

논문 17-4-12

TFT를 이용한 비틀린 네마틱 액정 셀에서 외부 압력에 따른 액정 동력학에 관한 연구

Study on Pressure-dependent Dynamics of Liquid Crystal in a Twisted Nematic Liquid Crystal Cell with Thin Film Transistor

고재완^{1,2}, 김미숙^{1,2}, 정연학², 김향울^{1,2}, 이승희^{1,a}
(J. W. Koh^{1,2}, M. S. Kim^{1,2}, Y. H. Jung², H. Y. Kim^{1,2}, and S. H. Lee^{1,a})

Abstract

We have studied the pressure-dependent liquid crystal's dynamics in a twisted nematic (TN) liquid crystal panel with thin film transistor by applying an external pressure to it. When the external pressure is applied to the panel in a dark state, the disclination lines were generated as a light leakage whereas they did not appear in a simple test cell that has only pixel and common electrodes. It was because the disclination lines were provoked by the electric field between pixel electrode and data/gate bus line for active matrix driving. Consequently, the external pressure resulted in dynamic instability of the liquid crystal so that the disclination lines at the data/gate bus line intruded into the active area.

Key Words : Twisted nematic, Thin film transistor, Pressure resistant, Active matrix

1. 서론

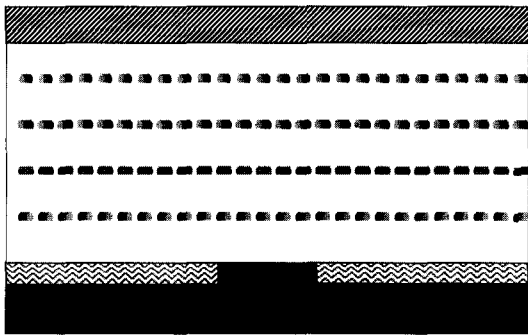
최근 들어 박막 트랜지스터 액정 디스플레이 (thin film transistor liquid crystal display : TFT-LCD)에 대한 연구가 활발해지면서 twisted nematic (TN)[1,2], in-plane switching (IPS)[3], fringe field switching (FFS)[4,5] 모드와 같은 다양한 액정 디바이스가 notebook PC, 소형 mobile phone, pressure sensitive pen-based display[5-8] 등의 pen based system에 많이 응용되고 있다. Pressure sensitive 디스플레이의 경우 펜에 의해 외부 압력이 패널에 적용되기 때문에 액정들은 동력학적으로 안정해야 한다. 그러나 대부분의 노트북에 사용되는 비틀린 네마틱 (TN) 박막 트랜지

스터 액정 디스플레이의 경우 수평 전기장에 구동되는 IPS 모드나 프린트 전기장에 의해 구동되는 FFS 모드에 비해 전압 인가 후 어둡은 상태에서 압력 인가시 액정들이 동력학적으로 불안정하게 되고 disclination line이 화소 안쪽 active 영역으로 침범하게 된다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 유리기관 위해 보호 층을 두어 패널이 외부 압력에 안정하게 했으나 그 결과 가격상승, parallax 등의 문제가 발생하였다[6-8]. 이에 반해 TFT가 없는 즉 화소에 걸리는 수직전기장을 방해하는 신호선(data bus line)이나 주사선(gate address line)이 없는 TN 단위 셀에서는 이러한 현상이 발생하지 않았다. 본 논문에서는 normally white TN 모드의 경우 박막 트랜지스터 액정 디스플레이에서 disclination 발생 원인과 단위 셀에서는 상이한 결과가 나타나는 원인을 컴퓨터 시뮬레이터와 현미경을 통해 비교 분석해 보았다.

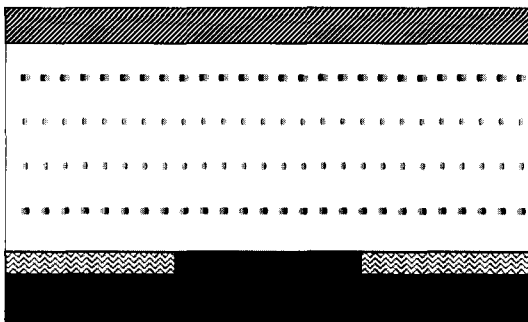
1. 전북대학교 신소재공학부
(전북 전주시 덕진동 1가 664-14)
2. BOE-HYDIS, TECHNOLOGY CO., LTD.
a. Corresponding Author : lsh1@moak.chonbuk.ac.kr
접수일자 : 2003. 11. 25
심사완료 : 2004. 1. 2

2. TN TFT-LCD 구조 및 시뮬레이션 조건

그림 1은 active matrix에 의해 구동하는 비틀린 네마틱 액정 모드로 그림 1(a)는 신호선과 화소 전극사이의 단면을 나타내며 그림 1(b)는 주사선과 화소 전극 사이의 단면을 나타낸다. 실제로 하부 기판의 러빙 방향은 -45° 상판의 러빙 방향은 45° 로 액정이 좌선성으로 90° 비틀리도록 했으며 하부 편광판 -45° , 상부 편광판은 45° 로 위치시켜 전압 인가 전 normally white 상태가 구현되게 했다. 그림 1(b)에서 초기 액정 배열의 모습이 그림



(a)



(b)

- Passivation
- Data bus line
- Common electrode
- Pixel electrode
- Gate bus line

그림 1. 비틀린 네마틱 액정 모드의 단면도 및 액정 분포: (a) data bus line, (b) gate bus line.

Fig. 1. Cross-sectional structure view of the TN-LC mode and LC profile: (a) data bus line, (b) gate bus line.

1(a)와 다른 이유는 1(a)에서의 러빙 조건이 주사선 단면기준으로는 하부 러빙 경우 45° , 상부 러빙 경우 135° 방향이 되기 때문이다. 이때의 시뮬레이션 조건은 표 1과 같으며 시뮬레이션에 사용된 시뮬기는 2dimos(Autronic-melchers, German)로 광학적 투과율 계산은 2×2 extended Jones matrix를 적용했다[9].

표 1. 시뮬레이션 조건.

Table 1. Simulation condition.

Width of common electrode (μm)		74
Width of data bus line (μm)		7
Width of gate bus line (μm)		18
Cell gap (d) (μm)		4.8
Pretilt angle($^\circ$)		3
+ L C	K_{11} (elastic constant for splay)	9.7
	K_{22} (elastic constant for twist)	5.2
	K_{33} (elastic constant for bend)	13.3
	Δn at 589nm	0.099
	$\Delta \epsilon$	8.1

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

위의 조건을 가지고 시뮬레이션을 실행해 신호선 및 주사선 주변에서 액정의 동력학 안정성을 조사하였다. 그림 2는 신호선과 화소전극의 단면을 자른 그림으로 화소 전극과 신호선에는 1V, 공통 전극에는 6V를 인가했다. 이 경우는 화소 전극과 공통 전극사이에서는 수직 전기장이 발생한 반면 신호선과 화소 전극 사이에는 수평 및 수직 전기장 성분을 모두 갖고 있는 fringe 전기장이 발생한다. 이러한 fringe 전기장은 액정 분자들의 전기장에 따른 움직임이 화소 전극 위 영역과 주사선 양 주변 영역과 다르게 된다. 즉 액정들이 화소 전극 영역 위에서 만큼 기판에 수직으로 서지 못하고 틀어지면서 약간의 빛샘이 발생하게 되고, 즉 disclination line이 존재하게 된다. 그림 3은 주사선과 화소 전극의 단면을 보여주는 그림으로 주사선에는 $-8V$, 화소 전극에는 1V, 공통 전극에는 6V가 인가되었다. 주사선과 화소 전극사이의 강한 전위차 9V에 의해 fringe 전기장이 강하게 발생하여 액정들이 좌우로 전기장에 따라 옆으로 눕는

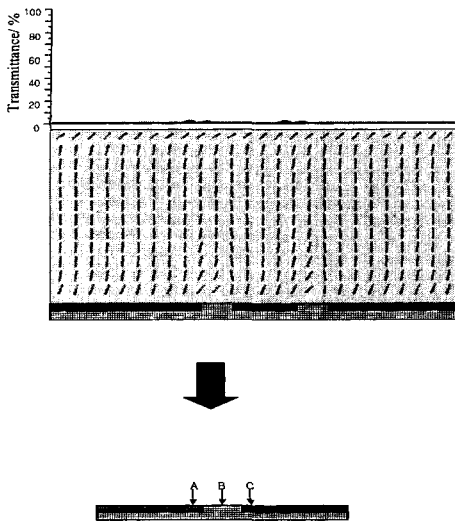


그림 2. 전극 위치별 액정 방향자 분포도 및 투과율. 인가전압: 화소전극 (1V), data bus line (1V), 공통 전극 (6V).

Fig. 2. Profile of the LC director and transmittance along electrode. Bias voltage: pixel electrode (1V), data bus line (1V), common electrode (6V).

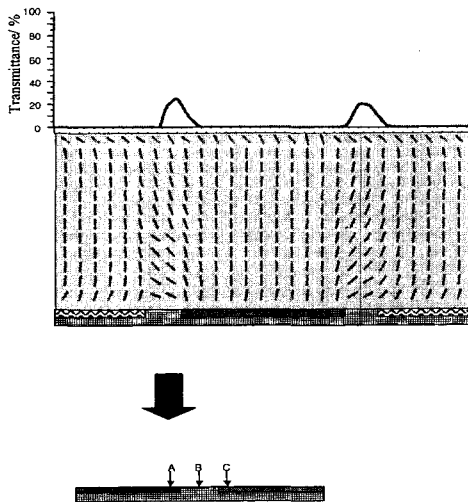
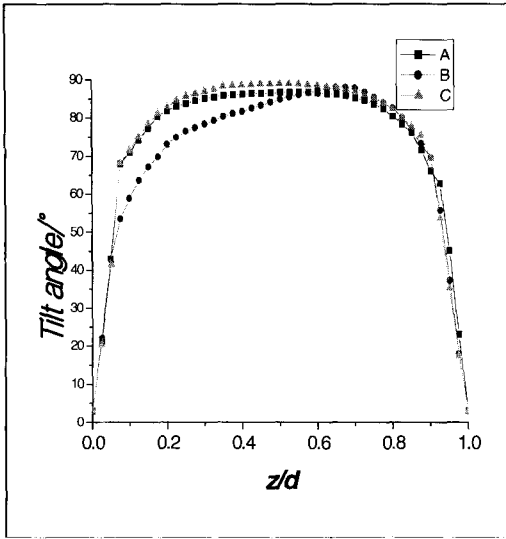


그림 3. 전극 위치별 액정 방향자 분포도 및 투과율. 인가전압: (a) 화소전극 1V, gate bus line -8V, 공통 전극 6V.

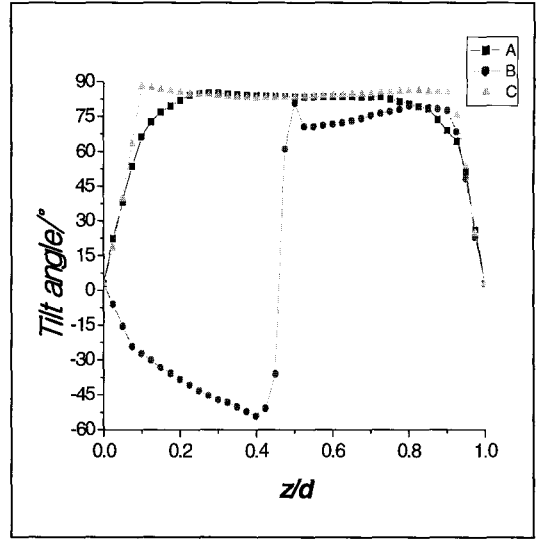
Fig. 3. Profile of the LC director and transmittance along electrode. Bias voltage: pixel electrode (1V), gate bus line (-8V), common electrode (6V).

것을 그림 3에서 볼 수 있다. 즉, 주사선을 기준으로 오른쪽과 왼쪽 화소전극과의 변형 현상이 신호선 근처에서보다 강하게 발생하여 빛샘이 크게 일어남을 알 수 있다.

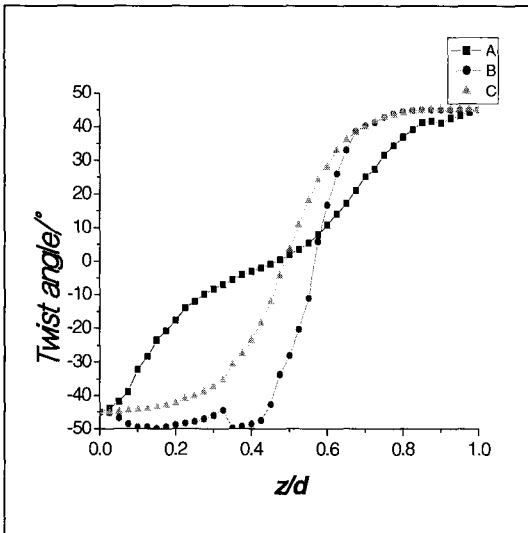
다음은 신호선 및 주사선의 전기장에 영향을 받아 실제 액정 방향자가 전극 위치별로 어떻게 변형되는가를 알아보았다. 그림 4(a)는 신호선 왼쪽 세 위치에서 액정의 tilt각 분포를 보여준다. 여기서 A는 왼쪽 화소전극 오른쪽 가장자리를 나타내며 B는 화소 전극과 주사선 사이, C는 신호선 왼쪽 가장자리 바로 안쪽을 나타낸다. tilt각 분포도를 보면 A, B, C 영역 모두 역 tilt각은 발생치 않고 tilt각 분포도를 보면 A, B, C 영역 모두 역 tilt각은 발생치 않고 수직 전기장이 상대적으로 적은 B 위치에서 z/d 가 0.1~0.5 인 영역에서 tilt각이 적은 것을 알 수 있다 (여기서 z는 수직방향의 거리를 의미함). Tilt각이 적다는 것은 정면에서 위상 지연 값이 주변에 비해 크게 존재한다는 것을 의미하고 이는 바로 투과율 분포에서 보듯이 미세한 광 누설을 가져온다. 그림 4(b)는 twist각 분포를 보여준다. A와 C 위치에서는 -45°에서 +45°로 상하 판에 90° 연속적으로 꼬여 있지만 B 위치에서는 하부 기관근처에서 역 twist가 약하게 발생하며 이러한 현상은 상판으로 올라갈수록 감소해 정상적인 twist 각 분포를 한다. 그림 5(a)는 신호선 왼쪽 세 위치에서 액정의 tilt각 분포를 보여준다. 신호선 주변의 액정 방향자와는 달리 B 위치에서 셀 중앙에 있는 액정까지 역 tilt가 발생하였다. 그림 5(b)는 twist각 분포를 보여주는데 역시 B 위치에서 셀 중앙까지 역 twist가 발생함을 알 수 있다. 이러한 액정 방향자 분포를 종합해 해석해 보면 셀 전 영역에서 액정 분자가 상하 판에 90° twist되어야만 안정한 상태인데 신호선과 화소 전극 사이에서는 역 twist가 발생하여 불안정한 상태로 존재해 있음을 알 수 있다. 마찬가지로 주사선과 화소전극 사이에서도 액정들이 불안정한 상태로 평형을 이루고 있음을 알 수 있다. 결과적으로 외부에서 액정 패널에 압력을 인가시 불안정하게 배열되어 있는 액정 분자들이 압력 인가시에 발생하는 액정의 유체흐름에 의해 화소 전극 안쪽까지 치고 들어갈 수 있음을 예측할 수 있다. 즉 disclination line이 화소전극영역위에서 보일 수 있다.



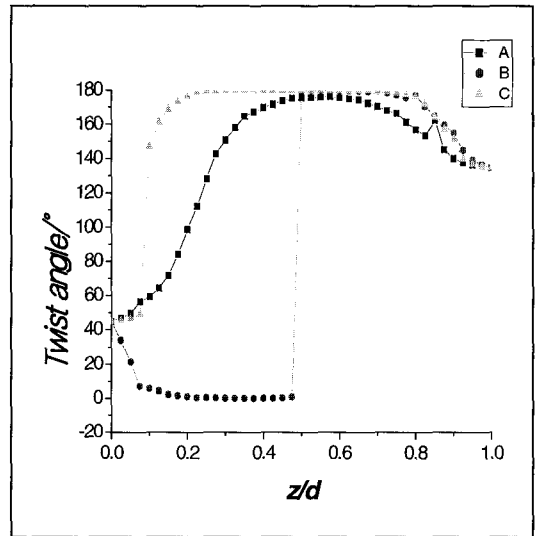
(a)



(a)



(b)



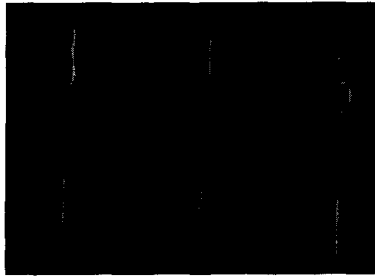
(b)

그림 4. 신호선과 화소 전극사이에서 전극 위치별 액정의 (a) tilt 및 (b) twist 각 분포도.

Fig. 4. Tilt (a) and twist (b) angle distribution between data bus line and pixel electrode.

그림 5. 주사선과 화소 전극사이에서 전극 위치별 액정의 tilt 및 twist 각 분포도.

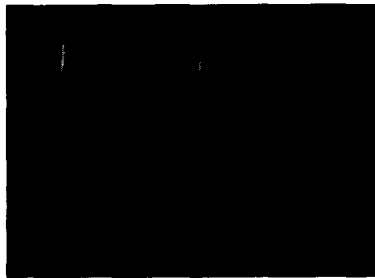
Fig. 5. Tilt (a) and twist (b) angle distribution between gate bus line and pixel electrode.



(a)



(b)



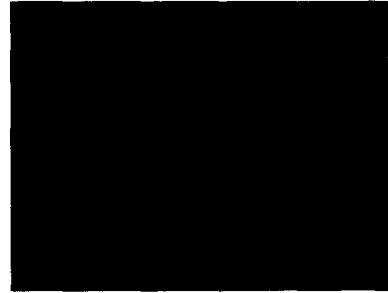
(c)



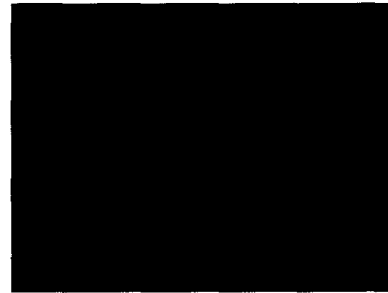
(d)

그림 6. 외부 압력 인가 후 disclination line의 소멸 정도를 나타내는 광학 현미경 이미지 (a) 1초, (b) 2초, (c) 3초, (d) 4.

Fig. 6. Optical microscope image showing how disclination lines disappear after an external pressure is applied : (a) 1 sec (b) 2 sec (c) 3sec (d) 4 sec.



(a)



(b)

그림 7. 단위 셀에서 광학 현미경 그림 : (a) 외부 압력 인가 전, (b) 외부 압력 인가 후.

Fig. 7. Optical microscope image for unit test cell : (a) before external pressure, (b) after external pressure.

이러한 현상을 확인하기 위해 TN 모드가 적용된 TFT-LCD에 압력을 약 800g force를 인가하면서 액정의 동력학이 어떻게 변하는지를 현미경으로 관찰하였다. 이때 TN은 편광판이 상하 판에 90°로 러빙 방향과 일치되게 배열하여 전압 인가시 명 상태를 보여주었고 5V 전압 인가시는 상태를 보여주었다. 주사선 및 신호선 사이에서 disclination line에 의해 광 누설을 막기 위해 optical density가 3이상인 black matrix가 상판 color filter 사이에 배치되어 신호선에 5V 인가시상쪽에서 하쪽으로 압력 인가시 주사선 주변의 경우 역시 압력인가 방향에 따라 이와 동일한 현상이 일어났다. 하지만 주사선과 신호선, 즉 TFT가 없는 TN 단위 셀의 경우 그림 7에서 나타난 바와 같이 외부에서 압력이 인가되도 순간적으로 눌림에 따라 미세한 빛샘만 발견될 뿐 패널에서 보여주었던 disclination line이 발생하지 않았다. 단위 셀과 TFT가 들어간 패널에서 외부 압력 인가시 동일한 TN 액정 모드가 적용되었음에도 불구하고 서로

다른 동력학을 보여주는 원인은 다음과 같이 설명될 수 있다. 단위 셀에서는 셀 전영역에 액정분자들이 전압 인가전에 상하판에 90° 꼬여서 누워 있고 전압 인가시에는 90° 한쪽방향으로 꼬인 상태에서 일어서게 된다. 이렇게 전기장과 액정셀의 탄성에너지와의 경쟁에 의해 결정된 액정 배열 상태는 안정한 상태를 이루고 어느 정도의 외부 압력에는 순간적으로 액정분자들이 서있는 정도가 줄어들어 빛샘을 발생한 뿐이지 reverse tilt나 twist는 발생하지 않아 압력 제거시 원상태로 복귀하게 된다. 하지만 패널의 경우 주사선이나 신호선 주변에 reverse tilt나 twist가 존재하여 외부 압력 인가시 좌선성으로 90° 꼬여진 액정분자들이 순간적으로 우선성으로 꼬이고 누우면서 빛샘 즉 disclination line들이 발생하게 된다. 하지만 이러한 도메인 영역들이 정상의 영역보다 적기 때문에 시간이 지남에 따라 정상영역에 비정상 영역은 침범당하고 disclination line들은 사라지게 된다. 이러한 유사한 결과는 FFS 모드에서도 정상영역과 비정상영역의 크기에 따라 disclination line들이 사라질 수도 있고 아니면 그대로 존재해 화질을 떨어트리는 보고가 있었다[7].

4. 결론

본 연구에서는 TN모드를 적용한 TFT-LCD(패널)와 단위 셀에서 압력 감지 특성을 비교 분석하였다. 단위셀에서는 액정 동력학의 불안정성이 나타나지 않는 반면에 패널의 경우 어둡상태를 구현하는 인가전압에서 외부 압력 인가시 신호선 및 주사선 주변으로부터 disclination line이 화소 전극 영역으로 침범하였다. 이는 주사선 및 신호선의 전압이 인가될시 화소전극 사이에서 fringe 전기장이 발생하고 이러한 전기장은 액정을 reverse twist시키고, 따라서 외부 압력 인가시 액정동력학에 불안정한 영역을 발생시킴을 알 수 있었다. 따라서 TN모드가 외부 압력이 패널에 적용되는 pressure sensitive 디스플레이로 응용되기 위해서는 이러한 부분의 다소 개선점이 필요하다.

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. Yoshida and J. Kelly, "Light behavior analysis of twisted nematic liquid crystal", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 36, p. 2116, 1997.
- [3] 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. on EEM, Vol. 4, No. 1, p. 24, 2003.
- [4] 김향울, 고재완, 노정동, 서대식, 이승희, "유전을 이방성이 음인 액정을 이용한 이중 도메인 FFS 모드의 전기광학 특성", 전기전자재료학회논문지, 15권, 8호, p. 720, 2002.
- [5] 김미숙, 김향울, 이승희, "Fringe-field switching (FFS) 모드에서 액정의 유전을 이방성에 따른 동력학 안정성에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 16권, 3호, p. 224, 2003.
- [6] J-D. Noh, H. Y. Kim, J. M. Kim, J. W. Koh, H. S. Park, and S. H. Lee, "Pressure-resistant characteristics of the fringe-field switching (FFS) TFT-LCD", IDMC '02, Vol. 2, p. 447, 2002.
- [7] J-D. Noh, H. Y. Kim, J. M. Kim, J. W. Koh, J. Y. Lee, H. S. Park, and S. H. Lee, "Pixel structure of the Ultra-FFS TFT-LCD for strong pressure-resistant characteristic", SID '02, Vol. 33, p. 224, 2002.
- [8] 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 superior image quality, fast response time and strong pressure-resistant characteristics", Journal of the SID, Vol. 10, No. 2, p. 117, 2002.
- [9] 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.