

회전편광자법을 이용한 낮은 셀갭 측정

김창선 · 이기동 · 윤태훈 · 김재창

부산대학교 전자공학과

(2000년 3월 8일 받음, 2000년 4월 20일 수정본 받음)

본 논문에서는 기존의 회전편광자법에서 낮은 셀갭을 측정할 경우 발생하는 문제점을 보완하기 위하여 수치 해석적인 방법과 위상지연판을 이용한 방법을 도입하였으며 실험적 결과로부터 낮은 셀갭이 측정됨을 보였다.

OCIS codes : 120.0120, 230.0230.

I. 서 론

셀갭(cellgap)은 트위스트각(twist angle)과 선경사각(pretilt angle)과 더불어 LCD의 광학적 특성을 결정하는 가장 중요한 파라미터 중의 하나이다.^[1] 액정표시소자의 광학적 특성을 향상시키기 위해서는 LCD 구조의 최적화와 광학조건을 최적화 할 수 있는 설계기술이 요구된다. 이와 더불어 설계된 액정표시소자 공정을 거치면서 설계된 값대로 제작이 되었는지 확인 할 수 있는 측정 기술을 동시에 필요로 하고 있다. 이러한 측정과정을 통하여 액정표시 소자에 대한 설계기술을 확보할 수 있고, 또 LCD의 제조공정에 대한 데이터를 확보함으로써 공정기술을 향상시킬 수 있다. 그러므로 LCD의 광학적 특성에 영향을 미치는 액정의 파라미터를 정확히 측정하는 기술은 매우 중요한 요소이다. 그러므로 이것을 정확하게 측정하기 위한 다양한 노력이 진행되어왔다. 액정이 들어 있지 않은 셀의 셀갭 측정방법으로는 peak to peak법(spectral interferometric method)이 있다.^[2] 그러나 액정이 주입된 셀의 셀갭 측정 시 이 측정법에서는 절연막과 같은 박막층에 의한 투과율의 왜곡으로 인하여 셀갭 측정에 있어서 높은 신뢰도를 얻을 수 없다. 그러므로 액정이 주입된 셀의 경우는 일반적으로 peak to peak 법이 적합하지 않다. 액정이 주입된 셀의 측정법으로는 회전편광자법(rotating polarizer method)^[3]과 위상보상법(phase compensation method)^[4,5]이 있다. 위상보상법의 경우 정확도가 높은 반면 측정이 어렵고 반복 측정과정이 필요로 하여 자동화에 적합하지 않다. 회전편광자법은 측정이 간단하고 자동화가 용이하다는 장점을 가지나 셀갭이 작은 경우 측정이 불가능하므로 낮은 셀갭이 요구되는 고속 응답형 LCD에 대응하지 못한다는 단점이 있다.

본 논문에서는 낮은 셀갭을 갖는 셀의 셀갭 및 위상지연값을 측정하기 위하여 기존의 회전편광자법을 응용한 수치 해석적 방법과 고정된 위상지연값을 갖는 위상보상판을 이용한 방법을 제시 하여 트위스트각에 대한 정보를 알고 있는 경우에 셀갭이 작은 셀에서도 셀갭을 측정할 수 있는 방법을 기술하였다.

II. 회전편광자법

직교 된 두 장의 편광판 사이에 액정이 주입된 셀을 두고 분광 스펙트럼을 분석하므로써 그 peak나 valley 값을 이용하여 셀갭 측정을 측정하는 회전편광자법은 일본의 오츠카 사에 의해 개발된 방법으로서 측정이 용이하고 자동화가 가능하여 액정 셀의 셀갭 측정에 이용 되어왔다. 회전편광자법을 이용하여 셀갭을 측정하기 위한 측정 장치의 광학적인 구조는 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 이때 θ 는 광원 입사면의 액정 디렉터 방향과 광원 출사면의 액정 디렉터가 이루는 방향의 사이 각, 즉 액정의 트위스트각이고 Φ_p 는 입사면 디렉터와 편광자의 투과축이 이루는 각이며 Φ_A 는 입사면 디렉터와 겸광자의 투과축이 이루는 각이다. 광원은 할로겐 램프를 사용하였다. 이때 광 투과율 T 를 Jones matrix로 해석하여 구하면 다음과 같다.^[6]

$$T = \left[\cos(\theta x) \cos(\theta + \phi_p - \phi_A) + \frac{\sin(\theta x)}{u} \sin(\theta + \phi_p - \phi_A) \right]^2 + \left(\frac{u}{x} \right)^2 \sin^2(\theta x) \cos^2(\theta - \phi_p - \phi_A) \quad (1)$$

여기서 x, u, w 는 아래와 같이 정의 되어진다.

$$x = \sqrt{u^2 + 1} \quad (2)$$

$$u = \frac{\pi d}{\lambda \theta} (n_e' - n_o) = \frac{\pi d}{\lambda \theta} \left(\frac{n_e}{\sqrt{1 + w \sin^2 \theta_s}} - n_o \right) \quad (3)$$

$$w = \left(\frac{n_e}{n_o} \right)^2 - 1 \quad (4)$$

이때, λ 는 입사광원의 파장을 나타내며 d 는 셀갭, 굴절률이방성(Δn)은 주입된 액정분자의 장축 방향의 굴절률 n_e 와 단축방향의 굴절률 n_o 그리고 선경사각(s)의 함수로 정의가 된다. 여기서 Φ_p 와 Φ_A 를 각각 45° 와 $0+45^\circ$ 로 두었을 때 광 투과율은 식 (1)로부터 다음과 같이 간단히 표현된다.

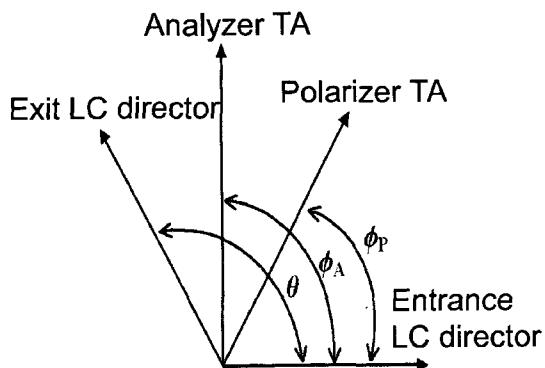


그림 1. 회전편광자법을 이용한 측정장비의 구성도.

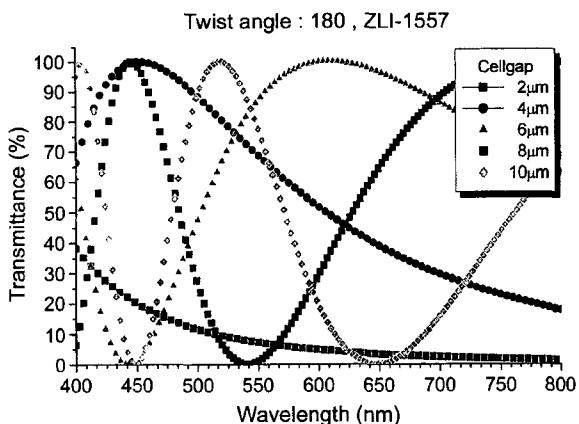


그림 2. 셀캡에 따른 투과율곡선의 변화(트위스트각 180도, ZLI-1557).

$$T = \cos^2(\theta x) \quad (5)$$

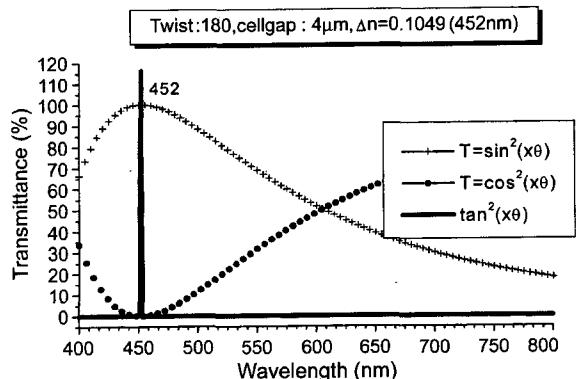
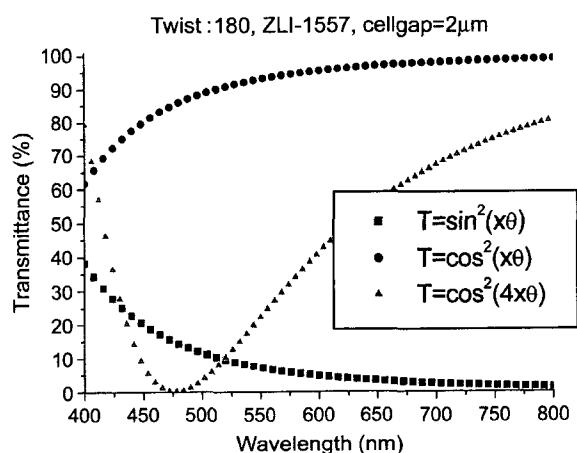
또한, Φ_P 와 Φ_A 를 각각 45° 와 $\theta + 135^\circ$ 로 두었을 때 광 투과율은 다음과 같다.

$$T = \sin^2(\theta x) \quad (6)$$

식 (5)와 식 (6)으로부터, $\theta x = m\pi/2$ ($m = 1, 2, 3, 4$) 일 때 최대 투과점(peak) 혹은 최소 투과 점(valley)이 나타난다. 만약 $\Delta n d$ 가 작은 셀의 경우 그림 2와 같이 peak나 valley 지점이 완만하게 나타나 정확한 지점을 찾아내기가 어려워지며 오차 또한 커지게 된다. 따라서 작은 셀캡은 측정이 불가능하였다. 최근 회전편광자법을 이용하여 셀캡과 트위스트각을 동시에 측정하는 측정법이 발표된 바 있다. 하지만 이 측정법 역시 4 μm 이하의 셀캡은 분광기의 가시광선 범위 밖에서 peak나 valley 를 만들어 내는 이유로 인해 가시광선 영역에서의 정보를 가지고 셀캡을 측정하는 회전편광자법 상에서는 측정이 불가능하다. 그러므로 기존 시스템을 그대로 이용하면서도 작은 셀캡을 측정할 수 있는 측정법에 대한 연구가 필요하다.

III. 회전편광자법을 이용한 낮은 셀캡 측정

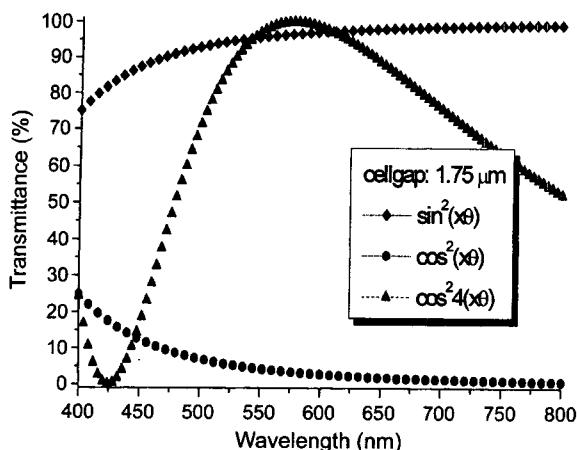
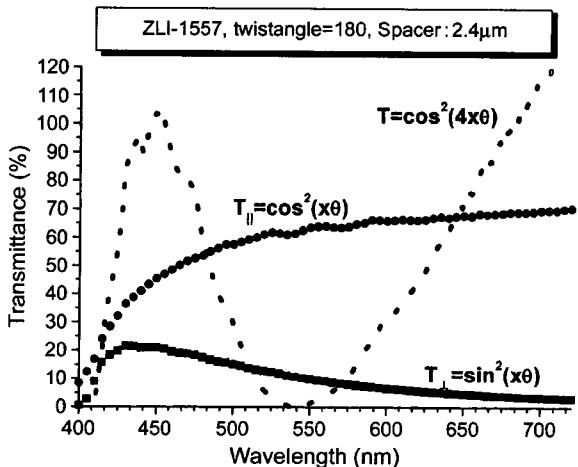
앞에서 기술하였던 회전편광자법의 측정상의 문제점을 해결

그림 3. $T = \tan^2(\theta x)$ 를 이용한 측정.그림 4. $T = \cos^2(4\theta x)$ 를 이용한 측정.

하기 위해 수치 해석적 방법^[7]을 먼저 적용하여 보았다. $\Delta n d$ 가 작은 셀의 측정을 위해서 기존회전편광자법의 측정 데이터를 이용하여 간단한 수식에 의해 작은 셀캡을 측정할 수 있다. 만약 가시광선 영역에 peak나 valley가 나타나지만 과형의 경사 각이 너무 완만하여 정확한 peak나 valley 를 판별하기 힘든 경우는 식 (5)와 식 (6)을 서로 나누어서 혹은 언더모드로 써 그림 3과 같이 투과율의 최저점을 보다 명확하게 찾을 수 있다.

하지만 실제 측정에 있어서 측정시료의 셀캡이 대략 4 μm 보다 작은 경우에 $T_{\perp} = \sin^2(\theta x)$ 와 $T_{\parallel} = \sec^2(\theta x)$ 만으로는 peak나 valley가 가시광선 영역에서 관측되지 않으므로 투과율 곡선에서 peak나 valley 지점을 찾을 수 없으므로 셀캡 측정이 불가능하다. 그러므로 측정한 peak 또는 valley 지점을 가시광선 영역에서 관찰할 수 있도록 식 (5)와 식 (6)을 이용한 간단한 계산식을 이용하여 θx 의 크기를 크게 만들어 그림 4와 같이 과형의 주기를 짧게 함으로써 가시영역 밖에서 나타났던 valley 지점이 가시광선 영역 내에서 생기도록 하여 셀캡을 측정할 수 있다.

그림 5에서는 $T = \cos^2(4\theta x)$ 그래프를 이용한 측정법의 한계를 보여 주고 있으며 1.7 μm 이하인 경우에는 역시 가시광선 영역에서 최소 투과점을 관측할 수 없는 이유로 인해 셀캡 측정이 어려워짐을 알 수 있다. 이 경우 우리는 위와 같은 방법으로서 $4\theta x$ 보다 더 크게 계산함으로써 낮은 셀캡 측정이 가

그림 5. $T = \cos^2(4x\theta)$ 이용한 측정법의 측정한계.그림 6. $T = \cos^2(4x\theta)$ 이용한 측정결과.

능하다. 위의 식으로부터 최소 투과점(valley)을 찾고 그때의 파장을 식 (2)에서 $\theta x = m\pi/2 (m=1, 2, 3, L)$ 에 대입하면 $\Delta n(\lambda)d$ 를 알 수 있다. 여기서 $\Delta n(\lambda)$ 를 구하면 최종적인 셀갭을 얻을 수가 있다.

실험적 검증을 위하여 직경이 $2.4 \mu\text{m}$ 가 되는 스페이서(spacer)를 사용하고 anti-parallel 하게 러빙(rubbing)하여 트위스트각이 180° 가 되도록 제작하였다. 제작한 셀을 측정하였을 때 그림 6과 같이 $T = \cos^2(4x\theta)$ 곡선이 542 nm 에서 최저점을 나타내었다. 여기서 액정의 가시광선 영역의 모든 파장에 대한 굴절률의 분산특성은 세 개의 파장에서 측정된 굴절률 정보와 cauchy 공식을 이용하여 구하였다. 이 정보를 이용하여 542 nm 에서의 Δn 을 계산한 후 차수를 고려하여 셀갭을 구하면 $2.39 \mu\text{m}$ 를 얻을 수 있다.

IV. 위상지연필름을 이용한 낮은 셀갭 측정

회전편광자법에서 응용한 수치 해석적 방법은 계산에 필요한 데이터에 광원의 불안정으로 인한 노이즈가 포함되면 측정 결과에 오차를 야기한다. 따라서 수치 해석적 방법은 광원의 안정화를 절대적으로 필요로 한다. 기존의 회전편광자법에서

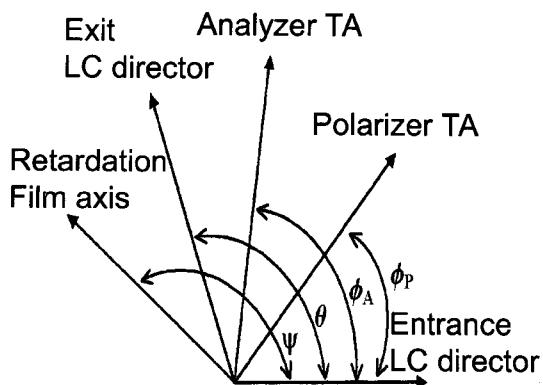


그림 7. 위상지연필름을 이용한 회전편광자법의 구성도.

수치 해석적 방법을 하지 않고 낮은 셀갭을 측정하기 위한 방법으로 위상지연필름을 이용할 수 있다. 회전편광자법에서 낮은 셀갭이 측정이 불가능한 이유는 액정의 Δnd 가 너무 작아서 가시광선 영역에서 분광 파형의 peak나 valley가 나타나지 않기 때문이다. 그러므로 위상지연판을 액정 셀과 함께 위치시킬 경우 위상지연판의 Δnd 가 액정의 Δnd 에 더해지게 되어 가시영역에 투과 파형의 peak나 valley를 만들게 된다. 이 peak나 valley를 나타내는 파장을 읽어 내어 셀갭 측정에 이용한다.^[8]

측정을 위한 측정장비의 구성은 그림 7과 같다. 이 경우 투과율 T 는 다음과 같이 Jones matrix로 구해진다.

$$T = \left| \begin{bmatrix} \cos \phi_A & \sin \phi_A \\ \sin \psi & \cos \psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{-i(\Gamma/2)} & 0 \\ 0 & e^{+i(\Gamma/2)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi \\ -\sin \psi & \cos \psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_m \\ \sin \phi_P \end{bmatrix} \right|^2 \quad (7)$$

여기서 위상지연판의 위상지연은 Γ 로 나타내었고 필름의 광축(slow axis)과 액정의 입사면 디렉터 방향이 이루는 각은 Ψ 로 정의 하였다. 액정을 표현하는 행렬 J_m 은 다음과 같이 정의가 된다.

$$J_m = e^{i(\pi d/\lambda(n_e' - n_o))} \begin{bmatrix} a & b \\ -b^* & a^* \end{bmatrix} \quad (8)$$

a 와 b 는 트위스트각을 갖는 액정을 트위스트각이 없는 n 개의 위상지연판을 미소 각 만큼 균일하게 회전시켜 Jones Matrix로 해석 후 Chebyshev's identity를 이용해 행렬식의 곱을 계산하므로 아래와 같이 얻어진다.

$$a = \frac{1}{x} \sin \theta \sin(x\theta) + \cos \theta \cos(x\theta) + i \frac{u}{x} \cos \theta \sin(x\theta) \quad (9)$$

$$b = -\frac{1}{x} \cos \theta \sin(x\theta) - \sin \theta \cos(x\theta) + i \frac{u}{x} \sin \theta \sin(x\theta) \quad (10)$$

본 측정법에서 선행되어야 할 것은 위상지연필름의 적절한 Δnd 선택이다. 위상지연필름의 Δnd 는 가능한 작은 것을 사용하여야 하지만 너무 작은 경우 액정의 위상지연과 필름의 위상지연이 더해진 경우라도 가시광선 영역에서 peak나 valley를 만들지 못한다. 또한 필름의 Δnd 가 큰 경우는 분광 파형

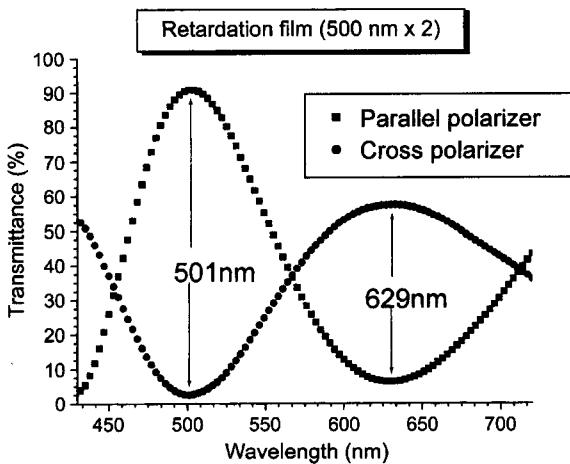


그림 8. 위상지연필름의 분광특성.

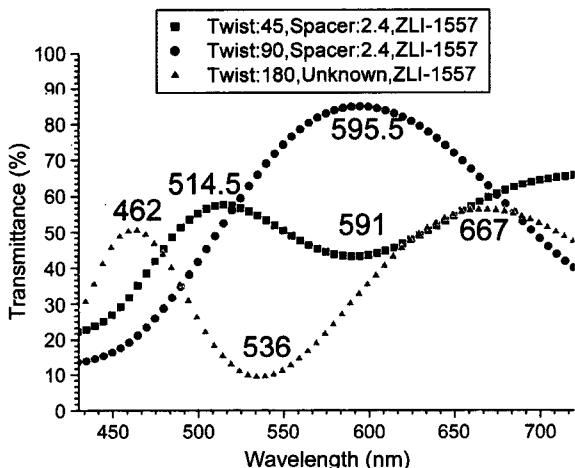


그림 9. 위상지연필름을 이용한 분광특성.

의 peak나 valley 지점을 찾기 용이하여 지나 액정의 영향이 분광특성에 영향이 적어 지게 되어 상대적으로 오차를 크게 야기한다. 시뮬레이션을 통해서 꼬임각에 대한 영향을 고려하여 측정에 이용될 수 있는 위상지연필름의 Δnd 를 계산하여본 결과 보상필름의 Δnd 는 최소한 450 nm 이상이어야 하고 최대 1500 nm를 넘지 않는 것이 좋다. 실험에 사용된 위상지연필름의 Δnd 는 1000 nm이고 이를 $\Phi_p = -45^\circ$, $\Phi_A = 45^\circ$, $\psi = 0^\circ$ 로 두어 측정한 결과 그림 9와 같은 분광특성을 얻었다. 501 nm 와 629 nm의 peak와 valley를 이용하여 cauchy 공식에 따른 과정에 대해 분산특성을 구해 보면 다음과 같은 과정에 따른 Δnd_{film} 를 얻을 수 있다.

$$\Delta nd_{film} = 8.41982 \times 10^{-7} + 4.0165 \times 10^{-20} / \lambda^2 K \quad (11)$$

위상지연필름을 이용한 셀캡 측정법의 검증을 위하여 45° , 90° , 180° 의 트위스트각을 갖도록 하고 셀캡을 작게 하여 제작하였다. 측정광원은 400 nm에서 800 nm 까지의 가시광선 영역을 측정할 수 있도록 할로겐램프를 이용하였다. 편광자는 입사면의 액정 디렉터 방향을 기준으로 -45° 로 두었고 편광자는

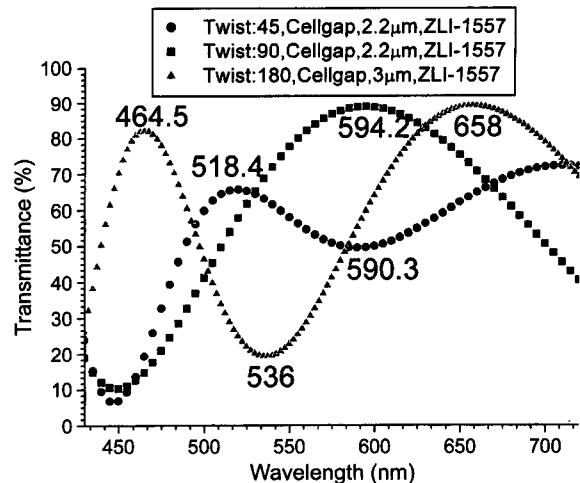


그림 10. 시뮬레이션에 셀캡 측정결과 검증.

45° 가 되도록 하였다 위상지연필름은 액정 디렉터 방향과 동일하게 두어 최대 Δnd 를 느낄 수 있도록 하였다. 45° , 90° , 180° 모두 보상필름을 이용하지 않을 경우 가시광선 영역에서 peak나 valley를 만들지 않았으나 위상지연필름을 이용한 측정 시 그림 9와 같이 각각 591.0 nm, 595.5 nm, 536.0 nm에서 peak나 valley를 만들어 내었다. 이때 셀캡은 시뮬레이션을 통하여 동일한 peak나 valley를 만들어 내는 셀캡을 찾으므로써 구할 수 있다. 이러한 방법을 통하여 그림 10과 같이 각각 2.2 μm , 2.2 μm , 3.0 μm 로 측정이 됨에 따라 위상지연필름을 이용하여 셀캡이 작은 셀에 대해서도 셀캡이 측정될 수 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존의 회전편광자법과 결정화전법에서 작은 셀캡을 갖는 셀의 셀캡 및 선경사각 측정이 불가능한 단점을 보안하여 수치 해석적인 방법과 위상지연판(retardation film)을 이용하여 셀캡이 작은 LC 셀에 대해서도 측정이 가능하도록 하였다. 측정의 신뢰도를 높이기 위해서는 분광기의 분해 능이 높아야 하고 적절한 위상지연판의 선택이 필수적이다.

감사의 글

본 연구는 정보통신 연구진흥원의 대학기초연구지원 사업으로 수행 되었습니다.

참고문헌

- [1] K. Sumiyoshi and Y. Hatada, *Liquid Crystals* **22**, 327 (1997).
- [2] K. H. Yang, *J. Appl. Phys.* **64**, 4780 (1988).
- [3] Otsuka publication, *Multi channel Retardation Measuring System Rets-2000*.
- [4] A. Lien and H. Takano, *J. Appl. Phys.* **69**, 1991.
- [5] A. Lien *et al.*, *IEEE Trans. Elec. Dev.*, p. 192, 1991.
- [6] H. L. Ong, *Appl. Phys. Lett.* **51**, 1398 (1987).

- [7] Chang-Son Kim, Gi-Dong Lee, Tae-Hoon Yoon, and Jae-Chang Kim, COOC '99, 353 (1999). [8] Chang-Son Kim, Gi-Dong Lee, Tae-Hoon Yoon, and Jae-Chang Kim, KIDS 2000, 199 (2000).

Application of rotating polarizer method for small cellgap measurement

Chang-Son Kim, Gi-Dong Lee, Tae-Hoon Yoon, and Jae Chang Kim

Dept. of Electronics Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

(Received March 8, 2000, Revised manuscript received April 20, 2000)

Measurement of low cell gap and retardation by using a rotating polarizer method was proposed. For more precise calculation and measurement, we applied a simple numerical calculation and a retardation film that has large retardation value of 1 μm to measurement system. From experiments, we proved that cell gap and retardation could be measured even though the values of those are so small.

OCIS codes : 120.0120, 230.0230.