

## 분광타원법을 이용한 PDP용 ITO 박막의 패턴 분석

윤희삼 · 김상열<sup>†</sup>

이주대학교 분자과학기술학과

☎ 442-749 경기도 수원시 팔달구 원천동 산5번지

(2003년 3월 17일 받음, 2003년 5월 12일 수정본 받음)

분광타원법을 이용하여 PDP용 ITO 박막의 광학상수 및 패턴을 분석하였다. ITO 박막의 광물성은 로렌즈 진동자 모델을 사용하고 ITO의 패턴에 의한 효과는 전체빔이 ITO와 유리기층을 덮는 면적비 가중치를 가진 반사율 평균방법으로 반영시켰다. PDP 다층박막을 구성하고 있는 유리기층 위의 ITO 박막 패턴이 타원데이터에 미치는 영향을 분석하여 ITO가 패턴에서 차지하는 면적비를 결정하였다. 측정된 분광타원데이터에 최적맞춤한 ITO의 상대면적값이 예측값과 보이는 차이를 검토함으로써 분광타원법을 사용한 ITO 패턴분석의 한계와 이를 극복하는 방법을 제시하였다.

주제어 : ITO, complex refractive index, ITO film coverage, two Lorentz oscillators, spectroscopic ellipsometry.

### I. 서 론

정보화시대, 멀티미디어 시대의 핵심 영상표시소자로서 평판 디스플레이에 거는 기대는 매우 크다. 평판 디스플레이 분야에서는 최종목표의 하나인 벽걸이 TV 시장을 장악하기 위해 LCD(Liquid Crystal Display), PDP(Plasma Display Panel), EL(Electroluminescence)등의 패널 방식이 서로 경합을 벌이고 있다. 그 중에서 LCD는 가장 완성도가 높은 평판 패널로써 PC용을 위주로 하여 시장을 급격히 확대시켜 왔으나 대화면에 있어서 한계를 보이고 있어 다른 방식의 표시 장치에 대한 관심이 집중되고 있다. 미소 셀 방전으로 자외선을 발생시켜 형광체를 발광시키는 PDP는 CRT(Cathode Ray Tube)나 LCD에서는 실현하기 어려운 40인치 이상의 대화면의 구현이 용이하여 향후 대화면 벽걸이 TV로서 기대를 받고 있으며 각 업체별로 본격적인 양산화 단계에 접어들었으나<sup>1)</sup> 저전력소모, 생산비저감, 수율증대 등을 통한 개선의 여지가 많으며 이를 위한 연구는 활발히 진행되고 있다.

PDP는 하나의 셀이 하나의 화소를 이루고 있어 셀은 PDP의 가장 기본적인 구성요소라 말할 수 있다. 이러한 PDP 셀을 구성하는 박막의 분석에는 여러 가지 방법이 있으나 매질에 따른 제약을 받지 않으며 측정동안에 시료에 영향을 주지 않는 등의 장점을 가지고 있는 타원법이 실제 공정에서 큰 주목을 받고 있다.

분광타원법을 이용한 PDP 박막의 분석에 있어서 PDP를 구성하고 있는 하나의 부분인 ITO는 패턴으로 되어 있으므로 패턴에 의한 효과의 연구는 당연하다. 이를 위해서 타원법을 이용하여 ITO패턴의 물성분석을 할 때 조사되는 빔의 크기를 충분히 작도록 하여 그 전체 빔이 측정하려는 하나의 물질(ITO 또는 유리기층)에만 놓이게 하는 방법이 있으나 빔의 크기를 너무 작게 하면, 한편으로는 측정 빔을 필요로 하는 위

치에 정렬하기가 어려워지고 다른 한편으로는 원하는 S/N 비를 유지하기 위해 측정시간을 매우 길게 잡아야하는 어려움이 따른다. 따라서 빔 크기를 줄이지 않고 전체 빔이 두 가지 물질을 덮었을 때 분광타원법을 사용한 분석방법이 요구된다. 이러한 분석방법을 통하여 빔에 조사된 패턴에서 각 물질이 가지는 전체 빔에 대한 상대면적을 결정할 수 있다.

### II. PDP의 기본구조 및 타원법

PDP는 그림 1과 같이 2장의 유리기판 사이에 가스 방전현상이 일어나는 수많은 형광체방이 존재하는 기본구조를 가지고 있는데, 2장의 유리기판은 0.1 mm의 간격을 유지하고 있다. 내부에는 불활성기체를 주입하는데 전압을 가해주면 기체의 방전현상이 일어나게 되고, 이때 자외선이 발생한다. 이 자외선은 반대측 유리기판 및 격벽측면에 있는 R, G, B 형광체에 조사되어 가시광을 발생시키고 이 빛을 조합하면 필요한 화상이 구현된다. 본 연구에서는 투명전극으로 이용되는 ITO패턴에 의한 분광타원데이터 분석을 통하여 패턴이 차지하는 상대면적을 결정하였다.

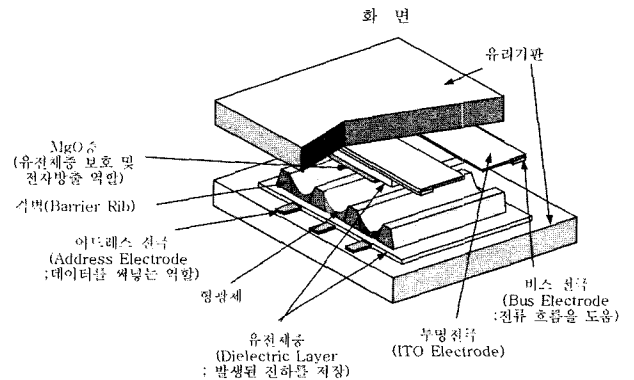


그림 1. PDP의 구조.

<sup>†</sup>E-mail: sykim@ajou.ac.kr

빛은 전자기과의 일종으로 반사, 굴절, 간섭 그리고 회절 등 파동으로써의 여러 가지 특성을 가지고 있다. 타원법은 빛의 파동성 중에서 특히 편광상태의 제어 및 측정에 기초하고 있다. 임의의 표면에서 반사한 빛의 편광상태 변화는 입사면과 나란하게 진동하는 p파의 프레넬 반사계수  $R_p$ 와 입사면에 수직으로 진동하는 s파의 프레넬 반사계수  $R_s$ 의 비로 다음과 같이 나타낼 수 있다.<sup>[2,3]</sup>

$$\rho = \frac{R_p}{R_s} = \tan \Psi e^{i\Delta} = f(n, k, d, \lambda, \Phi) \quad (1)$$

매질, 박막 그리고 기층으로 이루어진 3상계의 경우  $\Psi, \Delta$ 는 매질, 박막, 그리고 기층의 광학상수인 굴절률  $n$ , 소광계수  $k$ , 박막의 두께  $d$ , 입사광의 파장  $\lambda$ , 그리고 입사각  $\Phi$ 의 함수이다. 3상계 시료에서  $\Psi, \Delta$ 의 측정 및 분석을 통하여  $n, k, d$ 들을 결정할 수 있지만 식 (1)의 역방계산은 대개 수치해석적

인 방법에 의존해야 하므로 컴퓨터의 도움을 받게 된다. 실제 타원데이터를 모델링 분석할 때에는 시료의 광학적 모델변수들을 변화시키며 계산한  $\Psi, \Delta$  스펙트럼을 측정된  $\Psi, \Delta$  스펙트럼에 최적맞춤시키는 과정을 통하여 굴절률 분산계수와 박막의 두께 등 광학적 모델변수들을 결정하게 된다.

### III. 분광타원 측정 및 최적맞춤

본 연구에서는 위상변조방식의 분광타원계(Jovin Yvon, UVISEL)를 사용하여 분광타원 측정을 하였다(그림 2). 위상변조방식의 타원법에서는 편광자의 방위각과 검광자의 방위각을 고정하고 위상지연각을 변조시켜 위상변조주파수의 고조파 세기를 측정하여 타원상수  $\Delta$ 와  $\Psi$ 를 구한다.<sup>[4]</sup> 패턴에 의한 효과를 측정하기 위해 200 마이크로인의 직경을 가진 측정 빔이 ITO패턴 위에서 원하는 간격으로 미세하게 위치를 이동할 수 있도록 마이크로미터가 달린 시료이송장치를 장착하였고 CCD 카메라를 장착하여 ITO패턴 위에서 측정 빔의 위치를 확인하였다(그림 2).

그림 3은 크기가 200 마이크로인 빔으로 ITO패턴이 있는 시료를 횡 방향으로 10 마이크로씩 이동하면서 한 주기 스캔할 때의 패턴모양에 대한 빔의 상대적 위치변화를 보여준다. s105는 빔이 유리만, s-105는 빔이 ITO만 조사할 때의 위치를 표시하고 s095, s085, s075, s065, s055, s045, s035, s025, s015, s005, s-005, s-015, s-025, s-035, s-045, s-055, s-065, s-075, s-085, s-095는 순차적으로 10 마이크로씩 이동하면서 유리 및 ITO를 함께 조사할 때의 빔의 위치를 표시한다. 시료표면에서의 측정 빔 모양은 그림 3과 같이 타원인데 b는 타원의 단반경을 표시하고 k는 좌표축의 원점을 ITO와 유리 기층의 경계선상에 잡고 ITO패턴의 횡 방향을 x축으로 하였

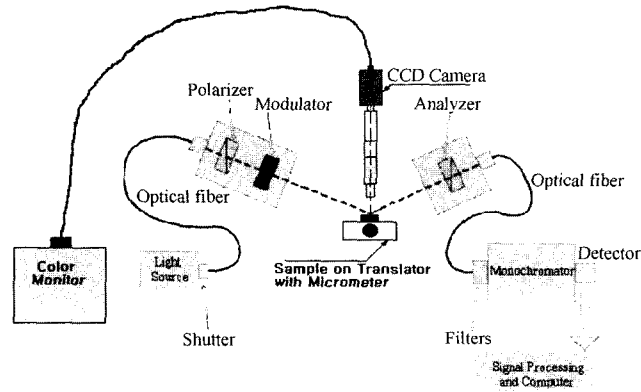


그림 2. 시료이송장치와 CCD 카메라가 부착된 위상변조방식의 분광타원계.

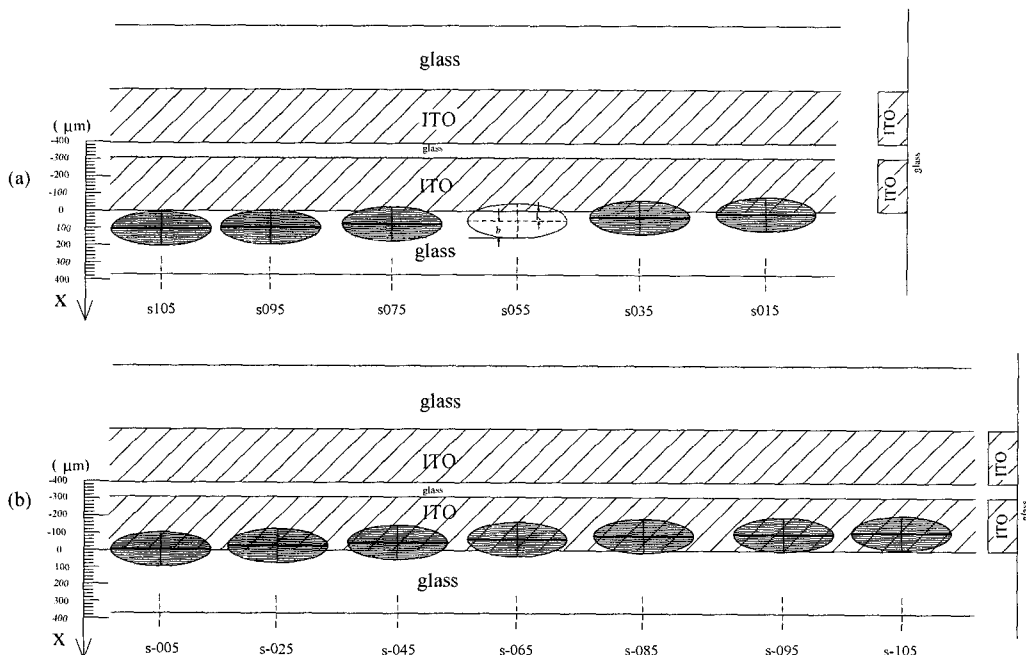


그림 3. 빔 스캔에 의한 분광타원데이터 측정 설명도.

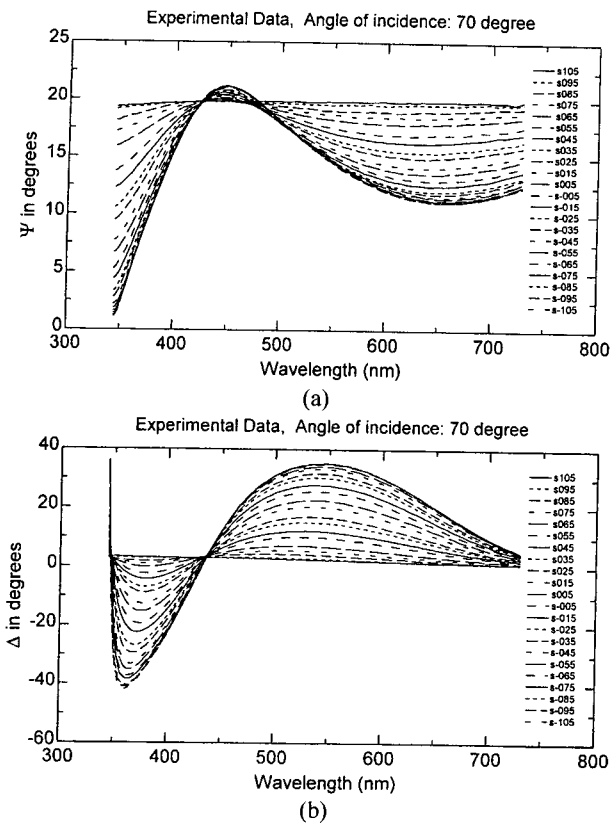


그림 4. 직경이 200 마이크로 되는 측정 빔으로 ITO 패턴을 10 마이크로 간격으로 이동하며 얻은 타원상수 스펙트럼 (a)  $\Psi$ 와 (b)  $\Delta$ .

을 때의 타원중심의 좌표이다. 여기서는  $k/b$ 로써 측정 빔이 패턴에서 차지하는 상대위치를 표시한다. 그림 4는 측정 빔 위치에 따르는 타원상수 측정데이터의 변화를 보여준다. 사용된 분광타원계의 측정파장대역은 280~1770 nm이지만 본 연구에서 사용된 빔의 직경은 200 마이크로이기 때문에 각 파장당 측정시간을 최대시간인 10000 ms으로 하여도 측정파장대역의 가장자리 부근에서는 신호대 잡음비가 나빠진다. 이에 따라 파장대역 340~730 nm의 분광타원데이터만 분석에 사용하였다. 빛이 시료에 입사할 때의 입사각은 70도로 하였다. 빔에 의해 조사되는 유리기층 면적과 전체 빔 면적의 비를 식 (2)와 같이 표현하면 측정 빔의 위치에 따른 가중치  $\chi$ 의 변화는 표 2와 같다. 이 예측값은 ITO패턴에 의한 분광타원데이터 분석에서 전체 빔에 대해 유리기층이 가지는 상대면적 최적맞춤값의 정확도를 검토할 때 사용된다.

$$\chi = \frac{S_G}{S_G + S_I} \quad (2)$$

여기서  $S_G$ ,  $S_I$ 는 각각 빔에 의해 조사되는 유리기층과 ITO박막의 면적을 가리킨다. 가중치  $\chi$ 를 변화시키며 측정한 타원상수 스펙트럼은 그림 4와 같이  $\chi$ 에 대해 단조로운 변화를 보여준다.

유리기층의 분광타원데이터의 분석에서는 유리기층이 투명하기 때문에 다음과 같은 셀마이어 분산관계식을 이용하여 광학상수를 나타내었다.

$$n^2(\lambda) = A + \frac{B\lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_0^2} \quad (3)$$

ITO의 분광타원데이터 분석에서는 로렌즈 진동자 모델을 사용하여 광학상수를 표현하였다. 다만 ITO가 보여주는 자외선 영역과 근적외선영역에서의 빛의 흡수를 반영하기 위해 두 개의 로렌즈 진동자를 사용하였다.<sup>[5]</sup> 두 개의 로렌즈 진동자 모델에 의한 복소유전상수  $\epsilon$ 의 수학적 표현은 다음과 같다.<sup>[6,7]</sup>

$$\epsilon(h\nu) = [n(h\nu) + ik(h\nu)]^2 = \epsilon_1(\infty) + \sum_{m=1}^2 \frac{A_m}{E_m^2 - (h\nu)^2 - iB_m h\nu} \quad (4)$$

여기서  $n+ik$ 는 복소굴절률로서  $n$ 은 굴절률,  $k$ 는 소광계수이다. 최적맞춤 변수들로는 유리기층의 경우에는 분산계수들인  $A$ ,  $B$  그리고 공명파장인  $\lambda_0$ 이며 ITO의 경우에는 각 로렌즈 진동자의 무한대 에너지에서의 유전상수의 실수부분  $\epsilon_1(\infty)$ , 진폭  $A_m$ , 공명에너지  $E_m$ , 그리고 선폭계수  $B_m$ 이다. 로렌즈 진동자 모델은 광학상수의 실수부분과 허수부분 사이에 Kramers-Kronig 인과율 관계를 유지하면서도 투명한 영역과 흡수영역에 걸쳐 최소의 변수를 사용하여 ITO의 광학상수를 표현할 수 있게 하는 장점을 가지고 있다.

#### IV. 유리기층과 ITO 기층의 분광타원데이터 분석

유리기층만에 대한 분광타원데이터(s105)를 분석한 결과는 다음과 같다. 유리기층은 두께가 69.4 Å인 표면거칠기층(void=50%)을 도입하여 맞춤의 정도를 크게 향상시킬 수 있었다. 최적맞춤을 통해 결정된 셀마이어 분산관계식의 분산계수  $A$ 와  $B$ 는 각각 1.425, 0.897, 공명파장  $\lambda_0$ 는 98.56 nm이었고 최적맞춤의 정도를 나타내는 MSE는 0.13이었다.

ITO 박막은 제작방법과 제작조건 그리고 후속 열처리조건에 따라 그 광물성과 구조가 크게 달라지지만 광물성은 대개 자외선영역과 근적외선영역에서의 빛의 흡수를 반영하는 두 개의 로렌즈 진동자의 상수로써 그 차이를 나타내며 박막두께방향의 비균일성은 ITO 박막의 상층부와 하층부의 광물성을 달리하여 이들의 조성비의 점진적인 변화로 표현하거나<sup>[5]</sup> ITO 박막의 조밀도의 점진적인 변화로 표현한다. 본 연구분석에서는 ITO 박막의 표면거칠기 형태로 조밀도의 변화를 반영하였다. ITO만에 의한 분광타원데이터 분석(s-105)에 있어서 확인할 수 있는 바와 같이 ITO의 표면거칠기층을 고려하지 않은 결과에 비하여, 표면거칠기층을 고려한 경우 최적맞춤의 정도가 크게 향상되는 것으로 나타났다(그림 5). 표면거칠기를 고려할 경우 최적맞춤은 특히  $\Psi$ 에서 크게 향상되는 것을 볼 수 있고 진폭정보를 가지고 있는  $\Psi$ 의 맞춤향상은 투과율이나 반사율의 계산값이 정확해 질 것임을 예견하게 한다. 또한 분석에 사용된 분광타원데이터의 파장대역이 350-750 nm으로 대부분이 가시영역에 걸쳐 있으므로 근적외선영역과 자외선영역의 로렌즈 진동자를 사용하여도 가시영역에서의 흡수계수가 불필요하게 커지지 않으며 투과율이 측정된 값보다 5-7% 작게 계산되지 않는다.<sup>[5]</sup> ITO의 표면거칠기층을 고려하지 않았

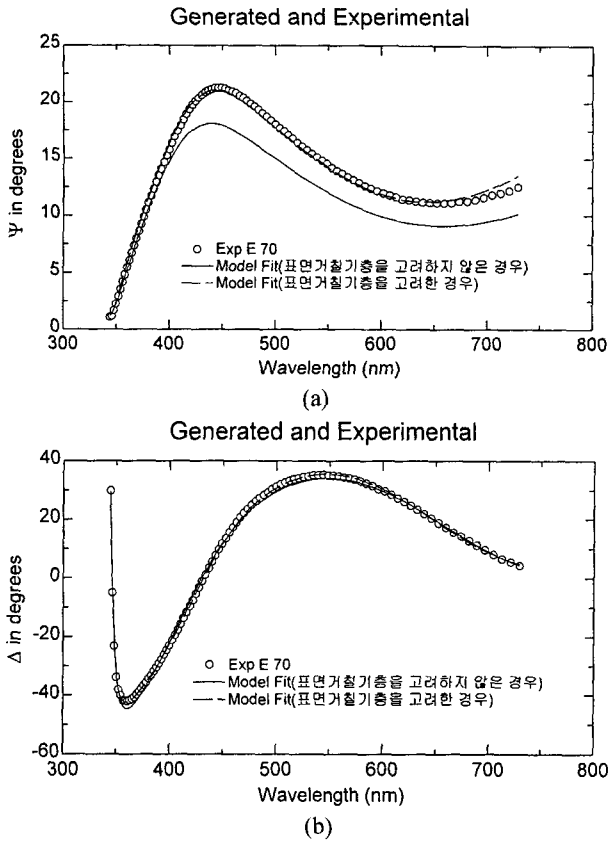


그림 5. ITO의 표면거칠기층을 고려하지 않았을 때와 고려하였을 때의 타원상수 (a)  $\Psi$ 와 (b)  $\Delta$ 의 최적맞춤 결과.

을 때와 고려하였을 때의 분광타원데이터 최적맞춤을 통하여 결정된 박막상수들은 표 1과 같다. 이 박막상수들은 ITO패턴에 의한 분광타원데이터 분석에 사용되는 중요한 수치들이다.

### V. ITO패턴에 의한 분광타원데이터의 분석

그림 3과 같이 ITO패턴이 있는 시료에서 직경이 200 마이크로미터 크론인 측정 빔을 유리기층만 있는 곳으로부터 ITO박막만 있는 곳까지 10 마이크로미터씩 이동하면서 한 주기 스캔하여 얻은 타원상수 측정데이터(그림 4)는 패턴에 의한 영향을 보여주고 있다. 측정 빔에서 ITO가 차지하는 면적의 상대비율이 증가함에 따라 타원상수 스펙트럼이 유리기층에 의한 스펙트럼으로부터 ITO에 의한 스펙트럼으로 점진적으로 변하는 것을 볼 수 있다.

측정 빔이 ITO패턴의 유리기층과 ITO를 함께 조사할 때의 타원상수를 전산시뮬하기 위해 타원상수식을 다음과 같이 수

정하여 사용하였다. 즉 패턴이 없는 시료의 타원상수 식들이 각각  $\tan \Psi_{eff} = |R_p|/|R_s|$ ,  $\cos \Delta_{eff} = Re(R_p \cdot R_s^*)/|R_p| \cdot |R_s|$ 임을 고려하여 패턴이 있을 경우 다음과 같이 반사율 항들의 면적에 따른 가중치를 반영한 표현으로 수정하였다.<sup>18,9)</sup> 이러한 면적가중치를 반영한 타원상수 식들은 아래와 같다.

$$\tan \Psi_{eff} = \left[ \frac{\chi |R_{pG}|^2 + (1-\chi) |R_{pI}|^2}{\chi |R_{sG}|^2 + (1-\chi) |R_{sI}|^2} \right]^{1/2} \quad (5a)$$

$$\cos \Delta_{eff} = \frac{\chi Re(R_{pG} \cdot R_{sG}^*) + (1-\chi) Re(R_{pI} \cdot R_{sI}^*)}{\{[\chi |R_{pG}|^2 + (1-\chi) |R_{pI}|^2] \cdot [\chi |R_{sG}|^2 + (1-\chi) |R_{sI}|^2]\}^{1/2}} \quad (5b)$$

여기서  $R_{pG}$ ,  $R_{pI}$ 는 각각 유리 및 ITO에 의한 p파의 프레넬 반사계수를 가리키고  $R_{sG}$ ,  $R_{sI}$ 는 각각 유리 및 ITO에 의한 s파의 프레넬 반사계수를 가리키며 \*는 복소수의 공액을 나타낸다.  $\chi$ 는 식 (2)에서 정의된 바와 같이 유리기층의 상대면적을 가리킨다.

ITO패턴에 의한 분광타원데이터 분석에 있어서 최적맞춤을 향상시키기 위하여 아래와 같은 3가지 모델에서 최적맞춤을 하여 그 결과를 비교하였다. 설명을 간결하게 하기 위하여 대표적인 측정 빔 위치들인 s-105, s005, 그리고 s105에 대하여서만 최적맞춤 결과를 자세하게 보이고 다른 측정 빔 위치에 대하여서는 종합적인 그래프와 표로 정리하였다.

첫 번째 모델은 유리기층의 표면거칠기층과 ITO의 표면거칠기층을 고려하였을 때의 모델이다. ITO만이 있는 s-105의 최적맞춤 결과는 아주 우수한 것을 그림 6을 통하여 확인할 수 있으나 유리기층이 일부라도 포함되는 ITO 패턴에 의한 분광타원 데이터를 최적맞춤한 결과는 만족스럽지 못함을 볼 수 있다(그림 7, 그림 8). 즉 ITO패턴이 있는 시료의 분광타원데이터를 분석한 결과(그림 6, 그림 7, 그리고 그림 8) s-105, s005, 그리고 s105에 상응하는 전체 빔에 대한 유리의 상대면적은 각각 0%, 26.56%, 그리고 69.03%(예측값은 각각 0%, 53.18%, 그리고 100%), MSE는 각각 0.36, 8.93, 그리고 14.20으로 나타나 유리기층이 패턴에서 차지하는 비율이 증가할수록 맞춤의 정도는 열악하여짐을 보여준다. 이와 같은 경향은 다른 측정빔 위치에서 구한 유리의 상대면적 결과를 비교한 그림 9로부터도 볼 수 있다. 이러한 차이는 분석에 사용된 상용프로그램은(J.A. Woollam Co., WVASE32) ITO의 주 박막층의 패턴효과만 반영하고 ITO 표면거칠기층의 패턴효과를 반영되지 못하는 한계에 기인한다. 즉 유리기층이 차지하는 상대면적 비율이 증가할수록 일정하게 반영되는 ITO 표면거칠기층에 의한 오차가 증대되기 때문이다. 상용 프로그램의 한계를 극복하기 위해 다음과 같은 두 번째 모델을 도입하였다.

표 1. 분광타원데이터에 최적맞춤하여 결정한 ITO의 박막상수들

분류	$A_1$ (eV <sup>2</sup> )	$A_2$ (eV <sup>2</sup> )	$B_1$ (eV)	$B_2$ (eV)	$E_1$ (eV)	$E_2$ (eV)	$\epsilon_1$ ( $\infty$ )	ITO의 두께 (Å)	표면거칠기층		MSE
									두께 (Å)	미소공간 분율(%)	
단일층 모델	3.20	9.47	0.13	0.50	0	4.21	3.69	1179.9	-	-	1.88
표면거칠기층을 고려한 모델	4.73	6.40	0.07	0.06	0	4.32	4.12	1074.2	207.5	15.4	0.37

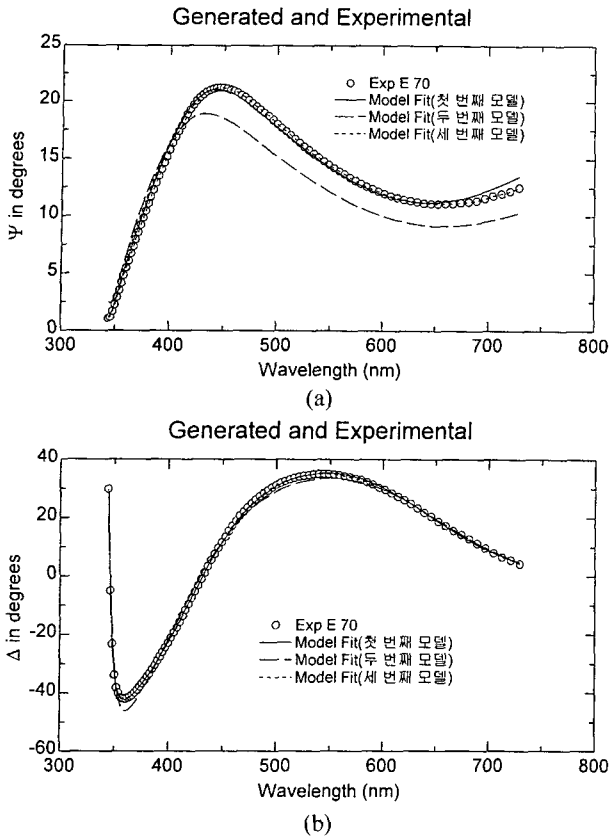


그림 6. ITO 및 유리기층의 표면거칠기를 고려한 모델(첫 번째 모델), ITO의 표면거칠기층을 고려하지 않고 유리기층의 표면거칠기를 고려한 모델(두 번째 모델), 그리고 타원상수  $\Delta$ ,  $\Psi$ 의 역방계산으로 구한 ITO 주박막층의 광학상수를 사용하고 ITO 표면거칠기층을 고려하지 않은 모델(세 번째 모델)을 각각 사용하여 s-105의 분광타원데이터를 최적 맞춤한 결과 (a)  $\Psi$ , (b)  $\Delta$ .

ITO의 패턴효과를 분석할 때 유리가 차지하는 면적이 증가함에도 ITO 표면거칠기층의 면적비 감소가 반영하지 않는 단점을 우회하고자 두 번째 모델에서는 ITO의 표면거칠기층을 도입하지 않았다. 유리의 표면거칠기층은 첫 번째 모델과 마찬가지로 처리하였으므로 ITO만 있는 s-105를 비롯하여 ITO 패턴이 있는 시료들의 최적맞춤이 다소 만족스럽지 않았지만 (그림 6, 그림 7) 유리만 있는 s105는 우수한 맞춤결과를 얻었다(그림 8). 전체적으로는 측정법 위치에 대한 종합적인 결과인 그림 9로부터 볼 수 있는 바와 같이 첫 번째 모델 경우에 비하여 전체적으로 맞춤이 크게 향상되었지만 유리기층이 패턴에서 차지하는 비율이 커지기 시작하는 초기 영역에서는  $\chi$  값의 차이가 비교적 큰 것으로 나타났다. ITO패턴에 의한 분광타원 데이터 분석을 한 결과 ITO가 완전히 덮여있는 s-105와 유리만 있는 s105에서 유리기층이 패턴에서 차지하는 상대면적 퍼센트는 각각 0.08%, 99.49%로 나타나 예상된 값인 0%, 100%와 가까운 수치를 보여주는데 비해 ITO와 유리가 섞여있는 s005에서 구해진 유리기층이 차지하는 상대면적비는 44.37%로 예상되는 값인 53.18%와는 9%정도의 차이를 보여준다. s-105, s005 그리고 s105의 분광타원 분석에서

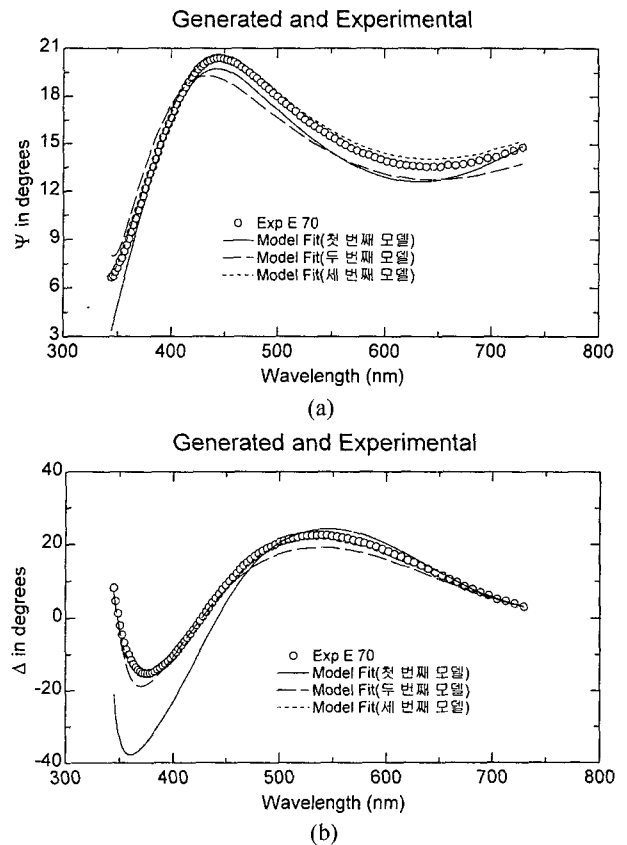


그림 7. 그림 6에서와 같이 세가지 모델을 각각 사용하여 s005의 분광타원데이터를 최적맞춤한 결과 (a),  $\Psi$ , (b)  $\Delta$ . 첫 번째 모델에서는 ITO의 표면거칠기 패턴이 정확하게 반영되지 않아 맞춤의 정도가 상당히 나빠짐을 확인할 수 있다.

MSE는 각각 2.05, 1.92, 그리고 0.10이었다. 이상과 같은 차이는 ITO의 표면층을 고려하지 않았기 때문에 유래하는 것으로 ITO를 일부라도 포함하는 시료인 s-105와 s005의 MSE가 유리기층만에 의한 s105의 MSE보다 대략 20배 정도 크게 나타남으로 반영된다. 마찬가지로 그림 6과 그림 7의 최적맞춤 그래프도 측정된 스펙트럼과 상당한 차이가 있음을 볼 수 있다. 이를 극복하기 위하여 다음과 같이 수정된 모델(세 번째 모델)을 도입하였다.

세 번째 모델에서는 표면거칠기 구조를 정확하게 반영하지 못하는 데에서 유래하는 오차원인을 상쇄시키기 위해 s-105 시료의 분석에 있어서 ITO 주 박막층의 두께를 고정시키고 각 파장별로 측정된  $\Delta$ ,  $\Psi$  값을 역방계산하여 ITO의 복소굴절률을 결정하였다. 이에 따라 ITO층만 있는 s-105의 최적맞춤이 완벽해졌고(그림 6) 유리기층만 있는 s105는 두 번째 모델에서의 결과와 같이 우수한 맞춤을 보여준다(그림 8). s-105와 s105에서 유리기층이 패턴에서 차지하는 상대면적 퍼센트는 각각 0%, 99.72%로 0%, 100%와 가까운 수치를 보여준다. 그러나 ITO층과 유리기층이 같이 있는 s005는 여전히 만족스러운 결과를 보여주지 않았다(그림 7). 유리기층이 차지하는 상대면적비는 47.98%로 예상되는 값인 53.18%와 5%정도의 차이를 보여준다. s-105, s005 그리고 s105의 분광타원 분

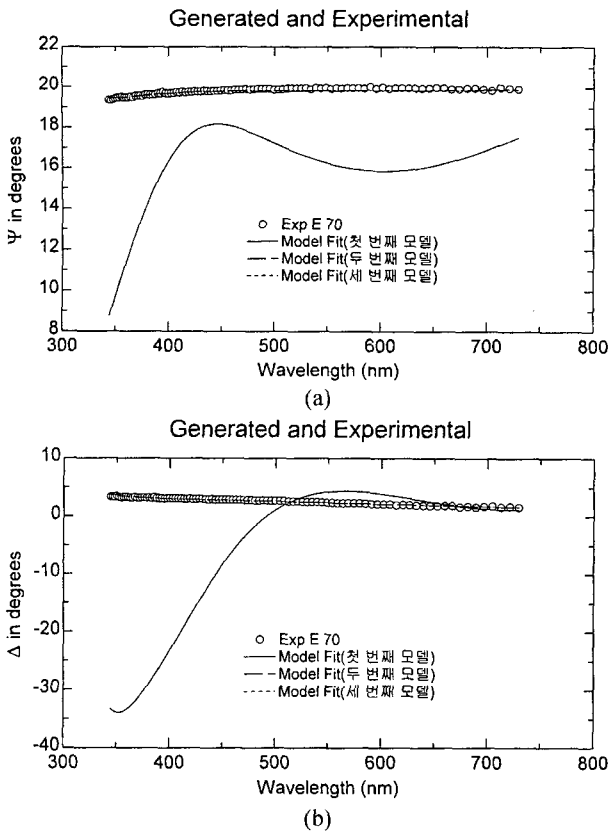


그림 8. 그림 6에서와 같이 세가지 모델을 각각 사용하여 s105의 분광타원데이터를 최적맞춤한 결과 (a)  $\Psi$ , (b)  $\Delta$ . ITO의 표면거칠기 패턴이 정확하게 반영되지 않은 효과가 첫 번째 모델에서 매우 크게 나타남을 볼 수 있다.

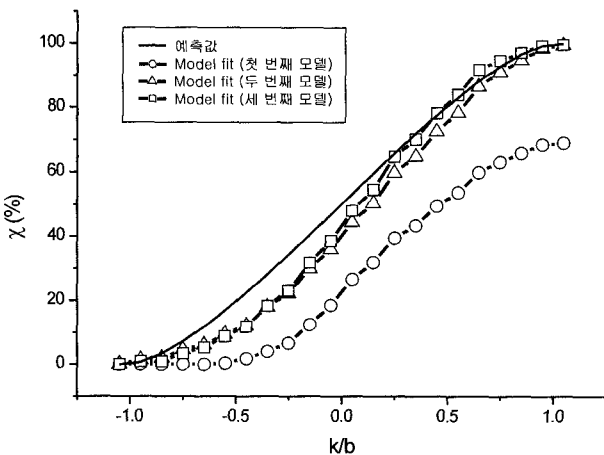


그림 9. ITO 및 유리기층의 표면거칠기를 고려한 모델(첫 번째 모델), ITO의 표면거칠기층을 고려하지 않고 유리기층의 표면거칠기를 고려한 모델(두 번째 모델), 그리고 타원상수  $\Delta$ ,  $\Psi$ 의 역방계산으로 구한 ITO 주박막층의 광학상수를 사용하고 ITO 표면거칠기층을 고려하지 않은 모델(세 번째 모델)을 각각 사용하여 분석한 측정값 대비 유리의 상대면적  $\chi^2$ 의 최적맞춤값(%)과 예측값 비교. 유리의 상대면적이 클 때 첫 번째 모델이 보여주는 비교적 큰 차이는 ITO 표면거칠기 패턴효과를 반영하지 못하는 상용프로그램의 한계에 기인한다.

표 2. 측정값 위치에 따른 유리기층의 상대면적(%) 최적맞춤값과 예측값 비교

이름	빔의 위치 (k/b)	$\chi^2$ (%) (예측값)	첫 번째 모델 $\chi^2$ (%) (최적맞춤값)	두 번째 모델 $\chi^2$ (%) (최적맞춤값)	세 번째 모델 $\chi^2$ (%) (최적맞춤값)
s-105	-1.05	0	0	0.08	0
s-095	-0.95	0.67	0	1.38	0.87
s-085	-0.85	3.41	0	1.97	0.94
s-075	-0.75	7.22	0	4.61	3.39
s-065	-0.65	11.75	0	6.19	5.29
s-055	-0.55	16.84	0.27	9.37	8.74
s-045	-0.45	22.35	1.75	12.11	11.80
s-035	-0.35	28.18	4.06	17.92	18.23
s-025	-0.25	34.25	6.70	22.23	23.09
s-015	-0.15	40.49	12.45	29.94	31.79
s-005	-0.05	46.82	18.52	35.98	38.64
s005	0.05	53.18	26.56	44.37	47.98
s015	0.15	59.51	31.87	50.37	54.62
s025	0.25	65.75	39.47	59.73	64.74
s035	0.35	71.82	43.42	64.79	70.11
s045	0.45	77.65	49.45	72.57	78.25
s055	0.55	83.16	53.72	78.41	84.13
s065	0.65	88.25	59.81	86.57	91.74
s075	0.75	92.79	63.06	91.01	94.64
s085	0.85	96.59	65.80	94.69	97.08
s095	0.95	99.33	68.54	98.48	99.35
s105	1.05	100	69.03	99.49	99.72

석에서 MSE는 각각 0.005, 2.041, 그리고 0.124이었다. 전체 측정 빔 위치에 대한 결과인 그림 9로부터 볼 수 있는 바와 같이 두 번째 모델 경우에 비하여 조금 향상되었으나  $\chi^2$ 가 커지기 시작하는 초기 영역에서의 차이는 여전히 남아 있음을 볼 수 있다. 표 2는 위의 세 모델에 의한 측정 빔 위치에 따른 유리기층의 전체 빔 면적에 대한 상대면적(%) 최적맞춤값과 예측값을 보여준다. ITO와 유리가 같이 있는 패턴 분석에 있어서 최적맞춤이 차이를 보이는 주된 원인은 이미 논의한 바와 같이 분석에 사용된 상용프로그램의 한계에 있지만 또 하나의 원인으로 상대면적비인  $\chi$ 를 사용할 때의 한계를 고려할 수 있다. 즉 실제 ITO패턴에서 ITO와 유리기층 경계선 부근에 있을 수 있는 ITO층의 두께 불균일성 등을 무시하여 ITO패턴을 이상화하는데서 기인된 한계로 추정되며 이를 극복하기 위하여는 타원상수식 식 (5a)와 (5b)에 최적맞춤 변수  $\chi$ 의 비선형성을 반영하는 것이 제안된다. 그러나 무엇보다도 주 박막층 뿐만 아니라 주 박막층의 표면거칠기층도 함께 패턴모델에 반영할 수 있도록 전산프로그램을 수정함으로써 분석의 정확도를 크게 향상시킬 수 있을 것이다.

## VI. 결 론

ITO패턴에 의한 분광타원 데이터 분석에서 일반적인 타원상수식을 ITO와 유리가 전체 빔면적에 대해 가지는 상대면적비를 가중치로 한 반사율 평균치를 도입한 타원상수식으로 수정함으로써 최적맞춤의 정확도를 향상시켰다. 분광타원데이터의 최적맞춤을 통하여 ITO 패턴시료에서 유리기층이 차지하는 상대면적을 결정하고 이를 예측값과 비교해 본 결과 ITO와 유

리기층을 다루는 광학모델에 따라 정도의 차이는 있지만 유리의 가중치  $\chi$ 가 커지기 시작하는 초기영역에서 일정한 차이를 보였다. 이러한 차이를 줄이기 위해서는 패턴모델이 주 박막 층과 계면층 뿐만 아니라 표면거칠기층도 함께 반영할 수 있도록 전산프로그램을 수정하는 것이 필요하며 면적가중치를 반영하는 타원상수식에서 상대면적비  $\chi$ 의 비선형성을 도입하는 것도 바람직하다. 본 연구의 결과는 분광타원법의 최적맞춤법을 사용한 ITO 패턴박막의 상대면적 측정에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

### 감사의 글

본 연구는 아주대학교의 연구비 지원을 받아 이루어 졌습니다.

### 참고문헌

[1] 장명수, 류병길, "PDP 재료기술의 동향," 한국정보디스플

레이학회지 제2권 제4호 (2001) 19.

[2] Edward Collett, *Polarized Light*, Marcel Dekker Inc., New York, (1993) Chapter 25.

[3] R.M.A. Azzam and N.M. Bashara, *Ellipsometry and Polarized Light*, North Holland Publishing, (1987) Chapter 4.

[4] 김상열, *타원법*, 아주대학교 출판부 (2000) 제3장.

[5] R. A. Synowicki, "Spectroscopic ellipsometry characterization of indium tin oxide film microstructure and optical constants," *Thin Solid Films* 313-314 (1998) 394-397.

[6] G. R. Fowles, *Introduction to Modern Optics*, Dover Publications, New York, (1968) Chapter 6.

[7] F. Wooten, *Optical Properties of Solids*, Academic Press, New York, (1972) Chapter 3.

[8] M. Erman and J. B. Theeten, "Spatially resolved ellipsometry," *J. Appl. Phys.* vol. 60, no. 3, pp. 859-873, 1986.

[9] Blaine Johs, "Optical analysis of complex multilayer structures using multiple data types," J.A. Woollam Co., Inc., Lincoln, NE USA, (1994).

## Analysis of patterned ITO layer of PDP thin films using spectroscopic ellipsometry

Hee-sam Yoon and Sang Youl Kim<sup>†</sup>

Department of Molecular Science & Technology, Ajou University San 5, Suwon 442-749, KOREA

<sup>†</sup>E-mail: sykim@ajou.ac.kr

(Received March 17, 2003, Revised manuscript May 12, 2003)

We studied patterned ITO layers of PDP thin films on glass substrates using spectroscopic ellipsometry. The optical property of ITO is expressed with the optical model based on two Lorentz oscillators. The effect of patterned ITO is calculated by taking the weighted average of reflectance in proportion to ITO coverage. The relative coverage of ITO is determined by using the model analysis of spectroellipsometric data. The difference of ITO coverage obtained by the best-fit model analysis of ellipsometric spectra to the expected one is critically examined and suggestions are made to minimize the observed discrepancy.

OCIS Codes : 120.2130, 120.4530, 160.4670, 310.6860, 310.1620.