

논문 17-11-15

TN 모드와 FFS 모드에서 Pretilt Angle이 전기 광학 특성 및 동역학 안정성에 미치는 영향에 관한 연구

Study on Electro-optic Characteristics and Dynamic Stability Depending on the Pretilt Angle for the Twisted Nematic(TN) and Fringe-field Switching(FFS) Mode

김미숙^{1,2,a}, 정연학², 김향울^{1,2}, 김서윤², 이승희¹
(M. S. Kim^{1,2,a}, Y. H. Jung², H. Y. Kim^{1,2}, S. Y. Kim², and S. H. Lee¹)

Abstract

We studied on the electro-optic characteristics and dynamic stability according to an undesirably defined pretilt angle induced in high step coverage of pixel area for the Twisted Nematic (TN) / Fringe-Field Switching (FFS) mode. In case of the TN mode, LC directors twist reversely near the edges of thin-film-transistor and black matrix where the pretilt angle of the LC is not well defined. Therefore, the voltage-dependent dynamics of the LC in TN mode is unstable and shows the bad electro-optic characteristics. On the other hand, in case of the FFS mode, the LCs are twisted parallel to the bottom substrate by fringe electric field and the electro-optic characteristic is not influenced by the pretilt angle of the LC which is not well defined.

Key Words : Pretilt angle, Fringe-field switching, Twisted nematic

1. 서론

Notebook PC, 소형 mobile phone등에 널리 사용되는 twisted nematic (TN)[1] 모드의 경우 상하 수직 전기장에 의해 액정이 기판에 수직으로 서기 때문에 초기 pretilt angle이 제대로 정의되어야 한다. 실제로 thin film transistor (TFT) 근처 즉 신호선과 화소 전극 사이, 주사선과 화소 전극 사이나 상판 color filter (C/F) black matrix (BM)의 가장자리 영역과 같이 단차가 큰 영역에서 초기 pretilt angle이 제대로 정의되지 않아서 전압 인가

시 field에 의해 액정 분자들이 reverse twist를 일으키게 되며 이는 액정 switching에 영향을 미쳐 전기 광학 특성을 나쁘게 한다. 그러나 fringe field switching (FFS)[2-5], in-plane switching (IPS) [6] 모드의 경우, TN과 같이 수직 전기장에 의해 액정이 서지 않고 횡전계에 의해 twist deformation을 하기 때문에 전기 광학특성이 pretilt 정의 유무에 따라 크게 영향받지 않는다. 특히 FFS모드의 경우, IPS 모드가 화소 전극 윗부분에서 투과율이 낮은것과는 달리 전극 윗부분에서도 액정들이 분자간의 탄성력에 의해 회전하면서 전체적으로 높은 투과율을 나타내게 된다.

본 논문에서는 TN과 FFS 모드에서 화소 단차에 기인한 pretilt angle이 정의되지 않는 영역의 전기 광학특성 및 액정 동역학 안정성을 3차원 시뮬레이션을 통해 비교 분석하였다.

1. 전북대학교 신소재공학부
(전북 전주시 덕진동 1가 664-14)
2. BOE-HYDIS TECHNOLOGY 개발 8그룹
a. Corresponding Author : misuk7287@boehydis.com
접수일자 : 2004. 8. 24
1차 심사 : 2004. 9. 14
심사완료 : 2004. 10. 5

2. TN and FFS모드의 셀 구조 및 동작원리

그림 1(a)는 TN 모드의 전압 인가전 셀 구조를 보여준다. TN 모드의 하부 기판의 러빙 방향은 -45° 상판의 러빙 방향은 -135° 로 액정이 좌선성으로 90° 비틀리도록 했으며 하부 편광판 -45° , 상부 편광판은 -135° 로 위치시켜 전압 인가 전 normally white 상태가 구현되게 했다. 전압 인가시 유전율이방성이 양인 액정 방향자들이 기판에 수직으로 서면서 dark 상태를 구현하게 된다. 그림 1(b)는 FFS 모드의 전압 인가전 셀 구조를 나타낸다. FFS 모드는 하부 기판에만 전극이 존재하며 하부 기판은 공통전극 (common electrode)과 화소전극 (pixel electrode)이 절연층을 사이에 두고 존재한다. 이 때 공통전극과 화소전극 간 수평 거리가 영이고 화소 전극은 임의의 폭 (w)을 가지며 서로 임의의 간격 (l')으로 떨어져 있다. 전압 인가시 프리즈 전기장이 형성되며 전기장 방향으로 액정이 회전되면서 교차된 편광판에서 광 투과도가 발생한다.

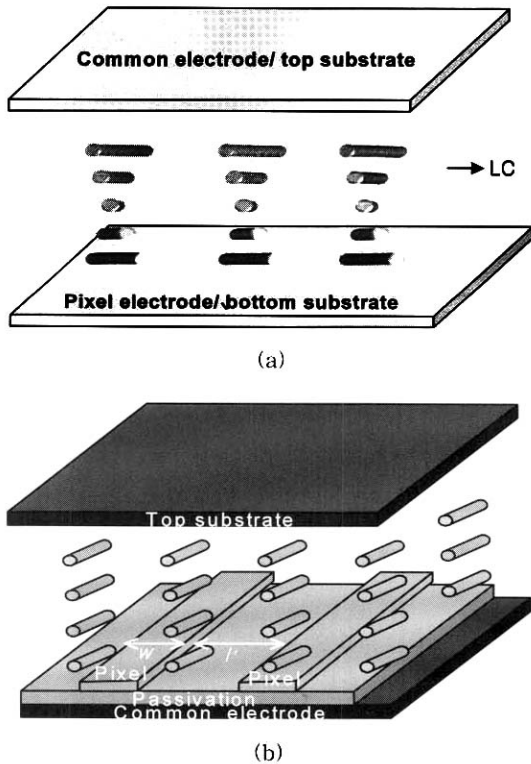


그림 1. 전압 인가전 TN and FFS 셀 구조.
Fig. 1. Cell structure of TN and FFS at the off state.

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 연구에서는 TN과 FFS 모드에서 단차가 커서 pretilt가 정의되지 않는 영역 (TFT 근처 즉 신호선과 화소 전극 사이, 주사선과 화소 전극 사이나, 상판 C/F BM의 가장자리 영역) 을 그림 2의 A와 같이 모델링 한 후 3차원 시뮬레이션에서 전기 광학 특성과 액정 방향자의 동력학적 안정성을 비교 분석했다. 이때 단차의 높이는 $1 \mu\text{m}$ 로 가정하였다. 분석을 위해 사용된 시뮬레이터는 Sanayi system의 Techwiz LCD이며 광학적 투과율 계산은 589 nm 에서 2×2 extended Jones matrix[7]를 적용하였다. 이때의 시뮬레이션 조건은 표 1에 언급되어 있다.

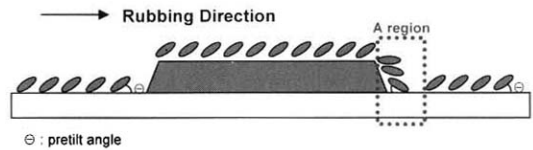


그림 2. A영역 모델링.
Fig. 2. The modeling of the A region.

표 1. 시뮬레이션 조건.

Table 1. Simulation condition.

[TN 경우]

Cell gap (d) (μm)	4.8
Pretilt angle ($^\circ$)	5
pretwist(bottom)	-45°
pretwist(top)	-135°
LC property	
K_{11} (pN)	9.7
K_{22} (pN)	5.2
K_{33} (pN)	13.3
Δn at 589 nm	0.100
$\Delta \epsilon$	8.1
γ (mPa.s)	84

[FFS 경우]

Electrode width, w (μm)	3
Electrode distance, l' (μm)	5
Cell gap (μm)	3.8
Pretilt angle ($^\circ$)	2
Rubbing angle ($^\circ$)	83
LC property	
K_{11} (pN)	9.6
K_{22} (pN)	5.8
K_{33} (pN)	11.6
Δn at 589 nm	0.099
$\Delta \epsilon$	8.2
γ (mPa.s)	84

그림 3은 TN 모드에서 pretilt angle이 정의되지 않는 A영역의 액정 분자의 전압 인가 전/후 움직임을 나타낸다. 그림 3(b)에서 보이는 것처럼 이러한 영역에서는 액정 방향자의 reverse tilt에 의한 reverse twist가 발생하며 이러한 부분에서 전압 인가시 액정 방향자들이 초기에 정의한 러빙 방향으로 서지 못하면서 충돌이 일어나 액정 분자들이 동력학적으로 불안정하게 된다.

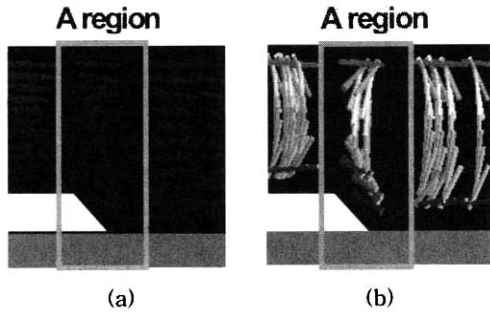


그림 3. TN 모드에서 전압 인가전 후 액정 방향자 분포(A영역).
 Fig. 3. LC director distribution of the TN at (a)Voff and (b)Von(A region).

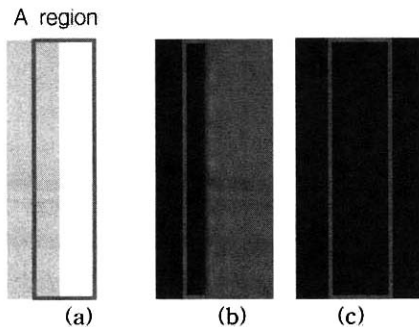


그림 4. A영역에서 투과율 : (a) L_{255} 전압, (b)중간 계조 전압, (c) L_0 전압.
 Fig. 4. Transmittance at the A region : (a) L_{255} V, (b) middle gray V, (c) L_0 V.

그림 4는 단차가 커서 pretilt angle이 정의되지 않는 A 영역의 전압 인가에 따른 투과율 변화를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 전압 인가시 액정

방향자들이 reverse twist 되면서 기판에 수직으로 서기 때문에 reverse twist되지 않은 액정 분자와 충돌이 일어나며 이러한 부분이 투과율 불균일로 나타난다.

그림 5은 그 외의 영역에서 시간에 따른 투과율 변화로 그림에서 보이는 것처럼 시간 경과시 투과율 변화가 균일하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 본문에서 모델링 한 A 영역은 실제 패널에서 단차가 큰 TFT 주변부나 C/F BM edge 영역에서 그림 6과 같은 도메인성 불량으로 나타나게 된다.

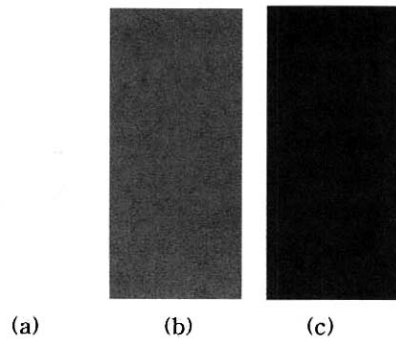


그림 5. A를 제외한 영역에서 투과율 : (a) L_{255} 전압, (b)중간 계조 전압, (c) L_0 전압.
 Fig. 5. Transmittance except the A region : (a) L_{255} V, (b) middle gray V, (c) L_0 V.



그림 6. TN 모드의 박막 트랜지스터 주변에서 도메인 형성.
 Fig. 6. Domain formation around the TFT at TN mode.

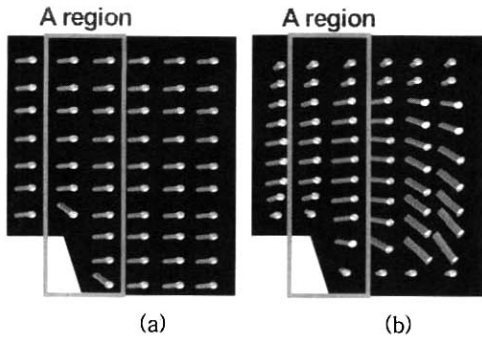


그림 7. FFS 모드에서 전압 인가전 후 액정 방향자 분포 (A 영역).

Fig. 7. LC director distribution of the FFS at (a) Voff and (b) Von (A region).

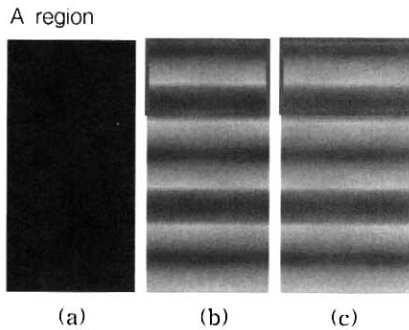


그림 8. A영역에서 투과율 : (a) L_{255} 전압, (b) 중간 계조 전압, (c) L_0 계조 전압.

Fig. 8. Transmittance at the A region : (a) L_{255} , (b) middle gray V, (c) L_0 V.

그림 7은 pretilt angle이 정의되지 않는 A 영역에서 FFS 모드의 전압 인가 전후 액정 방향자의 분포를 나타낸다. 그림에서 보이는 것처럼 FFS 모드의 경우, TN 모드와 같이 수직 전계에 의해 액정이 기판에 수직으로 서는 것이 아니라, 전압 인가시 프린즈 전기장에 의해 pretilt angle이 정의되지 않는 단차가 큰 TFT/ BM edge 부분에서 reverse tilt가 발생해도 횡전계에 의해 액정 방향자가 움직이게 되며 따라서 reverse twist가 발생하지 않으므로 액정 방향자의 움직임이 pretilt 정의 유무와 상관없이 큰 차이를 보이지 않는다. 그림 8과 9는 FFS 모드에서 전압 인가에 따른 투과율을 나타내며 pretilt 정의 유무에 상관없이 전압 인가에 따른 투과율 변화 정도가 유사함을 알 수

있다. 이때 A영역에서의 투과율이 그림 9와 휘도 차이가 나는 것처럼 보이는 이유는 단차에 의한 하부 기판에서의 프린즈 전기장의 세기가 달라져서 액정의 twist 정도가 차이가 나는 것이며 이는 휘도 불균일이나 시야각 특성에 거의 영향을 주지 않는다. 즉, pretilt angle이 제대로 정의되는 않는 단차가 큰 영역의 경우, TN 모드와 FFS 모드가 전압 인가에 따른 액정 switching이 차이가 나며 이는 시야각 특성이나 CR 특성에 영향을 미치게 된다.

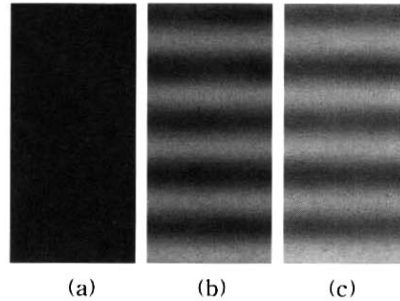


그림 9. A를 제외한 영역에서 투과율 : (a) L_{255} 전압, (b) 중간 계조 전압, (c) L_0 계조 전압.

Fig. 9. Transmittance image except the A region : (a) L_{255} V, (b) middle gray V, (c) L_0 V.

그림 10, 11은 TN 모드에서의 시야각 특성을 나타낸다. 그림 10의 경우는 pretilt angle이 정의되는 않은 A 영역을 나타내며 (a)는 등명암 곡선 (b)와 (c)는 정면 상태에서 최대 투과율 (T_{max})에 대한 30%, 50%, 70%의 투과율 특성을 보이는 등 휘도 곡선을 나타낸다. 이때 그림 10(b)는 전압 인가시 등휘도 곡선, 그림 10(c)는 전압 무인가시 등휘도 곡선을 각각 나타낸다. 그림 10(a)에서 보이는 것처럼 A영역에서 등명암 대비 비 곡선이 그렇지 않은 영역보다 떨어지며 특히 하부 쪽에서의 CR이 10:1이상에서 매우 낮아진다. 이는 그림 10(c)에서 보이는 것처럼 dark 상태에서 단차가 큰 영역에서의 빛샘이 크게 나타나기 때문이다. 반면 그림 11(a)는 A 영역을 제외한 나머지 부분에서 등명암 곡선을 나타내며 이때 CR은 10:1 이상인 영역에서 하부 쪽도 큰 CR값을 가진다. 그림 12와 13은 FFS 모드에서의 시야각 특성을 나타낸다. 이 경우는 TN 모드와 달리 pretilt angle의 정의 유무에 따라 CR 특성 차이 및 전압 인가시 등휘도 곡선과 전압 무인가시 등휘도 곡선의 차이가 거의 없음을 알 수 있다.

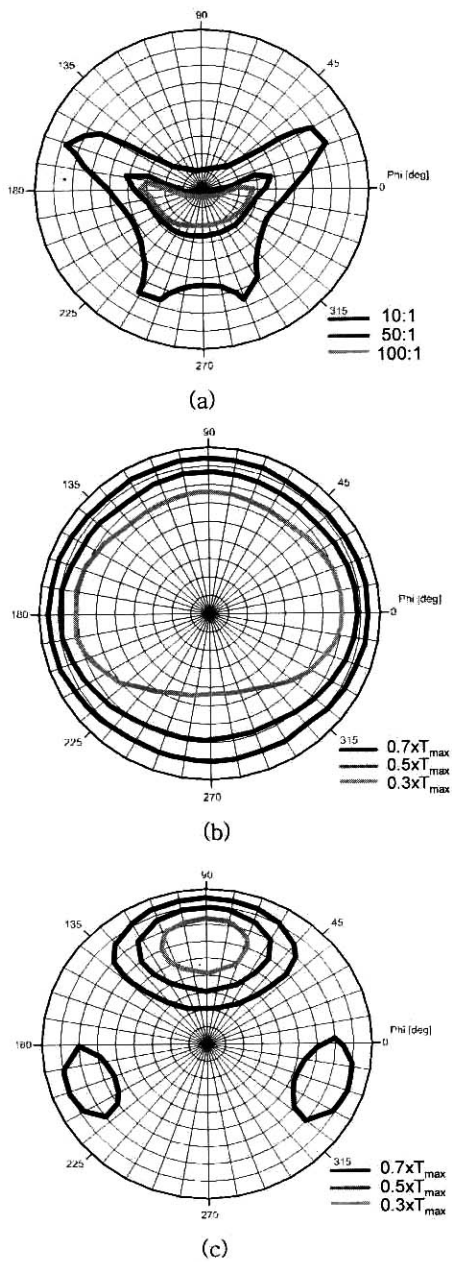


그림 10. TN 모드의 A영역에서 시야각 특성. (a) 등 명암 대비비, (b) 전압 인가시 등휘도, (c) 전압 부인가시 등휘도.

Fig. 10. Viewing angle characteristics of the TN mode at the A region. (a) Iso-contrast ratio contour, (b) Iso luminance contour at V_{on} , and (c) Iso-luminance contour at V_{off} .

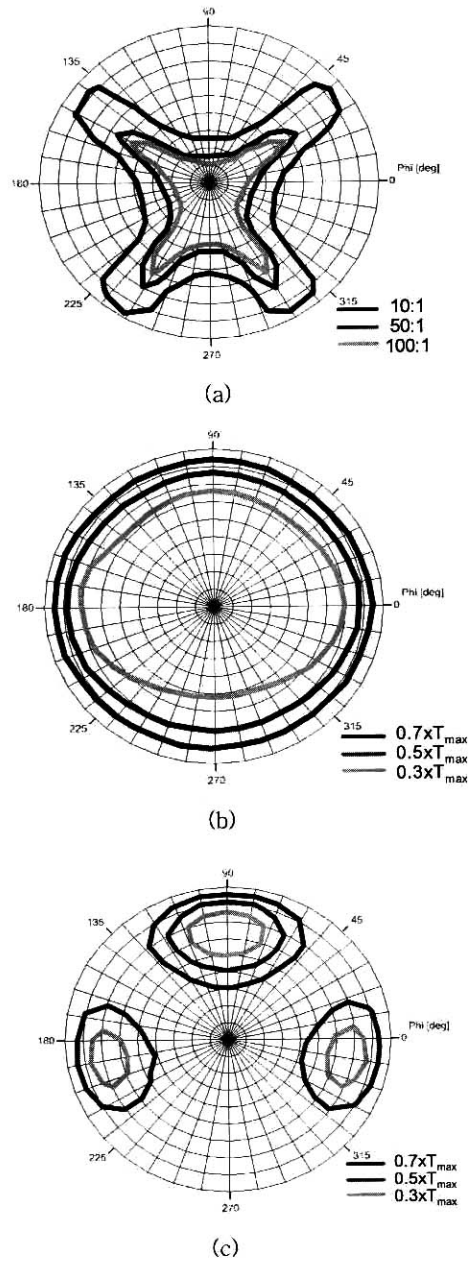
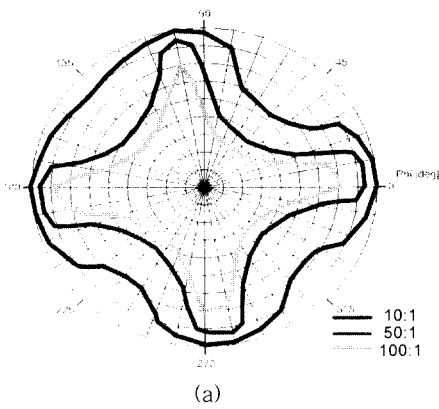
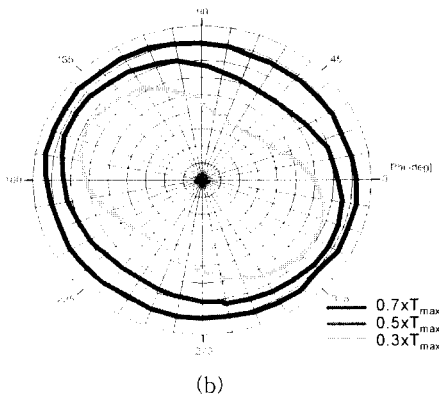


그림 11. TN 모드의 A외 영역에서 시야각 특성. (a) 등 명암 대비비, (b) 전압 인가시 등휘도, (c) 전압 부인가시 등휘도.

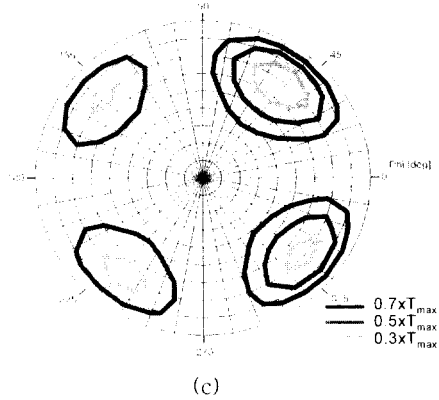
Fig. 11. Viewing angle characteristics of the TN mode except A region. (a) Iso-contrast ratio contour, (b) Iso luminance contour at V_{on} , and (c) Iso-luminance contour at V_{off} .



(a)



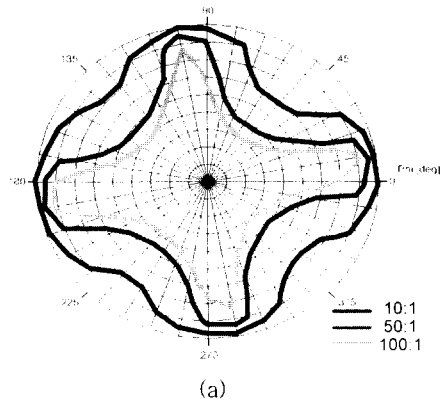
(b)



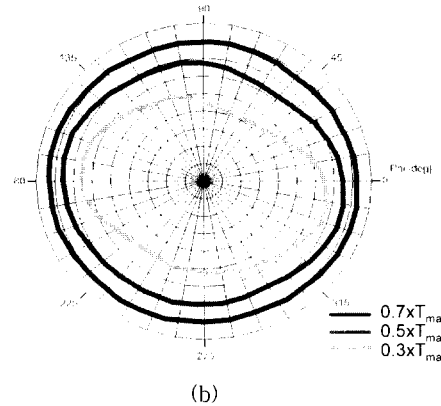
(c)

그림 12. FFS 모드의 A영역에서 시야각 특성. (a) 등 명암 대비비, (b) 전압 인가시 등 휘도, (c) 전압 부인가시 등 휘도.

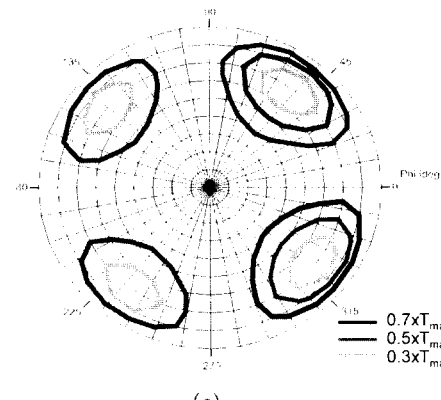
Fig. 12. Viewing angle characteristics of the FFS mode at the A region. (a) Iso-contrast ratio contour, (b) Iso-luminance contour at Von, and (c) Iso luminance contour at Voff.



(a)



(b)



(c)

그림 13. FFS 모드의 A외 영역에서 시야각 특성. (a) 등 명암 대비비, (b) 전압 인가시 등 휘도, (c) 전압 부인가시 등 휘도.

Fig. 13. Viewing angle characteristics of the FFS mode except A region. (a) Iso-contrast ratio contour, (b) Iso luminance contour at Von, and (c) Iso luminance contour at Voff.

4. 결 론

본 논문에서는 TN과 FFS 모드에서 큰 화소 단차에 기인한 pretilt angle이 정의되지 않는 TFT 주변 및 BM edge 근처에서의 액정 방향자의 동력학 안정성 및 전기 광학특성을 3차원 시뮬레이션을 통해 비교 분석하였다. TN 모드의 경우 이러한 부분에서 reverse twist의 발생으로 인하여 전압 인가시 액정 switching이 방해받기 때문에 전기 광학 특성이 나빠지며 이러한 부분이 실제 패널에서 도메인으로 나타날 수 있다. 반면 FFS 모드의 경우, TN 모드와는 달리 프린즈 전기장에 의해 액정 방향자가 twist deformation을 하기 때문에 pretilt 정의가 제대로 되지 않는 이러한 부분에서 reverse twist에 의한 전기 광학 특성 변화가 일어나지 않는다. 따라서 반투과 모드와 같이 단차를 크게 사용해야 하는 경우 pretilt angle에 영향을 적게 받는 FFS 모드의 경우 화소 설계 특성을 확보하는데 유리한 장점을 가지게 된다.

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] 김미숙, 김향울, 고재완, 이승희, "프린즈 전기장에 의해 구동되는 수평 배향 액정셀에서 black matrix의 전기적 특성이 셀의 전기 광학 특성에 미치는 영향에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 16권, 11호, p. 1008, 2003.
- [3] S. H. Hong, I. C. Park, H. Y. Kim, and S. H. Lee, "Electro-optic characteristic of fringe-field switching mode depending on rubbing direction" Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 39, L527, 2000.
- [4] 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.
- [5] 김향울, 고재완, 노정동, 서대식, 이승희, "유전율 이방성이 음인 액정을 이용한 이중 도메인 FFS 모드의 전기광학 특성", 전기전자재료학회논문지, 15권, 8호, p. 720, 2002.
- [6] 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.
- [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.