

Retardance Measurements Using Rotating Sample and Compensator Spectroscopic Ellipsometry

경재선*, 방경윤*, 오혜근*, 안일신*

*한양대학교 과학기술대학 응용물리학과

초록

Rotating Compensator Ellipsometry에 회전하는 시편 홀더를 갖추었을 때 uniaxial한 시편의 광축과 retardance를 측정하는 것이 매우 간단해진다. 이것은 Dual Rotating Compensator Transmission Ellipsometry의 self-calibration과정과 흡사하기 때문이다. 기존의 ellipsometry가 광학 부품들의 입사면에 대한 방위각을 찾는 복잡한 calibration과정과 비등방성 시편의 고속축의 방향을 찾아야 하는 수고를 필요로 하지만 rotating sample and compensator ellipsometry는 self-calibration과 자동으로 고속축의 방향을 찾기 때문에 매우 편리하다. 우리는 이 기술을 정렬된 액정display panel에 적용하여 -0.4° 의 작은 retardance 값을 측정할 수 있었다.

1. 서론

최근 산업에 사용되는 많은 재료들은 uniaxial 한 광학적 특성을 보이며, 또한 많은 박막들도 미세구조의 패턴에 의해 uniaxial 한 광학적 특성을 보인다. 이러한 시편들의 retardance 는 시편의 광학적 특성뿐만 아니라 구조적 특성까지 수반한다. Retardance 는 Rotating Polarizer Ellipsometry(RPE), Rotating Analyzer Ellipsometry(RAE), Rotating Compensator Ellipsometry(RCE) 같은 기존의 장비로 측정이 가능하지만, 이 기술들은 시스템에 사용되는 광학 부품들의 입사면에 대한 방위각을 찾는 calibration 과정이 필요하다. 자동으로 calibration 이 되는 시스템이 있다면 그것은 사용자에게 매우 큰 이득을 줄 것이다.

최근 많은 연구자들이 RPE, RAE 보다 많은 장점을 가진 RCE 를 사용하려 한다. Retardance 는 RCE 를 투과형 모드, 즉 두 팔을 일직선상으로 놓고 측정이 가능해진다. 이 방법은 비등방성을 가진 투명한 시편을 측정하는데 매우 유용하다. 그러나 retardance 를 측정하기에 앞서 시편의 고속축 방향을 찾아야 하며, 또한 복잡한 calibration 과정을 해야만 한다.

본 연구에서 우리는 calibration 과정을 제외하기 위해서 RCE 의 투과형 모드에 회전이 가능한 시편 홀더를 부착하였다. 이렇게 함으로써 dual rotating compensator transmission ellipsometry 에 첫번째 compensator 를 제거하고 그 자리에 측정할 시편을 설치한 형태와 유사하였다. 우리는 이 rotating sample and compensator ellipsometry 의 성능을 여러종류의 비등방성 시편을 측정함으로써 시험해보았다.

2. 이론 및 실험방법

Fig.1은 rotating sample and compensator ellipsometry의 개념도이다.

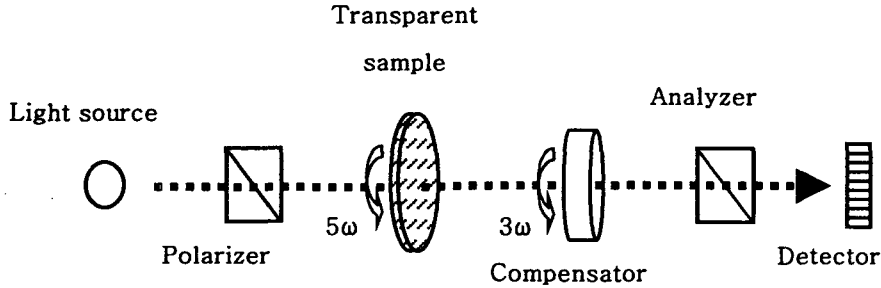


Fig.1 construction of rotating sample and compensator ellipsometry

연속적으로 모터를 회전시키는 대신에 스텝모터를 사용하여 step-and-scan 방법을 사용하여 시편과 compensator의 각각의 각도 위치에 따른 빛의 세기 스펙트럼을 측정한다. 기본 스텝각은 시편은 9°, compensator는 5.4°이다. Detector 임의의 i 번째 픽셀에 감지되는 조도의 크기는 다음과 같이 표현된다.

$$I_i(\theta_B) = I_{i,0} \left[1 + \sum_{n=1}^5 \{ \alpha_{i,n} \cos(n\theta_B) + \beta_{i,n} \sin(n\theta_B) \} \right] \quad (1)$$

여기서 $I_{i,0}$ 는 dc, $\{(\alpha_{i,n}, \beta_{i,n}), n=1, \dots, 5\}$ 는 normalized된 ac 푸리에 계수이다. 그리고 θ_B 는 기본 step 각이 시편과 compensator의 평균각인 virtual rotator의 각, 즉 7.2°이다. 다르게 말하면 이것은 시스템에서 특성각이다.

Normalized된 푸리에 계수는 이 virtual rotator가 한 바퀴 회전하는 동안 측정된 파형으로부터 얻어진다. 본 연구에서 virtual rotator가 4회전한 데이터는 평균과 이산의 푸리에 변환에서 이끌어낸 계수이다. virtual rotator가 4회전하는 동안 compensator는 5회전 시편은 3회전한다.

우리는 $R_{i,n} = \sqrt{\alpha_{i,n}^2 + \beta_{i,n}^2}$ 라 정의하고 각각의 $R_{i,n}$ 는 시편의 retardance인 $\delta_{i,S}$ 와 관계가 있다.

$$R_{i,1} = \frac{2}{a_i} \sin(\delta_{i,S}/2) \cos(\delta_{i,S}/2) \sin(\delta_{i,C}/2) \cos(\delta_{i,C}/2), \quad (2a)$$

$$R_{i,2} = \frac{1}{a_i} \sin^2(\delta_{i,S}/2) \sin^2(\delta_{i,C}/2), \quad (2b)$$

$$R_{i,3} = \frac{1}{a_i} \cos^2(\delta_{i,C}/2) \sin^2(\delta_{i,S}/2), \quad (2c)$$

$$R_{i,4} = \frac{2}{a_i} \sin(\delta_{i,S}/2) \cos(\delta_{i,S}/2) \sin(\delta_{i,C}/2) \cos(\delta_{i,C}/2), \quad (2d)$$

$$R_{i,s} = \frac{1}{a_i} \sin^2(\delta_{i,s} / 2) \cos^2(\delta_{i,s} / 2) \quad (2e)$$

여기서 $\delta_{i,c}$ 는 compensator 의 retardance 이며, 시스템에서 편광기와 분석기의 투과축에 대한 방위각 그리고 시편과 compensator 의 광학적 특성이다. a_i 는 irradiance 와 관련된 변수이며, 투과축에 대한 편광기와 분석기의 방위각 그리고 시편과 compensator 의 광학적 성질과 관련되어있다. 식(2)에서 $R_{i,n}$ 값들은 또한 시편과 compensator 의 고속축의 초기 방위각에 의존하지 않는다. 그러므로 $\delta_{i,s}$ 는 어떠한 calibration 과정 없이 다음의 식에서 얻을 수 있다.

$$\delta_{i,s} = 2 \tan^{-1} \sqrt{\frac{R_{i,2}}{R_{i,5}}} \quad (3)$$

이것은 dual rotating compensator ellipsometry 의 투과형 모드에서 시편 없이 compensator 의 retardance 를 결정하는 self-calibration 일 뿐이다. 시편의 retardance 가 비교적 클 경우는 식(3)은 잘 맞는다. 그런데 $\delta_{i,s}$ 가 작을 때 $R_{i,5} \propto \frac{1}{2} \delta_{i,s}^2$ 이기 때문에 식(3)의 $R_{i,5}(\alpha_{i,5}, \beta_{i,5})$ 는 noisy 가 된다. 이러한 경우 우리는 $R_{i,1(4)}(\alpha_{i,1(4)}, \beta_{i,1(4)})$ 를 사용하여 다음 식을 유도하였다

$$\delta_{i,s} = 2 \tan^{-1} \left\{ \frac{R_{i,1(4)}}{2R_{i,5}} \tan(\delta_{i,c} / 2) \right\} \quad (4)$$

우리는 1/4 파장판 compensator $\left\{ \tan(\delta_{i,c} / 2) \approx 1 \right\}, (R_{i,1(4)} \propto \delta_{i,s})$ 를 사용함으로써 시편의 retardance 가 작을 때 signal level 이 $(\alpha_{i,5}, \beta_{i,5})$ 보다 $\left\{ \alpha_{i,1(4)}, \beta_{i,1(4)} \right\}$ 가 훨씬 더 감소하게 된다.

이 두 접근법을 시험하기 위해서 작은 retardance 를 보이는 두 가지 샘플을 사용하였다. 첫번째는 분광 범위의 중간 값에서의 retardance 값이 약 20° 되는 mica 단층에서 벗겨내어 아주 얇은 mica 시편을 준비하였다. 또 다른 시편은 액정 디스플레이 패널에서 잘 정렬된 유리를 사용하였다. 이 시편은 유리 위에 얇게 polymer 를 증착하고 한 방향으로 rubbing 을 하면 액정 분자들이 그 방향으로 정렬하게 된다. 이 때 rubbing 의 방향성 때문에 매우 작은 비등방성으로 작은 retardance 값이 생긴다. 그리고 이 시편은 거의 등방성이기 때문에 기존의 ellipsometry 에서 calibration 과정은 올바르게 사용되지 않는다. 그러므로 calibration 은 반사형 모드에서 실리콘 웨이퍼로 먼저 해야 하는 불편함이 있었다. 그러나 이 시스템은 calibration 과정 없이 시편의 고속축을 찾을 수 있었다. 우리는 $\Theta_{i,n} = \tan^{-1} \left(\frac{\beta_{i,n}}{\alpha_{i,n}} \right)$ 을 정의하고 시편 고속축의 방위각인 다음 관계식을 얻을 수 있다.

$$S_F = (\Theta_{i,1} + \Theta_{i,4}) / 4 \quad (5)$$

3. 실험결과 및 고찰

먼저 시스템의 성능을 테스트하기 위하여 i 번째 픽셀의 base angle step 에 따른 irradiance 파형을 측정하였다.

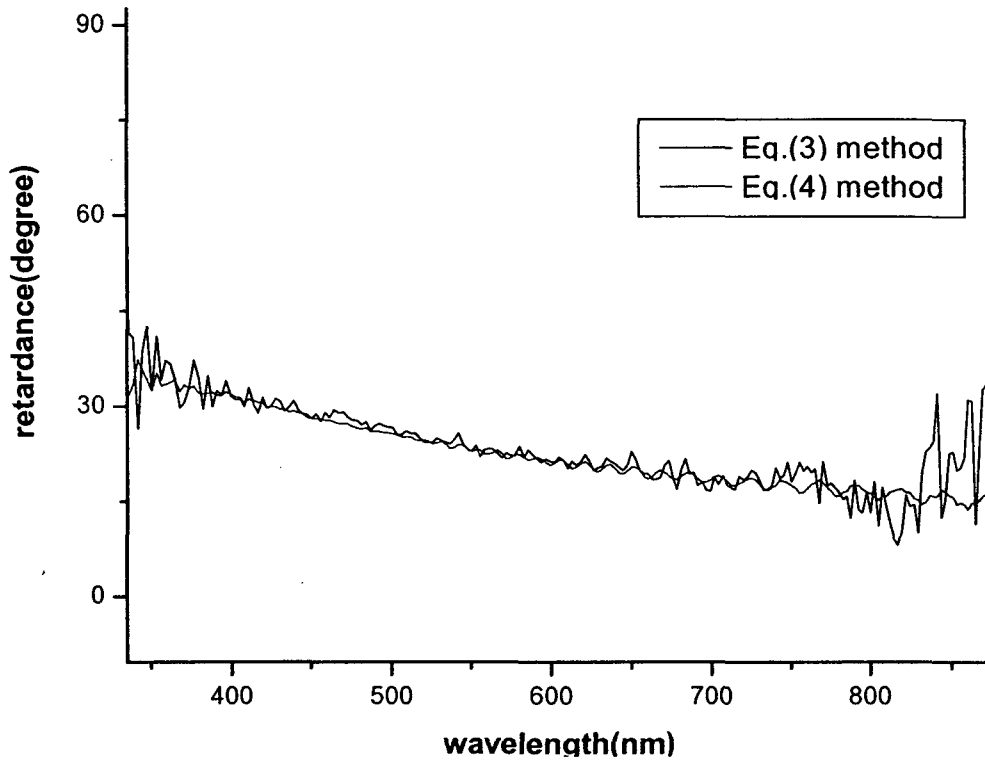


Fig.2 Compare of two method by retardance of mica

Fig.2 에서 두 가지 방법으로 이끌어낸 mica 시편의 retardance 값을 보여주고 있다. 예상했던 것처럼 우리가 제안했던 방법이 식(3)으로 얻어진 결과보다 noisy 가 훨씬 작은 것을 보여주고 있다. 게다가 결과의 정확도가 매우 높음을 알 수 있었다.

Fig.3 에서 액정 디스플레이 패널에서 rubbing 전,후의 retardance 를 두 가지 방법으로 이끌어 낸 것을 보여주고 있다. 식(3)의 방법의 경우 이렇게 매우 작은 retardance 는 측정이 불가능했다. 그러나 우리가 제안했던 방법은 약 0.4° 정도밖에 되지 않는 미세한 retardance 까지 측정이 가능하였다.

4. 결론

우리는 retardance 측정을 위해서 rotating sample and compensator spectroscopic ellipsometry 를 고안하였다. 모든 광학 부품들의 방위각의 지식 없이 시편의 retardance 뿐 만 아니라 고속축의 방위각 또한 파형 분석으로부터 얻어진 푸리에 계수로부터 자동적으로 알 수 있다. 다양한 비등방성을 가진 시편들을 빠르고 편리하게 측정할 수 있었다. 또한 기존의

방법과는 다른 접근법을 사용하여 아주 작은 retardance 를 보이는 시편에 대해서도 잘 적용하였다.

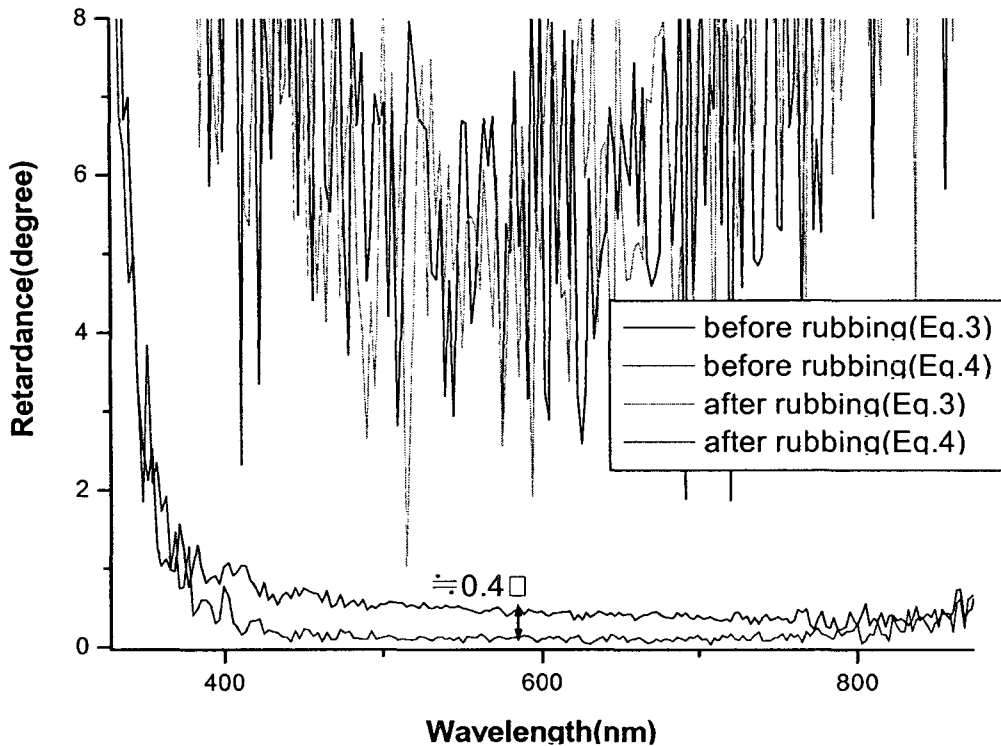


Fig. Compare of two methods by retardance of alignment layer for LCD panel

후기

본 연구는 한양대학교 양자광기능물성 연구센터를 통한 한국과학재단의 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

참고문헌

- [1] 안일신, "엘립소메트리", 한양대학교 출판부, pp. 35-41, 2000.
- [2] 방경윤, "Mueller Matrix Ellipsometry 제작 및 응용", 한국반도체및디스플레이장비학회지, Vol.3, pp. 31-34, 2004.
- [3] R.W.Collins, Joohyun Koh "Dual rotating-compensator multichannel ellipsometry: instrument design for real-time Mueller matrix spectroscopy of surfaces and films", J. Opt. Soc. Am. A, Vol.16, No.8, 1999.