

## 투명전도성 ITO 박막의 현황과 과제



신재혁

공업연구사 박막연구실 무기화학과 기술표준원



신성호

공업연구관 박막연구실 무기화학과 기술표준원



박정업

공업연구관 표면처리연구실 무기화학과 기술표준원

### 1. 서 론

투명전도막은 지금까지 대전방지막, 열반사막, 면발열체, 광전변환소자 및 각종 flat panel display의 투명전극등으로 사용되어 왔다. 특히 최근에는 종래의 CRT에 비해서 소형인 동시에 얇은 LCD(Liquid Crystal Display)가 사무기기 및 소형 TV, 휴대전화, 전자수첩 등의 휴대용 소형기기로의 응용을 중심으로해서 증가하고 있고 동시에 화소전극으로서 이용되는 투명전극의 수요도 급속히 증가하고 있다. 이와같은 LCD에 사용되는 투명전극 재료는 전기적 특성 및 에칭특성이 우수하고 광투과도가 우수한 재료가 필요한데 현재는 지금까지 개발된 재료중 가장 우수한 물성을 나타내는 것은 ITO(Indium Tin Oxide)가 사용되고 있다<sup>(1-6)</sup>. ITO는  $In_2O_3$ 에 5~10% 정도의  $SnO_2$ 가 포함된 복합물 반도체로서 LCD 패널의 대형화, 칼라화, 고해상도화에 발맞춰 ITO막에 요구되는 제반 특성도 현저하게 엄격해지고 있다.

일반적으로 ITO막은 화학기상증착법, 스프레이법, 도포법, 열 및 증착법, 이온 플레이팅법 그리고 스퍼터법등 다양한 방법에 의해 제조가 가능하다. 현재

상업적인 양산을 위해서는 대형기판에 균일한 박막제조가 가능하고 고품질의 막을 얻는 것이 가능한 스퍼터법이 주로 사용되고 있다. 그중에서도 고속으로 박막제조가 가능한 마그네트론 스퍼터법이 가장 광범위하게 이용되고 있다. 그러나 스퍼터법으로 ITO막을 제조시에는 음이온 충격에 의한 막 손상으로 저항이 증가되는 단점이 있어 이를 극복하기 위한 다양한 방법이 연구되고 있다.

본 원고에서는 액정 디스플레이로의 응용을 중심으로 투명전도막의 종류와 LCD용으로서의 응용을 위한 ITO막의 요구특성에 대해 알아보고, 다음으로는 일반적인 투명전도막 제조법과 ITO 양산에 주로 사용되는 스퍼터법에 의한 막 제조기술 및 ITO막의 저저항화를 위한 기술에 대해서 언급하고, 마지막으로 각 용도별 양산용 스퍼터 장비에 대해서 서술하겠다.

### 2. 투명전도막의 종류

현재까지 여러 가지 방법으로 다양한 투명전도막을 제작했다고 보고되고 있으며 이에 대해 알아보도록 하겠다.

투명전도막에는 Au, Ag, Cu 등의 금속박막과  $In_2O_3$ ,  $SnO_2$ , ZnO,  $Cd_2SnO_4$  등의 산화물 반도체

막이 있다. 금속박막은 얇게 하는 것에 의해 광투과율을 높게 할 수는 있으나 면저항과 광투과율이 역비례하는 경향이 매우 심하다. 그 때문에 현재 투명전극용으로는 산화물 반도체가 일반적으로 사용되고 있다. 이러한 산화물 반도체는 모두 n형 반도체의 도전특성을 나타내고  $10^{18} \sim 10^{19}$ 의 높은 carrier 전자밀도와 비정질 및 다결정에 있어서도  $10 \sim 50 \text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$  정도의 높은 전자이동도를 갖는 특이한 반도체 재료들이다. Donor 준위는 화학양론 조성으로부터 산소조성의 벗어남(산소결손 donor)과 이온화한 첨가원소로부터 형성된다. 또한 이러한 산화물 투명전도막은 3.5eV 이상의 에너지갭을 갖고 자외영역에서의 밴드갭 천이에 의한 흡수와 근적외영역에서의 자유전자에 의한 반사흡수 그리고 사이영역의 가시광선에 서는 높은 투과도를 나타낸다.

$\text{SnO}_2$ 계 및  $\text{ZnO}$ 계의 투명전도막은 ITO에 비해서 재료비가 낮아 연구개발이 활성화되고 있다. 이들 막은 doping을 하지 않은 경우에는 ITO에 비해 1~2 order 높은 저항을 나타내지만  $\text{SnO}_2$ 계에서는 Sb 또는 F를,  $\text{ZnO}$ 계에서는 Al 등을 doping 함으로써  $10^4$ 대의 낮은 비저항을 얻을 수 있다. 그러나  $\text{SnO}_2$ 계에서는 제조법(화학적 제조가 대부분) 및 에칭 특성이 문제이고,  $\text{ZnO}$ 계에서는 막의 안정성 등에 문제가 있으므로 액정 디스플레이용으로는 이용되지 않고 있는 실정이다.

현재 액정 디스플레이로 이용되고 있는 투명전극은 대부분이 ITO 박막이다. 그 이유로는 막의 비저항이 가장 낮다는 것, 가시광선의 투과율이 높다는 것, 대면적 기판에 낮은 가격으로 행해지는 습식 에칭이 비교적 용이하다는 것 등이 있다.

ITO막의 특성평가는 막두께, 광투과율, 에칭 특성 및 기판내의 물성의 균일성등이 행해지고 있고 특히 비저항을 낮추는 것이 연구의 관건이 되고 있다. 현재의 생산 수준에서는  $2 \sim 5 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$  정도이지만 LCD 설계상  $1 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$  이하의 낮은 비저항을 갖는 ITO막이 요구된다. 비저항이 낮은 ITO막에 관한 대표적인 보고의 예를 표 1에 나타내었다.

이와같은 저저항의 ITO막은 연구수준에서도 용이하게 얻어지지 않고 있는 실정이다. 본 원고에서는 현재 활발히 연구되고 있는 LCD용 ITO 막의 스퍼터법에 의한 박막제조 기술의 현상태에 대해서도 정리할 것이다. 우선 LCD용 ITO막에 대하여 현재 어느정도 특성이 요구되고 있고 더불어 차후, 어떠한 특성이 요구되는 가를 기술하겠다. 다음으로 ITO막의 비저항을 낮추기 위한 기술은 어디까지 발전되어 왔는가와 그 기술에 대해서 서술한다. 또한 종래

에 양산용으로 사용되고 있는 In-Line식 장비와 근래에 제품화 된 cassette-to-cassette(multi-chamber) 방식 장치등의 특징을 각각 소개하고 이러한 장치에 의한 박막기술의 현황을 정리한 후 마지막으 ITO 박막 제조기술의 차후의 과제에 대해서 서술하겠다.

표 1. 스퍼터법에 의한 ITO 막의 보고예

제조방법	제조온도 (°C)	비저항 $\Omega \cdot \text{cm}$	문헌
DC 마그네트론	200	$1.9 \times 10^4$	7
DC 마그네트론	400	$1.3 \times 10^4$	8
RF 마그네트론	190 370	$2.1 \times 10^4$ $6.8 \times 10^4$	9
RF 마그네트론	unheated 350	$2.3 \times 10^4$ $1.38 \times 10^4$	10

### 3. LCD용 ITO막의 요구특성

LCD용 ITO막은, LCD의 구동방식 및 용도에 따라 요구되어지는 기능이 다르므로 요구특성 또한 차이가 있다. 표 2에 그 현황과 차후 예상되는 요구특성을 정리하였다.

#### 3.1. 단순 Matrix 방식용

단순 matrix 방식에 있어서는 데이터 전극과 주사 전극이, 줄무늬 형태의 전극으로 (pattern 전극) ITO 막이 사용되고 있다. 이 구동 방식에서 높은 응답속도를 얻기 위해서는, 저저항의 ITO 막이 필요하다. 현재는 비저항이  $1 \sim 2 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$  정도의 ITO 막이 이용되지만 차후에는  $1 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$  이하의 저저항 ITO 막이 요구되고 있다. 이 비저항값은 표 1에서도 알 수 있듯이 실험실 수준에서도 가장 최적상태에서만 얻어질 수 있는 데이터이고 양산화 했을 경우에는 재현성 있게 얻을 수 있는 값은 아니다. 높은 display quality를 얻기 위해서는 미세한 패턴이 필요하기 때문에 우수한 에칭 특성을 갖는 ITO막이 요구되고 있다.

또한 coloring시에는 이 패턴 전극을 칼라필터상에 형성시킨다. 이 경우 일반적으로 기판온도 200°C

이하에서 막을 제조하지 않으면 안된다. 이것은 칼라필터가 유기물이므로 진공중에서의 내열온도에 한계가 있기 때문이다. 따라서 차후에는 저온에서  $1 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$  이하의 낮은 비저항의 ITO막의 제조기술이 필요하게 된다.

표 2. LCD용 ITO막의 용도별 요구특성

용도	요구특성	
	현황	향후
Pattern 전극 단순 matrix, MIM등 (~150nm)	비저항 : $1 \sim 2 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ (제조온도 : ~400℃) 광투과율과 균일성	비저항( $1 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ ) 에칭특성 미세 패턴
Color Filter상 의 Pattern 전극 TFT, MIM등 (~70nm)	비저항( $2 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ ) (제조온도 : ~400℃) 광투과율과 균일성	비저항( $1 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ ) 에칭특성 미세 패턴
화소전극 TFT, MIM등 (~70nm)	비저항 : 특이 사항 없음 (제조온도 : 실온~200℃) 광투과율과 균일성	에칭특성 (단차형상제어)
Color Filter상 의 공통전극 TFT (~70nm)	비저항 : $2 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ (제조온도 : ~200℃) 광투과율과 균일성	저비저항화

### 3.2. Active Matrix 방식용

Active matrix 방식의 LCD에서는 각 화소에 스위칭 소자를 설계하여 독립적으로 구동한다. 스위칭 소자에 박막 트랜지스터(TFT)를 사용한 방식의 LCD는 CRT에 필적할 수 있는 선명한 화상이 얻어

지고 응답속도가 빠르며 제조단가를 낮출 수 있다는 장점이 있으므로 현재 칼라 LCD에 많이 사용되고 있다. TFT LCD에 있어서 ITO 박막은 TFT array층의 독립한 각 화소전극과 마주보는 배향면의 공통전극에 사용되고 있다.

화소전극용 ITO막의 비저항값은 현재의 물성 수준으로도 만족할 만 하지만 보다 고품위의 display quality를 얻기 위해서는 높은 투과율과 그 면내의 균일성이 필요하게 된다. 또한 앞으로, 화면의 대형화 및 고해상도를 위한 개발이 진행됨에 따라 광투과도와 그 면에서의 균일성의 향상이 요구되어 질 것이고 그와 더불어 에칭에 의한 단차형상을 제어하는 것이 필요하게 될 것이다.

칼라 LCD의 경우, 칼라 필터에 공통전극을 형성시킨다. 현재 비저항이  $2 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$  정도의 ITO막이 이용되고 있으며 역시 높은 투과율과 그 면내에서의 균일성이 요구되고 있다.

차후 보다 대형화 될 경우에는 비저항이 화질에 영향을 미치게 되므로 단순 matrix 방식에서도 저온에서 현재보다 낮은 저항을 갖는 ITO 막이 필요하게 될 것이다.

또한 스위칭 소자에 TFT외에 MIM(metal insulator metal) 등의 박막 다이오드를 사용하는 경우도 있다. MIM 방식의 panel은 상부에 줄무늬 형태의 패턴 전극(주사전극), 하부에 data line과 소자 및 먼 형태의 화소전극이 있고, 단순 matrix와 TFT 방식의 중간구조를 갖는다. ITO 막은 패턴 전극과 화소전극에 사용되고 있다. 패턴 전극으로는 단순 matrix 방식, 화소전극으로는 TFT 방식과 같은 특성이 요구된다.

### 4. 제조방법

투명전도막의 제조방법은 앞에서 언급한 바와 같이 스프레이법, 도포법, CVD법 등의 화학적 제조법과 진공증착법, 스퍼터법 등의 물리적 제조법으로 나눌 수 있으며 이를 그림 1에 계통적으로 나타내었다.

화학적 제조법은 염화물의 가수분해 및 유기화합물의 열분해 반응에 의해 투명전도막을 형성하는 방법이다. 공정이 단순하고 장비가 경제적이라는 장점이 있으나 통상적으로 400℃이상의 반응온도가 요구되므로 저온기판에 막을 형성하는 것이 불가능하다. 조성의 미세한 제어에 의한 산소결손 donor의 최적화가 어렵기 때문에 저저항막을 얻기가 힘들고 유해가스를 발생시키는 문제점이 있다.

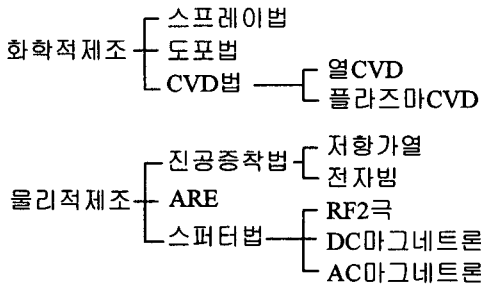


그림 1. 투명전도막 제조법

물리적인 방법중 증착법은 진공중에 금속 또는 산화물 원료를 저항가열 또는 전자빔으로 가열하여 기판상에 박막을 형성하는 방법이다. 증착법에 의해 ITO막을 형성시키는 경우 통상 5~10wt% 정도의 SnO<sub>2</sub>를 함유한 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SnO<sub>2</sub> 소결체 pellet을 증발 원료로서 사용하고 전자빔 가열에 의해 증발시켜 막을 형성시킨다. 이 경우 적절한 양의 산소가스를 도입함으로써 산소결손 donor를 최적화 한다. 스퍼터법은 아르곤 가스를 직류(DC) 또는 고주파(RF) 방전에 의해 이온화하고 금속 또는 산화물의 타겟에 충돌시켜서 이때 발생하는 타겟물질을 기판상에 석출(부착)시키는 방법이다. 직교자계를 이용한 마그네트론 스퍼터법은 고속으로 박막제도가 가능하므로 광범위하게 사용되고 있다. ITO막을 스퍼터법으로 제조하는 경우, 일반 증착법과 동일하게 도입산소량을 조정함으로써 저항율을 최적화 시킬 수 있다.

이상과 같이 물리적 방법은 진공상태에 도입한 산소에 의한 산소결손 donor의 최적화가 가능하므로 낮은 비저항을 얻기 쉽고, 더욱이 TFT소자, 칼라 필터, 플라스틱등 내열성이 낮은 기판에도 저온에서 막을 제조하는 것이 가능하다는 장점이 있으므로 액정 디스플레이용 ITO막 제조에 이용되고 있는 제조법은 거의 대부분이 증착법 또는 스퍼터법이다. 스퍼터법은 원래 증착법에 비해 비저항 및 에칭 특성이 떨어지기는 하지만 음이온에 의한 손상을 낮추는 새로운 방법(저전압 스퍼터법)이 개발되어 증착법보다도 우수한 특성을 갖을 수 있게 되었다. 또한 박막제조에 제어성, 안정성도 우수하다. 대면적 기판에 균일한 막을 제조하는 것이 가능하고 In-Line화 함으로써 연속적인 제조가 가능하다는 잇점도 갖고 있다.

#### 4.1 산소도입량

ITO막에서는 doping 원소인 Sn과 함께 산소결손

이 carrier 전자밀도를 결정하는 중요한 원인이 되고 있다. 산소결손 donor는 스퍼터법으로 박막제조시 도입하는 산소 가스양에 의해 정밀하게 제어하는 것이 가능하다. 산소가스 도입량을 증가시킬 때 막조성이 화학양론적 조성(In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)에 가까워져서 carrier 전자의 이동도는 상승한다. 그러나 이와는 반대로 막이 산화됨에 따라 산소결손 donor에 의한 carrier 전자밀도는 저하한다. 따라서 두가지 조건을 잘 조합하여 적절한 도입산소량을 결정함으로써 ITO막은 최소 저항값을 갖게 할 수 있다.

투과율은 도입산소량이 증가함에 따라 즉, 막이 산화됨에 따라 증가하게 되고 저항이 최적값을 갖는 조건 부근에서는 거의 포화상태가 된다.

습식 에칭속도는 일반적으로, 도입산소량이 증가함에 따라 저하한다. 특히 낮은 온도에서 제조한 ITO막의 경우 에칭속도가 도입산소량에 의해 크게 좌우된다. 따라서 산소의 도입분포 등에 충분한 주의가 필요하다.

일반적으로 ITO막은 저항이 최적화되는 도입산소 조건에서 생산된다. 최적산소량은 제조장치, 제조온도, 아르곤 가스량, 석출속도에 의존하기 때문에 각각의 조건에 있어서 최적산소조건을 구해야만 한다. 또한 대면적 기판상에 제조하는 도입산소의 흐름의 균일성, 복수의 cathode를 사용하는 경우에 있어서도 충분한 주의가 필요하다.

#### 4.2 박막제조 온도

스퍼터법에 의한 ITO 박막 제조시 기판온도 또한 중요한 인자가 된다. 기판온도는 ITO 막의 비저항 및 에칭특성에 큰 영향을 끼친다.

일반적으로 제조온도가 증가함에 따라 ITO 막의 비저항은 감소한다. 이것은 결정성의 향상에 의한 이동도의 증가 및 첨가원소 Sn에 의한 carrier 전자밀도의 증가로 설명이 가능하다. 여러실험을 통해 저온에서 제조한 비정질막에서는 산소결손이 지배적이고 고온에서 제조한 다결정막의 경우는 인듐 자리를 치환해서 이온화한 Sn이 지배적인 donor라고 추정되고 있다.

ITO 막의 습식 에칭속도는 150℃~200℃ 부근인 결정화 온도를 전후해서 큰 변화가 있다. 특히 결정화 온도 부근에서는 비정질과 결정질이 혼재한 막이 되므로 에칭특성이 매우 불안정하고 재현성이 없게 되는 경우가 있다. 이것은 미소한 조건의 변화에 의해 비정질과 다결정질의 비율이 변화하기 쉽기 때문이다. 따라서 에칭속도가 안정한 균일한 막을 얻기

위해서는 가능한한 결정화온도 영역을 피하여 저온에서 균일한 비정질막으로 하든가, 또는 200℃이상의 기판온도에서 충분히 결정화한 다결정막으로 할 필요가 있다. 그러나 실제 액정 공정에 있어서는 TFT소자 및 칼라 필터등 하지의 내열성 문제 때문에 결정화 온도에 가까운 200℃ 전후의 온도에서 ITO 막을 제조하는 경우가 많다. 이 경우 예비가열 및 막 제조 중에 기판온도가 하지의 내열온도를 초과하지 않도록 하는 동시에 ITO 막이 충분히 결정화 하도록 좁은 영역에서 기판온도를 제어해야만 한다. 한편 저온에서 비정질 ITO막을 안정하게 얻은 경우에도 어려운 점은 있다. 이 문제 및 대책에 대해서는 다음절에 서술하겠다.

#### 4.3 타겟

타겟재료로는 In-Sn의 합금과  $In_2O_3-SnO_2$  산화물을 이용하는 경우가 있다. 초기에는 In-Sn 합금 타겟을 사용했으나 박막제조 안정성 및 막의 비저항 문제 때문에 현재는 거의  $In_2O_3-SnO_2$  산화물 타겟을 사용한다.  $In_2O_3-SnO_2$  타겟은 소결에 의해 높은 전도성을 갖기 때문에 DC 전원을 사용하는 것이 가능하다.  $SnO_2$  함량은 저항률 및 에칭특성에 큰 영향을 미친다. 특히 ITO 막이 결정화되는 고온에서 박막을 제조할 경우, Sn이 지배적인 donor가 되므로  $SnO_2$  함량이 중요하게 된다. 일반적으로는  $In_2O_3$ 에 10wt% 정도의  $SnO_2$ 를 혼입한 ITO 소결체 타겟이 주로 사용된다.

#### 4.4 저전압스퍼터법

스퍼터법으로 ITO 막을 형성할 때 음이온에 의한 plasma damage를 감소시키고 종래에 비해 저항이 현저히 낮고 에칭특성이 안정한 ITO 막을 얻기 위해 저전압 스퍼터법이 사용된다<sup>(11)</sup>.

그림 2에 마그네트론 cathode의 단면을 모식도로 나타내었다. ITO 타겟을 이용한 종래의 DC 마그네트론 방전의 경우, -400V 정도의 음전위가 타겟에 인가된다. 한편 ITO 타겟 부근의 플라즈마 분위기 중에는 산소이온이 대부분을 차지하는 음이온이 발생한다는 것은 ITO 타겟의 SIMS 분석의 결과로부터 알려져 있다. 이 음이온은 타겟 근방의 source 전계에 의해 기판을 향하여 가속되고, 예를 들면 타겟전위가 -400V일 때 즉 400eV의 고에너지로 기판에 입사하여 ITO 막에 damage를 준다고 예상된다.

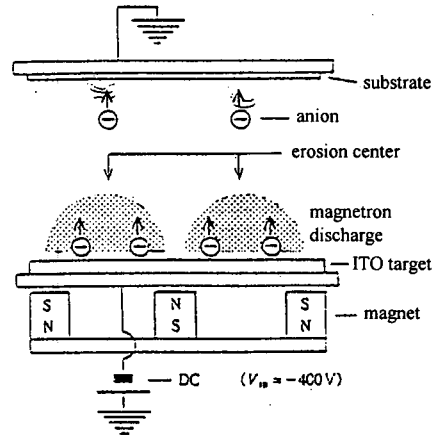


그림 2. 음이온에 의한 ITO막의 손상모델

##### (1) 기판고정식 제조 방법

마그네트론 방전에서는 플라즈마가 erosion 영역에 국부적으로 존재하기 때문에 기판으로의 이온의 입사도 erosion 바로 위 영역이 특히 크다고 생각할 수 있다. 따라서 음이온에 의한 damage도 특히 타겟 erosion 바로 위에서 크게 된다고 예상된다. 그림 3에 damage가 발생하는 위치의 의존성을 확인하기 위해 기판을 타겟을 마주보도록 설치하고 막을 제조한 결과를 나타내었다. 스퍼터 전압 -370인 조건에서 제조한 시편에서는 erosion부 바로 위의 위치

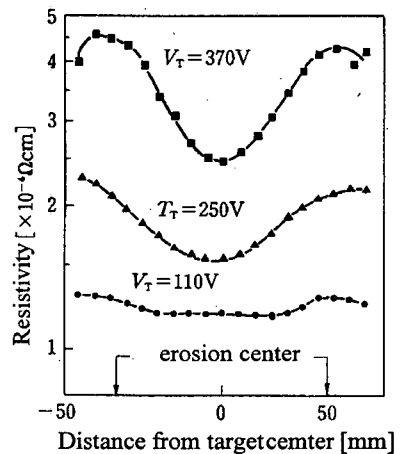


그림 3. 기판고정식 방법에 의한 제조시 비저항의 위치의존성

에 있어서 음이온에 의한 damage가 원인이라고 판단되는 비저항의 급격한 증가가 관찰되었다. 이는 source 전계에서 가속된 음이온이 스퍼터 전압에 비례하는 에너지로 기판으로 입사하고 기판상의 ITO 막에 damage를 주기 때문이다. 따라서 저전압형 특수 cathode를 제조하여 종래보다 스퍼터 전압(의 절대치)을 저하시킴으로써 음이온에 의한 damage를 저하시킬 수 있으며 이를 통해 비저항을 크게 감소시킬 수 있게 된다.

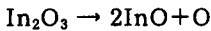
### (2) 기판 이동식 제조방법

ITO 막을 양산하는데 사용되는 기판을 통과하는 방식으로 ITO막을 제조하는 경우도, 실온에서 고온까지의 광범위한 범위의 기판온도에 걸쳐 스퍼터 전압을 낮춤으로써 ITO 막의 비저항을 크게 감소시키는 것이 가능하다. 그림 4에 양산시 ITO막을 제조하는 일반적인 방법인 기판이동식 제조법에 의해 ITO막을 제조할 경우 스퍼터 전압과 비저항의 관계를 나타내었다. 그림에서와 같이 칼라 STN에서 저저항화가 요구되는 200℃의 조건에서는 스퍼터 전압이 종래의 -400V때  $4 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 이었던데 반해 -250V에서는  $1.9 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ , -110V에서는  $1.2 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 라는 큰 폭의 비저항 감소가 가능하다. 이 값은 종래의 제조법에서는 400~500℃의 고온에서도 얻기 힘든 값이다.

### (3) 저저항화의 메카니즘

스퍼터 전압을 감소시키으로써 ITO의 비저항을 낮출 수 있는 것은 음이온 입사에 의한 damage가 감소하기 때문이라고 할 수 있다. 그렇다면 고속대전 입자의 충돌 damage에 의해 왜 ITO막의 비저항이 변화하는가? 이것은 다음과 같은 모델을 통해 예상할 수 있다.

이온충격



우선, ITO막의 기본조성인  $\text{In}_2\text{O}_3$ 에 고에너지 입자가 충돌하면 상기의 분해반응에 의해 막중에 흑색절연성 저급 산화물인 InO가 발생한다. 이 InO는 절연성이 있으므로 막중의 carrier 전자밀도가 감소하고 비저항이 증가한다. 그림 4에 나타낸 스퍼터 전압에 대한 비저항 변화를 그림 5에 carrier 전자밀도와 이동도 변화로서 나타내었다. 그림에서 보듯이 음이온의 입사 damage에 의해 전자밀도는 변화되지만 hall 이동도는 변하지 않는다. 이러한 흑색 절연성

의 InO의 존재는 스퍼터시 타겟 표면에 절연성 흑색 입자가 발생되는 것으로부터도 확인할 수 있다.

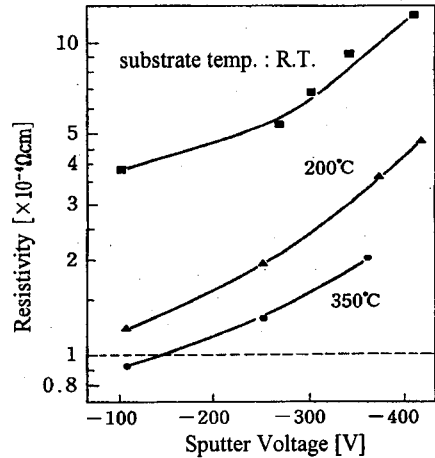


그림 4. 스퍼터 전압과 비저항의 관계

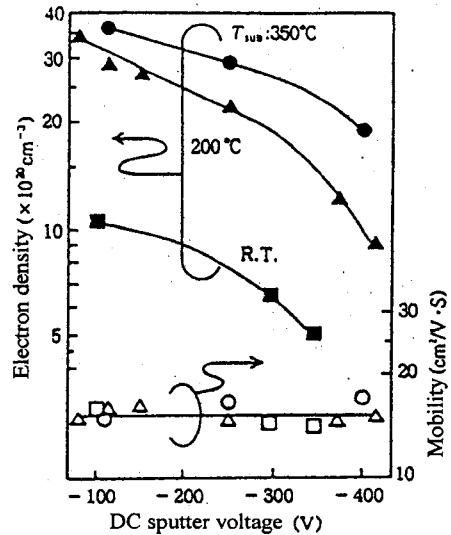


그림 5. 스퍼터 전압과 전자밀도, 이동도의 관계

### (4) 성장속도

일반적인 전압의 영역(-100~-400V)에서는 스퍼터 전압에는 관계없이 단위 투입전력당 ITO막의 성장속도는 거의 일정하다. 따라서 저전압 스퍼터법에서도 종래의 방법과 동등한 투입전력으로 동등한 성

장속도를 얻을 수 있다.

#### 4.5 H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub> 첨가효과

액정용 ITO 막에서는 구동소자의 구조 및 하지의 재질에 의해 에칭특성이 우수한 비정질막이 요구되는 경우가 있다. 그러나 실제의 생산공정에 있어서 가열을 하지 않음으로써 비정질막을 얻는다 해도 ITO 막이 결정화되어 저항률 및 에칭특성의 재현성을 얻지 못하게 되는 문제가 발생한다.

이 경우 잔류 H<sub>2</sub>O의 분압이 ITO 막의 결정성에 큰 영향을 미친다는 연구결과를 이용하여 반대로 일정량의 H<sub>2</sub>O 또는 H<sub>2</sub>를 임의로 첨가해 줌으로써 저항률과 에칭특성이 안정성 있는 우수한 비정질 ITO 막을 재현성 있게 제조할 수 있다<sup>(12)</sup>. 그림 6은 H<sub>2</sub>O 나 H<sub>2</sub>를 첨가함으로써 첨가하지 않은 경우보다 저항의 재현성이 우수하다는 것을 보여주고 있다. 그림 7은 방전개시 시간에 따른 에칭속도의 변화예를 나타낸 것으로 H<sub>2</sub>O 또는 H<sub>2</sub>를 첨가하지 않은 경우 막의 에칭속도가 급격히 저하됨을 알 수 있다. 즉 H<sub>2</sub>O 또는 H<sub>2</sub>를 첨가함으로써 기판의 온도에 따라 비저항 변화가 적고 낮은 저항을 갖는 막의 제조가 가능하고 동시에 에칭을 위한 방전시간에 따른 에칭속도가 일정한 막을 얻을 수 있다.

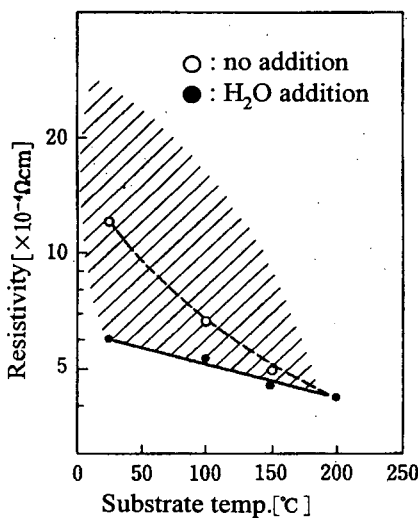


그림 6. 기판온도와 비저항의 관계(H<sub>2</sub>O 첨가효과)

#### 4.6 향후 저저항화를 위한 방향

표시소자의 대면적화가 진행됨에 따라 향후에는 보다 낮은 비저항을 갖는 투명전도막이 필요하게 될 것이다. 따라서 투명전도막의 저저항화를 위한 앞으로의 연구개발이 지속적으로 요구될 것이다. 다음에 연구개발해 나아가야 할 방향을 제시해 보았다.

##### (1) 다원소 투명전도막의 조사 연구

In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SnO<sub>2</sub>, ZnO계의 투명전도막에 관해서는 지금까지 상당한 연구가 진행되어 왔으며 거의 한계에 도달하였다고도 볼 수 있다. 그러나 다원소 화합물에 대해서는 Cd<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub> 및 Cd<sub>2</sub>InO<sub>4</sub>등 만이 보고되어져 있고 현재까지 충분한 조사가 진행되지 못하고 있는 실정이다.

##### (2) Donor의 복합첨가와 고효율성화

일반적으로 carrier 농도를 증가시키기 위해서 donor라는 원소를 첨가하지만 2종류 이상의 donor를 첨가한 경우는 거의 없다. 최적의 donor 원소를 선택함과 동시에 복합첨가를 통해서도 비저항을 보다 감소시키는 것이 가능하리라 예상된다.

### 5. 양산장비

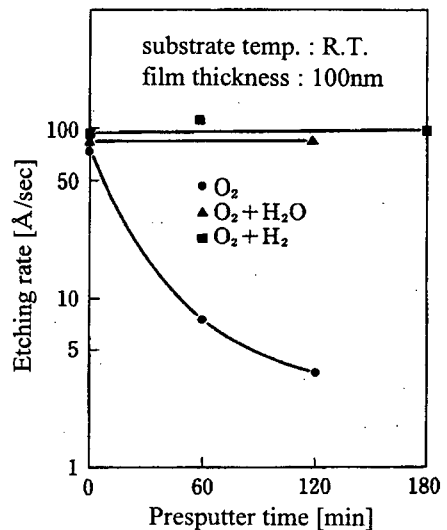


그림 7. 연속방전시간과 에칭속도의 관계(H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub> 첨가효과)

액정 디스플레이용으로 이용되는 양산용 스퍼터 장비로는 batch식 장비, In-Line 장비, Cassette-to-Cassette식 장비, Roll-to-Roll 장비등이 있고 용도에 따라 사용분야가 나뉘어져 있다. 다음은 각 용도별로 사용되는 양산장비와 특징을 설명한다.

#### (1) TN, STN, 칼라필터

TN, STN 및 칼라필터용의 양산용 스퍼터 장비로 사용되는 것은 batch식과 in-line 장비로서 목적에 따라 사용분야가 구별된다.

Batch식 장비는 다품종 소량생산에 적합하고 다양한 용도로 ITO 막을 생산하는 전문 메이커에서 이러한 종류의 장비를 사용하고 있는 경우가 있다. 스퍼터 chamber의 중앙에 기관설치용 다각형의 드럼형 홀더가 있고 홀더의 크기에 따라 300mm×400mm 상당의 기관을 최고 40매까지 장착할 수 있다. ITO cathode에 앞서 말한 저전압형 cathode를 이용함으로써 STN용 저저항막을 얻을 수 있다. 일반적으로 ITO 막의 형성은 300℃이상의 고온에서 행해진다. 예전에는 알칼리 barrier로서 SiO<sub>2</sub>의 RF 마그네트론 cathode를 장착하여 ITO/SiO<sub>2</sub>를 연속적으로 형성하는 경우도 있었으나 현재는 알칼리의 함유량이 0.1% 이하인 무알칼리 유리를 사용함으로써 이러한 공정을 줄일 수 있게 되었다.

한편 in-line 장치는 대량생산이 가능하고 기관을 탈착하는데 로봇을 이용함으로써 자동화 및 연속화가 가능하다. 또한 batch식에 비해서 미세 불순물이 적고 더욱이 대형기관에 있어서는 막의 물성이 우수하다. ITO 박막제조용의 cathode로는 저전압형 cathode를 표준으로 택하고 있으며 주로 클린룸에 설치하여 기관의 주입 및 배출실에서 배출 및 배기시 미세불순물이 부착되지 않도록 하고 있으며 때로는 세척용 가스를 사용하여 배출 및 배기시 가스 샤워를 함으로써 미세불순물에 의한 오염을 방지하기도 한다.

#### (2) TFT, MIM

TFT 및 MIM용 양산장비로는 종래의 Tray 반송 방식과 in-line식 장비가 사용되고 있다. 그러나 최근 tray를 사용하지 않는 multi-chamber 방식의 cassette-to-cassette 장비가 개발되어 TFT를 중심으로 광범위하게 이용되고 있다.

multi-chamber방식의 이 장비는 공정의 변경 및 기관 1매의 품질관리가 용이하고 holder를 사용하지 않음으로써 오염을 줄일수 있으며 multi-chamber 구조로 인한 진공조의 자유로운 조합이 가능하다 또

한 장비의 설치면적이 in-line 및 기타 장비에 비해 훨씬 적다는 장점이 있다.

#### (3) 액정 view finder

최근 가정용 소형 VCR의 view finder로서 종래의 CRT를 대체해서 칼라액정 view finder가 많이 이용되고 있다. View finder용 액정에서는 웨이퍼상의 석영기판에 TFT 소자를 형성하는 경우, ITO 및 금속 배선막을 제조시 반도체 제조공정용 multi-chamber 장비가 사용되는 경우가 많다. ITO 막 제조시 기관을 고정하는 경우 가스 및 플라즈마의 균일성에 충분히 주의할 기울여야 한다. 일반적인 반도체 스퍼터 공정에서는 ITO막의 경우만큼 균일하게 제조되지 않으므로 만일 반도체용 cathode를 그대로 사용하는 경우, ITO 막의 품질이 불균일하게 된다. 따라서 이것을 방지하기 위해서는 특수하게 디자인한 cathode가 필요하다. 전면적이 erosion되는 형태의 마그네트론 cathode를 사용할 경우 6인치 직경의 고정기판에 대해서도 두께 및 품질이 균일한 ITO 막을 얻을 수 있다.

#### (4) Film LCD

종래, PET등 필름 기판상에 ITO 막을 제조하는 경우 주로 터치 패널에 사용되었다. 최근에는 휴대전화 및 호출기등의 표시소자용 소형 필름 LCD로서의 용도가 확대되고 있다. 앞으로는 필름 LCD의 대형 판넬화도 가능하게 될 것이고 그 경우 필름기판상의 ITO막 제조시 roll-to-roll 스퍼터 장비가 사용될 것이다. 필름기판상에 코팅시에도 앞서 말한 저전압형 cathode를 사용함으로써 종래보다 낮은 저항의 ITO막을 안정성 있게 얻을 수 있을 것이다.

## 6. 결 론

본 원고에서는 ITO막의 액정 디스플레이로의 응용을 중심으로 제조법, 스퍼터법으로 박막제조시 각종 조건에 의한 영향, 양산용 스퍼터 장비등에 대해서 살펴보았다.

액정 디스플레이의 생산이 급속하게 증가하기 시작한 현재, ITO 투명전도막은 매우 중요한 가치를 지닌다. 그러나 ITO막은 carrier 전자밀도가 대단히 높은 반도체라는 특수성으로 인해 막제조시 금속막 제조시 발생하지 않는 어려움이 많이 존재한다.

또한 앞으로는 LCD의 대형화, 고해상도화, 칼라화 및 응답속도 향상뿐 아니라 ITO막 자체에 요구되는 특성은 더욱 세분화되어 특수화될 것이다. LCD



용 ITO막으로 적용하기 위해서는 표 2의 향후 요구 특성에 표시된 바와 같이 비저항은  $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$  이하이고 90% 이상의 광투과율을 갖는 동시에 고정밀의 에칭 특성을 갖는 것이 요구된다. 또한 스퍼터법에 의한 박막제조 기술의 과제는 보다 대형화한 유리기판 및 필름상에 저온으로 이와같은 우수한 막 특성을 갖고 더불어 균일성도 우수한 ITO 막을 제조하는 공정개발이 절실히 요구되고 있다. 따라서 지금까지 문제가 되어온 타겟사용에 따른 막 특성의 경시변화가 더욱 부각되어 지게 되고 그 변화를 억제하는 것도 또한 큰 과제로 떠오르고 있다. 또 고정밀화가 진척됨에 따라 막 품질의 균일성과 저저항화를 대한 요구 조건도 엄격해짐에 따라 이에 대한 연구가 지속적으로 행해져야만 할 것이다.

### 참 고 문 헌

1. I. Hamberg and C. G. Grandqvist, J. Appl. Phys. 59(8) (1986) 2950.
2. E. Kaneko, Liquid Crystal Displays, KTK Scientific, Tokyo(1987).
3. J. R. Bellingham, A. P. Mackenzie and W. A. Philips, Appl. Phys. Lett. 58(22) (1991) 2506.
4. P. K. Nomura, K. Konishi and H. Matsuda, J. Electrochem. Soc. 138(2) (1991) 631.
5. J. R. Bellingham, W. A. Philips and C. J. Adkins, Thin Solid Films 195 (1991) 23.
6. J. E. Costellamo, Handbook of Display Technology, Academic Press, New York (1992).
7. R. Latz, K. Michael and M. Scherer, Jpn. J. Appl. Phys., 30(2A) (1991) 149.
8. S. H. Shin, J. H. Shin, K. J. Park, T. Ishida, O. Tabata and H. H. Kim, Thin Solid Films, 341(1-2) (1999) 225 Matsumoto, Vacuum, 41 (1990) 1463.
9. Swati Ray, Ratnabai, Banerjee, N. Basu, A. K. Batabyal and A. K. Baruma, J. Appl. Phys. 54(6) (1983) 3467.
10. H. Nanto, T. Minami, S. Orito and S. Takata, J. Appl. Phys. 63(8), 15 (1988) 2711.
11. K. Tominaga, T. Yuasa and N. Hosokawa, Jpn. J. Appl. Phys. 24 (1985) 24.
12. Y. Shigesato, Y. Hayashi, A. Masui and T. Haranoh, Jpn. J. Appl. Phys. 30 (1993) 814.