

패턴이 있는 유리기층 위 러빙된 Polyimide의 광학 이방성 미세변화 정밀 측정

김하랑 · 김상열[†]

아주대학교 분자과학기술학과
Ⓞ 443-749 경기도 수원시 영통구 원천동 산5번지

(2009년 9월 8일 받음, 2009년 9월 29일 수정본 받음, 2009년 9월 29일 게재 확정)

편광법을 사용하여 패턴이 있는 LCD 유리기층위에 놓여 있는 러빙된 PI(polyimide)의 광학이방성을 분석하였다. 투과형 편광계를 사용하여 0.4 nm 이하의 극히 작은 위상지연의 크기와 광축의 방향을 정밀하게 측정하였다. 온도에 따르는 광학이방성의 미세변화를 위상지연의 크기 및 광축 방향의 변화곡선으로 나타내고 간단한 광학모델을 사용하여 설명하였다.

Precise Measurement of Optical Anisotropy of Rubbed Polyimide on Patterned Glass and its Nanoscale Variation

Ha Rang Kim and Sang Youl Kim[†]

Department of Molecular Science and Technology, Ajou University, Suwon 443-749, Korea

[†]E-mail: sykim@ajou.ac.kr

(Received September 8, 2009; Revised manuscript September 29, 2009; Accepted September 29, 2009)

The optical anisotropy of rubbed PI(polyimide) film on patterned LCD glass substrate is analyzed using polarimetry. The direction of the optic axis and the magnitude of the very small retardation (~ 0.4 nm or less) is precisely measured by using a transmission ellipsometer. The variation of the optical anisotropy is presented as the curve of the optic axis versus the magnitude of the phase retardation and it is explained by using a simple optical model.

Keywords: Optical anisotropy, Patterned LCD glass, Rubbing direction, Rubbed PI, Polarimetry

OCIS codes: (160.4760) Optical properties; (240.0240) Optics at surfaces; (230.3720) Liquid-crystal devices; (260.2130) Ellipsometry and polarimetry

I. 서 론

LCD(Liquid Crystal Display)는 성능향상을 위한 꾸준한 연구개발의 결과 반응시간, 시야각, 색의 구현, 명암비 개선 등의 여러 측면에서 성능과 화질이 현격하게 개선되고 있다.^[1-3] LCD는 액정분자 양단에 패턴이 있는 두 개의 유리기판을 사용하는데 이 유리기판은 매우 중요한 역할을 하고 있다. TFT(Thin Film Transistor) 패턴이 있는 기판은 구동회로에서 전기신호를 받아 액정의 정렬방향을 제어함으로써 LCD 패널을 투과하는 빛의 편광상태를 변화시킨다. CF(Color Film) 패턴의 기판으로 화면에 원하는 색의 영상을 표시한다.

패턴된 두개의 유리 기판은 액정분자의 초기 정렬상태를 위하여 기판 위에 PI(Polyimide)를 코팅하고 물리적인 힘을 한 방향으로 가하는 러빙 공정을 통하여 PI의 표면에 화학

적, 구조적 질서를 형성시키고 러빙된 PI와 접촉하는 액정이 일정한 방향으로 정렬되도록 한다. 균일하며 고른 러빙공정은 균일하고 고른 액정배열을 낳기 때문에 러빙은 LCD 패널의 높은 명암비 구현과 향상된 화질을 위해 필수적인 공정이다. 따라서 PI의 러빙 방향과 러빙의 정도를 측정하는 것은 화질을 개선하고 러빙 불량률 줄이는데 필수적이다.

이러한 러빙공정을 거친 PI에는 미세구조로는 러빙 방향으로 나노미터 크기의 골이 생기며 광학적으로는 러빙 방향이 주축방향이 되는 광학이방성이 생긴다. 미세구조 분석을 통해 러빙의 정도를 측정하는 데에는 대개 극미세영역 측정 장비인 SPM(Scanning Probe Microscope)계열의 장비가 사용된다. 하지만 AFM(Atomic Force Microscope) 같은 SPM계열의 장비는 탐침의 첨단부나 시료가 손상될 염려가 있으며 대면적 이미지를 얻는 데에는 많은 시간이 소요되므로 LCD용 대형 유리기판 시료를 측정하는 실험에는 적합하지 않으며 생산현장에서 현장점검 용으로 적용하는 것에도 한계가 있

[†]E-mail: sykim@ajou.ac.kr

다. 이에 반하여 광학적인 방법은 비접촉식, 고속 측정이 가능하므로 최근에는 광학적인 방법을 사용하여 LCD의 유리 기판 및 러빙된 PI의 광학이방성을 측정하는 방법이 많은 관심을 끌고 있고 관련 연구가 활발히 진행되고 있다.^[4-6]

편광법(polarimetry)은 편광상태를 제어하고 시료에서 반사되거나 시료를 투과하며 일어나는 편광상태의 변화를 측정, 분석하는 방법으로써^[7] LCD 유리기층 및 러빙된 PI 시료의 미세 광학이방성을 정밀하고 빠르게 측정하는 데 적용될 수 있다. 광학이방성은 광축의 방향과 이방성의 크기로 정의되는데 러빙된 PI의 경우 러빙 방향이 광축의 방향이 되며 이방성의 크기는 러빙의 세기에 따라 증가하다가 일정한 값으로 접근한다. 이방성의 크기는 대개 정상굴절률과 이상굴절률의 차이값에 nm로 표현한 러빙층의 두께를 곱한 리타레이션 값으로 나타낸다. 일반적으로 이방성 매질의 광축 측정 오차는 광학 이방성의 크기에 반비례하여 증가하므로 그 값이 극단적으로 작아지면 광축 측정 오차가 무한히 커지게 된다. 한편 LCD에서 사용되는 유리기판은 액정의 구동과 색채 구현을 위해 CF 패턴과 TFT 패턴이 각각 있는 상판과 하판으로 구성되어 있는데 이들 기판에 의한 미소 광학 이방성은 PI의 러빙 측을 결정할 때 교란요인으로 작용하게 된다.^[3,6]

본 연구에서는 투과형 편광계를 이용하여 PI의 미소광학 이방성의 방향을 결정하였다. 또한 패턴이 있는 유리기판의 효과가 PI의 광학 이방성 결정에 미치는 영향을 측정하고 분석함으로써 PI에 의한 광학이방성과 기층에 의한 이방성을 분리하고자 한다. 본 연구에서 도출된 결과는 PI 러빙의 방

향과 크기를 측정할 때 그 정확도를 향상시키는 데에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

II. 실험

2.1. 시료준비

본 실험에서는 그림 1과 같이 LCD 제조 공정에 사용되는 3종류의 기판시료를 사용하였다. (a)는 초기 원판 유리이고 (b)는 TFT 패턴이 되어있는 LCD 하층부의 유리(하판)이며 (c)는 CF 패턴이 되어있는 LCD 상층부의 유리(상판)이다. 패턴이 되어있는 유리는 PI가 코팅된 후 러빙공정을 거친 시료이다. 그림 1에서 보는 바와 같이 (b)는 패턴내에 많은 금속 배선들을 포함하고 있으며 (c)는 RGB 필름과 블랙 매트릭스가 상대적으로 단순한 형태로 패턴을 이루고 있다. 러빙의 방향은 그림에서의 날개모양(shevron)의 길이와 나란한 방향(그림에서의 세로방향)이다. 여기에서 세 개의 날개 무늬는 하나의 픽셀을 구성한다. 모든 시료의 기층은 유리로서 두께는 0.7 mm이다. 본 연구에서는 금속 패턴을 포함하는 (b) 시료에서 특이한 결과를 관찰하였고 이를 간단한 광학모델로 설명하고자 한다.

2.2. 측정

측정에 사용된 편광장치는 그림 2와 같이 PSA 기본구조^[7]의 타원계에 보정기(compensator)를 추가한 PCSA방식의 투과형 타원계이다.(엘립소테크놀로지, Elli-Ret) Elli-Ret 상용 장비에서는 광원으로 할로젠 램프를 사용하고 시료를 통과

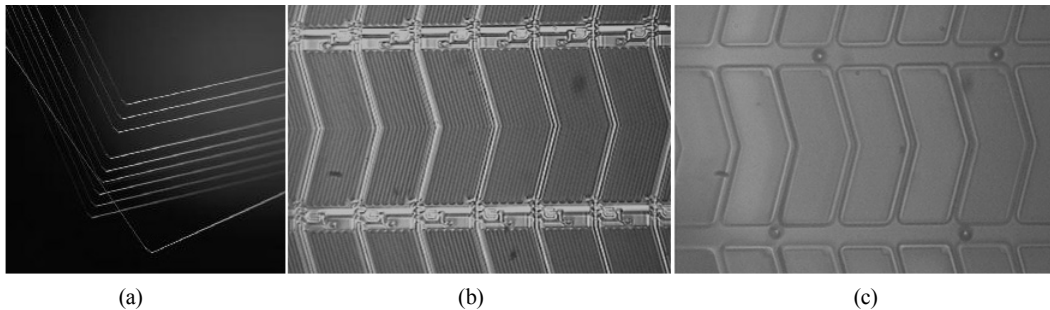


FIG. 1. Sample images for experiment. a. Bare glass, b. TFT patterned glass, c. CF patterned glass. Three wing shapes for one pixel.

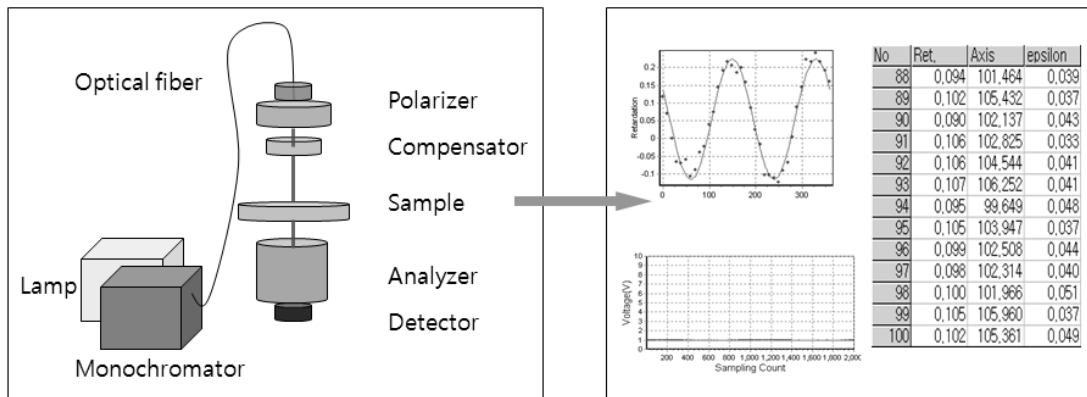


FIG. 2. The schematics of the PCSA(Polarizer-Compensator-Sample-Analyzer) ellipsometer and the display window for measurement.

한 빛 중 파장이 550 nm인 단색광 만을 통과시키는 narrow band pass filter가 광학측정소자 바로 앞에 설치되어 있으나 본 연구에서는 할로겐 광원 자체에 의해 시료의 온도가 상승하는 것을 막기 위하여 75 W Xe-arc Lamp를 주 광원으로 하고 단색분광기(Monochromator)를 거친 575 nm의 단색광을 광섬유를 통해 측정용 광원으로 사용하였다.

측정과 초기단계의 분석을 위해 사용된 구동/분석 프로그램은 엘립소테크놀러지에서 장비와 함께 제공된 실행파일 형태의 프로그램이다. 시료의 타원상수는 시료의 방위각 즉 광축의 방향에 따라 달라진다. 각 방위각 위치에서 회전검광자의 함수로 측정된 빛의 세기를 표현하고 이를 분석하여 타원상수를 구하는 방법은 다음 절에서 논의한다. 시료를 회전시키며 측정할 때 시료가 안정한 상태에 있을 수 있도록 시료장착대의 바닥내부에 양쪽으로 자석을 파묻고 시료장착대에 시료를 놓은 후 시료 위에 다시 2개의 자석을 올려놓는 방식으로 시료를 고정하였다.

시료를 시료 평면상에서 360 도 일정한 각속도로 회전시키며 시료의 방위각에 따른 타원상수를 측정한 다음 측정된 타원상수를 시료 방위각의 삼각함수 형태로 최적맞춤하였다. 타원상수 측정을 위해서는 회전검광자가 한바퀴 회전하는 동안 빛의 세기를 2000 회 A/D 변환하며 변환된 빛의 세기를 식 (1)에 따라 검광자의 방위각의 함수로 나타내고 그 푸리에 계수들을 구한다. 검광자는 약 10 Hz의 회전각속도로 회전하고 시료를 360 도 회전시키는데 약 22 초가 소요되므로 시료를 한바퀴 회전시키는 동안 약 220 개의 타원상수 값들이 구해진다. 시료의 방위각에 따른 타원상수의 변화는 코사인 형태로 나타나는데 이 코사인 형태를 보이는 타원상수의 최적맞춤 과정을 통해 광축과 리타레이션 값을 얻게 된다. 최적맞춤과정에는 Levenberg-Marquardt 알고리즘^[8]이 적용되었다. 이 알고리즘은 측정치와 이론치의 차이를 최소화하며 비선형 방정식의 근을 찾는 방법으로 파라미터 추출 문제 해결을 위해서 널리 사용되고 있는 대표적인 기법이다.

측정실은 공조장치가 작동하고 있으므로 실내온도가 어느 정도 일정하게 유지되고 있으나 아침부터 오후까지 실내온도가 5 ~ 9 도 가량 천천히 상승하였다가 저녁이 되면 천천히 하강한다. 온도 측정을 위해 시료 아래 면으로부터 약 1 cm 떨어진 공간에서 광축에서 약간 비껴난 지점에 온도계의 센서를 고정하였고 온도는 약 1 분 간격으로 측정하였다. 온도 측정의 정밀도는 ~0.2 도 이다.

III. 편광법을 이용한 광학이방성 측정

본 연구에서 사용된 편광법은 약 100 년 전 드루드(Drude)에 의해 금속의 광학상수를 측정하는데 적용되었으나 박막 및 표면 분석에 장비로 사용된 것은 비교적 최근의 일이다. 초기에는 극히 얇은 박막의 두께를 측정하는 데에 주로 사용되었으나 현재는 시료와 빛의 상호작용으로 인한 빛의 편광 상태 변화를 측정하여 시료의 광학적 특성을 파악하는 데에도 사용되고 있으며 물질의 미세광학 이방성을 구할 때에도

유용하게 쓰일 수 있는 방법이다.^[7]

투과형 PCSA 타원계를 회전검광자 방식으로 구동시킬 때 측정되는 빛의 세기를 검광자의 회전각속도 ω 를 사용하여 시간의 함수로 나타내면 다음과 같은 조화함수로 표현된다.

$$I_D = I_0(1 + \alpha \cos 2\omega t + \beta \sin 2\omega t) \quad (1)$$

이 조화함수의 푸리에 계수는 시료의 타원상수로 표현할 수 있으며 위상지연판의 광축과 광학 이방성 시료의 방위각을 0으로 일치시킬 때 그 식은 아래와 같다.

$$\alpha = \frac{\tan^2 \Psi - \tan^2 P}{\tan^2 \Psi + \tan^2 P} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{2 \tan \Psi \tan P \cos(\Delta - \delta_C)}{\tan^2 \Psi + \tan^2 P} \quad (3)$$

여기에서 P는 편광자의 방위각이고 δ_C 는 보정기의 위상지연각으로 이상적인 4분파장 위상지연판을 사용하면 δ_C 는 90도이다. 본 실험에서 편광자의 방위각 P는 45 도로 하였다. $\tan P=1$, $\delta_C=90^\circ$ 를 식 (2)와 식 (3)에 대입하고 정리하면 푸리에계수 α, β 를 사용하여 다음과 같이 타원상수를 표현할 수 있다.

$$\tan \Psi = \sqrt{\frac{1+\alpha}{1-\alpha}} \quad (4)$$

$$\sin \Delta = \frac{\beta}{\sqrt{1-\alpha^2}} \quad (5)$$

좌표축의 방향을 광학이방성 시료의 주축 방향과 나란하게 정렬시킨 x,y 직교좌표계에서 빛의 진행방향을 z축으로 하고 각 축방향 전기장 성분의 투과계수를 t_x, t_y 라 하면 투과형 타원계의 타원상수는 $t_x/t_y = \tan \Psi e^{i\Delta}$ 와 같이 정의된다. 투과계수들은 각각 $t_x = T_e e^{i\delta_e}$, $t_y = T_o e^{i\delta_o}$ 와 같이 쓸 수 있으므로 타원상수는 다음과 같이 표현된다.

$$\tan \Psi = T_e/T_o \quad (6)$$

$$\Delta = \delta_e - \delta_o = \frac{2\pi d}{\lambda}(n_e - n_o) \quad (7)$$

여기에서 d 는 시료의 두께, λ 는 빛의 파장을 나타내며 대개 nm 단위를 사용한다. 산업 현장에서 많이 사용되는 상수인 리타레이션은 정상굴절률과 이상굴절률의 차이값에 막의 두께를 곱한 값으로 정의되는데 타원상수를 사용하여 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$Ret = (n_e - n_o)d = \frac{\lambda}{2\pi} \Delta \quad (8)$$

이방성이 매우 작을 때에는 $(n_e - n_o)d$ 즉 Δ 도 매우 작아지며 $n_e \cong n_o$ 이므로 $\tan\Psi \cong 1$ 이 되어 $\alpha \cong 0$ 가 만족하여 식 (5)는 $\Delta = \beta$ 와 같이 근사할 수 있다. 따라서 매우 작은 이방성은 다음 식 (9)와 같이 푸리에 계수인 β 로 그 리타데이션을 간단하게 표현할 수 있다. 식 (9)와 같이 표현되는 리타데이션의 측정 정밀도는 푸리에 계수인 β 의 측정 정밀도에 의해 결정되는데 회전검광자 방식의 타원계에서 푸리에 계수의 측정 오차는 0.001 이하이며 이는 대략 0.1 nm의 리타데이션 측정오차에 대응된다. 회전검광자 방식임에도 작은 Δ 를 측정할 때 정밀도를 크게 향상시킬 수 있는 이유는 4분파장 위상지연자를 사용하여 시료에 입사되는 빛을 원편광 상태로 만들었음에 기인한다. 이와 같이 4분파장 위상지연자를 사용함에 따라 러빙된 PI 박막이 있는 유리기층 시료의 미소한 광학이방성 및 그 광학이방성의 예민한 변화를 정밀하게 관찰할 수 있다.

$$Ret = \frac{\lambda\beta}{2\pi} \quad (9)$$

IV. 결과분석 및 검토

그림 3은 시료의 광축과 이방성을 측정할 때 처음 단계에서 구해지는 대표적인 데이터 형태를 보여준다. 그림 3에서 a, b 그리고 c는 각각 측정을 시작할 때, 측정 중간 그리고 측정이 끝날 때의 데이터이며 측정은 아침에 시작하였으므로 측정이 진행됨에 따라 온도는 대략 일정한 비율로 상승하였다. 그림들에서 가로축은 회전하고 있는 시료의 방위각을 나타내며 세로축은 겹보기 리타데이션을 나타낸다. 겹보기 리타데이션이란 시료가 어떤 방위각 위치에 있을 때 측정할 푸리에계수를 사용하여 식 (9)에 따라 계산한 리타데이션을 말한다. 이 겹보기 리타데이션은 그림 3에서와 같이 시료의

방위각에 따라 주기가 180 도인 코사인 형태로 변한다. 측정된 겹보기 리타데이션을 삼각함수에 최적맞춤하여 평균값과 진폭, 그리고 최대가 되는 방위각을 결정할 수 있다. 여기서 진폭은 시료의 리타데이션이 되며 겹보기 리타데이션이 최대 또는 최소가 되는 각도가 광축의 방향이 된다. 본 실험에서는 겹보기 리타데이션의 값이 최소가 되는 각도인 빠른축의 위치를 광축으로 정의하였다. 빠른축은 겹보기 리타데이션이 최대가 되는 위치인 느린축과 90 도 차이가 난다. 겹보기 리타데이션의 평균값이 0이 되지 않는 이유는 4분파장 위상지연자의 위상지연각이 정확하게 90 도가 아니며 온도에 따라 미세하게 변하기 때문이다. 그림 3에서 겹보기 리타데이션의 평균값은 -0.12 nm로부터 -0.02 nm 까지 바뀌는데 이는 위상지연자의 위상지연각이 0.07 도 만큼 변했음을 의미한다.

시료가 회전하는 동안 구동프로그램은 실시간으로 검광자의 방위각의 함수로 빛의 세기를 A/D 변환하면서 그 변환값을 이용하여 푸리에 계수들을 구하며 이 값을 겹보기 리타데이션으로 환산하여 시료의 방위각에 대한 코사인 함수로 최적맞춤하고 광축과 리타데이션을 구한다. 또한 측정되는 빛의 세기, 계산된 푸리에 계수 및 겹보기 리타데이션 그리고 광축과 리타데이션 등은 실시간으로 화면에 표시되며 자동적으로 데이터 파일로 저장된다.

이렇게 측정된 패턴이 있는 유리기층위에 러빙된 PI가 있는 시료의 광학이방성은 러빙된 PI에 의한 광학이방성과 패턴이 있는 유리기층에 의한 광학이방성이 중첩된 결과이다. 두 광학이방성이 중첩된 결과를 유효 광학이방성으로 나타낼 때 이 유효 광학이방성에 의한 광축 각도와 리타데이션의 크기는 고정된 값일 것으로 예상되지만 TFT 패턴이 있는 유리기층 위에 러빙된 PI가 있는 시료의 경우 그림 3에서와 같이 환경변화에 따라 a, b, c와 같이 그 값들이 변하였다. 한편 패턴이 없고 PI 층이 없는 원판유리와 CF 패턴이 있는 유리기층위에 러빙된 PI가 있는 시료에서는 환경변화에 따른 광학이방성의 변화가 관찰되지 않았음을 온도가 약 19도에서 28도까지 상승할 때 일정한 시간간격으로 100 회 측정할

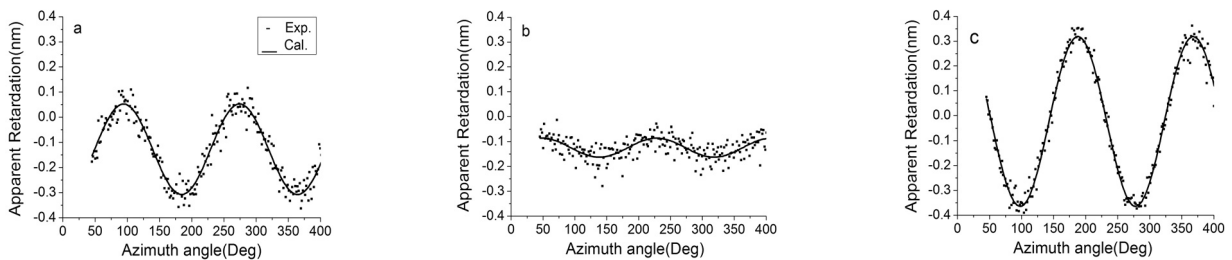


FIG. 3. Measured data and calculated curves of the TFT glass at a. low temperature of 19°C, b. around 22°C, c. high temperature of 28°C.

TABLE 1. The retardations and the optical axes obtained after the analysis of the data shown in Figure 3

	a	b	c
Retardation(nm)	0.180	0.038	0.341
Axis(deg)	184.17	137.96	97.84

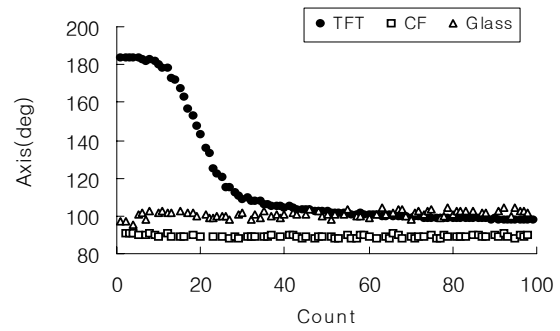
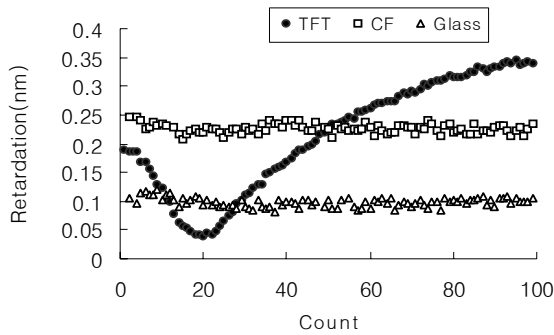


FIG. 4. Experiment result of retardation and axis for comparison. Samples are TFT glass, CF glass and bare(no rubbing) glass.

광축과 리타레이션들을 그린 그래프인 그림 4에서 확인할 수 있다.

원판유리 시료는 약 0.1 nm의 매우 작은 리타레이션을 가지며 그 광축은 약 100 도 근방, CF패턴유리 시료는 약 0.24 nm의 이방성을 가지며 광축은 90 도 근방이 되는데 이들은 온도를 포함한 측정환경이 변하더라도 일정한 값을 유지한다. 이에 비해 TFT패턴유리 시료는 환경변화에 따라 그 광학이방성이 달라지는데 광학이방성의 변화는 일정한 형태를 따른다.

그림 4와 같은 결과는 십여 차례의 반복실험을 통해 측정 재현성을 확인하였다. 특히 TFT 시료의 경우 리타레이션과 광축 각도가 보이는 변화 그래프의 형태는 동일하였지만 그래프상의 각 점에 해당하는 값이 측정되는 조건은 광원의 종류, 단색광이 아닌 광원을 시료에 비출 경우 빛을 비추는 시간, 그리고 실내온도 뿐만이 아니라 대기온도와도 연관되어 미세하게 바뀌었고 이들은 모두 시료의 온도에 직, 간접적으로 영향을 주는 것으로 판단되었다. 이에 따라 시료의 온도를 정확하게 측정하기 위하여 온도계의 센서를 시료 표면과 가까운 곳에 고정하였으나 광 경로와의 간섭을 피하고 회전하는 시료 장착대 와도 일정한 거리를 두어야 했으므로 시료의 온도를 정확하게 반영하기는 어려웠다.

리타레이션을 가로축으로 하고 광축 각도를 세로축으로 하여 측정한 광학이방성의 변화를 그래프로 나타낸 것이 그림 5이다. 원판유리 시료나 CF패턴유리 시료의 경우 측정된 값들이 한 점에 모여 있음은 이미 논의한 바와 같이 이 시료들의 광학이방성이 환경에 따라 달라지지 않음을 나타내는 것으로 해석된다. TFT패턴유리 시료의 경우 낮은 온도에서는 광축 각도와 리타레이션이 각각 184 도와 0.18 nm 근방의 값을 가지며 온도가 올라감에 따라 광축 각도는 천천히 감소하고 리타레이션은 빠르게 감소한다. 온도가 3~5 도 정도 증가하면 온도가 올라감에 따라 광축 각도는 급격히 감소하며 리타레이션은 완만하게 감소하다가 최소값을 거친 후에 완만하게 증가한다. 온도가 계속 올라가면 광축 각도는 천천히 감소하며 리타레이션은 빠르게 증가하여 대략 0.3 nm에 도달한다. 온도가 계속 오르더라도 광축 각도는 대략 98 도 근방으로 접근한다. 광축 각도와 리타레이션이 보이는 이 같은

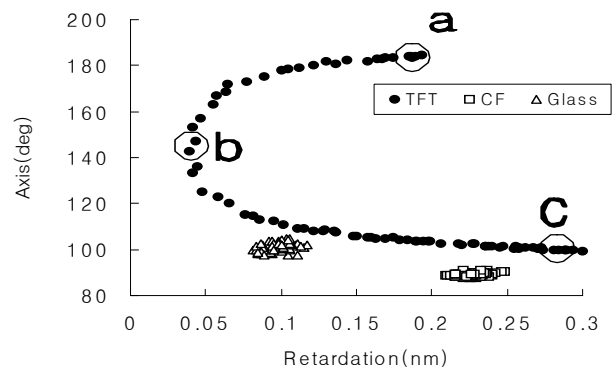


FIG. 5. Relation between axis and retardation for three samples.

형태의 변화는 모든 TFT패턴유리 시료에서 관찰되었는데 단지 온도가 변하는 폭에 따라 이 그래프의 일부분만이 관찰되기도 하였다. 이 그래프에서 시작하는 위치와 끝나는 위치의 온도는 대략 19 °C와 28 °C이지만 앞에서 논의한 바와 같이 본 연구에서의 온도 측정의 오차를 감안하면 정확한 온도측정을 수반한 실험은 다음 단계의 연구 주제로써 적당한 것으로 판단된다.

원판유리 시료나 CF패턴유리 시료의 광학이방성은 일정하게 유지되는데 비해 TFT패턴유리 시료의 광학이방성이 이 같은 온도 의존성을 보이는 원인은 TFT패턴이 금속성 물질에 의한 미세 패턴을 포함하고 있기 때문인 것으로 추정된다. 이 미세패턴은 방향성을 가지고 있으므로 미세패턴 자체에 의한 광학이방성이 존재하며 미세패턴을 구성하는 물질은 기층물질인 유리와 열팽창계수가 다르므로 온도변화에 따라 두 물질간 수축 혹은 팽창의 정도가 달라져서 유리에 광학이방성이 유도될 수 있다. 유도된 광학이방성은 미세패턴과 나란한 방향이거나 수직인 방향일 것이므로 온도를 포함한 환경변화에 따라 유도된 광학이방성의 광축의 방향은 바뀌지 않으나 그 크기가 달라질 것으로 예상된다.

두 개의 광학이방성 시료 또는 비균일한 광학이방성이 동일 평면상에서 중첩되어 있을 경우 타원법을 이용하여 복합판의 유효 광학이방성을 표현한 연구 결과가 최근에 보고되었다.^[9] 이 연구결과에 의하면 러빙된 PI와 유리 기층 그리고

미세패턴에 의한 광학이방성이 온도변화에 의해 유도된 광학이방성과 중첩될 경우 측정되는 복합판의 유효 광학이방성은 유효 타원상수들인 Δ_{eff} 와 Ψ_{eff} 를 사용하여 리타레이션과 광축 각도로 나타내는데 그 구체적인 표현은 아래와 같다.

$$Ret \approx \frac{\lambda}{2\pi} \frac{\sqrt{(\tan^2\Psi_{eff} - \tan^2P)^2 + 4\tan^2\Psi_{eff}\tan^2P\cos^2(\Delta_{eff} - \delta_C)}}{\tan^2\Psi_{eff} + \tan^2P} \quad (10)$$

$$\theta_s = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[\frac{2\tan\Psi_{eff}\tan P\cos(\Delta_{eff} - \delta_C)}{\tan^2\Psi_{eff} - \tan^2P} \right] \quad (11)$$

TFT패턴유리 시료의 광학이방성을 일정한 광학이방성과 일정하지 않은 광학이방성의 합으로 나누어 생각할 수 있다. 여기에서 일정한 광학이방성은 러빙된 PI, 유리 기층 그리고 미세패턴 자체에 의한 광학이방성이며 온도 변화에 따라 유도되는 광학이방성은 일정하지 않은 광학이방성으로 분류된다. 일정한 광학이방성의 빠른축과 느린축의 투과계수의 비와 위상지연을 각각 t_h 와 δ_h 라 하고 일정하지 않은 광학이방성의 빠른축과 느린축의 투과계수의 비와 위상지연을 각각 t_0 와 δ_{ave} 라 할 때 유효 타원상수들은 각각 다음과 같다.^[9]

$$\tan\Psi_{eff} = t_h t_0 \quad (12)$$

$$\Delta_{eff} = \delta_h + \delta_{ave} \quad (13)$$

그림 6은 $t_h t_0=1.005$, $\delta_h = -0.002$ 일 때 δ_{ave} 를 -0.003부터 0.005 까지 변화시키면서 계산한 리타레이션과 광축 각도 그래프를 TFT패턴유리 시료의 측정값과 비교한 그래프로 두 그래프가 거의 일치하는 모습을 보여준다. 여기에서 측정장비의 시료 방위각의 영점위치 설정을 고려하여 계산된 광축 값에는 일정한 보정값(98도)을 더해주었다. 그림 6에서 광축과 리타레이션이 큰 변화를 보이는 것은 TFT패턴이 있는 기층유리에 의한 광학이방성의 크기가 러빙된 PI에 의한 광학이방성과 비슷한 크기를 가지며 변하기 때문으로 러빙된 PI

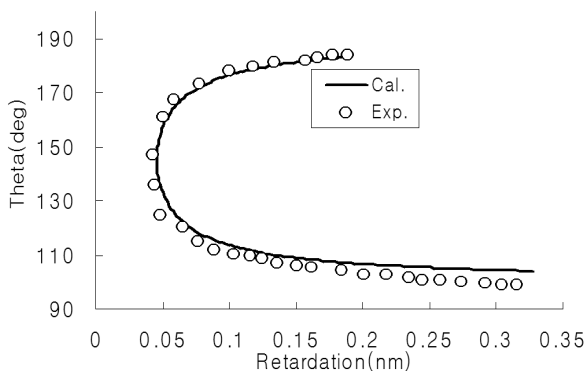


FIG. 6. Calculated and measured curves of the TFT patterned glass.

의 광축을 결정하는 데에는 이러한 기층에 의한 효과가 매우 부정적임을 인식하게 한다. 즉 기층의 온도에 따라 유효광축의 방향과 등가 리타레이션의 크기가 달라지므로 러빙된 PI의 광축을 결정하기 위해서는 적절한 온도를 찾는 작업이 선행되어야 하는 부담이 따른다.

이상과 같은 결과를 통해 기판 최상부 층의 PI의 리타레이션과 광축을 투과형 장비를 사용하여 찾을 때의 한계를 파악할 수 있다. 이에 따르면 복합시료의 경우 기판의 영향을 받지 않고 러빙된 PI 표면만을 관찰하는 방법을 적용하여야만 러빙된 PI의 광축의 방향과 러빙의 정도를 분리하여 해석할 수 있으며 이를 위해서는 투과형에 기반하지 않고 반사형에 기반한 정밀 편광측정장치가 필요하다. 한편 반사형 측정장비는 시료를 돌리며 측정할 때 반사광의 흔들림이 없어야 하므로 시료장착에 있어서 매우 정밀한 조정이 요구되고 반사된 빛이 원형 편광상태가 되도록 입사광의 편광상태를 조절해 주어야 하는 등의 많은 어려움이 예상된다. 그러나 반사형 측정장비는 러빙된 PI만에 의한 광학이방성을 분리하여 측정, 분석할 수 있으므로 LCD용 유리 기판의 배향막 표면 분석에 있어서 유용하게 쓰일 것으로 기대된다.

V. 결 론

패턴이 있는 LCD용 유리기판 위에 러빙된 PI의 배향막을 갖는 시료의 광학이방성을 조사하였다. 패턴이 없는 원판유리 시료나 CF패턴이 있는 유리기판 시료의 경우 광학이방성은 일정한 값을 유지하였으나 TFT패턴이 있는 유리기판 시료의 경우 온도변화에 따라 광축의 방향과 리타레이션의 크기가 크게 변화였다. 간단한 광학모델을 사용하여 미세패턴에 의해 유도된 광학이방성과 시료 내에 존재하는 일정한 광학이방성이 중첩된 유효 광학이방성으로 관찰된 복합시료의 광축 변화와 리타레이션 변화를 설명하였다.

본 연구의 결과는 액정 정렬에 사용되는 러빙된 PI의 광학이방성과 광축 방향을 정의하는 데에 도움을 주어 LCD의 화질향상 및 LCD 패널 제작공정에서 수율향상에 기여할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2008년도 경기도기술개발사업 (과제명 : LCD 배향막 검사장비 개발)의 연구비 지원을 받아 이루어졌습니다. 본 실험에 사용된 시료를 제공하여 준 LG Display에 감사드립니다.

References

1. H. Kitahara, *Liquid Crystal Industry*, D. S. Han, ed. (Engineering Information Press, Seoul, Korea, 2006), pp. 26-53.
2. E. Jeong, M. H. Chin, Y. J. Lim, A. K. Srivastava, and

- S. H. Lee, "Switching of off-axis viewing quality in twisted nematic liquid crystal display by controlling phase retardation of additional liquid crystal layers," *J. Appl. Phys.* **104**, 033108 (2008).
3. J. S. King and W. T Whang, "Effect of backbone on the bixial retardation of polyimide films in uniaxial stretch," *Mater. Chem. Phys.* **103**, 35-40 (2007).
 4. H. Murai, K. Ekawa, J. Takashima, and N. Nakatsuka, "Mura-detection method by using a slit-beam ellipsometer," *J. SID* **15**, 281-286 (2007).
 5. Y. L. Lo, J. F. Lin, and S. Y. Lee, "Polariscope for simultaneous measurement of the principal axis and the phase retardation by use of two phase-locked extractions," *Appl. Opt.* **43**, 6248-6254 (2004).
 6. M. Hideyuki, E. Koichi, T. Jun, N. Hitoshi, and N. Nobuo, "Useful inspection method of rubbed polyimide film with optical anisotropy using reflection ellipsometry," *SID* **37**, 490-493 (2006).
 7. S. Y. Kim, *Ellipsometry* (Ajou University Press, Korea, 2000), pp. 82-87.
 8. William. H, *Numerical Recipes in C++* (Cambridge Press, England, 2002), pp. 686-693.
 9. J. W. Ryu and S. Y. Kim, "Analysis of effective optic axis and equivalent retardation of composite optically anisotropic film by using transmission ellipsometry," *Korean J. Opt. Photon.* in submission.