

유전율 이방성이 양인 액정을 이용한 FFS모드의 절연층 두께에 따른 전기 광학 특성 연구

이지연, 박상현, 오상민, 이승희
전북대학교

Study on Electro-Optic Characteristics Dependent on Passivation Layer Thickness in the FFS mode using a Liquid Crystal with Positive Dielectric Anisotropy

Ji Youn Lee, Sang Hyun Park, Sang Min Oh and Seung Hee Lee
Chonbuk National Univ.

Abstract : Fringe-field switching mode which has a horizontal and vertical electric field exhibits high transmittance and wide viewing angle characteristics. In the FFS mode, a passivation layer between common and pixel electrodes exists, which functions as preventing current leakage of fringe-field. In this paper, we have studied LC behavior, transmittance and operating voltage characteristics with applied voltage as a function of the passivation layer thickness and defined optimal value of the layer to be about 0.5 μ m.

Key Words : Fringe-field switching, Liquid crystal, Dielectric anisotropy, Passivation layer

1. 서 론

최근 들어 광시야각 기술들로 인한 액정 디스플레이의 화질이 점차 향상되고 있다. 대표적으로 IPS (in-plane switching) [1] 와 FFS (fringe-field switching) [2,3], MVA (multi-domain vertical alignment) 모드 [4] 가 있다. 그 중에서 IPS와 FFS 모드는 액정 방향자의 in-plane 회전으로 구동된다. IPS 모드는 in-plane 전기장으로 인해 전극 위 영역의 액정이 회전되지 못하기 때문에 투과율이 떨어진다. 반면에 fringe 전기장, 즉 수평 및 수직 전기장으로 구동되는 FFS 모드는 전극 위 부분에서도 액정들이 분자간의 탄성력에 의해 회전되므로 IPS 모드에 비해 높은 투과율을 가진다. 이러한 FFS 모드의 광효율은 액정의 유전율 이방성에 따라 달라지는데, 유전율 이방성이 양인 액정은 투과율 측면에서는 유전율 이방성이 음인 액정에 비해 떨어지지만 응답 시간이 빠르고 낮은 구동전압을 갖는 장점 때문에 많이 응용되고 있다. FFS 모드의 전극 구조는 IPS 모드와는 달리 공통전극과 화소전극 사이에 절연층이 존재하여 전류 손실을 막아주는 역할과 동시에 투과율, 구동 전압 특성 등에도 영향을 준다.

본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 양의 액정을 사용한 FFS 모드의 공통전극과 화소전극 사이의 절연층 두께를 변화시키고, 이로 인해 발생하는 전기장 세기 변화에 따른 액정의 거동과 투과율 특성 및 구동전압 변화를 관찰하고, 절연층 두께의 최적화 방안에 대해 연구하였다.

2. 셀 구조 및 동작 원리

그림 1은 FFS 모드의 셀 구조와 전압 인가 전(Off) 및 후(On)의 액정 배열 상태를 나타낸 것으로 하부기판에 화

소전극과 공통전극이 절연층을 사이에 두고 존재하며 두 전극 간 수평 거리가 0이다. 화소전극은 임의의 폭(W)을 가지며 서로 임의의 간격(L)으로 떨어져 있다. 초기 수평으로 배열된 액정은 전압 인가 시 fringe 전기장, 즉 수평 및 수직 전기장이 발생되어 초기 수평 배열된 액정을 전기장 방향으로 회전시킨다.

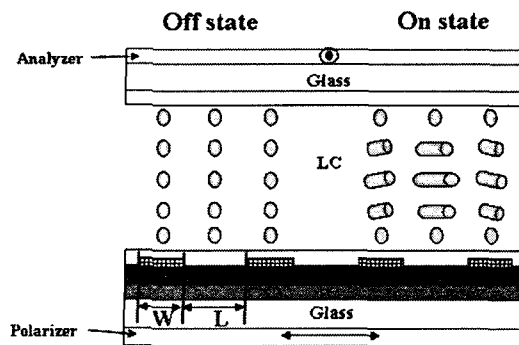


그림 1. FFS 모드의 셀 단면 구조.

교차된 편광판 사이에 복굴절 특성을 갖는 액정 셀에서의 광 투과 공식은 다음과 같이 고려될 수 있다.

$$T/T_0 = \sin^2(2\phi) \sin^2(\pi d \Delta n / \lambda) \quad [1]$$

위 식에서 ϕ 는 교차된 편광판의 투과축 중 한축과 액정 방향자 사이에 이루는 각이고, Δn 은 액정의 복굴절 값, d 는 셀갭, λ 는 입사광의 파장을 나타낸다. ϕ 가 45°이고 액정 셀의 위상지연값($d\Delta n$)이 $\lambda/2$ 이상이 되어야 투과율은 최대가 된다. FFS 모드는 교차된 편광판 중 하나의 광축을 하부 기판의 러빙 방향과 일치시키는데 이때 ϕ 가 0이 되어 어둡게 상태가 나타난다. 전압 인가 시 액정이 회전되

어 ϕ 가 증가하여 밝은 상태가 나타난다. fringe장이 발생할 경우 전극 edge 영역에 있는 액정들이 수평전기장에 의해 먼저 회전되고 전극 한가운데의 액정들은 주변의 액정이 회전함에 따라 꼬임 탄성력을 받아 같이 회전하게 되어 투과율이 발생한다. 유전토크와 이웃하는 분자들 간의 탄성력이 액정 방향자의 구동에 영향을 미친다.

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

컴퓨터 시뮬레이션을 위해 LCD Master (Shintech, 일본)를 사용하고 입사 파장은 가시광선 전 영역으로 하여 2×2 extended Jones matrix법[5]을 적용하였다. 액정의 유전율 이방성($\Delta\epsilon$)은 7.4, 탄성상수(K_1, K_2, K_3)는 각각 11.7, 5.1, 16.1pN이고, 복굴절 이방성(Δn)은 전파장에서 0.1이고 셀 갭을 $4\mu\text{m}$ 로 하였다. $d\Delta n$ 은 최대 투과율을 나타내는 조건으로 하여 $0.40\mu\text{m}$ 로 고정하였다. 액정 분자의 초기 pretilt 각을 2° 로, 러빙은 fringe장의 수평성분에 대해 80° 로 하였다. w, l 은 $3\mu\text{m}, 4.5\mu\text{m}$, 절연층(passivation layer)의 유전율은 6.5로 고정시키고 절연층 두께를 $0.1\mu\text{m}, 0.5\mu\text{m}, 0.7\mu\text{m}, 1.0\mu\text{m}$ 로 변화를 주었다.

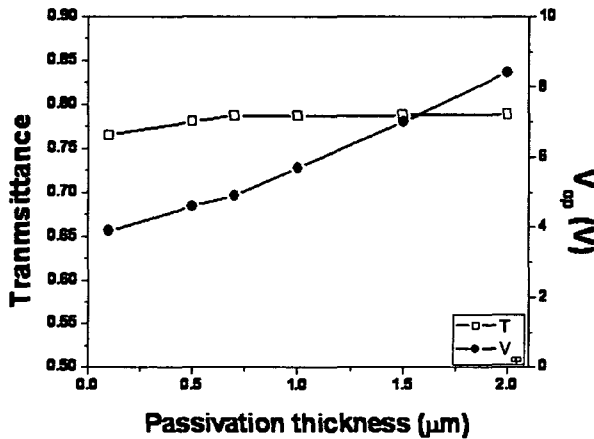


그림 2. 절연층 두께에 따른 V-T Curve.

그림 2는 절연층 두께를 달리하였을 때 전압 인가에 따른 투과율 곡선(V-T)을 나타낸다. 그림에서와 같이 절연층 두께가 증가할수록($0.1\mu\text{m}$ - $2.0\mu\text{m}$) 구동전압은 3.9V에서 8.4V까지 증가함을 알 수 있다. 이는 공통전극과 화소전극 사이에 존재하는 절연층의 두께가 증가할수록 더욱 강한 fringe 전기장을 필요로 하기 때문에 구동전압은 증가하게 된다. 투과율은 $0.1\mu\text{m}$ 에서 $0.5\mu\text{m}$ 로 갈수록 2% 증가를 보이다가 그 이후 saturation되었다. 절연층 두께에 따라 화소전극 사이의 영역과 화소전극 중앙 윗부분에서 투과율 차이를 보이지만 평균적인 투과율에는 변화가 없었다. 절연층의 두께 변화가 액정의 거동에 어떠한 영향을 주는지 전기장 분포를 통해 분석한 결과, 화소전극 사이의 영역의 twist angle의 증가로 투과율이 향상될 것으로 예상되지만, 수직 전기장이 증가로 인해 tilt angle이 증가하기 때문에 결과적으로는 투과율에 거의 영향을 주지 않았다.

4. 결론

본 연구에서는 유전을 이방성이 양인 액정을 이용한 FFS 모드에서 절연층 두께에 따른 전기 광학 특성 변화를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 연구하였다. 절연층 두께가 증가할수록 화소전극과 공통전극 간에 강한 전기장이 요구되기 때문에 구동전압은 증가한다. 절연층 두께가 $0.1\mu\text{m}$ 에서 $0.5\mu\text{m}$ 로 증가하면서 투과율이 2% 증가하지만 $0.5\mu\text{m}$ 이후에는 투과율이 거의 같은 것으로 보아 절연층의 두께가 $0.5\mu\text{m}$ 이상에서는 투과율에 영향을 주지 않은 것을 알 수 있었다. 또한 절연층 두께가 얇으면 구동전압이 낮다는 장점을 가지지만, 공정 상에서 전류 손실이 발생할 가능성이 높다. 때문에 구동전압과 투과율, 누전 발생 가능성을 고려한 절연층의 두께를 $0.5\mu\text{m}$ 로 최적화하는 것이 디스플레이 성능 향상에 도움이 된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] H. Y. Kim, I. S. Song, and S. H. Lee, "Rubbing Angle Effects on the Electro-Optic Characteristics of In-Plane Switching Liquid Crystal Display", 전기전자재료학회 영문지, Vol. 4, No. 1, p. 24, 2003.
- [2] S. H. Lee, S. L. Lee, and H. Y. Kim, "High transmittance, wide-viewing-angle nematic liquid crystal display controlled by fringe-field switching", Asia Display'98, p. 371, 1998.
- [3] S. H. Lee, H. Y. Kim, S. M. Lee, S. H. Hong, J. M. Kim, J. W. Koh, J. Y. Lee, and H. S. Park. "Ultra-FFS TFT-LCD with super image quality, fast response time, and strong pressure-resistant characteristics", SID'01 Digest, p. 117, 2001.
- [4] 서대식, 김형규, 이승희, "수직배향층에서의 네마틱액정의 프리틸트각 발생", 전기전자재료학회논문지, 15권, 2호, p. 130. 2001.
- [5] A. Lien, "Extended Jones matrix representation for twisted nematic liquid crystal display at oblique incidence". Appl. Phys. Lett., Vol. 57, p. 2767, 1990.