

## ITO/Ag/ITO 다층 구조를 이용한 초저저항 투명 전도막 제조

최국현 · 김진용 · 이윤석\* · 김형준

서울대학교 공과대학 재료공학부

\*삼성전관 주식회사

### Preparation of Very Low Resistance Transparent Electrode with ITO/Ag/ITO Multilayer

Kook Hyun Choi, Jin Yong Kim, Yoon Seok Lee\*, Hyeong Joon Kim

School of Mater. Sci. & Eng., Seoul Nat'l University, Seoul, 151-742

\*Samsung Display Devices Co., Ltd, Chungchongnam-Do, 330-300

(1997년 10월 8일 받음, 1997년 11월 21일 최종수정본 받음.)

초저저항 투명전극에 비해 더욱 우수한 전기전도성을 가지는 다층구조의 투명전도막을 마그네트론 스퍼터링 장치를 이용해 제작하였다. 전기전도성을 극대화하기 위해 비저항이 가장 낮은 Ag 금속을 사용하고, 금속층의 상하부에 반사광을 재반사시키는 산화물층을 형성시킨 다층막구조를 이용하였다. Ag 금속막은 충분한 투과율과 전기전도성을 확보하기 위해 연속된 막을 이루기 시작하는 두께인 140Å로 증착하였고, ITO 박막은 가시광 영역의 반사광을 재반사시키는 최적의 두께인 600Å 내외로 증착하였다. Ag 박막의 증착조건과 후속 ITO 박막증착공정은 Ag 박막의 특성에 영향을 미치므로 다층막의 전기적, 광학적 특성은 이들 증착 조건에 민감한 영향을 받음을 확인하였다. 상온에서 Ag막을 형성하고 ITO 박막은 7mTorr의 낮은 압력에서 증착하여 제작한 투명전도막은 SVGA급의 STN-LCD용 투명전극으로 사용 가능한 4Ω/□ 이하의 낮은 면저항과 빛의 파장이 550nm 일 때 85% 이상의 투과도를 나타내었다.

**Abstract** The multilayer transparent conducting electrodes, having much lower electrical resistance than the widely used transparent conducting oxides, were prepared by using a magnetron sputtering system. The multilayer consisted of three layers, ITO(Sn-doped In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/Ag/ITO. Ag film having the lowest resistivity was chosen to minimize resistance of multilayer, and top and bottom layers of ITO film was adapted to allow high optical transmittance by turning back the reflected light from metal interfaces. We chose about 140Å of Ag layer thickness for high transmittance and good conductivity. When ITO films with about 600Å thickness were deposited, multilayer showed high transmittance in the visible range of the spectrum. The electrical and optical properties of multilayer were changed mainly by Ag films properties which were affected by morphology of ITO underlayer and deposition process of overlayer. The transparent electrodes, having resistance as low as 4Ω/□ and high transmittance of 90% which could satisfy the requirement for SVGA mode STN-LCD, were obtained.

### 1. 서론

정보 전달 매체의 발달과 휴대용 컴퓨터의 보급 등으로 고화질의 평판표시소자에 대한 관심과 수요가 점점 증가하고 있다. SVGA급 이상의 STN-LCD가 실현된다면 낮은 생산비용으로 대량생산이 가능하기 때문에 향후 표시소자로서 상당한 자리를 차지할 것으로 여겨진다. 고화질(SVGA급 이상)의 STN 액정표시소자를 실현하기 위해서는 화질을 결정하는 명암 대비, 응답 속도와 crosstalk 등의 특성 개선이 필요하다<sup>1,2)</sup>. 특히 응답 속도의 개선 등을 위해서는 무엇보다도 color filter용 투명전도막의 저저항화가 필수적이다. 얇은 두께에서 더 낮은 저항을 얻기 위해서는 금속 박막을 사용하여야 하지만, 금속 박막의 경우 가시광의 반사율이 높아 단독으로 투명전극소자로 사용하기에 많은 어려움이 따른다. SVGA급이상의 panel용으로 응용하기 위해 면저항이 3~5Ω/□ 정도의 값을 가져야 하는데

기존의 전극재료인 ITO(Sn-doped In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)를 사용해 저저항의 투명전극을 구현하려면 3000Å 이상의 두꺼운 막을 사용하여야 하므로, 이는 재료원가의 상승과 함께 간섭효과에 의한 광투과율의 감소로 인해 실제 적용이 불가능하다.

본 연구에서는 전기전도성을 극대화하기 위해 비저항이 가장 낮은 금속을 사용하고 그 주위로 금속반사광을 재반사시키는 산화물층을 형성시킨 산화물/금속/산화물의 샌드위치 구조를 이용하여 전기전도특성이 우수한 다층막을 제작하고자 하였다. 표시소자에 사용할 수 있는 충분한 투과율을 지닌 다층구조의 투명전도막을 제조하기 위해, 금속물질로는 전기전도도가 뛰어나고 가시광 흡수가 적은 Ag를 사용하였으며, 반사방지층 산화물막으로는 기존의 투명전도막재료로 널리 쓰이는 ITO를 사용하였다. ITO 박막은 낮은 비저항과 가시광영역에서의 높은 투과특성을 보여줄 뿐 아니라 패터닝특성이 우수하고 굴절률도 높아 반사방지층으로도 적합한 특성을 가지고 있다. Ag 금속막은 충분한

투과율을 보장하기 위해 아주 얇게 증착되어야 하지만 다층막에서 대부분의 전기전도는 이 금속층을 통하여 이루어지므로 박막이 평행하고 완전히 연속된 구조를 이루어야 한다. 이 두 조건을 만족시키기 위해 연속된 막을 이루기 시작하는 두께인 140 Å로 증착하였고, ITO 박막은 가시광영역의 반사광을 재반사시키는 최적의 두께인 600 Å으로 증착하였다. 샌드위치구조에서 상부의 산화물층은 금속층의 보호와 아울러 광학적으로는 반사억제코팅막(antireflection layer)의 역할을 하여 투광도를 증진시킨다. 하부의 코팅막도 샌드위치 구조전체에서 광학작용에 영향을 주어 투광도를 증진시키고, 기판 물질의 확산을 막으며 금속의 초기 핵생성에 영향을 주는 핵생성 조절층(nucleation modification layer)의 기능을 한다<sup>3,4)</sup>. 금속층의 핵생성이 촉진될 경우 금속층은 얇은 두께에서도 빨리 연속적인 막의 구조를 가지게 되어 전기전도도의 향상을 꾀할 수 있다.

본 연구에서는 증착조건에 따른 ITO, Ag 박막의 특성 연구를 각각 진행하고, 다층막을 제작하여 ITO, Ag 박막제조공정이 광투과율과 전기전도도에 미치는 영향에 대해 고찰하여 최적의 특성을 가지는 다층막을 제작하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

본 연구에 사용한 장비는 반응기 내에 3개의 스퍼터링 gun이 120° 간격으로 위치한 상향 마그네트론 스퍼터링 장치이다. 이 중 두 개의 gun에 RF(13.56MHz)와 DC 전원이 각각 연결되어 있어 진공상태를 유지하면서 다층박막을 연속적으로 증착할 수 있다. Turbo molecular pump와 rotary pump로 반응기의 진공을 유지하였다. 기판은 할로겐 램프로 가열하였으며, K형 열전대를 기판홀더에 접촉하여 기판 온도를 측정하였고, 스퍼터링 가스로는 6N 순도의 아르곤 가스를 사용하였다. ITO 박막은 일본 토소(Tosoh)사에서 제작한 직경 3인치의 소결체 세라믹 타겟(SnO<sub>2</sub> 10wt% 첨가, 99.95%)을, Ag 박막의 증착은 일본 고순도 화학에서 제조한 3인치 금속타겟(99.99%)을 사용하였다. 기판은 7.5×2.5cm<sup>2</sup> Soda-lime Silicate slide glass를 사용하였다.

초기진공이 5×10<sup>-6</sup>Torr 까지 도달한 후 아르곤 가스를 주입하고, 기판온도가 안정화되면 약 10분 가량 전스퍼터링(presputtering)하고, 셔터를 열어 박막을 증착하였다. ITO/Ag/ITO 구조의 다층막을 증착하는 경우, ITO 타겟 위에서 하부 ITO 박막을 증착한 후에, 기판홀더를 120° 회전시켜 Ag 타겟의 바로 위에서 박막을 증착하고, 다시 ITO 타겟위에서 상부 ITO 박막을 증착하여 진공상태를 유지하면서 다층박막을 연속적으로 증착하였다.

박막의 두께는 Tencor사의  $\alpha$ -step을 사용하여 측정하였다. 이 측정을 위해서는 박막의 일부를 식각해내고 단차를 만들었다. 박막의 미세구조와 표면형상을 분석하기 위해서 박막의 표면과 단면을 주사전자현미경(Hitachi S-30)을 사용하여 관찰하였다.

박막의 전기적 성질을 분석하기 위해 4point-probe로 면저항을 측정하였고 박막의 광투과율과 반사율을 측정하기

위해 UV/VIS Spectrophotometer (BECKMAN DU-70)를 사용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 ITO 박막의 증착거동과 특성변화

일반적으로 높은 온도에서 증착한 ITO 박막이 우수한 전기적, 광학적 특성을 보여주는 것으로 알려져 있지만<sup>5~7)</sup>, 실제 응용에 있어서 유기(organic) 칼라필터 위에 투명전극을 형성시켜야 하므로 기판온도 200°C 이하에서 순수한 아르곤 가스를 사용하여 ITO 박막을 증착하였다. 또한 다층구조 투명전극에 적용하기 위해서는 ITO 박막이 낮은 비저항과 평활한 표면 형상을 지녀야 하므로, ITO 박막의 전기적 특성과 표면형상의 증착공정변수에 따른 변화를 조사하였다.

증착된 박막은 모두 결정질로 확인되었고, 박막의 성장방향은 증착조건에 따라 변하였다. 그림 1은 기판 온도, 증착압력과 전력을 다르게 하면서 증착한 ITO 박막의 비저항을 측정된 결과이다. 기판을 가열하여 증착한 경우, 증착공정변수에 따른 박막의 비저항의 변화를 크게 보이고 있지 않다. 기판에 의도적인 가열을 하지 않은 경우에는 비교적 높은 비저항을 지닌 ITO 박막이 증착되었다. 이는 도펀트로 첨가된 Sn 원자들이 전자주게(donor)의 역할을 할 수 있는 충분한 활성화에너지를 얻지 못하여, 결과적으로 박막내부의 전하나르게(charge carrier) 농도가 낮아진데 기인한 것으로 Hall 측정 결과 밝혀졌다. 이때 B. S. Chiou 등<sup>8,9)</sup>이 보고한 바와 마찬가지로 낮은 전력에서 증착된 박막에서 좀 더 낮은 비저항을 얻었는데, 이는 박막 증착시에 낮은 전력으로 인해 플라즈마에 의한 손상을 적게 받아 전하나르게 농도의 감소가 적었기 때문이라고 판단된다.

또한 평활한 표면형상을 지닌 ITO 박막의 증착조건을 찾

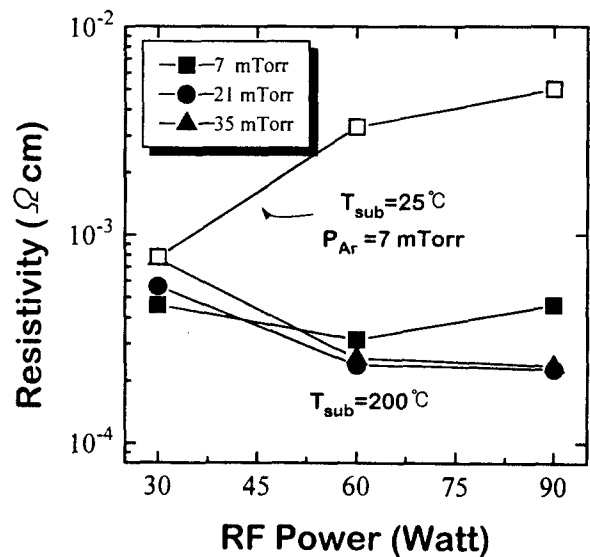


Fig. 1. Resistivity change of ITO thin films as a function of RF power. The deposition condition was substrate temperature of 25°C (open) and 200°C (solid), and chamber pressure of 7mTorr (-□-), 21mTorr(-●-), and 35mTorr(-▲-).

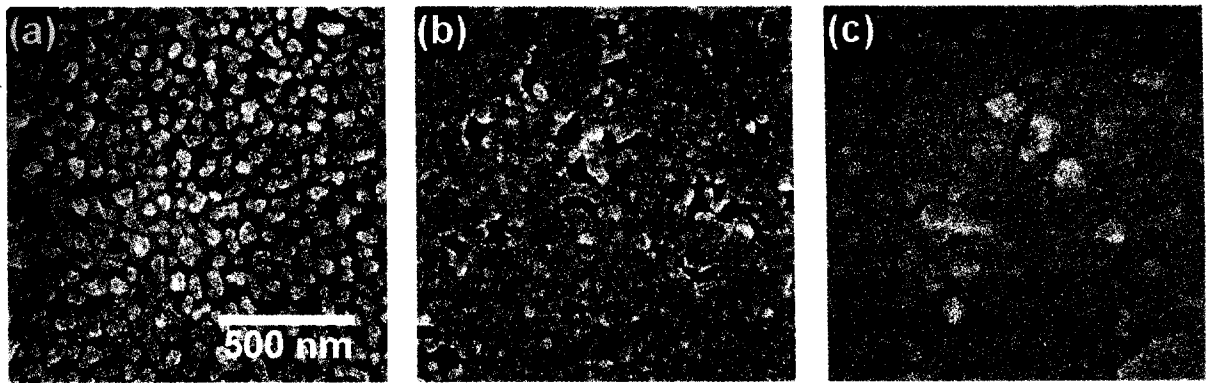


Fig. 2. SEM micrographs of Ag thin films deposited with various deposition times : (a) 25 sec, (b) 50 sec, and (c) 70 sec.

기 위해 공정조건을 변화시키면서 증착한 박막의 표면형상을 관찰하였다. 하지만 600 Å 정도의 얇은 두께 ITO 박막에서는 증착조건과 무관하게 모두 매우 평활한 표면을 지니고 있었으며, 주사전자현미경으로는 이들 사이의 차이점을 발견할 수 없었다. 본 연구의 다층막증착에서는 증착 전력과 압력이 각각 60W, 7mTorr인 조건에서 주로 ITO 박막을 증착하였다.

### 3.2. Ag 박막의 증착

얇은 두께의 Ag막이 Bulk 특성에 가까운 전기적 특성을 얻기 위해서는 homogeneous parallel-sided layer 구조를 가져야 하는데, 얇은 두께의 금속막이 이러한 구조가 되는 것은 아주 드문 경우로 알려져 있다<sup>10)</sup>. 또한 박막이 두꺼워지면 연속된 구조의 박막은 얻을 수 있지만, 빛의 흡수가 증가하여 광투과율의 감소를 초래하게 된다<sup>11)</sup>. Island 구조로 증착되는 경우에는 저항의 증가뿐만 아니라, island가 상당히 커질 경우 빛을 산란시켜서 광투과율도 오히려 감소하게 된다. 따라서 다층구조의 투명전극에 적용하기 위해서는 가장 얇은 두께에서 연속된 구조의 박막이 형성되는 Ag 층의 두께와 증착조건을 찾는 것이 선결되어야 한다.

미세한 두께 조절을 위해 증착속도가 가장 낮은 조건, 즉 스퍼터링시 플라즈마가 유지되는 가장 낮은 DC 전력인 5 W의 조건에서 Ag 박막을 증착하였다. 그림 2는 600 Å 두께의 ITO 박막이 코팅된 기판 위에 증착속도 2 Å/sec인 조건에서 각각 25, 50, 70초간 증착한 Ag 박막의 표면형상을 주사전자현미경으로 관찰한 결과이다. 25°C에서 증착한 Ag 박막은 전형적인 금속박막의 island 성장거동을 보였는데, 이는 금속표면의 높은 표면장력에 기인한 것이다. 25초간 증착한 Ag막은 초기 생성된 핵들이 아직 서로 연결되지 못한 island 구조를 가지고 있었다. 증착시간이 50 초가 되었을 때 대부분 island간의 연결이 이루어져 기판 표면을 어느 정도 덮게되었고, 70초가 되었을 때 표면의 대부분을 덮고 있는 연속된 박막을 이루었다. 25초간 증착한 Ag 층의 저항을 측정하면 하부 ITO 박막의 저항값정도만 측정이 되었고, 증착시간 50초 이후에서야 비로소 Ag 층이 전기전도에 참여하게 되어 각각 7.34, 3.96 Ω/□의 낮은 면저항 값을 나타내었다. 이 때 각각 Ag막의 두께는 100, 140 Å으로 추측된다. 그림 3은 두께에 따른 Ag 박막의 광

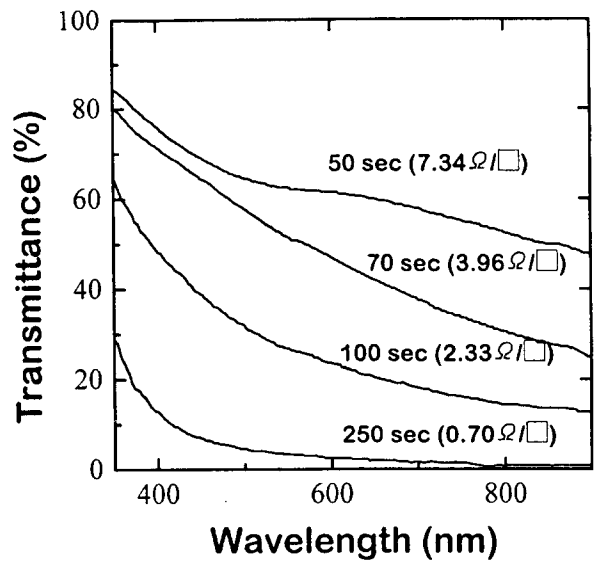


Fig. 3. Optical transmission spectra and sheet resistance of Ag thin films deposited with various thickness on glass.

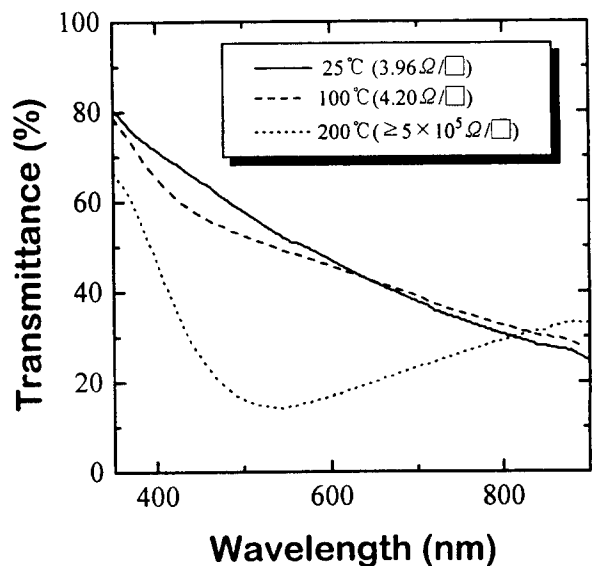


Fig. 4. Optical transmission spectra and sheet resistance of Ag thin films deposited on glass. at 25°C, 100°C and 200°C deposition time was 70 sec.

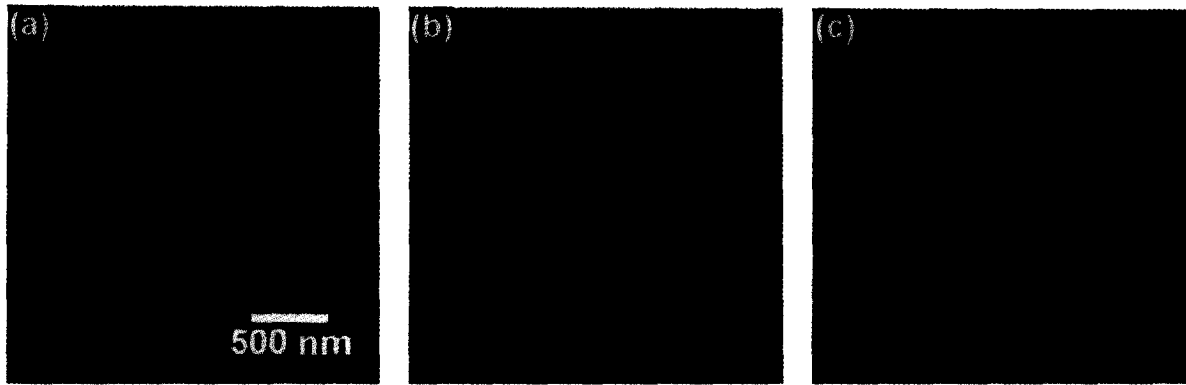


Fig. 5. SEM micrographs of Ag thin films deposited on glass at (a) 25°C, (b) 100°C, and (c) 200°C. Deposition time was 70 sec.

투과율 변화를 나타낸 것이다. 막의 두께가 감소할수록 광투과율은 증가하였지만, 막의 두께가 200 Å 이하가 되면 박막의 두께가 전자의 평균진행경로에 가까워져 전자의 표면 산란 효과<sup>12)</sup>가 커져 박막의 저항이 급격히 증가하였다. 100 Å 이하에선 불연속적인 막의 구조도 막의 저항을 증가시킨다. 140 Å 두께의 Ag 박막은 충분히 높은 광투과율과 전기전도도를 나타내었으므로, 이 두께의 Ag 박막을 이용해 다층구조의 투명전극을 제작하였다.

기판 온도를 변화시키면서 70초간 Ag 박막을 증착하고, 기판온도에 따른 광투과율의 변화를 알아보았다(그림 4). 기판을 200°C 이상으로 가열하면 증착된 박막은 짙은 보라색을 띠면서 가시광 영역에서의 광투과율 값이 급격하게 감소하였다. 또한 이러한 Ag 박막은 4-point probe의 측정 범위를 넘는  $5 \times 10^5 \Omega/\square$  이상의 면저항을 나타내었다. 이러한 증착온도에 따른 Ag막의 전기적, 광학적 특성의 열화 현상은 박막의 표면형상 변화에서 기인하였다고 추측된다(그림 5). 즉, 이러한 island 형태의 Ag 박막은 island 끼리 연결을 이루지 못해 비저항이 높아졌으며, 큰 island에 의한 가시광영역 빛의 산란이 발생하여 광투과율의 감소도 발생한 것으로 추측된다. Ag막을 200°C로 가열 증착하는 공정으로 제작한 다층박막의 광투과율과 면저항을 측정해보았는데, 단일막의 경우처럼 상당한 투과율의 저하와 면저항의 증가가 일어났다. 불연속적인 island 형태의 표면형상을 지닌 Ag층의 증착은 기판을 가열하면 박막 형성 초기에 핵생성 속도에 비해 핵성장 우세하게 일어나 발생하는 것으로 추측된다. 따라서 다층구조의 투명전도막 제조시에 하부 ITO 박막을 가열 증착한 경우, Ag 박막을 증착하기 전 충분히 기판냉각을 시키는 과정을 거쳐 다층막을 제작하였다.

3.3. ITO/Ag/ITO 다층막의 광학적 및 전기적 특성

투명전극이 무색을 나타내기 위해서 인간의 눈에 가장 예민한 파장인 550nm에서 최대의 투과율을 나타내어야만 한다. Transfer matrix를 이용해 다층박막의 투과율을 계산한 결과<sup>13)</sup>, ITO 박막이 550 Å에서 600 Å의 두께를 가질 때 투명 전극으로서 사용가능한 우수한 광투과 특성을 가지며, 두께에 따른 광투과 스펙트럼은 각 박막의 광학적 상수를 이용한 계산 결과와 일치하였다.

다층구조막에서 Ag의 비저항이 ITO 보다 수십배 정도

낮으므로 다층막의 전기전도는 주로 Ag층에 의해 이루어지고, 상하부 ITO층의 두께에 따른 전기저항의 변화는 적을 것이라고 쉽게 짐작할 수 있다. 하지만 그림 6에 나타난 것처럼 ITO 막의 두께에 따라 다층구조막의 면저항이 상당히 큰 폭으로 변화하였고, 다층구조막을 서로 다른 저항체의 병렬 회로로 간주하여 계산한 결과(점선)와도 많은 차이를 나타내었다. 이는 Ag층의 증착조건은 동일하지만 상하부 ITO의 두께에 따라 Ag층의 면저항이 변하였기 때문으로 추측된다. 즉, 하부 ITO층의 두께가 매우 얇으면 ITO 표면의 거칠기가 증가하고, 이에 따라 그 위에 증착한 Ag막이 완전히 연속된 막을 이루지 못하거나 두께의 불균일성이 증가할 수 있다. 이에 따른 Ag층의 저항 증가가 전체 다층막의 면저항을 증가시키는 것으로 추측된다. 한편 하부 ITO층이 비교적 두꺼운 경우에는 유리기판위에 증착한 Ag막과 거의 동일한 전기적 특성을 지닌 Ag 층을 얻을 수 있다. 하지만 상부 ITO 층을 증착함으로써 인하여 상부 ITO 층과 Ag막과의 계면에서 전기전도에 참여하고 있는 전자의

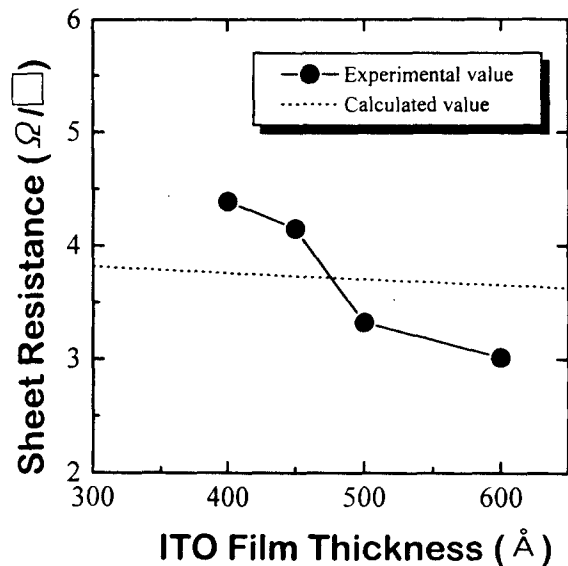


Fig. 6. Sheet resistance change of multilayers as a function of ITO film thickness. Expected sheet resistance was calculated assuming that sheet resistance of 140Å Ag thin film is  $4\Omega/\square$  and resistivity of ITO thin film is  $5 \times 10^{-4}\Omega\text{cm}$ .

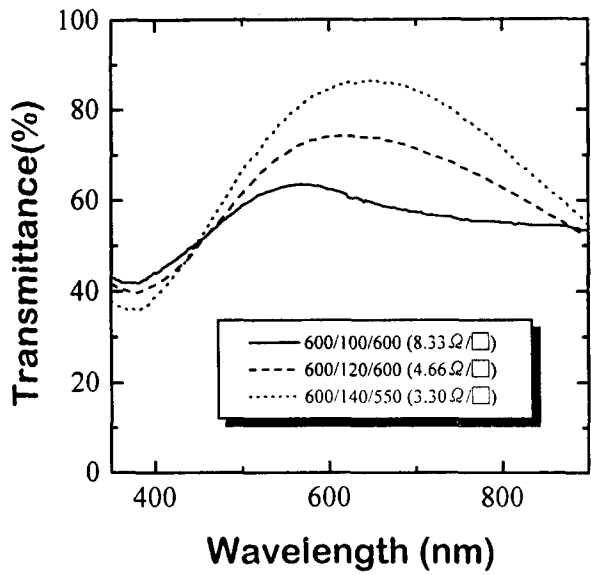


Fig. 7. Optical transmission spectra and sheet resistance of multilayer films with various Ag deposition times : (a) 50 sec, (b) 60 sec and (c) 70 sec.

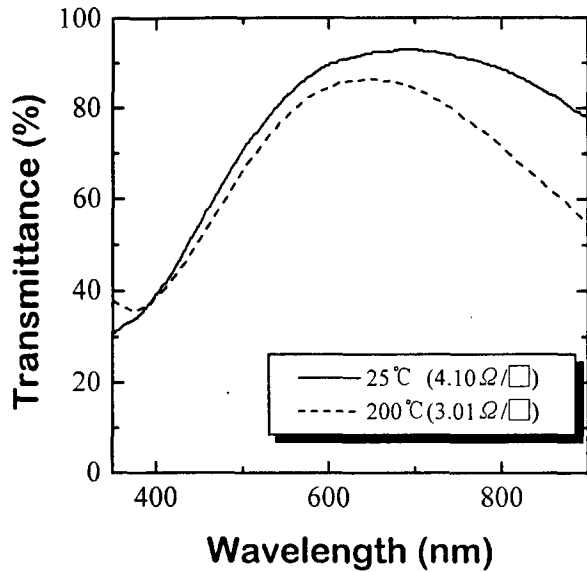


Fig. 8. Optical transmission spectra change and sheet resistance of 600 Å/140 Å/600 Å multilayer films. Top ITO films were deposited at 25°C and 200°C.

산란이 전기저항의 증가에 미치는 영향이 Ag 층과 공기층과의 계면에서의 표면산란에 의한 것보다는 감소함에 따라 전체 다층구조막의 저항이 계산값보다 감소하였다.

다층막의 광학적, 전기적 특성에 Ag막은 절대적인 역할을 한다. Ag막은 완전히 연속적이며 평행한(homogeneous parallel-sided layer) 막을 이루어야 하고 이후의 공정조건에서도 산화, 변형, 그리고 확산등이 일어나지 않아야 한다. 본 실험의 다층막 제조과정중 Ag막의 증착에 영향을 줄 수 있는 요인으로서는, 첫째 상부 ITO를 증착시 기관 가열로 인한 하부의 Ag막의 구조적 변화, 둘째 Ag막이 형성되는 하부의 ITO막의 상태, 셋째 상부 ITO증착시 플라

즈마에 의한 손상, 특히 플라즈마내의 활성화된 산소종의 박막으로의 충돌이다.

그림 7은 ITO 박막의 조건을 60W, 10mTorr, 200°C로 고정시키고 Ag 층의 두께를 바꾸면서 증착한 다층막의 파장에 따른 투과율 변화를 나타낸 것이다. 이때 하부의 ITO 층을 증착한 후 기관을 충분히 냉각시킨 다음 Ag막을 증착하였다. Ag막을 얇게 할 경우 Ag막에서의 반사가 상당히 줄어 전체적인 투과율이 증가할 것이라 생각되지만, 실제의 결과는 이와는 반대로 얇은 막의 경우 투과율이 상당히 나빠지는 모습을 보이고 있다. 상부 ITO 층의 증착시 기관의 승온에 의해 Ag막에 변화가 발생한 것이라 예상되어, 하부 ITO 박막과 Ag 막의 조건은 동일하게 두고 상부의 ITO

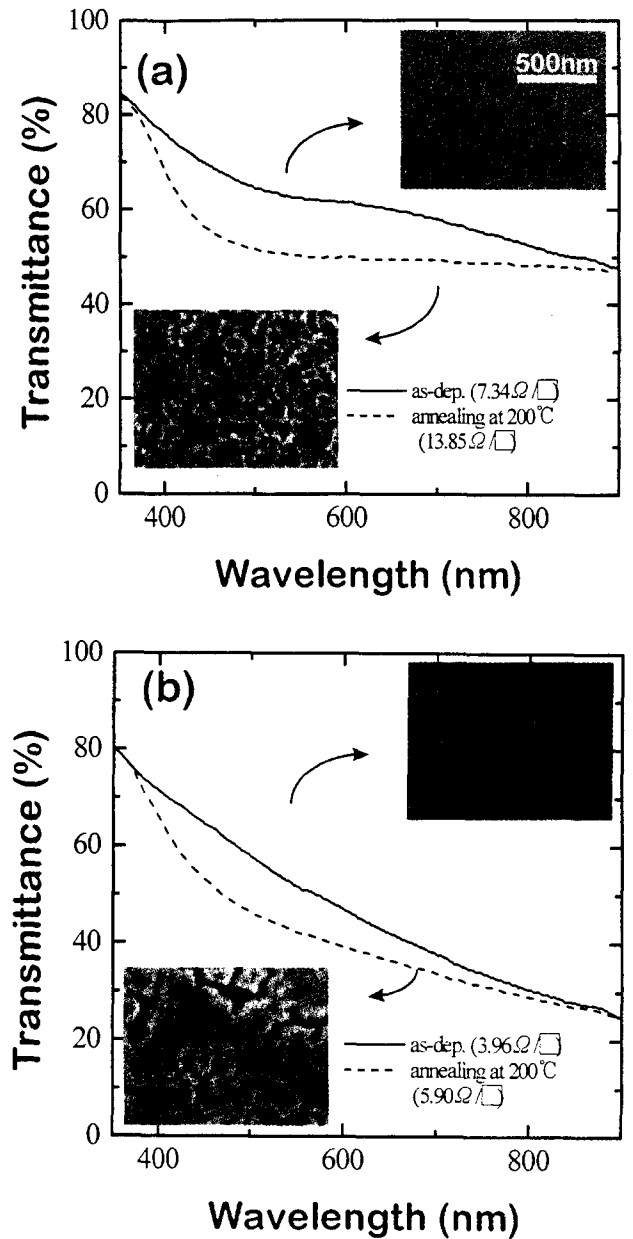


Fig. 9. SEM micrographs, optical transmission spectra and sheet resistance of Ag thin films deposited at 25°C and post-annealed at 200°C in vacuum. Deposition time of the films was (a) 50sec and (b) 70sec.

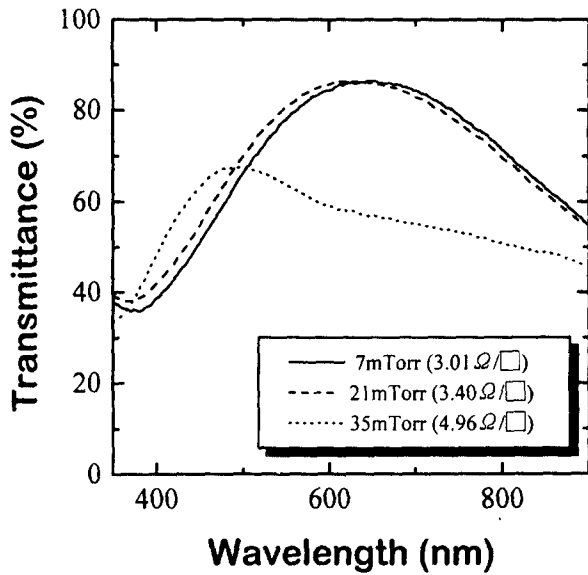


Fig. 10. Optical transmission spectra and sheet resistance of 600 Å/140 Å/600 Å multilayer films. Top ITO films was deposited at 7, 21, 35mTorr Ar pressure, while bottom ITO films was deposited at 7 mTorr.

박막을 각각 25 °C와 200 °C로 변화시키면서 증착한 뒤 다층막의 투과율 변화를 비교해보았다. 이것이 그림 8에 나타나 있다. 25 °C에서 상부 ITO 박막을 증착하였을 경우에 상당히 높은 투과율을 보여주는데, 이것은 초기에 증착한 Ag 층이 상부 ITO의 증착에 의한 영향을 받지 않아 그 특성이 유지되었기 때문에 가능한 것이다.

가열에 의한 Ag 박막 변화를 확실히 알아보기 위해 50 초와 70초간 증착한 박막을 진공중에서 200 °C 온도로 20 분간 열처리를 하였다. 그림 9에 열처리 전후의 막의 투과율을 변화를 나타내었다. 이것으로 아주 얇은 Ag 박막은 증착후 열처리에 민감한 영향을 받음을 확인할 수 있었다.

하부 ITO 박막의 증착 조건을 60W, 7mTorr로 고정시키고, 상부 ITO의 증착압력을 7~35mTorr로 바꾸어 보았다. 그림 10에서 보는 바와 같이 투과율을 비교해 봤을 때 7mTorr와 21mTorr 조건은 서로 비슷하고 35mTorr에서는 상당히 낮아졌다. 면저항을 비교했을 때도 35mTorr 조건이 상당히 높았다. 이것은 플라즈마의 밀도가 높아서 증착된 Ag 막에 상당한 손상을 주어 저항이 상당히 높아진 것이라 생각된다. 플라즈마에 의한 Ag막의 손상은 S. J. Nadel 등<sup>14, 15)</sup>에 의해 보고되었다.

#### 4. 결 론

RF/DC magnetron sputtering 장치를 이용하여 ITO/Ag/ITO 다층 구조의 초저저항 투명 전도막 제조하였다. 이때 증착된 ITO 박막은 가열증착한 경우 비저항이 낮았으며 증착조건에 따른 표면 형상의 변화는 없었다. Ag 박막은 5W 전력에서 70초간 증착하였을 때 충분히 높은 광투과율과 적절한 전기전도도를 나타내어 다층 구조에 적합하

였다. 기판을 가열하여 증착한 Ag 박막은 연속된 평활한 박막을 형성하지 못하여 광학적, 전기적 특성이 좋지 않았으므로 Ag 박막 증착시 기판을 가열하지 않는 것이 필수적이었다.

다층막의 광학적, 전기적 특성은 Ag 막의 증착상태에 지배적으로 영향을 받는데 ITO막 형성시 기판을 가열하여 증착할 경우 ITO막 자체의 비저항이 낮아져 비교적 우수한 전기적 특성을 얻었지만, 가열의 영향으로 Ag막에 변화가 일어나 광투과율이 감소하였다. 또한 플라즈마 등에 의한 Ag층의 손상이 일어남을 확인하였다. 공정 조건을 최적화시켜 제작한 다층막은 4 Ω/□ 이하의 면저항과 550nm 파장에서 85% 이상의 광투과율을 나타내었다.

#### 감사의 글

본 연구는 삼성전관 주식회사의 연구비 지원으로 이루어졌으므로 이에 감사를 드립니다.

#### 참고 문헌

1. H. Koh, K. Sawada, M. Ohgawara, T. Kuwata, M. Akatsuka and M. Matsuhiro, SID Dig. Tech. Papers., 19, 53 (1988)
2. T. Kamimori, J. Nagai and M. Mizuhashi, Sol. Energy Mater., 16, 27 (1987)
3. E. J. Gillham, and J. S. Preston, Pro. Phys. Soc., London, Sect. B 65, 649 (1952)
4. E. J. Gillham, J. S. Preston, and B. E. Williams, Phil. Mag., 46, 1051 (1955)
5. M. Higuchi, S. Uekusa, R. Nakano, K. Yokogawa, J. Appl. Phys., 74(11), 6710 (1993)
6. M. Higuchi, S. Uekusa, R. Nakano, K. Yokogawa, Jpn. J. Appl. Phys., 33, 302 (1994)
7. L. Davis, Thin solid Films., 236, 1 (1993)
8. B. S. Chiou, S. T. Hsieh, W. F. Wu, Appl Sur Sci., 74, 297 (1994)
9. W. F. Wu, B. S. Chiou, Thin Solid Films., 247, 201 (1994)
10. H. S. Park, and D. E. Day, Solar Energy Mat., 13, 351 (1986)
11. E. A. Allen, G. D. Scott, K. T. Thompson, and F. Veas, J. Opt. Soc. Am., 64, 1190 (1974)
12. J. L. Vossen, "Physics of thin films" Vol 9. pp. 4. Academic Press, New York., (1977)
13. 김진일, 김진현, 김영환, 오태성, 한국재료학회지, 5, 140 (1995)
14. S. J. Nadel J. Vac. Sci. Technol., A 5(4), 2709 (1987)
15. 이경준, 이진구, 박주동, 김진현, 김영환, 오태성, 한국진공학회지, 5, 147 (1996)