

FFS 모드에서 Reverse Twist가 구동전압에 미치는 영향에 관한 연구

Study on the Effect of the Operation Voltage according to the Reverse Twist for the Fringe Field Switching (FFS) Mode

김미숙^{1,2,a}, 정연학^{1,a}, 신승민¹, 김향울¹, 김서윤¹, 임영진¹, 이승희²
(Mi Sook Kim^{1,2,a}, Yeon Hak Jung^{1,a}, Seung Min Seen¹, Hyang Yul Kim¹, Seo Yoon Kim¹, Young Jin Lim¹, and Seung Hee Lee²)

Abstract

We have studied on the effect of the operation voltage according to the reverse twist for the different fringe field switching (FFS) structure. The FFS structure with a vertically patterned edge of the pixel electrode (VPP) has lower operation voltage comparing to the one with a horizontally patterned edge of the pixel electrode (HPP). The reason is like that the number of the pattern of the pixel edge for the VPP structure is one third comparing with the HPP structure and thus, there is small reverse twist area for the VPP structure. Actually, the reverse twist disturbs the twist of LC near adjacent active area, result that LCs near there have the unstable dynamics. That is, the operation voltage increases as the reverse twist area increases. Therefore, it is very important to design pixel electrode with a small reverse twist region for the FFS mode.

Key Words : Reverse twist, Vertically patterned pixel, Horizontally patterned pixel

1. 서론

최근 액정디스플레이의 화질이 twisted nematic (TN)[1], in-plane switching (IPS)[2], fringe field switching (FFS)[3,4] 모드와 같은 다양한 모드의 발전과 더불어 놀랄만큼 개선되고 있다. 그 중 TN 모드는 가장 일반적인 모드로 안정한 구조, 넓은 공정 마진, 고 투과 특성을 지닌다. 따라서 노트북, 모니터 분야에서 널리 응용되고 있다. 그러나 좁은 시야각 특성, 특정 방향에서 계조 반전등의 문제점이 지적되고 있으며 이러한 문제점을 개선하기 위해 액정 방향자의 in-plane 회전을 이용하는 IPS 또는 FFS 모드와 같은 광시야각 모드가 제안되고

있다. IPS 모드의 경우 우수한 광시야각 특성을 지니나 화소 전극 중간부분의 액정들이 회전하지 않기 때문에 낮은 투과율 특성을 보인다. 반면 프린트 전계를 이용하는 FFS 모드의 경우 고투과 특성과 광시야각 특성을 동시에 지닌다. FFS 모드의 경우, 하부 기판의 프린트 전계에 의해 액정이 회전하게 되며 패턴된 화소 전극 가장자리 부근의 전계와 중심부 전계의 방향이 달라 액정이 서로 다른 방향으로 회전하면서 화소 전극 가장자리 부근에서 reverse twist가 발생한다. 또한 이러한 영역에서의 액정의 회전 방향이 인근의 정상거동 영역과 상이하기 때문에 이들의 경계 영역에서 어느 방향으로도 회전하지 않는 액정 방향자들에 의해 필연적으로 disclination lines (DLs)이 형성된다.[5] 따라서 화소 전극 가장자리 부근에 위치한 액정 분자들은 동력학적으로 매우 불안정하며 인접 정상영역에 위치한 액정의 움직임을 방해한다. 또한 이러한 현상은 FFS 모드의 구동전압을 높이는 역할을 하게된다. 따라서 화소 설계시 reverse twist 영역이 적은 구조를 적용하는 것이 매우 중요하다.

1. BOE_TFT_LCD_SBU 선행기술그룹
(경기도 이천시 부발읍 아미리 산 136-1)
2. 전북대학교 신소재공학부
a. Corresponding Author : misuk7287@boehydis.com
접수일자 : 2005. 8. 30
1차 심사 : 2005. 9. 8
심사완료 : 2005. 9. 21

본 논문에서는 두가지 FFS 구조를 비교, 분석하면서 reverse twist가 구동전압에 미치는 영향 및 액정 동력학 안정성을 3차원 시뮬레이션을 통해 살펴보았다.

2. FFS 모드의 셀 구조 및 동작원리

IPS 모드에서 투과율 방정식은 아래와 같이 표현될 수 있다.

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

여기서 ψ 는 교차된 편광판의 투과축 중의 하나와 액정 방향자 사이에 이루는 각을 말한다. 전압 증가시 ψ 가 0° 부터 일정 값까지 증가하게 되며 특정 전압에서 광 투과도가 발생한다. 또한 아무리 높은 전압을 인가해도 강한 표면 anchoring 에너지 때문에 액정 방향자가 90° 까지 증가할 수는 없다. FFS 모드도 이와 유사하게 표현될 수 있다. 즉 교차된 편광판에서 전압 인가시 프리즈 전기장이 형성되며 액정 방향자가 회전해 ψ 가 증가하면서 광 투과도가 발생하게 된다. 본 연구에 사용된 FFS 구조는 화소 전극의 폭은 $3 \mu\text{m}$ 전극간 거리는 $5 \mu\text{m}$ 로 기 발표된 논문 내용과 동일하며[6] 러빙에 의한 프리틸트 각은 2° , 셀 갭은 $4 \mu\text{m}$ 이다. 또한 +LC이 ($\Delta\epsilon=8.2$, $\Delta n=0.099$ at 589 nm) 시뮬레이션에 사용되었다.

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 연구에서는 화소 가장자리 부근에서 발생하는 reverse twist 영역이 구동 전압에 미치는 영향을 살펴보기 위해 3차원 시뮬레이션을 사용했으며 분석을 위해 사용된 시뮬레이터는 Sanayi system의 Techwiz LCD이며 광학적 투과율 계산은 589 nm 에서 2×2 extended Jones matrix[7]를 적용하였다.

그림 1(a)와 1(b)는 패턴된 화소 전극 위치가 수직으로 배열된 (Vertically Patterned Pixel, VPP) FFS 구조와 수평으로 배열된 (Horizontally Patterned Pixel, HPP) FFS 구조에서의 시뮬레이션을 통한 투과율 결과를 보여준다. 이때 VPP 구조의 경우, 러빙 방향은 수평 전기장 방향 (E_x)을 기준으로 83° , HPP 구조는 7° 이다. 그림 1에서 보여지는 것처럼 HPP 구조에서의 패턴된 화소 전극

의 수는 VPP 구조보다 3배 이상 많다. 또한 패턴된 화소 전극 가장자리 부근에서 전기장의 방향이 화소 내의 정상 거동 영역에서 방향과 다르기 때문에 reverse twist가 발생하게 된다. 이러한 영역에서 액정 방향자는 인근의 정상거동 영역과 상이한 방향으로 회전하기 때문에 이들의 경계 영역에서 매우 불안정한 DLs이 발생한다. 따라서 HPP 구조에서의 DLs 수가 VPP 구조보다 3배 이상 더 많게 되며 이는 액정 방향자의 동력학 안정성에 매우 불리하게 된다. 또한 이러한 DLs은 인접 정

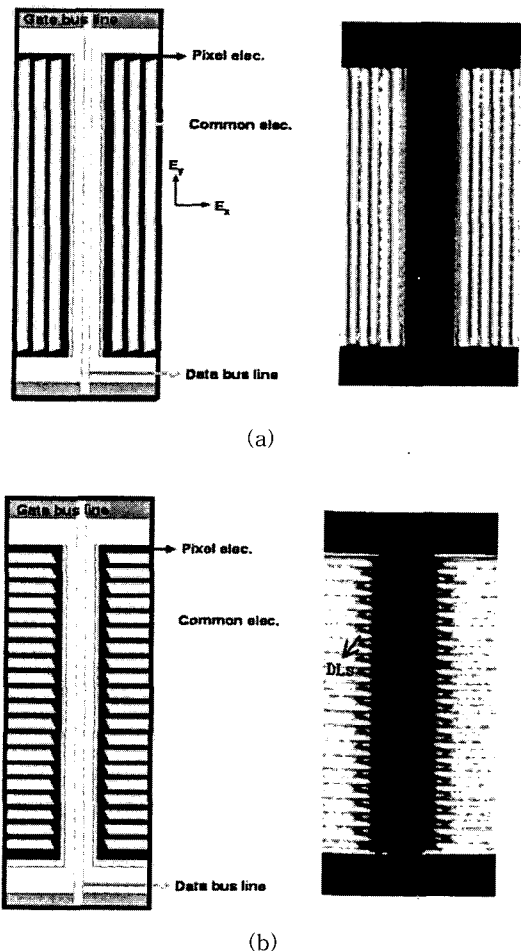


그림 1. 다른 FFS 구조에서의 투과율 변화 : (a) 수직 방향으로 배열된 화소 구조, (b)수평 방향으로 배열된 화소 구조.

Fig. 1. Transmittance for the different FFS structure : (a)VPP, (b)HPP.

상영역까지 침범해 패널내의 투과율을 떨어뜨리는 역할을 한다. 여기서 특이한 점은 VPP구조에서 DLs이 HPP 구조와는 달리 인접 정상영역으로 거의 침범하지 않는 것이다. 이는 gate bus line (-8 V)과 common electrode(0 V) 사이의 큰 전위차에 의해 발생하는 강한 수평 전기장이 DLs을 화소 가장자리에 고정시키는 역할을 하기 때문이다. 반면 HPP 구조에서는 data bus line(5.4 V)과 common electrode (0 V) 사이의 전위차가 VPP 구조보다 작으며 따라서 더 작은 수평 전기장에 의해 DLs이 안쪽으로 침범하는 것을 막지 못한다. 그림 2(a)에서 2(c)는 화소 전극의 배열을 달리 가지는 FFS 모드에서 전압에 따른 투과율 곡선을 나타낸다. 여기서 투과율은 color filter를 제외한 패널내의 투과율을 말한다. 앞서 언급했듯이 더 넓은 개구 영역을 가지는 VPP 구조에서의 최대 투과율은 HPP와 비교시 40 % 이상 증가하게 된다. HPP 구조보다 VPP 구조에서 큰 투과율을 보이는 이유는 첫째 dark DLs이 화소 안쪽으로 침범하면서 전체적인 투과율을 떨어뜨리기 때문이다. 다음으로는 VPP 구조에서는 패턴된 화소 슬릿부가 gate line이 존재하는 수직(y) 방향에 위치하기 때문에 data bus line 좌우의 common electrode과 pixle electrode 사이에서도 투과율이 발생하면서 개구 영역이 증가하게 된다. 따라서 VPP 구조의 경우 HPP 구조보다 40 % 이상의 큰 투과율을 가지게 된다. 실제로 화소 가장자리를 제외한 정상부의 경우 액정 방향자와 편광판의 투과축 사이의 이루는 각에 의해 투과율이 결정되며 VPP 혹은 HPP 구조 모두 화소 전극의 폭과 전극간 거리가 동일하기 때문에 이러한 패턴된 화소 전극 배열에 상관없이 동일한 투과율을 보인다. 또한 그림 2(b)와 2(c)에서 보이는 것처럼 최대 투과율을 나타내는 구동전압의 경우 VPP 구조가 HPP 구조보다 0.4 V 작다. 이러한 화소 전극의 배열 위치에 따라 구동전압이 차이가 나는 이유를 살펴보기 위해 HPP 구조에서 화소 전극 가장자리 부근의 액정 방향자를 분석했다. 그림 3(a)와 3(b)는 HPP 구조에서의 트위스트 각과 틸트각을 나타낸다. 여기서 A, B, C는 정상 twist 발생 영역, DLs 발생 영역, reverse twist 발생 영역을 나타낸다. 이 구조에서 정상 twist 거동과 reverse twist 거동 경계에서 어느 방향으로도 움직이지 못하는 액정 방향자에 의해 생기는 DLs은 화소 전극 가장자리, 즉 D로부터 화소 안쪽으로 8 um 까지 침범해 있다. 또한 A 영역의 액정 방향자는 z/d=0.2 근처에서 약 60°

로 twist 되었으며 C 영역의 액정 방향자는 z/d=0.2 근처에서 -45°까지 reverse twist 되어 있다. 따라서 이들 경계에 존재하는 액정 방향자들은 어느 방향으로든 회전하지 못하며 DLs을 형성한다. 이

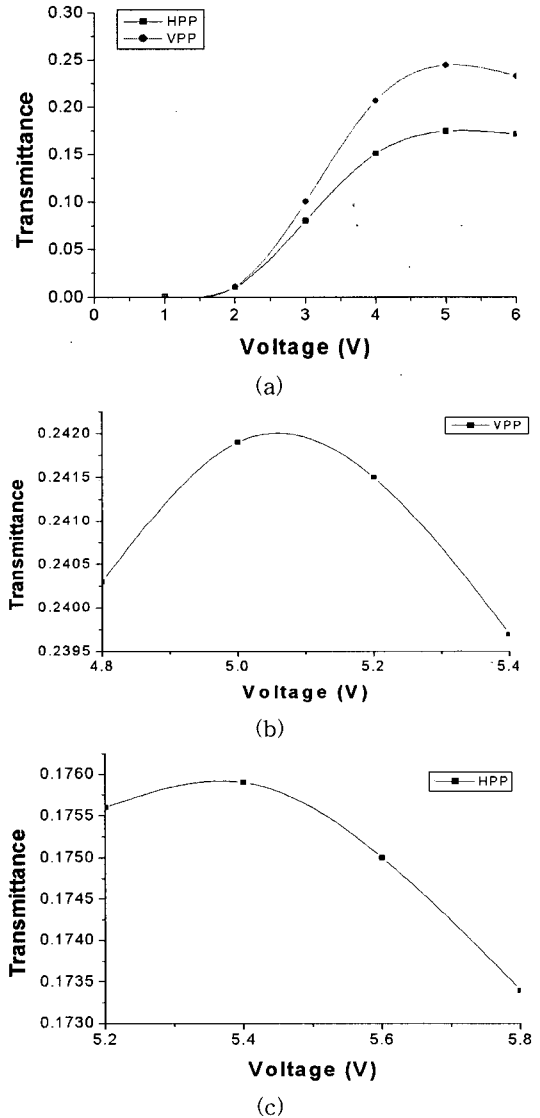


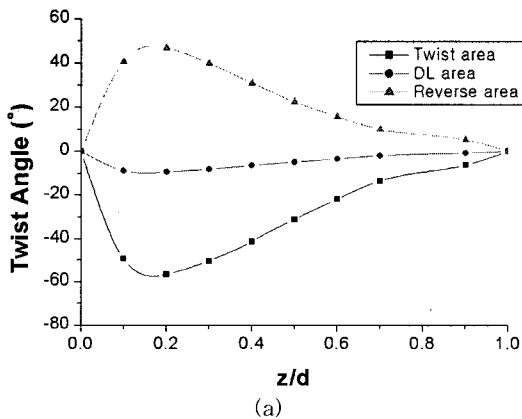
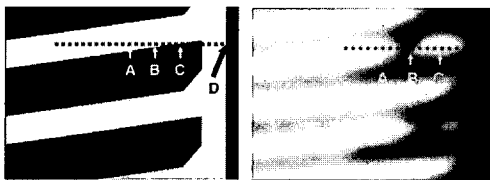
그림 2. 다른 FFS 구조에서의 전압에 따른 투과율곡선: (a)수직 및 수평 방향으로 배열된 화소 구조, (b)수직 방향으로 배열된 화소 구조, (c)수평 방향으로 배열된 화소 구조.

Fig. 2. Calculated V-T curve for the different FFS structure: (a)VPP and HPP, (b)VPP, (c)HPP.

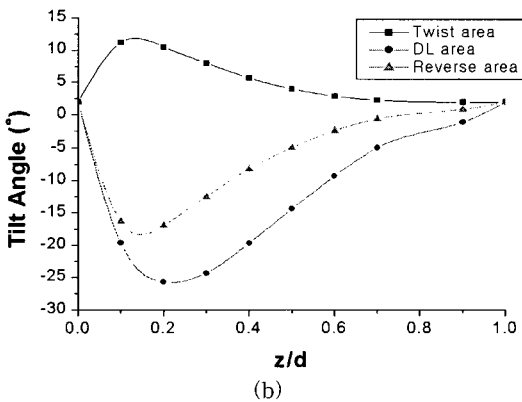
후 reverse twist를 발생시키는 불안정한 C영역과 정상 twist 영역인 A 사이에 전기장 경쟁이 심화되면서 경계부근에서 발생하는 불안정한 DLs이 인접 정상 영역까지 침범하게 된다. 따라서 인접 정상 영역의 액정 방향자들의 움직임이 방해받게 되며 구동전압이 증가하게 된다. 즉, 수직 방향으로 패턴된 화소 전극을 가지는 VPP 구조는 HPP 구조보다 더 적은 화소 슬릿을 가지며 인근 정상 영역의 액정 방향자들이 화소 슬릿 가장자리에서

발생하는 불안정한 reverse twist force에 의한 영향을 적게 받아 원래 전기장의 방향과 유사하게 회전해 구동 전압이 낮아진다. 또한 A 영역에서의 최대 tilt 각은 10°, B의 경우는 -30°, C의 경우는 -18°인 것을 통해 B와 C영역 근처의 액정 방향자가 더 큰 tilt 각을 가져 액정 방향자들이 동력학적으로 불안정한 것을 알 수 있다. 반면 화소 정상부의 경우 화소 가장자리부근의 reverse twist 영역이 존재하지 않기 때문에 VPP 혹은 HPP 구조에 따른 구동전압의 차이는 발생하지 않는다.

(시뮬레이션 영역)



(a)



(b)

그림 3. HPP 구조에서의 액정 방향자 분포 : (a) 트위스트 각, (b)틸트 각.

Fig. 3. LC director profile for HPP structure : (a) twist angle, (b) tilt angle.

4. 결론

본 논문에서는 2가지 FFS 구조를 비교, 분석함으로써 reverse twist 가 구동전압에 미치는 영향을 살펴보았다. 일반적으로 FFS 모드는 패턴된 화소 전극 가장자리에서의 전기장 방향이 정상 거동 영역의 전기장 방향과 다르기 때문에 화소 전극 가장자리 부근에서 reverse twist가 발생하게 된다. 화소 전극을 수직 방향으로 배열시킨 VPP 구조의 경우 수평으로 배열시킨 HPP 보다 패턴된 화소 전극이 1/3로 적게 되며 따라서 불안정한 reverse twist 영역이 줄어든다. 또한 reverse twist 영역과 정상 twist 경계에서 발생하는 DLs이 인근 정상 거동영역에 미치는 영향이 적어지면서 액정 방향자들이 동력학적으로 안정하게된다. 그 결과 VPP 구조에서의 구동전압이 HPP 구조보다 작게 된다. 따라서 FFS 화소 설계시 reverse 영역이 적은 액정 방향자들이 동력학적으로 안정한 화소 구조를 적용하는 것이 매우 중요하다.

참고 문헌

- [1] M. Schadt and W. Helfrich, "Voltage-dependent optical activity of twisted nematic liquid crystal", Appl. Phys. Lett., Vol. 18, No. 4, p. 127, 1971.
- [2] 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", Trans. EEM, Vol. 4, No. 1, p. 24, 2003.
- [3] 김향울, 고재완, 노정동, 서대식, 이승희, "유전율 이방성이 음인 액정을 이용한 이중 도메인 FFS 모드의 전기광학 특성", 전기전자재료학

- 회논문지, 15권, 8호, p. 720, 2002.
- [4] 김미숙, 김향울, 고재완, 이승희, “프린트 전기장에 의해 구동되는 수평 배향 액정셀에서 black matrix의 전기적 특성이 셀의 전기 광학 특성에 미치는 영향에 관한 연구”, 전기전자재료학회논문지, 16권, 11호, p. 1008, 2003.
- [5] M. S. Kim, Y. H. Jung, S. M. Seen, H. Y. Kim, S. Y. Kim, Y. J. Lim, and S. H. Lee, “A novel fringe field switching (FFS) mode with 3 divided pixel slit”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 44, No. 5A, p. 3121, 2005.
- [6] M. S. Kim, S. M. Seen, Y. H. Jung, H. Y. Kim, S. Y. Kim, Y. J. Lim, and S. H. Lee, “Effect of horizontal electric field generated by data signal on disclination lines near pixel edge in fringe field switching mode”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 44, No. 9A, p. 6698, 2005.
- [7] A. Lien, “Extended Jones matrix representation for twisted nematic liquid crystal display at oblique incidence”, Appl. Phys. Lett., Vol. 57, No. 26, p. 2767, 1990.