

OCB TFT-LCD의 시야각 특성 개선을 위한 보상필름 최적화 설계

*양동민, 박우상
인하대학교 공과대학 전자공학과
e-mail : *seagull420@lycos.co.kr

Optimal design of optical compensation film to improve viewing angle characteristics of OCB TFT-LCDs

*Dong-Min Yang, Woo-Sang Park
Dept. of Electronic Engineering 253 Inha University

Abstract

We proposed the optimized conditions of the uniaxial and biaxial compensation films to suppress the light leakage to improve viewing angle characteristics. Compared with conventional OCB mode, the maximum transmittance is increased about 30% and the minimum transmittance is slightly decreased. From here results, we can about OCB mode with wide viewing angle and high contrast ratio.

I. 서론

OCB 모드는 광학적 위상차에 대해 자기 보상을 할 수 있는 cell 구조로 넓은 시야각을 가질 수 있으며, 보상필름을 사용하여 보다 넓은 광시야각을 확보할 수 있다. 본 연구에서는 OCB 모드의 시야특성 최적화를 위해 액정이 최대 투과율을 가지도록 액정의 정상굴절률과 이상굴절률, 그리고 두께를 결정하고, 이를 통해 OCB 모드의 광학적 특성을 분석하였다. 또한 계산된 액정분자 배열분포를 이용하여 각각의 상황에 맞게 요구되는 보상필름의 설계원리를 구체화하고 필름의 주굴절율과 두께 등을 최적화해서 설계된 보상필름을 OCB 모드에 적용하여, 계조특성 및 시야각 특성 등을 분석하였다. 이축성 필름을 사용한 OCB 모드의 시야각 보상법은 A, C plate와 discotic 필름의 조합으로 구성되는데 본 연구에서는 A plate와 discotic LC 필름을 사용하였다[1~3].

II. 관련 연구

2.1 OCB cell의 광학적 특성

OCB 모드에 있어서 광학보상은 시야각을 넓히고 디스플레이의 표시품질을 높이기 위한 중요한 문제 중 하나이다. OCB 모드는 Fig.1과 같이 서로 수직으로 놓인 편광판 사이에 bend 셀과 보상 필름을 삽입한 구조를 취하고 있다. OCB cell 은 액정 배열 분포에 따라 크게 두 영역으로 나누어 생각할 수 있다. 액정은 vertically aligned 되어 있는 중앙 영역과 tilt angle을 가지고 기울어져 있는 표면 영역이 존재한다.

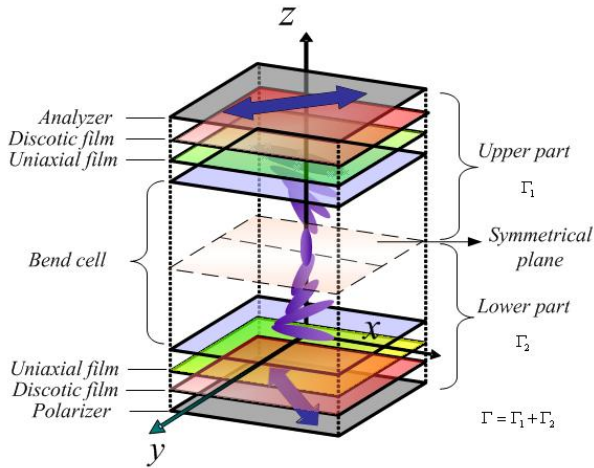
이 두 영역은 수직입사광과 경사입사광, 각각의 경우에 대해 다른 특성을 보인다.[4]

수직입사광의 경우 액정분자가 수직 배열되어있는 중앙영역에서는 빛의 위상차가 발생하지 않으나 경사각을 가지는 표면영역에서 굴절률 이방성으로 인한 위상차가 발생하여 누설광이 생긴다. 경사입사광의 경우 경사각을 가지는 영역에서 좌우의 대칭 시야각에서 위상차의 자체 보상이 이루어지는 반면 중앙영역에서는 위상차로 인한 누설광이 발생하게 된다.

또한 OCB 모드는 normally white에서 구동이 되므로 먼저 전압 미인가 상태에서 최대 투과율을 나타내도록 액정의 이상굴절률 및 정상굴절률 그리고 두께를 최적화 해 주어야 한다.

2.2 Uniaxial + Discotic film

본 연구에서는 두 영역을 각각 보상함으로써 OCB 모드에 있어서 광시야각을 구현하고자 하였다. 수직입사



시 누설광이 발생하는 표면영역 보상을 위해

Fig.1 OCB cell의 구조

black-level을 맞추기 위한 uniaxial 보상 필름과, 경사 입사 시 위상차를 발생시키는 중앙영역을 보상하기 위하여 discotic 보상필름을 사용하였다. 이때 discotic 보상필름의 단축 방향을 수직입사광에 대하여 굴절률 이방성이 나타나지 않도록 패널에 수직인 방향으로 설정하여 uniaxial 보상 필름이 수직입사의 누설광을 제거하는 효과에 전혀 영향을 미치지 않으면서 수직 방향의 시야각을 확보할 수 있었다.

최적화된 OCB cell에 특정전압이 인가되어 있고 수직 입사광이 들어오는 경우, 수직입사시의 누설광을 차폐하는 단축성 필름의 정상 및 이상굴절률 그리고 두께를 결정하였다. uniaxial 보상 필름이 적용된 상태에서 전체의 시야각을 살펴보고 수직 및 수평방향의 시야각에서 누설광이 가장 많이 발생하는 시야각에 대하여 discotic 필름을 이용하여 누설광을 차폐하였다.

2.3 Biaxial film

기존 연구에서 ECB(Electrically Controllable Birefrence)의 한 종류인 OCB cell의 보상필름 설계는 액정의 복굴절에 의한 위상지연값을 광학적으로 보상하는 방식이었다[5]. 그러나 OCB cell과 이축성 필름과의 시야각 의존성차로 인하여 좋은 시야특성을 보이지 못 했다.

그래서 본 연구에서는 2.1에 분석된 OCB cell의 특성을 이용하였다. 먼저 최적화된 OCB cell에 특정전압이 인가되어 있고 수직입사광이 들어오는 경우, n_x 를 고정시킨 후 이 때 누설광을 차폐하는 이축성필름의 n_y 를 결정하였다. 여기서는 수직입사광에 대한 것이므로 이 방향에 평행한 n_z 는 어떠한 값을 가지더라도 black-level에 아무런 영향을 미치지 않는다. 최적화

된 n_y 를 적용하여 시야각 특성을 살펴보고 수직 및 수평방향의 시야각에서 가장 나쁜 시야특성을 보이는 임의의 각을 결정하였다. 결정된 각에서 n_z 에 따른 투과 특성을 분석하고 최소의 누설광을 나타내는 n_z 를 결정하였다. 즉 단계적인 최적화에 의한 누설광의 차폐를 통하여 전체 시야특성을 개선하고자 하였다

2.4 광학투과율계산

액정은 장축과 단축의 굴절률이 다른 비등방 매질이며 불균일 매질이다. 따라서 이러한 액정의 광투과 특성을 분석하기 위해서는 일반적으로 Berreman 4x4 행렬법을 적용한다[6~8]. 이러한 불균일성에 대하여 액정셀을 무수히 얇은 다중 층으로 설정하며, 이렇게 설정된 각 층에서는 액정이 균일한 매질이라는 가정 하에 각 층의 전파행렬을 계산함으로써 전체 전파특성 행렬을 계산할 수 있다. 각 층에서는 액정이 균일하다고 가정하였으므로 굴절율에 대한 유전율 텐서를 알면 각 층에서의 전·자장의 전파관계가 표현된다.

Biaxial media에 대한 광투과율 해석에는 먼저 Euler angle에 대한 해석(θ, ϕ, ψ)이 필요하다. 실제 biaxial media를 해석하기 위하여 Fig.2와 같이 실험실좌표계와 primary 좌표계 사이의 변환이 선행되어야 한다. 좌표계간 변환 단계는 다음을 따른다.

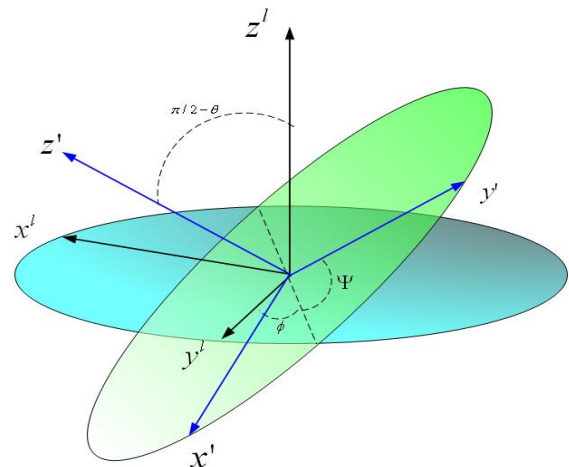


Fig.2 주좌표계 (x', y', z') 와 실험실 좌표계 (x, y, z) 의 변환.

- Step 1. y' 을 두 평면의 교선까지 z' 을 중심으로 ϕ 만큼 회전
- Step 2. 새로운 y' 을 중심으로 $\pi/2-\theta$ 만큼 회전 ($z' \rightarrow z''$)
- Step 3. 새로운 $z''(z')$ 을 중심으로 새로운 y 를 다시 y' 까지 회전(ψ)

이러한 변환 과정을 통한 완성된 유전율 텐서로부터 Δ 행렬을 계산할 수 있다. Δ 를 Taylor 전개법에 대입하여 biaxial media의 P matrix를 계산할 수 있다.

2.4 최적화 설계

액정의 탄성에너지와 전기에너지 계산으로부터 Fig.3

에 나타난 바와 같이 액정의 director profile을 나타내었고, 이 결과로부터 전압 off 상태에서 액정의 Δn_d 에 따른 투과율 분포를 Fig.4 와 같이 얻을 수 있었다. 투과율 곡선에서 최대투과율을 나타내는 액정의 Δn_d 는 대략적인 값을 알 수 있다. 또한 앞서 계산된 Berreman 4×4 Matrix법을 이용하여 수직입사 시 bend cell의 인가전압에 대한 광학 투과율을 계산하였다. Bend cell은 수직입사의 경우에도 누설광이 존재하므로 보는 방향에 관계없이 모든 인가전압에 대하여 항상 누설광이 존재함을 알 수 있다. 이러한 누설광은 contrast 저하나 흑백반전과 같은 디스플레이 성능 향상에 장애가 되는 요소로써, 누설광을 차폐시킴으로써 디스플레이의 표시 품질을 높일 수 있다.

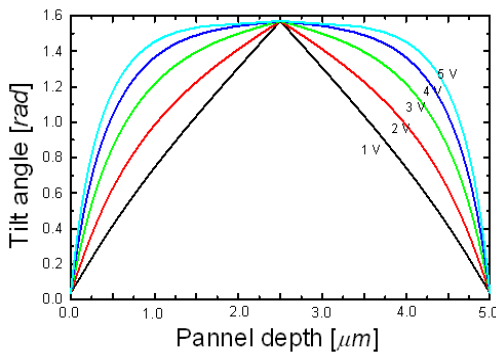


Fig.3 OCB셀의 분자배열분포

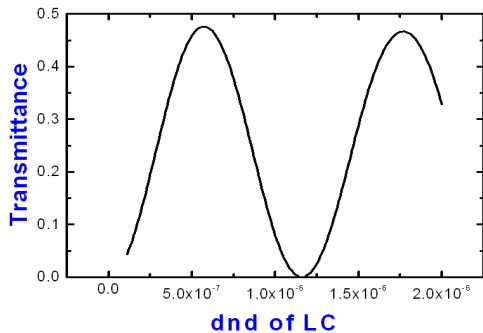


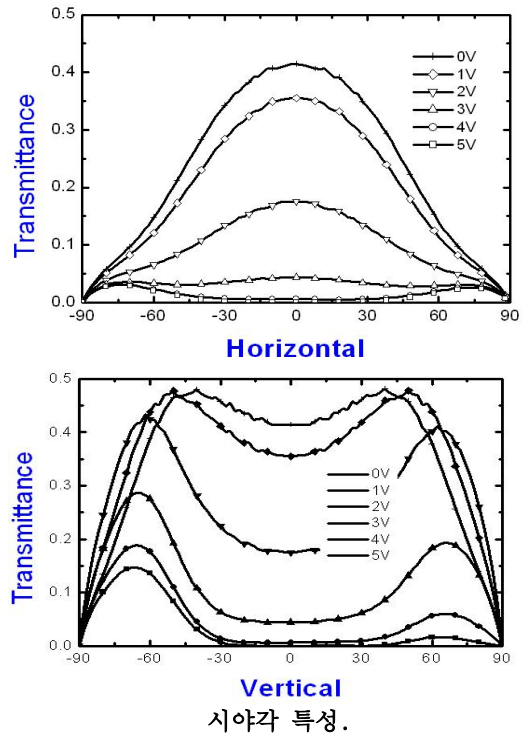
Fig.4 Δn_d 에 따른 OCB셀의 투과율 분포

누설광 제어를 위하여 설계된 각각의 보상필름들을 사용하여, 수직 입사광에 대하여 액정의 black-level이 결정된 투과율을 구했다. 수직입사의 경우 5V의 구동전압에 대하여 누설광을 차폐시킴으로써 수직입사에 대한 시야각 특성을 확보하였다.

단축성과 discotic 필름이 조합된 보상필름의 경우, discotic 필름을 적용하기에 앞서 먼저 단축성 필름만이 적용된 상태에서는 수평 방향 및 수직 방향 시야각 특성이 모두 대략 $\pm 70^\circ$ 주위에서 급격히 저하된다. 따라서 discotic 필름은 시야각 $\pm 70^\circ$ 주위의 누설광을 차폐할 수 있도록 그 파라미터를 결정하였다. 입사광을 70° 로 고정시킨 상태에서 discotic 필름의 Δn_d 에 따른 투과율 특성을 살펴 본 결과, 필름의 Δn_d 를 결정할 수 있었다. 단축성 및 discotic 필름이 적용된

최종 투과특성은 Fig.5와 같다. 이축성 필름에 있어서 black-level을 제어하는 요소는 n_y 이다. black-level이 맞춰진 후의 시야각 특성은 Fig.6과 같으며 앞서 수행된 연구 결과가 비슷하게 $\pm 70^\circ$ 주위에서 나쁜 시야 특성을 보이므로 입사광을 70° 로 고정시킨 상태에서 n_z 의 변화에 따른 투과율 특성에서 최적화된 n_z 의 값을 결정할 수 있다.

Fig.5 단축성 및 discotic 필름이 적용된 OCB셀의



시야각 특성.

n_x , n_y , n_z 를 모두 결정한 후, 결정된 단축성 필름과 discotic 필름의 두께를 각각 이분하여 Fig.1 과 같이 bend cell 상하에 대칭적으로 배치한 시야각 특성을 Fig.7에 나타내었다. 이는 좌우 시야각의 대칭성을 얻기 위함이다. 기존의 결과에 비해서 좌우 시야각은 유사한 결과를 나타냈으나, 상하 시야각에 대하여 gray scale inversion이 발생하기 시작하는 각이 대략 10° 이상 확장되었음을 확인하였다. 최대 투과율 또한 기존에 비해서 좌우 0.1, 상하 0.15 가량 높아, contrast 비의 증가에 따른 on/off 구동이 명백해지는 결과를 얻을 수 있었다.

III. 결론

OCB 모드는 단축성과 discotic 필름이 적용된 경우 수평방향으로 계조반전은 거의 발생하지 않았으며 contrast 비가 10 이상의 영역이 수평 및 수직 모두 160° 이상으로 매우 좋은 시야각 특성을 나타내었다. 이축성 필름 적용 시에도 넓은 시야각을 확보할 수 있었으며, 단축성과 discotic 필름이 적용된 OCB cell과

비슷한 시야특성을 나타내었다. 특히 OCB cell 자체의 최적화는 off 상태에서 필름 적용 시에도 매우 높은 투과율을 보였으며, on 상태에서 수평 및 수직 방향으로 보상 필름에 의해 누설광이 차단되어 매우 낮은 투과율을 보임을 확인하였다. 이와 같은 명백한 on/off 구동은 광시야각의 구현이 가능한 OCB 모드에서 더욱 뛰어난 표시품질의 구현이 가능함을 확인할 수 있었다. 이 연구 결과에 추가적으로 근래 많은 연구발표가 있는 광대역 광시야각 위상판과 광대역 광시야각 편광자를 사용하면 시야각의 투과율과 파장 분산 의존을 현저히 줄일 수 있다. 하지만 삽입 물질이 많아지면 투과율은 낮아지므로 효율이 좋은 Backlight Unit의 개발이 절실하다. 이에 대해 OLED등을 이용한 면광원 연구도 활발히 진행되고 있으므로 가까운 미래에 지금보다 월등히 뛰어난 시야각 특성을 가진 LCD application을 접할 수 있을 것이다.

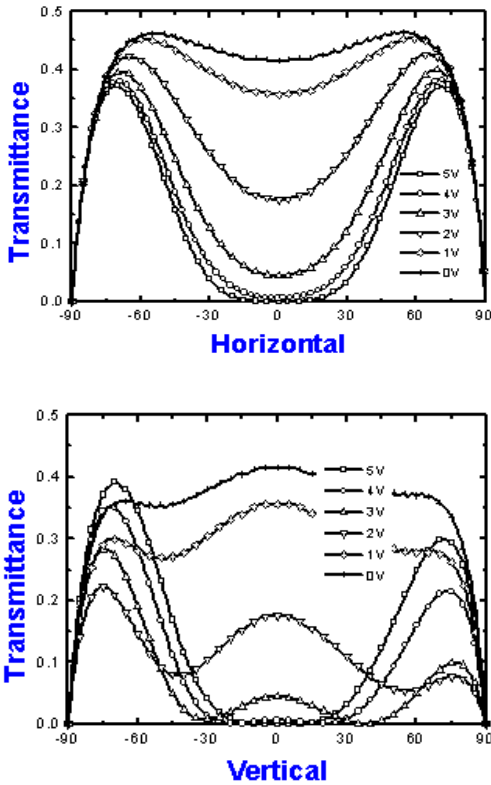


Fig.6 이축성 필름의 nx, ny 가 결정된 후의시야각에 따른 투과 특성

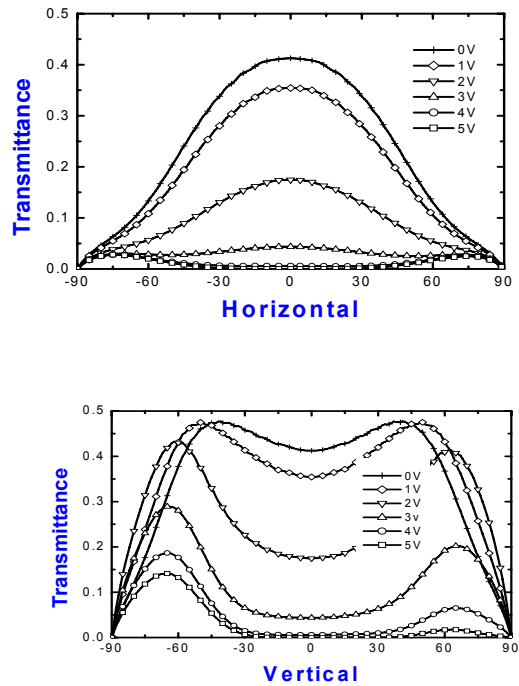


Fig.7 이축성 필름이 적용된 OCB셀의 시야각 특성

참고문헌

- [1] Y. Yamaguchi, T. Miyashita, and T.Uchida, SID'93 Digest, p.277.1993
- [2] J.Chen, K.H. Kim, J. J. Jyu, J. H. Souk, J. R. Kelly and P.J Bos, SID'98 Digest, P.315,1998
- [3] H. Mori and P.J. Bos, Jpn. Appl. Phys., Vol.38, P2838,1999
- [4] P. L. Bos, J.A.Rahman, "An optically 'Self-compensating' Electro-Optical Effect with Wide Angle of view", SID '93 DIGEST, p. 274 (1993)
- [5] T. Miyashita, Y. Yamaguchi, T. Uchida, "Wide-Viewing-Angle Display Mode Using Bend-Alignment Liquid Crystal Cell", Jpn. J. Appl. Phys., vol. 34, p. L177 (1995)
- [6] D. W. Berreman, " Optics in Stratified and Anisotropic Media : 4x4 Matrix Formulation", J. Opt. Soc. Am. p. 502(1972)
- [7] H. Wöhler, G. Hass, M. Fritsch, D. A. Mlynski, "Fast 4x4 matrix method for uniaxial inhomogeneous media", J. Opt. Soc. Am., Vol. 5, No. 9, p. 1554 (1988)
- [8] C. -J. Chen, M. I. Nathan, A. Lien, "Propagation Matrices for a Biaxial Homogeneous Medium", SID '96 DIGEST, p. 592(1996)