

## Precise Measurement of the Ultrasmall Optical Anisotropy of Rubbed Polyimide Using an Improved Reflection Ellipsometer

Je Hyoun Lee<sup>1</sup>, Min Soo Park<sup>1</sup>, Sung Mo Yang<sup>1</sup>, Sang Uk Park<sup>2</sup>,  
Min Ho Lee<sup>2</sup>, and Sang Youl Kim<sup>1,2†</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics, Ajou University, Suwon 443-749, Korea

<sup>2</sup>Ellipso Technology Co., Ltd., Suwon 442-190, Korea

(Received June 12, 2015; Revised manuscript June 30, 2015; Accepted July 1, 2015)

We developed a reflection ellipsometer so that one can measure the extremely small optical anisotropy of a rubbed polyimide alignment layer, without being disturbed by the residual anisotropy of the substrate. The optical anisotropy of the alignment layer was measured as rubbing strength was increased, and the measured anisotropy was compared to the retardation obtained by using a transmission-type ellipsometer, to confirm the reliability of our reflection ellipsometer. With this measured anisotropy we could verify the formation of an alignment layer by rubbing, and could quantitatively evaluate the formation of the alignment layer.

Keywords: Ultra-small optical anisotropy, Reflection ellipsometry, Rubbed polyimide, Alignment layer

OCIS codes: (120.2040) Displays; (120.2130) Ellipsometry and polarimetry; (310.5448) Polarization, other optical properties

## 반사형 타원계를 이용한 러빙된 Polyimide 배향막의 초미세 광학 이방성 정밀 측정

이제현<sup>1</sup> · 박민수<sup>1</sup> · 양성모<sup>1</sup> · 박상욱<sup>2</sup> · 이민호<sup>2</sup> · 김상열<sup>1,2†</sup>

<sup>1</sup>아주대학교 물리학과

☎ 443-749 경기도 수원시 영통구

<sup>2</sup>(주)엘립소테크놀로지

☎ 442-190 경기도 수원시 팔달구

(2015년 6월 12일 받음, 2015년 6월 30일 수정본 받음, 2015년 7월 1일 게재 확정)

기층의 잔류 이방성에 영향을 받지 않고 러빙된 폴리이미드 배향막의 초미세 광학 이방성을 정밀하게 측정할 수 있는 반사형 타원계를 개발하고 러빙의 세기를 달리하여 제작한 배향막의 광학이방성을 이 반사형 타원계를 사용하여 측정, 분석하였다. 투과형 타원계를 사용하여 측정한 리타데이션과 비교하여 개발된 반사형 타원계의 신뢰도 및 광학 이방성의 측정 재현성을 확인하고 배향막의 형성 여부와 배향막의 형성정도를 정량적으로 평가하였다.

Keywords: 초미세 광학이방성, 반사타원법, 러빙된 PI, 배향막

OCIS codes: (120.2040) Displays; (120.2130) Ellipsometry and polarimetry; (310.5448) Polarization, other optical properties

### I. 서 론

LCD 패널에서 사용되는 배향막은 고분자 폴리이미드 (polyimide, PI)가 코팅된 ITO 유리기층을 러빙포를 이용하여 일정한 방향으로 문질러주는 러빙 공정이나 편광된 자외선을 쬐여주는 자외선조사 공정을 통해 만들어진다. LCD의 응답속도, 명암대비, 시야각 등은 배향막에 고정되는 액정분

자의 배향 안정성과 분포 균일성에 영향을 받기 때문에 고화질의 LCD 패널을 얻기 위해서는 배향막을 잘 제어하여야 한다. 따라서 배향막의 형성 정도를 실시간으로 평가하고 생산공정에 되먹임하면 러빙 불량으로 인한 공정손실을 줄이고 화질개선에 기여할 수 있을 것이다.<sup>[1]</sup>

배향막은 러빙에 따르는 물성의 변화가 매우 작으므로 러빙에 의한 미세한 물성변화를 감지하기 위해서는 정밀한 측

†E-mail: [sykim@ajou.ac.kr](mailto:sykim@ajou.ac.kr)

Color versions of one or more of the figures in this paper are available online.

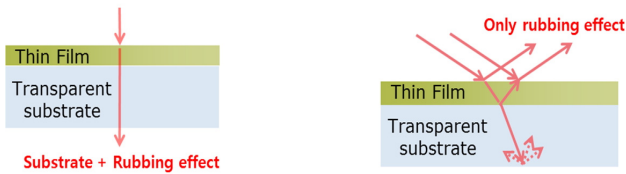


FIG. 1. Schematic comparison of anisotropy measurement using a transmission ellipsometer with that using a reflection ellipsometer.

정 장비를 사용해야 한다. 미세한 표면구조를 측정하는 대표적인 표면 검사장비인 AFM(Atomic Force Microscope)<sup>[2,3]</sup>은 탐침이 배향막 표면에 손상을 주며, 실시간으로 대면적 시료를 검사하는데 어려움이 있다. 이에 따라 비접촉식으로 고속 측정이 가능한 광학적 방법을 사용하여 배향막의 러빙 정도를 측정, 분석하는 연구들이 활발히 진행되고 있다.<sup>[4-9]</sup>

광학적 방법은 배향막을 구성하는 고분자들이 특정 방향으로 배열될 때 발생하는 광학 이방성의 측정에 기초를 두고 있다. 광학적인 측정방법 중 타원계(ellipsometry)에 기반을 둔 투과형 타원계(transmission ellipsometer)를 사용하면 편광된 빛이 이방성 박막을 투과하면서 발생하는 편광상태의 변화를 측정할 수 있는데<sup>[10,11]</sup> 최근에 개발되어 초미세 광학 이방성을 정밀하게 측정할 수 있게 하는 개선된 투과형 타원계를 사용하면 배향막의 초미세 광학 이방성(0.1 nm ~ 0.3 nm)도 정밀하게 측정할 수 있다. 그러나 투과형 타원계를 사용하면 기층의 잔류 광학 이방성도 함께 측정하게 되므로(Fig. 1) 배향막만의 광학 이방성을 추출하기 위해서는 기층의 잔류 광학 이방성을 빼주는 RVD(Retardation Vector Difference) 방법을 적용하여야 하며 배향막이 형성되기 전과 후, 동일한 위치에서 도합 2회 측정을 해야 하는 단점을 가지고 있다.<sup>[12]</sup>

투과형 타원계와 달리 반사형 타원계(reflection ellipsometer)를 사용하면 기층의 후면에서 반사한 빛을 소광 처리할 수 있으므로 기층의 잔류 광학 이방성이 배향막의 광학 이방성 측정에 미치는 영향을 배제시킬 수 있다.<sup>[13,14]</sup> 본 연구에서는 PCSA(Polarizer-Compensator-Sample- Analyzer) 구조를 가지는 개선된 투과형 타원계의 핵심모듈을 사용하되 반사형으로 개조하여 RVD 방식을 적용하지 않고도 배향막만의 초미세 광학 이방성을 측정할 수 있게 하였다. 또한 기존 투과형 타원계를 사용하여 측정한 광학 이방성인 리타레이션(Retardation)과 본 연구에서 개발한 반사형 타원계를 사용하여 측정한 광학 이방성인 Anisotropy를 비교, 분석하여 이 반사형 타원계의 측정 정밀도를 평가하였다.

## II. 반사형 타원계와 Anisotropy의 정의

타원계는 미세한 편광상태 변화를 정밀하게 측정할 수 있게 하므로 배향막의 초미세 광학 이방성을 측정하는데 있어 크게 유리할 것으로 예상되지만 반사형으로 구동되는 타원계는 대개 70° 내외의 입사각을 사용하기 때문에 p파의 반사계수와 s파의 반사계수 차이로 인하여 나타나는 반사광의 편

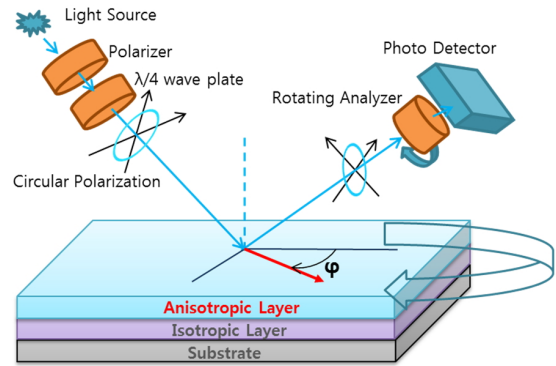


FIG. 2. Schematic setup of a reflection ellipsometer with PCSA configuration. For a detection and quantitative evaluation of very small optical anisotropy, the sample stage is rotated during measurement.

광상태 변화가 배향막의 미세한 광학 이방성에 의한 편광상태 변화보다 월등하게 크다. 따라서 p파와 s파의 반사계수 차이를 정밀하게 처리하지 않으면 배향막의 미세한 광학 이방성을 측정할 때 오차가 매우 커지게 된다.<sup>[15]</sup> 이러한 단점을 극복하기 위해 본 연구에서는 본 연구에서는 최근 투과형 타원계에 적용한 개선방법들을<sup>[12]</sup> 모두 활용하여 측정정밀도를 대폭 향상시켰다. 먼저 직선 편광상태의 빛을 4분파장 위상지연자를 통과시켜 원편광 상태로 만들어 입사광으로 사용하고 최대한 수직입사에 가깝게 입사각을 35도로 설정하였다. 투과형에 적용한 개선방법들 중 가장 핵심적인 사항은 측정모듈을 회전시키며 타원상수를 구하고 이 타원상수의 회전각도 의존성으로부터 미세한 광학이방성을 찾는 것인데 본 연구에서는 타원계를 반사형으로 사용하므로 상대적으로 무겁고 부피가 큰 광원, 편광자 모듈과 검광자 모듈 등을 회전시키기 보다는 크기가 작고 무게도 가벼운 시료를 회전시켰다. 즉 Fig. 2에서와 같이 모듈회전방식 대신 시료회전방식을 채택하여 기계적인 진동으로부터 발생할 수 있는 측정오차를 줄이고 회전하는 시료의 방위각에 따른 타원상수의 변화여부로부터 광학 이방성의 존재여부를 확인하며 타원상수의 변화폭으로부터 광학 이방성의 크기를 아래에서 설명하는 바와 같이 정량화하였다.

본 연구에서 개발한 반사형 타원계는 광원인 450 nm 파장의 LED 램프, 편광자 모듈로써 4분파장 위상지연자가 부착된 편광자, 시료, 회전검광자, 그리고 광 검출기의 핵심 부품들로 구성되어 있다. 먼저 이 타원계를 사용하여 측정한 반사광의 세기를 회전검광자의 방위각의 함수로 표현하고 이로부터 타원상수  $\alpha$ 와  $\beta$ 를 구하였다. 중심 파장이 450 nm이고 5 nm 정도의 선폭을 가지는 LED 광원에서 방출된 빛은 직선편광자와 4분파장 위상지연자를 통과하더라도 완벽한 원편광상태가 되지 않는다. 이에 따라 반사에 따르는 시료의 편광작용을 측정하고 분석하는데 오차가 발생할 수 있으나 회전하는 시료의 방위각에 따른 타원상수  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 변화량으로부터 시료의 미세한 광학이방성을 도출하는 방법을 사용

하면 입사광이 원편광상태에서 미세하게 벗어나더라도 타원 상수의 변화량은 측정오차 범위내에서 동일하게 측정된다. 본 연구에서는 타원상수  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 변화량을 사용하여 광학 이방성의 크기를 아래와 같이 정의하였다.

PCSA 구조의 반사형 타원계에서 광검출기에서 감지되는 빛의 전기장은 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\vec{E}_{AO}^{te} = \vec{T}_A^{te} \cdot \vec{R}(A) \cdot \vec{R}_S^{xy} \cdot \vec{R}(-C) \cdot \vec{T}_C^{fs} \cdot \vec{R}(-P+C) \cdot \vec{E}_{PO}^{te} \quad (1)$$

여기에서  $\vec{T}$ 는 편광소자의 편광작용을 나타내는 존스행렬,  $\vec{R}$ 은 좌표축 회전을 나타내는 존스행렬을 가리킨다. 첨자는 광학소자, 좌표축 등을 표시한다. 예를 들면  $\vec{T}_C^{fs}$ 는 보정기의 투과행렬,  $\vec{T}_A^{te}$ 는 검광자의 투과행렬을 나타낸다.  $\vec{R}_S^{xy}$ 는 시료의 작용을 나타내는 반사행렬을 가리킨다. 이들 행렬에서 위 첨자  $fs, te, xy$ 는 각각 위상지연자의 빠른축과 느린축, 편광자의 투과축과 소거축,  $xy$  좌표축을 나타내며 아래첨자  $C, A, S$ 는 각각 위상지연자 즉 보정기(Compensator), 검광자(Analyzer), 그리고 시료(Sample)를 나타낸다. 편광자를 투과한 빛의 전기장 벡터  $\vec{E}_{PO}^{te}$ , 검광자를 투과하는 전기장의 벡터  $\vec{E}_{AO}^{te}$ 에서  $AO, PO$ 는 각각 Analyzer Output와 Polarizer Output

을 가리킨다.  $\vec{R}$  행렬의 괄호 속에 있는  $A, C, P$ 는 각각 검광자, 보정기, 편광자의 방위각을 가리킨다. 이 전기장 표현으로부터, 회전하는 검광자의 각속도  $\omega$ 의 조화함수로, 측정되는 빛의 세기를 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.<sup>[10,12]</sup>

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

시료를 회전시키며 측정하면 타원상수  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 등방성 시료의 경우 일정한 값을 보여주며, 광학 이방성을 가지고 있는 시료의 경우 진동한다.(Fig. 3) 광학 이방성이 작을 때 타원상수의 진동폭은 이방성의 정도에 따라 커지는데 배향막을 단축 이방성 박막으로 근사할 수 있을 경우 이 진동의 폭은 광축이 시료평면과 이루는 각의 코사인과 광학이방성의 크기의 곱에 비례한다. 본 연구에서는 시료의 광학 이방성의 크기를 Anisotropy라고 하고 방위각에 따른  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 진폭인  $\Delta\alpha$ 와  $\Delta\beta$ 로 다음과 같이 정의하였다.

$$Anisotropy = \sqrt{\Delta\alpha^2 + \Delta\beta^2} \quad (3)$$

### III. 시료준비 및 측정

#### 3.1. PI 코팅 및 러빙

배향막은  $100 \times 100 \times 0.5 \text{ mm}^3$ 의 ITO 유리기판에 PI를 스프레이 코팅한 후 열처리 과정과 러빙 공정을 순차적으로 거치며 만들었다. 러빙 공정에서는 러빙변수<sup>[16]</sup>중 스테이지의 이동 속도(75 mm/s)와 몰리의 회전속도(1000 rpm)를 고정시켰으며(몰리의 반지름은 125 mm) 배향의 세기는 러빙깊이를 0.1 mm 부터 0.45 mm 까지 증가시키며 조절하였다. PI 배향막은 경희대학교의 RIC CAMID 연구센터에서 처리하였다.

#### 3.2. 공정 단계별 광학 이방성 측정

시료제작 단계와 러빙 단계별로 기존의 투과형 타원계를 사용하여 Retardation을 측정하고 러빙을 마친 뒤 본 연구에서 개발된 반사형 타원계를 사용하여 Anisotropy를 측정하였다.(Table 1 참조). 이 같은 측정을 통해 ITO 유리기판이 가지는 기층의 잔류 광학 이방성을 확인하고 PI 코팅 과정이나 러빙 공정으로 인한 광학 이방성의 변화를 단계별로 확인하였다. 배향막의 초미세 광학 이방성을 측정할 때 투과형 타원계는 그 측정 정밀도가 확인된 바 있지만, 기층의 잔류 이방성이 배향막의 이방성에 더해지기 때문에 Retardation 데이터를 처리할 때에는 신중을 기하였다. 투과형 타원계의 경우 빔 크기가 3 mm 정도이어서 시료 표면을 20x20 개의 구역으로 나누어 측정하였고 반사형 타원계의 경우 시료면에서의 빔 크기는 5~7 mm 정도이어서 시료 표면을 10x10 개의 구역으로 나누어 측정하였다.(Fig. 4) 반사형 타원계를 사용할 때에는 시료의 후면에 스카치 테이프를 부착하는 방법으로 유리기층의 바닥에서 반사되는 빛을 차단하여<sup>[14]</sup> 기층의 잔류 광학 이방성이 영향을 미치지 않도록 하였다. 시료들을

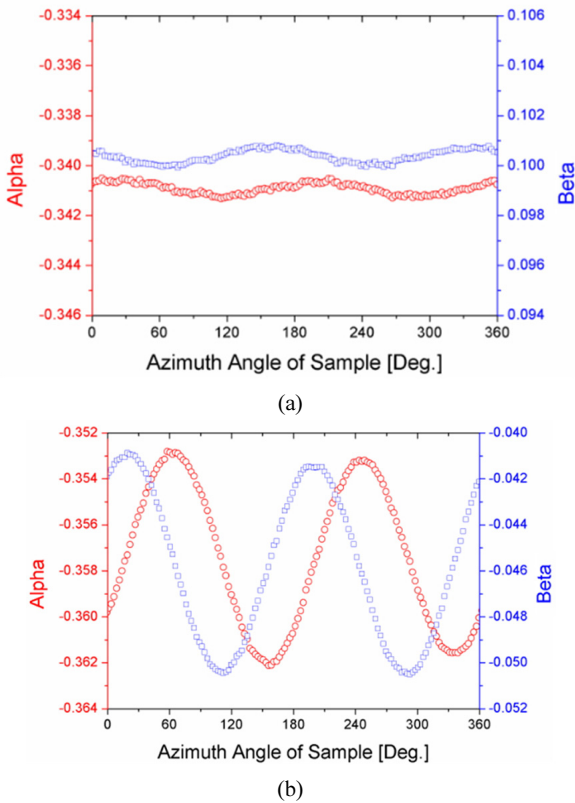


FIG. 3. The variation of ellipsometric constants  $\alpha$  and  $\beta$  versus the azimuth angle of a rotating sample of an unrubbed PI (a) and that of a rubbed PI (b).

TABLE 1. A summarized table showing the sample preparation process and the measurement process

NO.	Bare ITO Glass RET measure	PI Coating	Baking		Bare ITO Glass RET measure	Rubbing Depth (mm)	Rubbed PI RET measure	Anisotropy measure
			Oven	Hot Plate				
PH-1-1		○		○	○	0.1	○	○
PH-1-2		○		○	○	0.2	○	○
PH-1-3		○		○	○	0.3	○	○
PH-1-4		○		○	○	0.4	○	○
PH-1-5		○		○	○	0.45	○	○
PH-2-1		○		○	○	0.1	○	○
PH-2-2		○		○	○	0.2	○	○
PH-2-3		○		○	○	0.3	○	○
PH-2-4		○		○	○	0.4	○	○
PH-2-5		○		○	○	0.45	○	○
I-PO-1	○	○	○		○	0.1	○	○
I-PO-2	○	○	○		○	0.2	○	○
I-PO-3	○	○	○		○	0.3	○	○
I-PO-4	○	○	○		○	0.4	○	○
I-PH-1	○	○		○	○	0.2	○	○
I-PH-2	○	○		○	○	0.3	○	○
I-PH-3	○	○		○	○	0.4	○	○

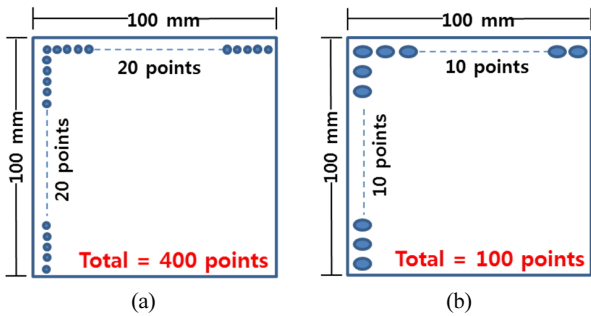


FIG. 4. Schematic figures of mapping points for transmission ellipsometer (400 points, a) and those for reflection ellipsometer (100 points, b).

3개의 그룹으로 나누어 ITO 유리기판에 PI를 코팅하기 전과 PI를 코팅한 후, 그리고 열처리하고 난 후와 러빙한 후에 각각 Retardation을 측정하였다. ITO 유리기층에 PI를 코팅한 후 열판(hot plate)에서 열처리한 시료는 PH와 같이 표시하고, PI 코팅하기 전에 ITO 유리기판의 Retardation을 측정한 시료는 오븐에서 열처리한 시료와 열판에서 열처리한 시료로 나누어 각각 I-PO, I-PH와 같이 표시하였다. Retardation 측정과 Anisotropy의 측정은 (주)엘립소테크놀러지에서 이루어졌다.

#### IV. 결과 및 검토

##### 4.1. 반사형 타원계를 사용한 Anisotropy 측정결과

반사형 타원계를 사용하면 기층의 잔류 광학 이방성과 무

관하게 배향막 만에 의한 광학 이방성을 측정할 수 있다. 각각의 그룹(PH-1, PH-2, I-PO, I-PH)에서 러빙깊이를 변화시키며 배향한 PI 막의 Anisotropy 분포를 Fig. 5에 나타내었다. Figure 5에서 짙은 파랑색은 Anisotropy가 0.0에 가까운 값이며, 연한 하늘색은 Anisotropy가 0.8 내외의 값으로 짙은 파랑에서 연한 파랑으로 갈수록 Anisotropy가 증가함을 나타낸다. 시료에 따라 Anisotropy의 분포가 서로 다름이 확인되며, 각 그룹별로 러빙깊이가 증가할 수록 Anisotropy도 증가함을 알 수 있다. 이와 같이 반사형 타원계를 사용하여 측정된 Anisotropy로써 배향막의 광학 이방성의 분포와 러빙깊이에 따른 광학 이방성의 증가 형태를 확인할 수 있다.

##### 4.2. 투과형 타원계를 사용한 Retardation 측정결과

반사형 타원계를 사용한 Anisotropy의 측정결과를 검증하기 위하여 이미 개발이 완료되고 성능이 확인된 투과형 타원계를<sup>[12]</sup> 사용하여 동일한 배향막을 측정하였다. 먼저 PI를 코팅하기 이전 단계에서 ITO 유리기판의 Retardation을 측정하여 기층의 잔류 이방성을 확인하였다. 이후 공정단계별(PI 코팅, 러빙)로 동일한 위치에서 측정한 Retardation들 중 몇 가지 시료를 선택하여 그 시료들의 Retardation 분포를 Fig. 6에 컬러 맵으로 나타내었다. Figure 6에서 짙은 파랑색은 작은 광학 이방성(Retardation=0.05 nm)을, 짙은 빨간색은 큰 광학 이방성(Retardation=0.4 nm)을 나타낸다. ITO 유리기판은 PI 코팅 이전 단계에서부터 다양한 패턴의 Retardation 분포를 보이는데 이는 ITO 유리기판이 가지고 있는 고유한 잔류 응력이 서로 다르고 이로 인하여 유리기판들이 서로 다른

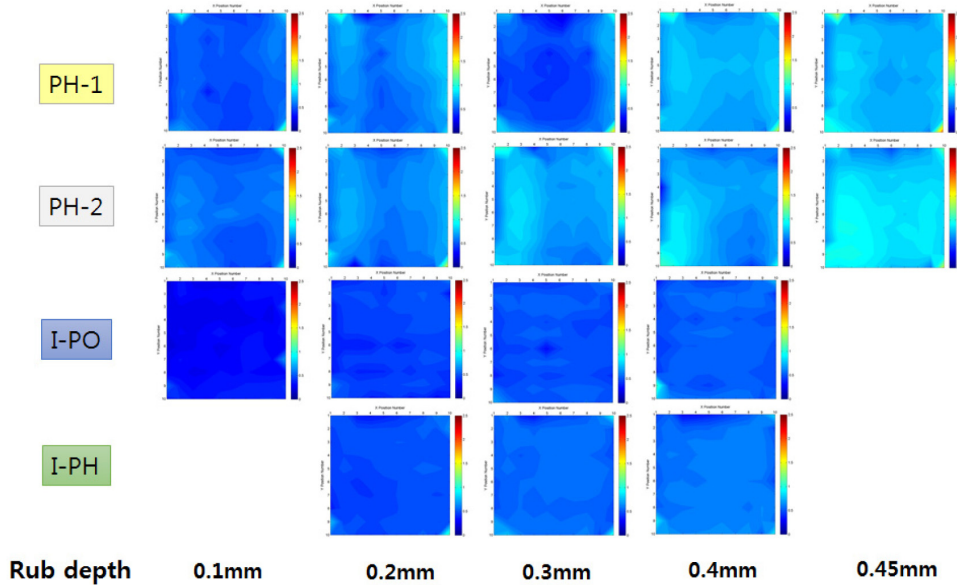


FIG. 5. Contour maps of Anisotropy of rubbed PI layers on ITO glass.

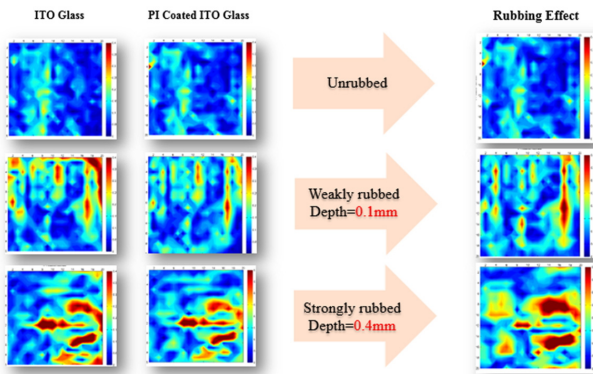


FIG. 6. Contour maps of Retardation of ITO glasses (left), PI on ITO coated glasses (middle) and rubbed PI on ITO coated glasses (right).

이방성 분포를 가지기 때문인 것으로 판단된다. PI 코팅 또는 러빙 공정을 마친 배향막의 Retardation 분포는 이러한 잔류 이방성의 영향을 강하게 받아 PI 코팅이나 러빙 공정을 거치기 이전의 ITO 유리기판과 동일한 패턴을 보인다.

ITO 유리기판이 가지고 있는 잔류 광학 이방성은 Fig. 6에서 확인할 수 있듯이 0.05 nm ~ 0.40 nm 정도의 크기를 보이는데 러빙으로 인해 생기는 광학 이방성은 평균 0.1 nm 정도이므로 기층의 잔류 광학 이방성에 의한 영향을 크게 받을 수 있다. 따라서 유리기판의 잔류 광학 이방성이 포함된 러빙된 PI 배향막의 Retardation 만을 가지고 러빙 공정에 의한 광학 이방성을 정확하게 평가하기가 어렵다. 이에 반해 RVD 방법을 적용하면 순수 러빙에 의한 효과를 확인할 수 있다. RVD 방법을 적용한 결과 PI 코팅 공정이나 열처리 공정을 거친 시료에서는 Retardation의 변화가 거의 관찰되지 않지

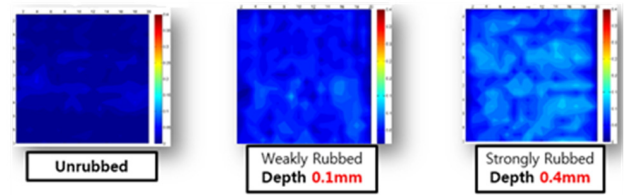


FIG. 7. Contour maps of Retardation after the RVD method is applied show the rubbing effect.

만 러빙 공정을 거친 시료에서는 러빙깊이에 따라 Retardation의 변화가 상대적으로 크게 나타남을 확인할 수 있었다. Figure 7은 열처리 공정을 거친 시료에 대해 RVD 방법을 적용하여 얻은 Retardation의 변화를 보여주는데 이 그림에서 배향막의 형성여부 뿐만 아니라 러빙깊이에 따른 배향막의 성장 즉 광학 이방성의 증가를 확인할 수 있다.

### 4.3. Anisotropy 측정결과와 Retardation 측정결과와의 비교

반사형 타원계로 측정된 Anisotropy를 RVD 방식을 적용한 Retardation과 비교하여 반사형 타원계의 신뢰도를 확인하였다. PH 시료들을 선정하여 러빙된 PI 배향막의 Retardation 분포와 Anisotropy 분포를 Fig. 8에 직접 비교하였다. 참고로 투과형 타원계의 빔 크기가 반사형 타원계의 빔 크기보다 작기 때문에 Retardation 분포의 해상도가 Anisotropy의 분포의 해상도보다 우수하여 Retardation 분포가 더 또렷하게 나타난다. 해상도를 논외로 하면 Retardation이 나타내는 광학 이방성 패턴과 Anisotropy가 나타내는 광학 이방성 패턴은 그 모양이 서로 비슷하며 러빙깊이가 증가할수록 비슷하게 증가하는 것을 확인할 수 있다.

Figure 8의 Retardation 분포와 Anisotropy 분포로부터 이들

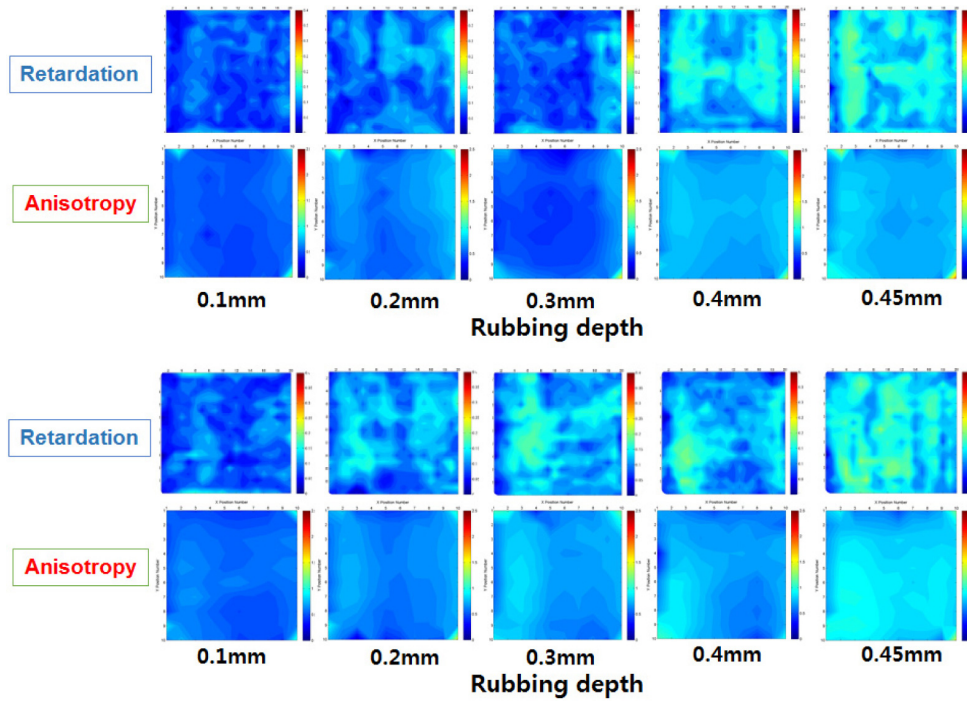


FIG. 8. A comparison of surface contour maps of Retardation with those of Anisotropy shows similar patterns.

TABLE 2. The average values of Retardation and those of Anisotropy

Sample	PH-1-1~5		PH-2-1~5		1-PH-1~5		1-PO-1~5	
	Retardation (nm)	Anisotropy	Retardation (nm)	Anisotropy	Retardation (nm)	Anisotropy	Retardation (nm)	Anisotropy
0.1	0.082	0.528	0.089	0.559	0.051	0.316	-	-
0.2	0.097	0.642	0.111	0.639	0.070	0.446	0.070	0.485
0.3	0.090	0.536	0.122	0.716	0.077	0.491	0.083	0.557
0.4	0.130	0.748	0.119	0.695	0.081	0.529	0.084	0.588
0.45	0.140	0.763	0.142	0.834	-	-	-	-

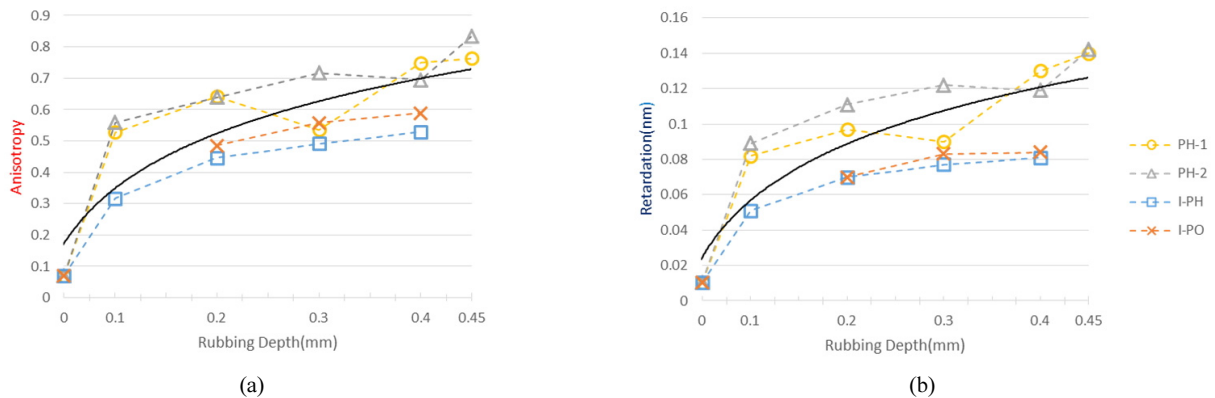


FIG. 9. The variation of Anisotropy(left) and that of Retardation(right) versus rubbing depth.

의 평균값을 구하여 Table 2와 Fig. 9에 각각 나타내었다. Figure 9에서 x축은 러빙깊이, y축은 Retardation(좌측) 또는 Anisotropy(우측)를 각각 가리킨다.  $\Delta nd$ 로 정의되며 nm의 단위를 가지는 Retardation에 비해 단위가 없는 Anisotropy는

다소 큰 수치값을 보이고 있지만 러빙깊이가 0.0 mm에서 0.45 mm로 증가함에 따라 Retardation과 Anisotropy는 서로 비슷한 형태로 증가한다. Retardation은 등방성 시료의 경우 0.01 nm 정도이며 0.45 mm의 러빙깊이로 배향한 시료(PH-2-5)

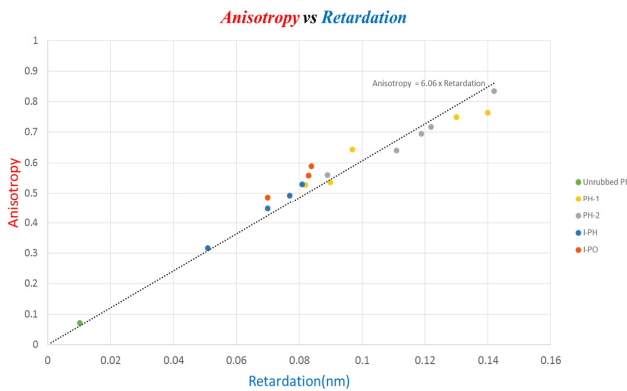


FIG. 10. Anisotropy versus Retardation curve is fit into a straight line, whose slope is about 6.

의 경우 가장 큰 값인 0.142 nm를 가진다. Anisotropy도 비슷한 경향을 보이는데 등방성 시료의 경우 0.07 정도의 크기를 가지며 PH-2-5 시료의 경우 0.834의 크기를 가진다.

Retardation을 x축, Anisotropy를 y축으로 하여 그린 그래프 (Fig. 10)에서 Anisotropy와 Retardation은 기울기가 6 정도 되는 직선상에 있으며 측정값들이 이 직선으로부터의 벗어나는 정도는 매우 약함을 알 수 있다. 이로부터 반사형 타원계는 배향막의 미세 광학 이방성 측정에 있어 투과형 타원계와 동등한 정밀도를 가진다고 할 수 있겠다.

요약하면 투과형 타원계와 동등한 광학 이방성 측정 정밀도를 가지는 반사형 타원계를 개발하였고 이 반사형 타원계를 사용하면 RVD 방식을 적용해야하는 투과형 타원계의 단점을 극복할 수 있어서 1회 측정으로 러빙된 PI 배향막의 초미세 광학 이방성을 정량적으로 측정, 분석할 수 있으므로 배향막을 형성한 뒤 그 광학이방성을 평가하는데 이 반사형 타원계가 일조할 수 있을 것으로 판단한다.

PI 막의 두께는 90 nm 정도인데 러빙의 영향을 받는 영역은 PI 표면층 10 nm 정도인 것으로 추정된다. 이 표면층의 물성 즉 이 표면층을 단축이방성 박막으로 근사시킬 때 단축 이방성 박막의 두께, 정상굴절률과 이상굴절률 그리고 광축의 방향 등을 결정할 수 있게 되면 러빙된 배향막의 배향 메커니즘을 이해하는데 큰 도움이 될 것이다. 한편 PI 표면층의 구조상수와 광학상수를 결정하기 위해서는 시료의 방위각에 따른 타원상수 값의 변화를 정밀하게 측정하고 분석하여야 한다. 단축 이방성 박막이 있는 다층박막 시료의 유효 반사계수 표현들<sup>[17,18]</sup> 사용하여 타원측정 값들을 모델링 분석하고 PI 표면층의 구조상수와 광학상수를 결정하는 것은 흥미로운 후속 연구 주제가 될 것으로 판단된다.

## V. 결 론

러빙된 배향막의 광학 이방성을 측정할 수 있는 반사형 타원계를 개발하였다. 반사형 타원계를 사용하여 구한 Anisotropy와 투과형 타원계를 사용하여 구한 Retardation을 비교하고

이들을 가지고 러빙깊이에 따라 증가하는 배향막의 초미세 광학 이방성의 변화를 평가하였다. Anisotropy와 Retardation은 서로 1차 선형관계에 있으며 러빙된 PI 배향막의 초미세 표면이방성을 측정하는데 있어 반사형 타원계는 투과형 타원계와 동등한 정밀도를 가지고 있음을 확인하였다. 반사형 타원계를 적용하면 기층의 잔류 광학 이방성에 무관하게 배향막의 배향정도를 실시간, 정량적으로 평가할 수 있으므로 이 장비는 관련 기초연구와 산업 현장에서 기여할 바가 클 것으로 판단된다.

## References

1. H. J. Ahn and S. H. Paek, "Analysis of properties of rubbed polyimide alignment layer and rubbing effect of various rubbing cloths for LCD fabrication," *Polymer Korea* **35**, 385-389 (2011).
2. W. C. Kim, "Study on the LC alignment on vertical alignment polymer surface using the AFM," *Journal of KIEEME* **16**, 510-514 (2003).
3. J. H. Kim and H. Yokoyama, "Nano-rubbing of a liquid crystal alignment layer by an atomic force microscope : a detailed characterization," *Nanotechnology* **13**, 133-137 (2002).
4. C. Yu, J. Bae, C. M. Keum, and S. D. Lee, "Optical anisotropy of aligned pentacene molecules on a rubbed polymer corresponding to the electrical anisotropy," *Current Applied Physics* **10**, 64-67 (2010).
5. J. A. Ekhoﬀ, M. J. Farrow, D. M. Walba, and K. L. Rowlen, "Molecular orientation of a model liquid crystal alignment layer," *Talanta* **60**, 801-808 (2003).
6. G. Fang, J. Maclennan, and N. Clark, "High extinction polarimeter for the precision measurement of the in-plane optical anisotropy of molecular monolayers," *Langmuir* **26**, 11686-11689 (2010).
7. H. Murai, K. Ekawa, J. Takashima, H. Naito, and N. Nakatsuka, "Mura-detection method by using a slit-beam ellipsometer," *J. SID* **15**, 281-286 (2007).
8. 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).
9. 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 Symposium Digest* **37**, 490-493 (2006).
10. S. Y. Kim, *Ellipsometry* (Ajou University Press, Gyeonggi, Korea, 2000), Chapter 3-4.
11. Y. S. Shin, M. S. Thesis, Ajou University, Suwon (2009).
12. K. H. Lyum, S. U. Park, S. M. Yang, H. K. Yoon, and S. Y. Kim, "Precise measurement of ultra small retardation of LCD alignment layer using improved transmission ellipsometry," *J. Korean Phys. Soc.* **24**, 77-85 (2013).
13. R. A. Synowicki, "Suppression of backside reflections from

- transparent substrates,” *Phys. Stat. Sol.* **5**, 1085-1088 (2008).
14. Y. J. Seo and S. Y. Kim, “Analysis of the spectro-ellipsometric data with backside reflection from semi-transparent substrate by using a rotating polarizer ellipsometer,” *Korean J. Opt. Photon. (Hankook Kwanghak Hoeji)* **22**, 170-178 (2011).
  15. H. K. Yoon, M. S. Thesis, Ajou University, Suwon (2014).
  16. H. J. Ahn, J. J. Lee, J. S. Ahn, and K. C. Park, “Analysis of properties of rubbed polyimide alignment layer and rubbing effect of various rubbing cloths LCD fabrication,” *Polymer* **35**, 385-389 (2011).
  17. S. Y. Kim, “Ellipsometric expressions of multilayered substrate coated with a uniaxially anisotropic alignment layer,” *Korean J. Opt. Photon. (Hankook Kwanghak Hoeji)* **24**, 271-278 (2013).
  18. S. Y. Kim, “Ellipsometric expressions for two uniaxially anisotropic layers coated on a multilayered substrate,” *Korean J. Opt. Photon. (Hankook Kwanghak Hoeji)* **26**, 115-120 (2015).