다. 이들 재료로서 초기에는 SnO<sub>2</sub> 박막이 이용되었다. 이 박막은 자외선 영역까지 투과시키는 우수한 광학적 특성을 나타내었지만, 상당히 큰 전기저항을 나타내어서 현재는 Sn을 첨가한 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(ITO : indium tin oxide)막을 중심으로 하여 개발이 주로 진행되고 있다. ITO는 액정표시소자(LCD), 플라즈마 디스플레이(PDP), 전자무미네선트(ELD), 전자크로믹표시소자(ECD)등의 평판형 표시소자, 태양전지, 액정 혹은 EC조광장치등에 폭넓게 이용되고 있다. 반응성 스파터링에 의하여 ITO를 형성하는 경우 ITO는 플라즈마 공간중에 위치하게 되므로 플라즈마 내에서 발생된 음이온인 산소이온이 큰 에너지로 전기적으로 양극에 해당하는 기판을 충격하게 된다. 이것에 의하여 박막의 전기적 특성이 저하될 수 있다. 1), 2), 3)

본 연구에서는 낮은 온도에서도 우수한 ITO 박막을 제작하기 위하여 자계의 세기와 인가전압을 변수로하여 형성되는 플라즈마의 체적을 조절하고 이온에 의한 박막의 충격 손상을 최소화 하여 비교적 저온에서도 우수한 전기적 광학적 특성을 나타내도록 하였으며, 또한 반응성 마그네트론 스파터링에 의해 형성된 ITO박막의 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 들어싸인 음극부위에서 불꽃방전이 일어나지 않도록 하기 위하여 두 전극사이의 간격을 파셴(Paschen)최저값이하로 설계하였다. 진공조 외부에 자계코일을 설치하여 진공조 내부자계를 800G까지 변화할 수 있도록 하였다. 초기진공은 약  $10^{-6}$ Torr 까지 배기하였으며, 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 냉각시켰다. 자계와 인가전압에 의한 방전 조건을 조사하기 위하여 자계는 800Gauss까지 변화시켰으며, 인가전압은 300V까지 변화시켜서 방전전류와 각 조건에서 형성된 박막의 특성을 고찰하였다.

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. 이때 방전에 미치는 직교 전자계의 효과는 다음과 같이 생각할 수 있다.<sup>4)</sup> 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  $\omega$ 의 주파수로서 자계에 수직으로 회전운동을 하게 될 것이다.<sup>5),6)</sup>

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

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

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

$$\ddot{v}_x = -(qB/m)^2 v_x \quad (4)$$

$$\ddot{v}_y = -(qB/m)^2 v_y \quad (5)$$

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

그 결과 전자는 타겟근방에 구속된 채로 계속적인 회전운동을 하므로써, 전자 한계가 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 감소하

고, 또 플라즈마 외부에 기판을 둘 수 있어 플라즈마에 의한 박막의 손상을 최소화 할 수 있으므로 우수한 박막을 얻을 수 있다.<sup>4)</sup>

### 2.2. 시료 및 특성측정

ITO박막의 제작에는  $SiO_2$ 가 300Å 코팅된 1mm 두께의 SLG(soda-lime silicate glass)명판유리를 초음파 세척하여 사용하였다.  $SiO_2$ 박막은 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. 또한 박막의 두께는 접촉식 단차 측정기(DEKTAK 3030) 및 Ellipsometer를 사용하여 측정하였다. 한편, 형성된 ITO박막의 광투과율의 측정에는 UV-Spectrophotometer (Varian Techtron Model 635)를 사용하였으며, 투과율은 공기에 대한 투과율의 비로서 표시하였다. ITO의 조직 및 표면화학 분석에서는 각각 SEM(Scanning Electro Microscope) 및 SAM (Scanning Auger Microscope)을 이용하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

그림 2는 인가전압 275V, 진공도 1mTorr에서 자계의 변화에 따른 방전 전류의 변화를 나타내고 있다. 약 300Gauss까지 높은 방전 전류의 증가를 보이다가 포화되는 특성을 나타내고 있으며 산소의 분압5(x)에서 더 큰 방전전류의 변화를 관찰할 수 있다. 자계의 증가에 따라 방전전류가 증가하는 것은 직선운동을 하던 전자가 회전운동을 함으로서 전자의 수명이 증가하고 따라서 방전기체와의 충돌이 크게 증가하기 때문으로 생각된다. 또한 300Gauss 이상에서 포화되는 특성을 보이고 있는 것은 자계의 증가에 의하여 전자의 회전반경이 지나치게 축소되어 더 이상 방전가스와 충돌증가에 크게 기여하지 못할 뿐 아니라 고자계에 의한 플라즈마 공간의 수축에 의하여 방전 전류가 포화되는 것으로 생각된다.

그림 3은 인가전압 275V, 진공도 1mTorr에서 자계의 변화에 대한 ITO증착율의 변화를 나타내고 있다. 약 350(G)까지는 증착율이 증가되지만 그 이상에서는 비교적 포화되는 특성을 알 수 있다. 이것은 그림 2에서 나타난 방전전류의 포화와 유사한 격으로 방전 전류의 포화에 의하여 스파터링되는 하전입자의 생성이 포화되는 것으로 생각된다.

그림 4는 인가전압 275V, 기판온도 140℃에서 자계의 변화에 따른 이동도의 변화를 나타내고 있다. 자계의 세기가 약 150Gauss 근처에서 비교적 높은 이동도를 나타내지만 자계가 증가함에 따라 이동도가 감소하고 있다. 그것은 주로 증착물의 증가에 의하여 조직이 치밀하게 형성되지 못하기 때문으로 생각된다.

그림 5는 그림 4와 같은 조건에서 얻어진 시료의 전하밀도를 나타내고 있다. 약 300Gauss를 기점으로 급격한 전하밀도의 증가를 알 수 있다. 그것은 자계의 세기가 증가하면서 플라즈마를 전극의 극히 표면으로 가두는 형태로 방전이 되면서 부이온의 충격에 의한 전하밀도의 감소를 최소화하기 때문으로 생각된다.

그림 6은 이와 같은 이동도와 전하밀도를 가진 시료의 실제적인 저항을 특성을 나타내고 있다. 자계의 증가에 따라 저항율이 크게 감소한 것을 알 수 있으며 이것은 주로 물질내의 전하밀도의 증가에 의하여 형성된 것임을 알 수 있다. 따라서 적절한 자계의 인가는 동일한 조건에서 증착물을 증가시키고 저항율을 감소시키는 아주 효과적인 요소로 적용시킬 수 있음을 알 수 있다.

그림 7은 자계를 변화하여 형성된 시료의 가시광선에 대한 투과율의 변화를 나타내고 있다. 자계의 증가에 따라 투과율이 감소하는 것을 알 수 있다. 이와 같이 투과율이 감소하는 것은 그래인의 크기가 감소되고 전도 전자의 증가로 인하여 산란이 증가하기 때문으로 생각된다.

#### 4. 결 론

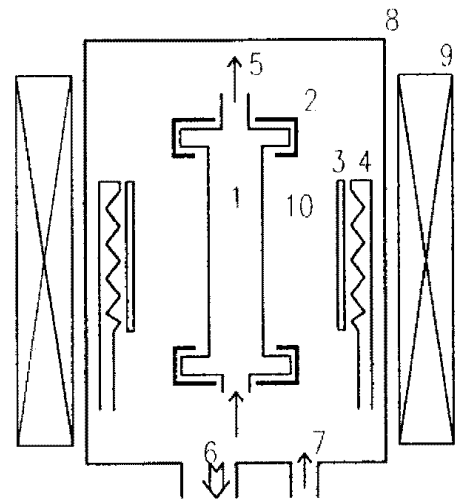
인듐과 주석의 합금을 타겟으로 하여, 저온의 기판온도에서 원통형 반응성 마그네트론 스퍼터링에 의하여 형성한 ITO의 특성은 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 인가자계의 증가는 방전전류들 증가시킨다.
2. 방전전류의 포화와 증착물의 포화는 거의 비슷한 자계값에서 나타난다.
3. 방전전류가 포화되는 영역에서 부터 저항율이 증가한다.
4. 자계의 증가는 전하밀도를 증가시키고 이동도를 감소시키며 결국 저항율을 증가시킨다.

#### 참 고 문 헌

1. D. B. Fraser, H. D. Cook, "Highly Conductive, 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)



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

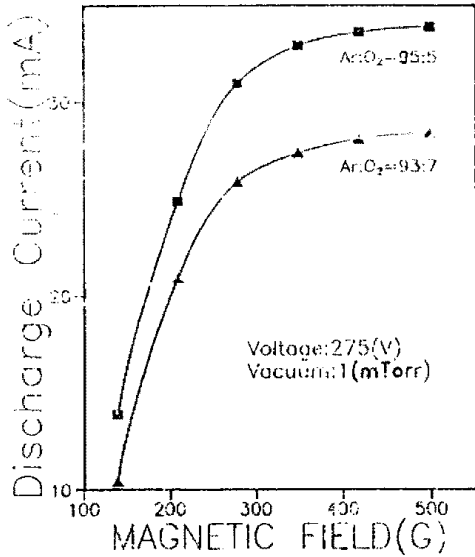


그림 2. 자계에 대한 방전전류 변화  
Fig 2. The Variation of Discharge Current to Magnetic Field

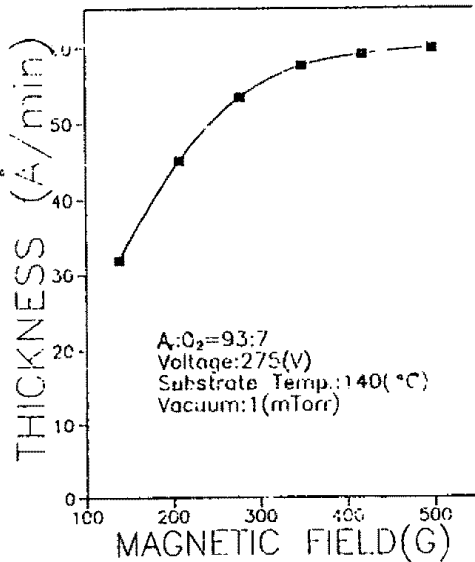


그림 3. 자계에 대한 증착율의 변화  
Fig 3. Deposition Rate of the film with various Magnetic Field

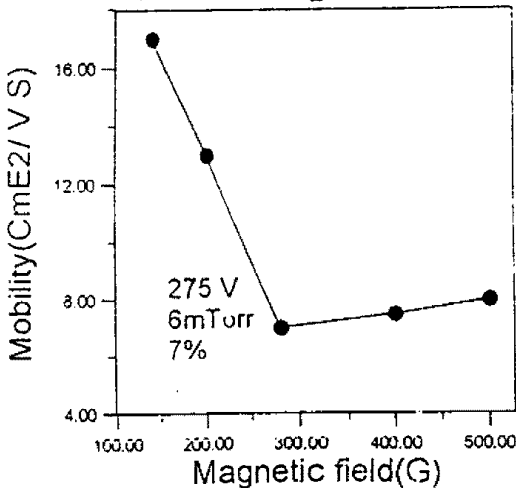


그림 4. 자계에 따른 박막의 이동도  
Fig 4. The carrier mobility to magnetic field

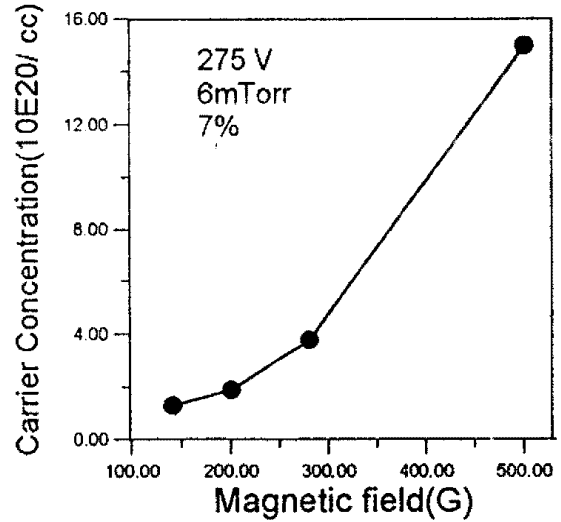


그림 5. 자계에 따른 박막의 전하밀도  
Fig 5. The carrier concentration to magnetic field

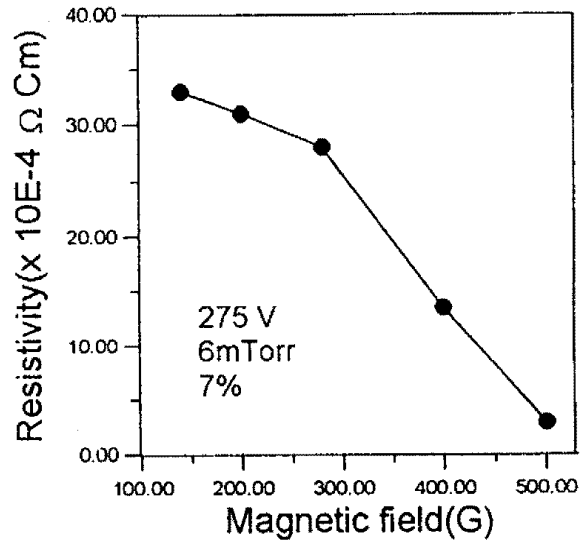


그림 6. 자계에 따른 박막의 저항율  
Fig 6. The resistivity to magnetic field

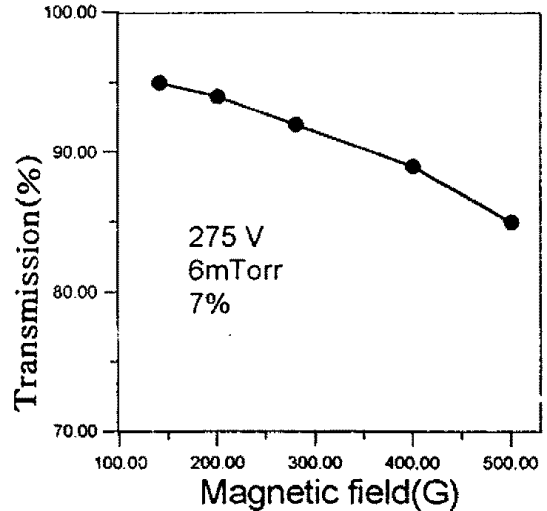


그림 7. 자계에 따른 박막의 투과율  
Fig 7. The transmission to magnetic field