

프린지 필드에 의해 구동되는 수직 배향된 광학적 자기 보상 스플레이 액정 소자

정병선, 김승재, 오상민, 김향울, 이승희
전북대학교 유기신물질공학과

Liquid Crystal Device Associated with Fringe-field Driven Vertically Aligned Optically Compensated Splay (OCS)

B. S. Jung, S. J. Kim, S. M. Oh, H. Y. Kim and S. H. Lee
School of Advanced Materials Engineering, Chonbuk National University

Abstract

We have studied an optically compensated splay (OCS) mode driven by fringe electric field. The OCS LC configuration obtained by applying voltage to vertically aligned LCs shows a dark state when an optic axis of the OCS cell coincides with one of crossed polarizer axis. When the fringe electric field is applied, the LC director rotates in plane above whole electrode surface, giving rise to high transmittance and wide viewing angle simultaneously.

Key Words : Fringe-field switching, Optically compensated splay, Liquid crystal, High transmittance, Wide viewing angle

1. 서 론

최근 인간과 전자기기 사이의 가교 역할을 담당하는 디스플레이의 시장이 급속도로 증가하고 있다. 특히 액정 디스플레이(LCD)는 적용 분야가 소형 PDA에서 대형 LC TV에 이르기까지 매우 다양하고 그에 따른 소비자들의 요구 또한 증가되고 있다. LCD는 많은 양의 데이터를 표현해야하고, 광시야각, 빠른 응답 속도, 고해상도, 넓은 색재현성 등의 특성을 필요로 한다.

지금까지 LCD에서 고품질 달성을 위하여 여러 가지 액정 모드들이 소개 되었다. 대표적인 것으로 discotic 액정을 사용한 필름 보상 twisted nematic (TN) [1], in-plane switching (IPS) [2], multi-domain vertical alignment (MVA) [3], optically compensated bend (OCB) [4, 5], optically compensated splay (OCS) [6, 7, 8] and fringe-field switching (FFS) [9, 10]이 있다. 그 중

OCB 모드는 flow acceleration effects와 bend transition에 의해 10ms 이하의 빠른 응답 시간을 보인다. 또한 단일 도메인으로 자기 보상 구조에 의해 넓은 시야각 특성을 나타낸다. 그러나 좋은 암 상태를 얻기 위하여 여러 층의 보상 필름을 사용해야 한다는 단점이 있다.

또 하나의 단일 도메인 액정 모드로 OCS 모드가 있는데, 이 모드 또한 자기 보상 구조를 갖기 때문에 넓은 시야각을 보이고 응답 시간 또한 빠르다.

본 연구에서는 프린지 필드에 의해 구동되는 새로운 수직 배향 액정 셀을 제안했고, 그 이름을 FFS-OCS라 명명하였다. 이 셀에서 액정은 초기에 수직 배향되어 있고, 임계 전압 (V_c : critical voltage)을 인가하면 액정이 splay 상태로 전이되고, 전이된 후에는 프린지 필드를 액정 셀에 인가한다. 우리는 이 새로운 액정 모드의 전기 광학 특

성을 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통해 연구하였다.

2. 셀 구조 및 동작원리

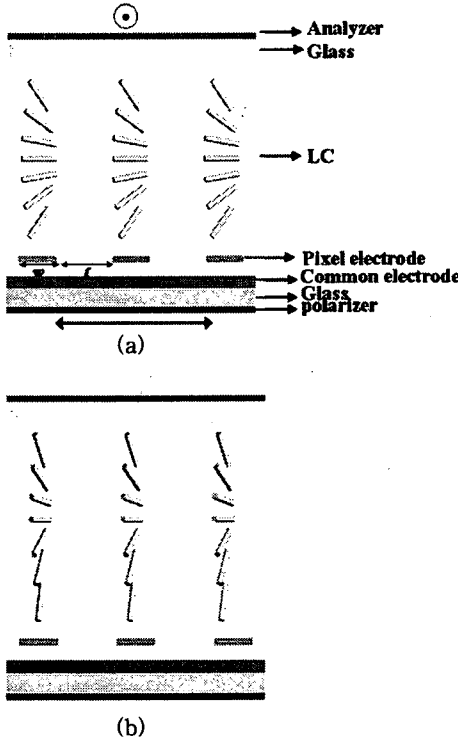


그림 1. FFS-OCS 셀 구조 및 전압 인가 (a) 전과 (b) 후의 액정 배열.

Fig. 1. Cell structure of the FFS-OCS in the off (a) and on (b) state.

그림 1은 FFS-OCS 모드의 셀 구조와 전압인가 전후의 액정 배열 상태를 나타낸다. 하부 전극 구조는 FFS와 동일하게 하부기판에 화소 전극 (pixel electrode)과 공통 전극 (common electrode)이 절연층을 사이에 두고 존재하며 화소전극과 공통전극 간 수평 거리가 영이고 화소 전극은 임의의 폭 (w)을 가지며 서로 임의의 간격 (l)으로 떨어져 있다. 상부 전극은 공통 전극과 동일하게 두었다. 러빙 방향은 상하 모두 프린지 필드의 수평 방향 성분에 대하여 12° 로 하였다. 초기 전압을 인가하기 전에는 액정 셀의 중앙을 중심으로 상하 대칭적인 hybrid 구조를 갖고, 프린지 필드를 인가하면 액정 분자들이 프린지 전기장의 의해 회전한다.

초기에는 수직 전기장을 이용하여 splay 상태로 전이시키고, splay로 전이된 후에는 액정 셀에 프린지 필드를 인가한다. 초기에는 편광판의 투과축과 액정의 러빙축이 일치하기 때문에 하부 편광판을 지난 이상광만 액정을 통과하여 상판 검광판에 의해 빛이 차단되어 어둠 상태를 나타낸다. 그런 후에 수평과 수직 성분을 갖는 프린지 전기장을 인가하여 액정을 회전시키면, 빛은 액정의 장·단축을 모두 지나게 되고, 이상광과 정상광의 위상차가 발생하여 타원편광 되어 밝음 상태를 얻을 수 있다.

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

표 1은 컴퓨터 시뮬레이션 조건으로, 액정의 물성 값을 나타낸다. 본 연구에서는 FFS-OCS 모드의 전기광학 특성을 분석하기 위해 2차원 시뮬레이터 (LCD Master, Shintech, Japan)를 사용하였고, 2×2 extended Jones matrix법을 적용하여 수행하였다. 여기서 셀 갭은 $4.8 \mu\text{m}$ 로 고정하고 액정의 위상 지연값 ($d\Delta n$)을 $0.45 \mu\text{m} \sim 0.60 \mu\text{m}$ 로 변화시키면서 최대 투과율 (T_{max})과 구동 전압 (V_{op})을 확인하였다. 그림 2에서 보는 바와 같이 동일 전극 구조에서 액정 셀의 $d\Delta n$ 이 $0.50 \mu\text{m}$ 근처일 때 최대 투과율을 보여 다음에서 자세하게 전기 광학 특성을 알아보았다.

표 1. 시뮬레이션 조건

Table 1. Simulation condition

Electrode width (μm)	3.0	
Electrode distance (μm)	4.5	
Cell gap (μm)	4.8	
Pretilt angle ($^\circ$)	88	
Rubbing angle ($^\circ$)	12	
LC	K_{11} (elastic constant for splay, pN)	13.5
	K_{22} (elastic constant for twist, pN)	6.5
	K_{33} (elastic constant for bend, pN)	15.1
	Δn (550 nm)	0.104
	$\Delta \epsilon$	-4.0

그림 3은 FFS-OCS 모드의 $d\Delta n$ 이 $0.50 \mu\text{m}$ 일 때 전압 인가에 따른 투과율 변화 (V-T) 곡선이다. 구

동 전압은 4V 미만으로 기존의 FFS 모드보다 낮은 것을 알 수 있다. 기존의 FFS 모드에 상당하는 높은 투과율을 보이고, 유사한 V-T 특성을 나타낸다. 이는 FFS-OCS 모드 역시 in plane으로 액정을 회전시켜 투과율이 발생되기 때문이다.

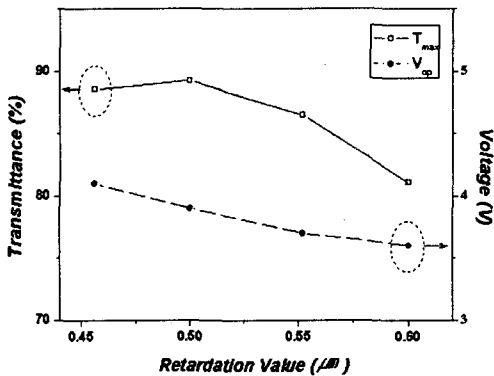


그림 2. 위상지연값 ($d\Delta n$)에 따른 최대 투과율 (T_{max})과 구동 전압 (V_{op}).

Fig. 2. Maximum transmittance (T_{max}) & operation voltage (V_{op}) as a function of retardation values.

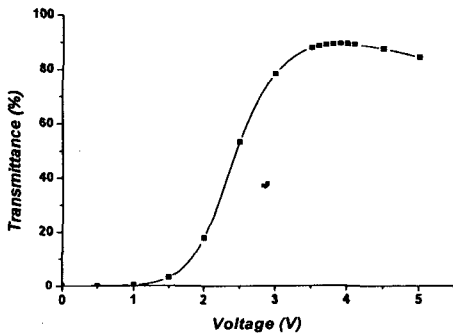


그림 3. 전압 인가에 따른 투과율 변화 곡선.

Fig. 3. Calculated voltage-dependent transmittance curves.

그림 4는 FFS-OCS 모드의 구동 전압에서의 등휘도 곡선이다. 여기서 T_{70} , T_{50} , T_{30} 은 정면의 최대 투과율에 대한 70%, 50%, 30%의 상대 투과율을 의미한다. 투과율 70%인 영역은 모든 방향에서의 polar angle 65° 이내이고, 30%인 영역은 80° 이내로 휘도가 매우 균일함을 알 수 있다.

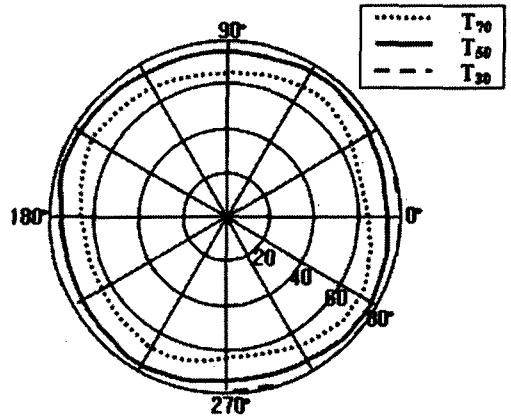


그림 4. 명 상태에서의 등휘도 곡선.

Fig. 4. Calculated iso-luminance curves at white state when the transmittance at normal direction is 100%.

4. 실험 결과 및 고찰

액정 셀의 상부 기판은 ITO (Indium Tin Oxide)가 코팅된 투명 유리 기판을 사용하였고, 하부 기판은 FFS 기판을 사용하였다. 상·하판은 약 1000 \AA 두께로 수직 배향막을 코팅하고 프린지 전기장의 수평 성분에 12° 로 상·하판 평행하게 러빙한 후 셀 갭이 $4.5 \mu\text{m}$ 가 되게 합착하였다. 사용한 액정은 유전을 이방성이 -4.7 (20°C , 1 kHz)이고, 복굴절 값이 0.1101 (20°C , 589.3 nm)을 갖는 재료를 사용하였다.

초기에는 상·하판의 수직 전기장에 의해 splay 상태로 전이되고, splay 상태로 전이된 후에는 하판의 프린지 전기장에 의해 그림 5와 같이 교차된 편광판 사이에서 흑 상태와 명 상태를 얻을 수 있다. 수직 전기장이 액정 셀에 인가되어 splay 상태로 전이되면 교차된 편광판 사이에서 편광판의 투과축과 러빙축이 일치하기 때문에 흑 상태를 보인다. 여기에 수직 전기장이 아닌 프린지 전기장을 인가하면 액정이 프린지 전기장의 수평·수직 성분에 의해 회전하기 때문에 투과율이 발생하고 전압을 증가시키면 명 상태를 보이게 된다. 액정이 splay 배열을 하고 있을 때 수직 전기장을 인가하면 액정 분자들은 2차원에서 변형이 이루어지지만 수직 전기장이 아닌 프린지 전기장을 인가하면 3차원 변형을 하게 되어 러빙축과 편광판의 투과축이 일치해도 투과율이 발생한다.

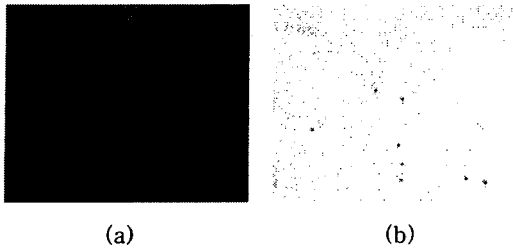


그림 5. FFS-OCS 셀 관찰 사진 : (a) 초기 splay 상태, (b) 프린지 전기장 인가 후 명 상태.

Fig. 5. Optical microphotographs of the FFS-OCS cell : (a) splay state, (b) white state when the fringe electric field applied.

4. 결론

본 논문에서는 수직 전기장을 이용하여 초기 수직 배향된 액정 분자들을 splay 상태로 전이시킨 후, 프린지 전기장으로 구동하는 새로운 액정 모드에 대해 연구했다. 이 모드는 광시야각과 고품질의 디스플레이에 응용될 수 있다.

5. 감사의 글

This research was supported by the Program for the Training of Graduate Students in Regional Innovation which was conducted by the Ministry of Commerce, Industry and Energy of the Korean Government.

참고 문헌

- [1] S. H. Lee, S. H. Hong, J. M. Kim, H. Y. Kim and J. Y. Lee, Journal of the SID 9/3, 155 (2001).
- [2] M. Oh-e, M. Ohta, S. Aratani, K. Kondo, Proceedings of the 15th IDRC, p. 577, 1995.
- [3] A. Takeda, S. Kataoka, T. Sasaki, H. Chida, H. Tsuda, K. Ohmuro, Y. Koike, T. Sasabayashi, and K. Okamoto, SID Dig. Tech. Pap., p. 1077, 1998.
- [4] P. J. Bos, P. A. Johnson and K. R. Koehler-Beran, SID '83 Digest p. 30.
- [5] T. Miyashita and T. Uchida, IEICE Trans. Electron, E79-C, 1076 (1996).
- [6] S. J. Kim, S. S. Shin, H. Y. Kim, S. H. Hong, Y. J. Lim and S. H. Lee, IMID '03, p. 512 (2003).
- [7] S. J. Kim, H. Y. Kim, S. H. Hong, S. Y. Kim, Y. J. Lim, and S. H. Lee, IDW '03, p173 (2003).
- [8] S. H. Lee, S. J. Kim and J. C. Kim, Appl. Phys. Lett., **84**, 1465 (2004).
- [9] S. H. Lee, S. L. Lee, and H. Y. Kim, Appl. Phys. Lett., 73(20), 2881 (1998).
- [10] S. H. Lee, S. M. Lee, H. Y. Kim, J. M. Kim, S. H. Hong, Y. H. Jeong, C. H. Park, Y. J. Choi, J. Y. Lee, J. W. Koh and H. S. Park, SID '01 Digest, p.484 (2001).