

## 디스플레이용 SiO<sub>2</sub>/ITO 투명전도막의 반사특성

신용욱 · 김상우<sup>†</sup> · 윤기현\*

한국과학기술연구원 나노재료연구센터

\*연세대학교 세라믹공학과

(2001년 11월 30일 접수; 2002년 2월 1일 승인)

## Reflection Properties of SiO<sub>2</sub>/ITO Transparent and Conductive Thin Films for Display

Yong-Wook Shin, Sang Woo Kim<sup>†</sup> and Ki Hyun Yoon\*

Nano Materials Research Center, KIST, Seoul 136-791, Korea

\*Department of Ceramic Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

(Received November 30, 2001; Accepted February 1, 2002)

### 초 록

CRT의 전면에 전자파차폐, 정전기 방지 및 저반사 효과를 위해 코팅되는 SiO<sub>2</sub>/ITO(Indium Tin Oxide) 이중박막의 반사특성에 관하여 연구하였다. 실리카층 및 ITO층의 두께를 변화시키며 나타나는 반사율의 경향을 고찰하고, 이론적인 2층, 3층 저반사코팅의 디자인에 적용시켜 보았다. 입자 상으로 코팅된 ITO는 두께가 증가할수록 기공에 의해 박막의 불균일성이 증가하면서 이론적인 반사모델과의 차이가 커졌다. 실리카와 ITO의 계면에 존재하는 혼합층의 영향으로 인하여, 실제측정반사율은 2층으로 디자인한 이론반사율보다 SiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>+ITO/ITO의 3층으로 디자인한 반사모델에 보다 잘 적용되었다. 이론적인 저반사 디자인을 근거로 SiO<sub>2</sub>/ITO 박막의 두께를 90, 65 nm로 조절한 이중막은 기준과장에서 2.5%의 반사율을 나타내었고, 가시광선 영역에서 이론반사율과 유사한 거동을 보였다.

### ABSTRACT

Reflection properties of SiO<sub>2</sub>/ITO (Indium Tin Oxide) thin films coated for electromagnetic shielding, anti-static and anti-reflection on the front surface in CRT were studied. The behavior of reflectance as a function of thickness of SiO<sub>2</sub>/ITO was investigated and applied to theoretical anti-reflection model of double layers and three layers. As the thickness of ITO layer increased, the deviation from theoretical value increased because uniformity of film deteriorated by pore. Because of the effect of mixed layer of SiO<sub>2</sub> and ITO, experimental reflectance showed better acceptance to the three layer antireflection model of SiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>+ITO/ITO than the two layer model. Based on the theoretical antireflection design, the double layer whose thickness of SiO<sub>2</sub> and ITO were 90, 65 nm, respectively appear 2.5% in reflectance at standard wavelength, 550 nm. This phenomenon was similar to theoretical reflectance in visual range.

**Key words :** CRT, SiO<sub>2</sub>/ITO, Reflectance, Antireflection

### 1. 서 론

저반사코팅은 광학용으로 제조되는 박막에서 가장 광범위하게 적용되고 있으며 최근에는 전자재료, 디스플레이 등에 이르기까지 그 중요성이 커지고 있다.<sup>1,2)</sup> 특히 CRT 모니터의 표면에서 발생하는 전반사는 고압의 전계에 의해 유발되는 전자파와 함께 사용자의 눈에 피로를 가중시켜 최근 중요한 문제로 대두되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 CRT의 표면에 가시광선영역에서 투광성을 갖는 다층박막을 형성시켜 반사를 억제하는 연구가 다양하게 이루어지고 있다.<sup>3,4)</sup> 다층박막에 의한 저반사코팅은 박막의 두께, 밀

도, 기공율, 굴절을 그리고 각 박막 계면간의 조도차에 의한 산란효과등 여러 가지 미세한 원인들에 의해 특성이 변화하는 것으로 보고되고 있다.<sup>5-12)</sup>

본 연구에서는 저반사를 위한 SiO<sub>2</sub>/ITO 투명전도막의 여러 가지 특성변화에 의해 나타나는 광학특성의 변화를 관찰하여 저반사코팅의 디자인을 위한 구성요소를 분석하고 이론적인 저반사코팅의 실제적인 적용가능성을 모색해 보았다.

### 2. 이론적 고찰

흡수가 무시되는 가정 하에서 다층막의 투과율(T)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

<sup>†</sup>Corresponding author : swkim@kist.re.kr

$$T=(1-R_1)(1-R_2)(1-R_3)(1-R_4)\dots\quad (1)$$

여기서  $R_i$ 는 각 계면에서의 반사를 나타낸다. 수직입사에 의해 다층막의 반사( $R$ )는 각 물질의 굴절율( $n$ ) 간의 함수관계로 표현된다.

$$R = r^2 = \left(\frac{n_0 - n_1}{n_0 + n_1}\right)^2 \quad (2)$$

Fig. 1은 이중막의 도식화된 구조를 나타낸다. 다층막의 경우 첫 번째 계면에서 반사되는 입사광선과 두 번째, 세 번째의 계면에서 반사되는 가시광선이 두께와 굴절율의 조합에 의해 서로 상쇄되면서 저반사 효과를 나타내는 원리를 가지고 있다. 다층박막에서 전체박막의 반사율은 각 층의 굴절율과 각 층간의 계면에서의 반사강도의 조합에 의해 구해질 수 있으며, 박막은 균일하고 평탄해야하고, 각 층에서의 흡수가 없다는 가정이 적용된다. 이런 가정을 근거로 이중막에서 반사율은 다음과 같은 식으로 표현된다.<sup>13)</sup>

$$r^{(2)} e^{i\epsilon(2)} = \frac{r_1 + r_2 e^{-i\Delta_1} + r_3 e^{-i(\Delta_1 + \Delta_2)} + r_1 r_2 r_3 e^{-i\Delta_2}}{1 + r_1 r_2 e^{-i\Delta_1} + r_1 r_3 e^{-i(\Delta_1 + \Delta_2)} + r_2 r_3 e^{-i\Delta_2}} \quad (3)$$

$$r_1 = \frac{n_0 - n_1}{n_0 + n_1} \quad r_2 = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \quad r_3 = \frac{n_2 - n_3}{n_2 + n_3} \quad (4)$$

$$\Delta_1 = \frac{4\pi}{\lambda} n_1 d_1 \quad \Delta_2 = \frac{4\pi}{\lambda} n_2 d_2 \quad (5)$$

$$e^{-i\Delta_1} = \cos\Delta_1 - i\sin\Delta_1 \quad (6)$$

여기서,  
 $r$ : Reflected amplitude at normal incidence(positive or negative)  
 $n$ : refractive index  
 $\Delta_i$ : Phase difference of due to the double passage through the layer  $i$

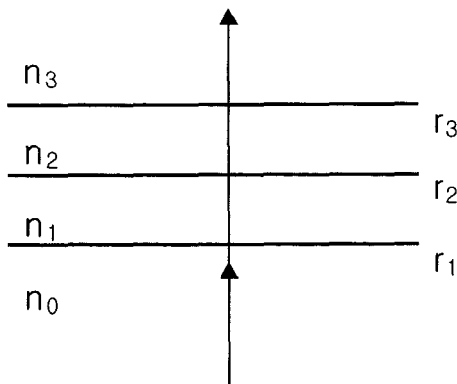


Fig. 1. Notation for a double layer.

$d$ : thickness of film

$\lambda$ : wavelength

$$R = |r^{(2)} e^{i\epsilon(2)}|^2 \quad (7)$$

$$r^{(2)} e^{i\epsilon(2)} = \frac{r_1 + r_2 \cos\Delta_1 + r_3 \cos(\Delta_1 + \Delta_2) + r_1 r_2 r_3 \cos\Delta_2}{1 + r_1 r_2 \cos\Delta_1 + r_1 r_3 \cos(\Delta_1 + \Delta_2) + r_2 r_3 \cos\Delta_2} - \frac{i\{r_2 \sin\Delta_1 + r_3 \sin(\Delta_1 + \Delta_2) + r_1 r_2 r_3 \sin\Delta_2\}}{-i\{r_1 r_2 \sin\Delta_1 + r_1 r_3 \sin(\Delta_1 + \Delta_2) + r_2 r_3 \sin\Delta_2\}} \quad (8)$$

위 식으로부터 이중막의 반사율을 이론적으로 계산할 수 있으며, 실험적으로 얻어진 박막의 두께를 관찰하여 반사율을 예측할 수 있게 된다.<sup>13)</sup>

### 3. 실험방법

#### 3.1. ITO 용액의 제조

ITO의 원료분말의 평균입도는 약 30~40 nm이며 Sn이 7 atom% 함유되어 있다. 용매로는 99.9% 순도의 에틸알코올(Carlross abar, USA)을 사용하였다. ITO 원료분말에 에탄올을 혼합하여 ITO의 전체무게 분율이 5 wt%가 되는 ITO 분산용액을 제조하였다. 이렇게 혼합된 용액을 초음파분쇄기(cole/palmer, USA)를 이용하여 3분간 처리해주었다. 균일한 입도의 형성과 분산제의 혼합을 위해 제조된 용액을 12 시간 동안 밀링하였다. 제조된 용액은 0~4°C에서 냉장보관함으로써 안정성을 유지하였다.

#### 3.2. 실리카 오버코팅 용액의 제조

TEOS(Tetra Ethyl Ortho Silicate, Wako, Japan), 에탄올, 물 그리고 촉매의 양을 조절하여 실리카 졸을 제조하였다. TEOS와 에탄올을 무게 비 3:1로 혼합한 뒤 40°C에서 2시간 동안 유지하여 안정화 시켰다. TEOS 용액의 코팅특성을 높이기 위해 에탄올과 이소프로필알코올, 부탄올, DIwater을 혼합한 용매를 제조하였다. 이렇게 제조된 혼합 용매에 초기 제조되어 보관된 TEOS 용액을 다시 첨가하고 2시간동안 수화반응을 시켜 실리카 오버코팅용액을 완성하였다. 완성된 용액은 제습장치(microdry, Seilieco, Korea)내에서 보관하여 수분과의 반응에 의한 졸의 특성변화를 최대한 억제하였다.

#### 3.3. 용액의 코팅 및 열처리

코팅을 위한 기판으로는 100 × 100 mm의 소다석회유리를 사용하였다. 먼저 코팅 전에 기판을 오븐에서 40°C로 승온시켜 보관하였다. 코팅은 스펀코팅방법(WS-400-8NPP -Lite, Lourell, USA)을 이용하였다. 40°C로 유지된 기판을 스펀코팅기에 올려놓고 먼저 150 rpm으로 회전시키며 7~8 cc의 ITO 용액을 코팅한 뒤 약 80초간 유지한 뒤 다시 실리카 오버코팅용액을 같은 방법으로 코팅한 뒤 약 80초간 회전

을 유지한 뒤 정지시켰다.

제조된 기판을 오븐에서 열처리하였다. 열처리하는 대기 중에서 4°C/min의 승온속도로 180°C까지 온도를 상승시킨 뒤 180°C에서 30분간 유지하고 다시 4°C/min로 상온까지 온도를 내렸다.

3.4. 광학특성

SiO<sub>2</sub>/ITO 이층막의 광학특성을 관찰하기 위해 시편을 20 × 20 mm의 크기로 절단하고, 에탄올로 세척한 뒤 UV-VIS(Lambda19, PerkinElmer, USA)를 이용하여 400~700 nm의 가시광선 영역에서 반사율을 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. SiO<sub>2</sub>/ITO 이층막의 이론적 반사율

이층막의 반사율 공식(식 7,8)으로부터 SiO<sub>2</sub>/ITO 이층막의 반사율을 최저로 하기 위해 가장 적합한 각 층의 두께와 굴절율을 모색하였다. 일반적으로 저반사코팅이란 가시광선 영역 중 인간의 눈에 가장 민감한 파장으로 알려져 있는 550 nm에서 최저점을 갖는 반사율의 경향을 말한다. 따라서 SiO<sub>2</sub>/ITO 이층막에서의 저반사코팅을 위한 디자인에서도 550 nm에서의 반사율을 해당막의 기준 반사율로 설정하는

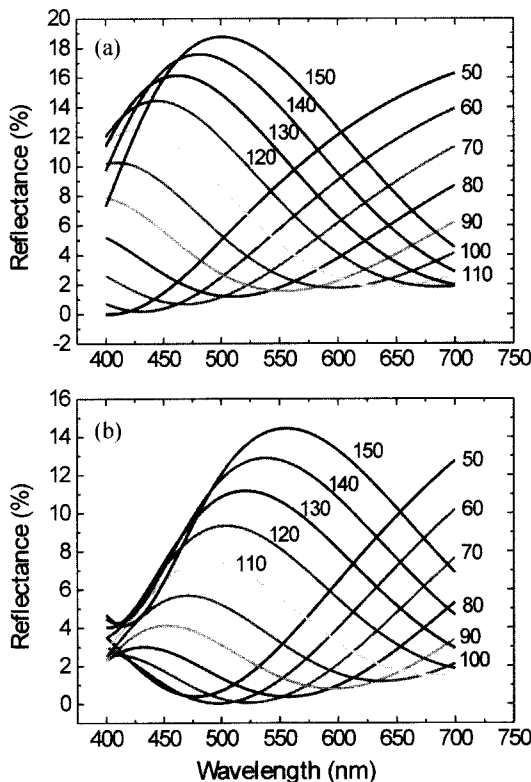


Fig. 2. Theoretical reflectance as thickness of SiO<sub>2</sub> and ITO of (a) 80 nm, (b) 100 nm.

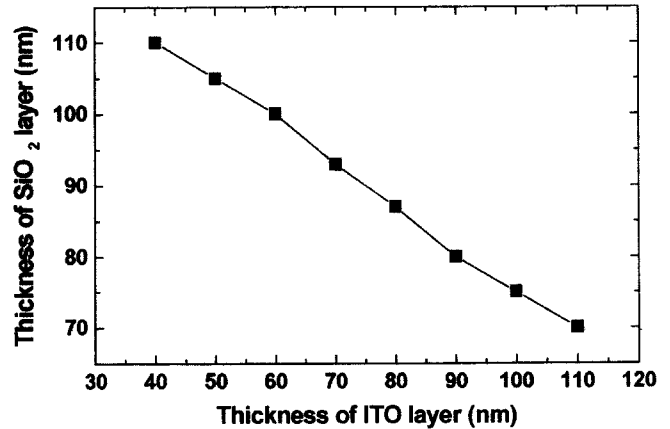


Fig. 3. Thickness of SiO<sub>2</sub> layer with minimum reflectance as thickness of ITO layer by theoretical calculation.

것이 일반적이다. Fig. 2는 ITO 층의 두께를 80~100 nm로 변화시키며 각각의 ITO 층의 두께를 일정하게 고정한 뒤 실리카층의 두께를 50~150 nm로 변화시키며 400~700 nm의 가시광선영역에서 이론적으로 계산된 반사율을 나타내었다. 실리카막의 두께가 두꺼워짐에 따라 가시광선 영역에서 반사율의 최저점이 장파장 쪽으로 변화되고 있다. Fig. 3은 ITO층의 두께에 따라 최저의 반사율을 갖는 실리카의 두께를 보여주고 있다. ITO 층의 두께가 점차 증가함에 따라 최저반사율을 갖는 실리카층의 두께는 점차 얇아지고 있음을 알 수 있다. ITO 층의 두께가 120 nm 이상으로 두꺼워지는 경우에는 기준파장에서 최저 반사율을 갖는 실리카층의 두께를 결정하기 어려웠으며, 전 가시광선영역에서 저반사율을 나타내는 이층막의 구성이 불가능함을 알 수 있다. 또한 ITO 층의 두께를 일정하게 고정시키는 경우, 기준파장에서 최저반사율을 갖기 위해서 실리카층의 두께를 정확하게 조절해야 한다. Fig. 4는 ITO의 두께를 70 nm로 고정시키

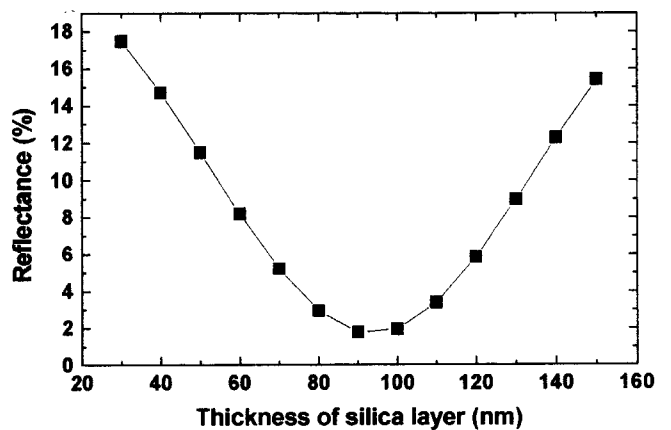


Fig. 4. The change of reflectance with thickness of silica layer at 550 nm in wavelength.; thickness of ITO is 70 nm by theoretical calculation.

는 것을 가정하고 실리카층의 두께에 따른 기준파장 550 nm에서 반사율의 변화를 나타낸 그래프이다. ITO층의 두께가 70 nm일 때 550 nm 파장에서 최저반사율을 갖는 실리카의 두께는 약 90 nm 정도이다.

4.2. ITO의 두께에 따른 반사율 변화

Fig. 5는 ITO층의 두께와 실리카층의 두께를 변화시키며 형성된 SiO<sub>2</sub>/ITO 이층막의 단면미세구조를 나타낸 그림이

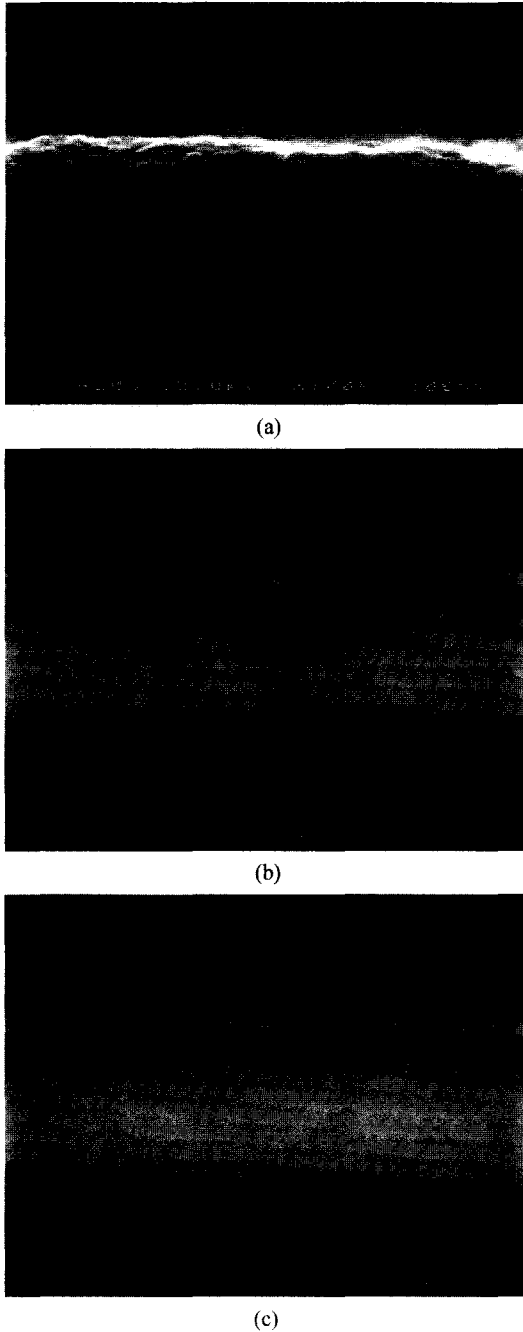


Fig. 5. Microstructure of SiO<sub>2</sub>/ITO layers as thickness; (a) 128 nm, (b) 213 nm, (c) 247 nm.

다. ITO층의 두께변화를 위해 코팅횟수를 변화시켰으며 (b),(c)에서는 실리카층을 일정하게 코팅하였다. ITO의 코팅 횟수에 따라 두께는 일정하게 증가하고 있으며 실리카층의 두께는 약간 감소하였다. 이는 ITO층이 일정한 기공을 가지고 있으며 1차 코팅된 ITO위에 2차로 코팅되는 실리카 용액의 일부가 ITO의 기공내로 들어가고 있음을 보여주는 것이다. SEM 관찰결과 SiO<sub>2</sub>와 ITO의 계면은 ITO의 다공성특성 때문에 상당히 거칠게 나타난다. 따라서 Fig. 6의 AES 관찰결과에도 나타나듯이 실리카층과 ITO층의 계면에는 두 성분이 혼합되는 영역이 존재하게 된다.

Fig. 7은 Fig. 5에서 미세구조를 관찰한 박막의 반사특성을 측정된 결과이다. (A)에서는 실험적으로 측정된 데이터를 보여주고 있으며, (B)에서는 박막의 두께를 미세구조로부터 대입하고, ITO와 실리카 그리고 유리기판의 굴절율을 각각 1.7, 1.45, 1.54로 대입하여 이론적으로 계산하였다. 박막의 반사율은 ITO 단층막의 경우 약 10%를 나타내다가 SiO<sub>2</sub>/ITO의 다층막에서는 7~8%이하로 감소하였다. 다층막 중에서도 ITO의 두께가 실리카의 두께보다 두꺼웠던 (c)에서 가장 낮은 반사율을 나타내어서 앞선 이론적으로 예측했던 결과를 잘 증명해 주었다. 그러나 이론적인 반사율과 비교해본 결과 박막의 두께가 두꺼워질수록 실제측정값과의 차이가 커지고 있음을 확인할 수 있었다. 이는 박막의 두께가 두꺼울수록 이론적인 계산에서 제외되었던 박막의 흡수가 발생하고, 실리카와 ITO의 계면에서 ITO층의 기공에 의

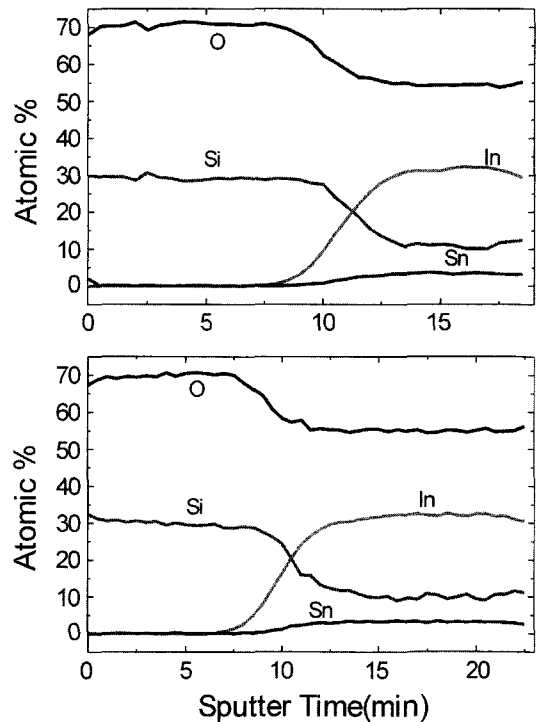


Fig. 6. Depth profile of SiO<sub>2</sub>/ITO by AES: the thickness of ITO are (a) 213 nm, (b) 247 nm.

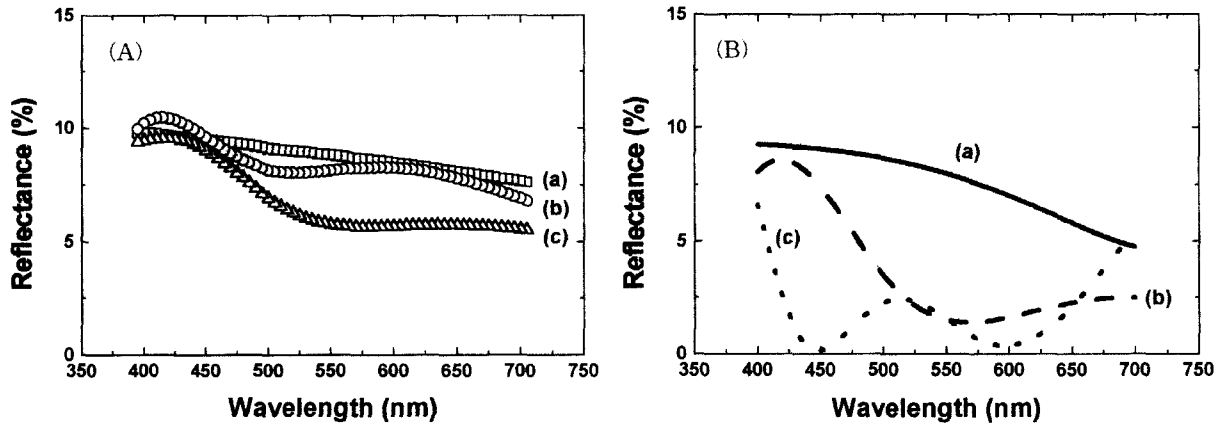


Fig. 7. The change of reflectance as thickness of SiO<sub>2</sub>/ITO double layers; (a) ITO one layer (128 nm), (b) SiO<sub>2</sub>/ITO (213 nm), (c) SiO<sub>2</sub>/ITO (247 nm); (A) experimental data, (B) theoretical data.

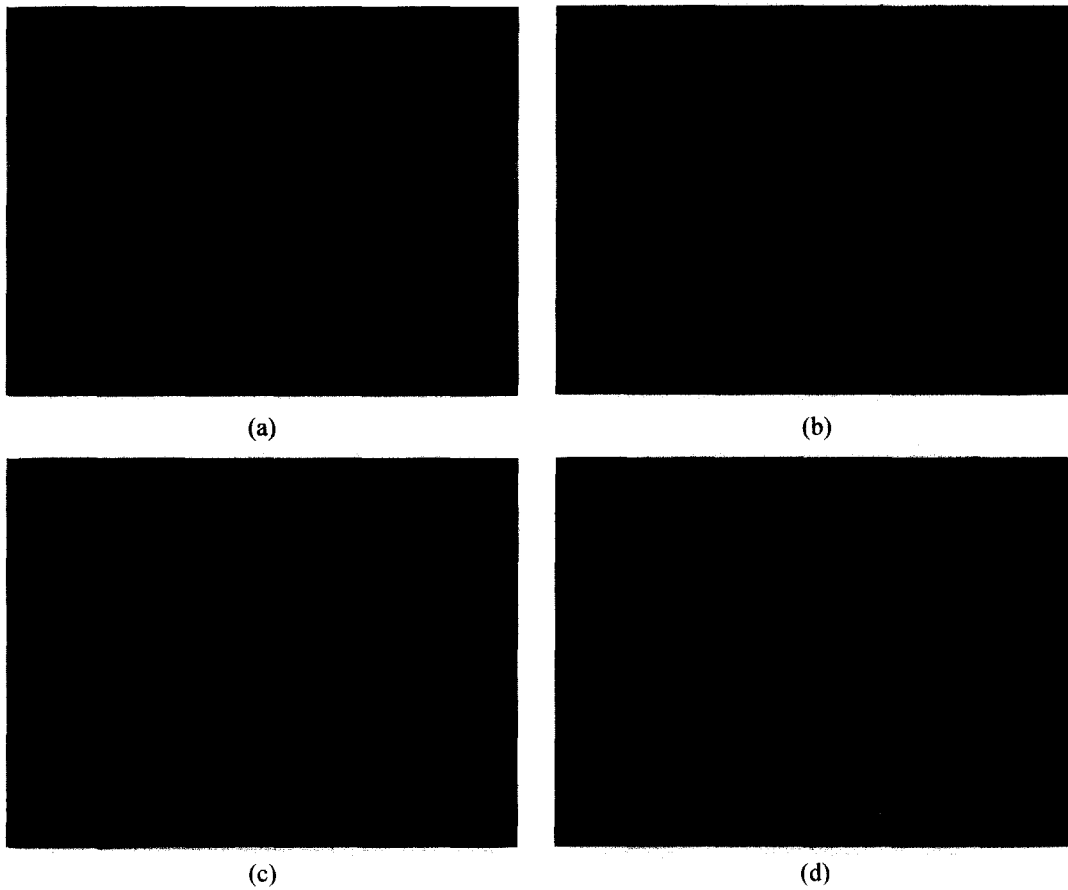


Fig. 8. Reflectance of SiO<sub>2</sub>/ITO double layers with different SiO<sub>2</sub> thickness; (a) experimental, (b) theoretical data.

해 두 성분이 부분적으로 혼합되어 있어 이론적 만큼의 계면 반사가 발생하지 못하기 때문이라고 판단된다.

4.3. SiO<sub>2</sub>의 두께에 따른 반사율 변화

SiO<sub>2</sub>/ITO 이중막에서 실리카의 두께 변화에 따른 반사율

의 거동을 살펴보고자 하였다.

Fig. 8은 실리카의 두께를 변화시키며 제조된 SiO<sub>2</sub>/ITO 이중막의 단면미세구조를 SEM을 통하여 관찰한 그림이다. 실리카층의 두께는 코팅용액의 농도를 조절하여 제어하였다. 제조된 이중막에서 실리카층은 각각 0, 30, 60, 90 nm의

두께를 나타내었으며, 각각의 시편에서 실리카층의 두께 변화와 관계없이 ITO층은 유사한 두께를 유지하고 있지만 실리카와 ITO의 계면의 불균일성이 나타나서 두 성분의 혼합층의 존재를 하고 있음을 판단할 수 있다.

Fig. 9에 Fig. 8에서 관찰하였던 각각의 이층막에 대한 반사율을 가시광선 영역에서 측정하였다. 550 nm의 기준파장에서 비교할 때 실리카층이 없는 ITO 단층막보다 실리카의 두께가 30 nm로 입혀진 SiO<sub>2</sub>/ITO 이층막의 반사율이 더 크게 나타났다. 실리카의 두께가 60, 90 nm로 두꺼워지면서 반사율은 점차 낮아지고 있다. Fig. 10(a)는 SiO<sub>2</sub>/ITO의 계면 혼합층의 존재를 무시하고 균일한 계면을 형성하고 있다는 가정 하에 그려진 이론적인 반사율 그래프이고, Fig. 10(b)는 SiO<sub>2</sub>와 ITO의 계면에 혼합층의 존재를 감안하여 30 nm 두께를 가지며, 실리카와 ITO의 굴절율은 앞선 2층막에서의 계산과 동일한 값을 적용하고, 혼합층의 굴절율은 두 층의 평균값을 갖도록 대입하여 SiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>+ITO/ITO 3층막에 대한 이론적 반사율을 나타낸 그래프이다. 실제 측정반사율과의 비교 결과 실리카의 두께가 얇은 박막에서 실제 데이터 값과의 차이가 크게 나타났다. 이론 반사율에서는 가시광선 영역에서 반사율의 변화가 직선적으로 변화하지만 측정데이터에서는 다층막에서의 반사율 경향처럼 기준파장 영역에서 반사율이 낮아지는 거동을 보였다. 또한 측정데이터 중 실리카의 두께가 30 nm였던 이층막은 ITO 단층막의 반사율보다 더 큰 값을 보여 이론적인 반사율의 거동과 큰 차이를 나타냈다. 실리카의 두께가 90 nm인 이층막은 기준파장에서 2.5%의 반사율을 나타내었으며, 이론 반사율과 유사한 거동을 나타내었다.

ITO 단층막은 Fig. 8에서 볼 수 있듯이 매우 거친 표면을 가지고 있다. 따라서 이론적인 반사율을 정의하기 위해 가정되는 매우 균일한 계면으로 정의할 수 없다. 이렇게 거친 표면은 실제로 단층막이라기보다는 다층막의 특성에 근

접할 것으로 판단된다. Fig. 9에서 나타난 반사율의 측정대어터는 이러한 예상에 잘 부합된다. 거친 표면을 가지고 있는 ITO 단층막은 다층막에서처럼 기준파장에서 반사율이 낮아지는 거동을 보이게 된다. 이론반사율에 대한 고찰 결과 실리카의 두께가 30, 60 nm인 이층막은 가시광선 영역에서 반사율의 최저점을 가질 수 없다. 그러나 실제 측정결과 반사율의 가시광선 영역 내에서 반사율의 최저점을 나타내고 있다. 이것은 실리카의 두께가 매우 얇은 경우, 실리카와 ITO의 혼합 계면에 의한 효과가 전체 박막의 반사거동을 지배하고 있기 때문으로 판단된다. 이러한 사실은 SiO<sub>2</sub>/ITO 2층에 대한 이론그래프보다 SiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>+ITO/ITO 3층으로 가정하여 계면층을 독립된 박막으로 생각한 이론그래프가 실제 측정된 실리카 90 nm의 그래프와 최저반사율 및 가시광선영역에서의 반사거동에서 보다 유사한 경향을 가지는 것으로 확인할 수 있었다. 따라서 입자상으로 코팅되는 실리카와 ITO의 다층박막의 저반사 디자인에서 두 성분이 혼합된 계면의 존재를 반드시 적용시켜야함을 알 수 있다.

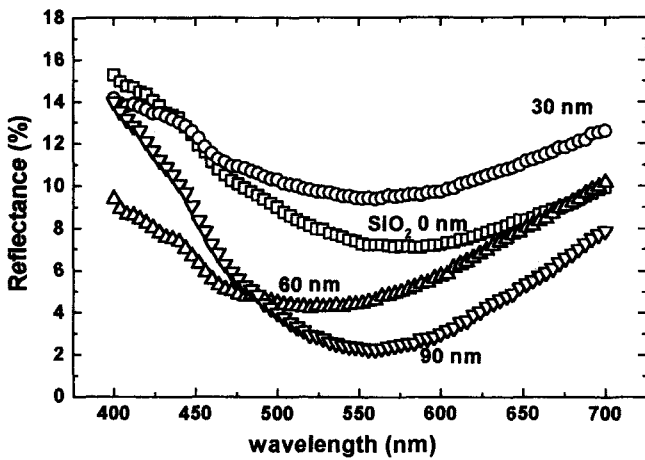
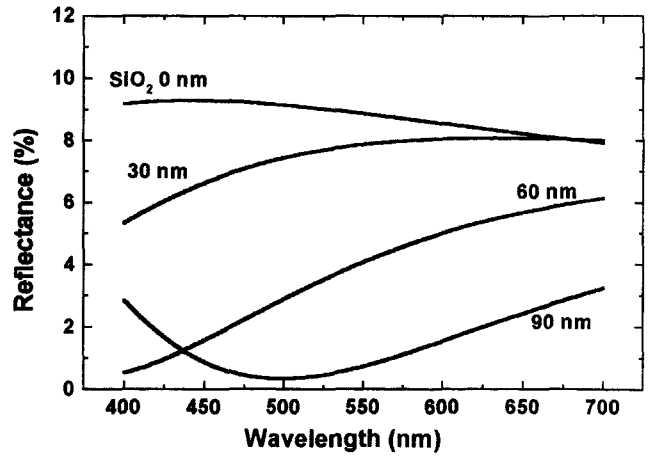
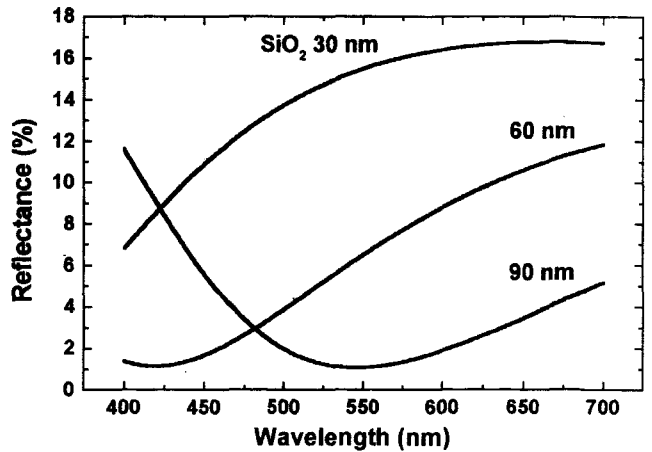


Fig. 9. Experimental reflectance of SiO<sub>2</sub>/ITO double layers with different SiO<sub>2</sub> thickness.



(a)



(b)

Fig. 10. Theoretical reflectance of (a) SiO<sub>2</sub>/ITO double layers and (b) SiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>+ITO/ITO three layers.

## 5. 결 론

CRT브라운관에서 전자파차폐, 정전기 및 반사방지의 역할을 하는 SiO<sub>2</sub>/ITO 이층막의 반사율특성에 대해 연구하였다. 이론적 계산에 의해 ITO층의 두께가 110 nm일 때 까지는 최저반사율을 갖는 실리카의 두께가 계속 감소하였고, ITO층의 두께를 70 nm라고 가정할 때 기준파장인 550 nm에서 최저의 반사율을 갖는 실리카의 두께는 90 nm 내외임을 알 수 있었다. 실제 반사율 측정결과 ITO층의 두께가 두꺼울수록 내부의 기공 증가에 의해 이론적인 계산에서 제외되었던 흡수가 발생하고, 실리카와 ITO의 계면에 두 성분이 부분적으로 혼합되어 있어, 이론적 수치만큼의 계면 반사가 발생하지 않아 측정데이터와 이론적 값 사이의 차이가 크게 나타났다. 또한 실리카층의 두께를 변화시키며 관찰해 본 결과 실리카와 ITO의 혼합영역을 독립된 층으로 가정하여 SiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>+ITO/ITO의 3층 박막으로 이론적인 디자인을 하였을 때 실제 측정값에 더욱 근접한 것으로 나타나, 박막의 반사율은 두 성분의 혼합계면에 의해 영향을 받으며 저반사디자인에 있어서 이러한 혼합 계면의 존재를 적용시켜야 함을 알 수 있었다. 이론적인 저반사 디자인을 바탕으로 실리카와 ITO의 두께를 각각 90, 65 nm로 제조한 이층막은 기준파장에서 2.5%의 반사율을 나타내었으며, 이론반사율과 유사한 거동을 가지고 있음을 확인하였다.

## REFERENCES

1. H. K. Pulker, Coating on Glass, Elsevier, 1996.
2. James D. Rancourt, Optical thin films, MacMillan Publishing Company, 1987.
3. Y. W. Shin, S. W. Kim, Y. B. Son and K. H. Yoon, "The Characterization of Electromagnetic Shielding of SiO<sub>2</sub>/ITO Nano Films with Transition Metal Ions," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **38** [1] 15-21 (2001).
4. Y. S. Kim, Y. S. Jun and S. S. Kim, "Fabrication of Indium Tin Oxide(ITO) Transparent Thin Films and Their Microwave Shielding Properties," *Kor. J. Mat. Res.*, **9** [11] 1055-61 (1999).
5. B. E. Yoldas and D. P. Partlow, "Formation of Broad Band Antireflective coatings on Fused Silica for High Power Laser Applications," *Thin Solid Films*, **129** 1-14 (1985).
6. C. J. Brinker and M. S. Harrington, "Sol-gel Derived Antireflective Coatings for Silicon," *Soler. Energy Mat.*, **5** 159-65 (1981).
7. H. Hanaoka, O. Ito, K. Kaneko and H. Kondo, "Thin Coating of Anti-smudge Layer for AR Film on CRTs," *SID98 DIGEST*, 258-63 (1998).
8. B. E. Yoldas, "Investigations of Porous Oxides as an Antireflective Coating for Glass Surfaces," *Appl. Opt.*, **19** [9] 1425-29 (1980).
9. C. Amra, G. Albrand and P. Roche, "Theory and Application of Antiscattering Single Layers: Antiscattering Antireflection Coatings," *Appl. Opt.*, **25** [16] 2695-2702 (1980).
10. J. H. Lee and S. Y. Choi, "Preparation and Characterization of Alumina Thin Film by Sol-gel Method," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **32** [1] 57-62 (1995).
11. S. H. Min, K. Hong and B. H. Kim, "Preparation and Characterization of Al-doped ZnO Transparent Conducting Thin Film by Sol-gel Processing," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **33** [2] 149-54 (1996).
12. C. L. Nagendra and G. K. M. Thutupalli, "Three-layer Antireflection Coatings: a New Method for Design and Optimization," *Appl. Opt.*, **22** [24] 4118-26 (1983).
13. H. Anders, Thin Films in Optics, The Focal Press, 1967.