

Liquid-Crystal-on-Silicon 소자에서 액정의 프리틸트각에 따른 Disclination Line 발생

Generation of Disclination Line Dependent on Liquid Crystal's Pretilt Angle in Liquid-Crystal-on-Silicon Devices

정태봉*, 오세태**, 이승희*

(Tae Bong Jung*, Sae Tae Oh**, and Seung Hee Lee*)

Abstract

We have studied how surface pretilt angle affects generation of disclination line in liquid-crystal-on-silicon cells for 45°-twisted nematic (TN) and vertical alignment (VA) modes with pixel size of 15 μ m. Our studies show that when the pretilt angle is increased from 0° to 3° in the 45°-TN cell, the disclination line at left side of on-pixel becomes weak and is well suppressed with $\theta_p = 3^\circ$ although the pixel size is decreased. In the VA cell, when the pretilt angle is decreased from 89° to 86°, the disclination line at right side of the on-pixel is suppressed well and even for a smaller pixel size, it does not exist when $\theta_p = 86^\circ$. The results inform that the pretilt angle strongly affects the image quality of microdisplays.

Key Words : Liquid-crystal-on-silicon(LCoS), Disclination line, Pretilt angle, TN, VA

1. 서론

반사형 LCoS 소자는 대형 스크린 투사형과 가상 투사형 디스플레이와 같은 투사형 디스플레이 분야에 많이 적용되어지고 있다. 마이크로 디스플레이의 주요 응용 분야는 홈 시어터를 구현하는 것으로써 좋은 동영상을 보이고, 고 명암대비비(CR)를 가져야만 한다. 홈 시어터에 사용되어지는 프로젝터의 비용은 칩 사이즈에 비례하므로, 같은 해상도를 가지는 다른 마이크로 디스플레이와 비교해 보면, LCoS 소자를 이용한 마이크로 디스플레이가 더 작은 칩 사이즈를 가질 수 있다[1-4].

고화질의 대형 투사형 디스플레이를 구현하기

위해서는 높은 해상도가 요구되어지는데 이에 따라 화소 전극 크기가 줄어든다. 따라서 화소 전극과 화소 전극 사이의 간격이 좁아지고, 이에 따라서 발생하는 문제점으로는 개구율이 감소하거나 회절 현상이나 수직 전기장이 아닌 프린즈(fringe) 전기장이 증가되어진다[5]. 이러한 프린즈 전기장에 의해서 화소 전극과 화소 전극 사이에서 disclination line이 형성되어진다. 형성 과정을 살펴보면 한 화소 전극에는 전압을 인가하고 인접한 화소 전극들에는 전압을 인가하지 않았을 때, 이 두 화소 전극 사이에서 발생하는 프린즈 전기장에 의해서 액정 배열은 전압이 인가된 화소 전극과 인가되지 않은 화소 전극 사이에서 전계에 대해 액정 동력학이 불안정하게 형성되어진다. 이러한 영향 때문에 disclination line이 형성되어지고, 이러한 disclination line은 디스플레이의 전기 광학적 특성에 영향을 미칠뿐더러 CR이나 반사율을 저하시킨다.

이러한 disclination line의 형성을 억제하기 위해

* : 전북대학교 신소재 공학부
(전북 전주시 덕진동 1가 664-14)
Fax : 063-270-2341
Corresponding Author : lsh1@moak.chobuk.ac.kr

** : 클라리언트 연구개발부
2002년 12월 22일 접수, 2003년 1월 13일 1차 심사 완료,
2003년 1월 28일 최종 심사 완료

서 제안되어진 방법 중에서 화소 전극의 가장자리의 기울기를 변화시켜서 disclination line의 형성 정도에 대해서 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다[6]. 사용되어진 모드로는 45°-twisted nematic (TN) 셀, 80° mixed-mode TN(MTN) 셀, vertical alignment (VA) 셀, 보상 필름을 사용한 수평배향 셀, 그리고 fringe-field-switching (FFS) 셀[7,8]을 사용하였다. 해상도는 SXGA급으로 화소 전극 크기는 15μm이며, 보고된 논문 내용에 의하면 80°-MTN 셀이나 45°-TN 셀에서는 전극의 기울기가 1일 때 disclination line의 형성이 가장 적었으며, 전극의 기울기가 더 작아지면 disclination line이 크게 형성되었다. VA 셀이나 보상 필름을 사용한 수평배향 셀에서는 전극의 기울기가 작으면 작을수록 disclination line이 크게 형성되어지는 것을 볼 수 있었다.

본 논문에서는 반사형 45°-TN 셀[9,10]과 반사형 VA 셀[11]에서 화소 전극 크기를 15μm으로 하며, 이 때 초기에 형성되어진 액정의 프리틸트각(θ_p)에 따라서 한 화소 전극에는 전압을 인가하고 인접한 다른 화소 전극들에는 전압을 인가하지 않았을 때 이 화소 전극과 화소 전극 사이에서 발생하는 프린트 전기장에 의해서 화소 전극사이에서 disclination line이 발생하는지에 대해서 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다. 뿐만 아니라 해상도를 UXGA로 높여서도 동일한 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다.

2. 셀 구조 및 컴퓨터 시뮬레이션 결과

2.1 Cell structure

그림 1은 컴퓨터 시뮬레이션에서 액정셀의 반사율을 측정하기 위한 액정셀의 단면을 보여주고 있다. 컴퓨터 시뮬레이션에서 사용되어진 모드별로 동일한 조건에서 비교 분석하기 위해서 0.95인치 SXGA (1280 × 1024)와 UXGA (1600 × 1200)의 해상도를 가지도록 하였다. 그래서 화소 전극 크기를 각각 15μm, 12μm, 10μm으로 하였으며, 화소 전극 간 간격과 셀 갭(d)은 각각 1μm과 2μm로 설정하였다.

본 논문에서의 사용되어진 컴퓨터 시뮬레이터는 LCD Master (Japan, Shintech)에 의해서 행해졌으며, 계산 알고리즘은 2 × 2 Jones extended matrix 방법[12]에 의해서 사용되어진 모드별로 전압에 따른 반사율을 계산하였다. 일반적으로 반사형 디스플레이에서 Jones matrix N은 아래식과 같이 표현할 수 있다.

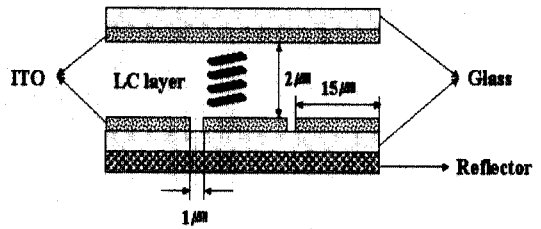


그림 1. 컴퓨터 시뮬레이션의 액정셀 구조.

Fig. 1. LC cell structure used for simulation.

N=

$$N = \begin{pmatrix} \cos \beta & \sin \beta \\ \phi \frac{\sin X}{X} & \cos X + i \frac{\Gamma}{2} \frac{\sin X}{X} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos X - i \frac{\Gamma}{2} \frac{\sin X}{X} & -\phi \frac{\sin X}{X} \\ \phi \frac{\sin X}{X} & \cos X + i \frac{\Gamma}{2} \frac{\sin X}{X} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -\sin \beta \\ \cos \beta \end{pmatrix}$$

다시 위의 행렬을 풀어 보면 아래식과 같이 표현 가능해진다.

N=

$$i \left(\Gamma \frac{\sin X}{X} \right) \left(\sin 2\beta \cos X - \frac{\phi}{X} \cos 2\beta \sin X \right)$$

교차된 편광판 상태 하에서 액정셀의 정규화된 반사율은 N₁₁ = |N₁₁|² 과 같은 Jones matrix를 사용해서 액정셀의 반사율을 구할 수 있으며, 그 때의 반사율은 아래식과 표현되어진다.

|N₁₁|²=

$$\left(\Gamma \frac{\sin X}{X} \right)^2 \left(\sin 2\beta \cos X - \frac{\phi}{X} \cos 2\beta \sin X \right)^2$$

여기에서 β는 상판의 액정 방향자와 상판 편광판 투과축이 이루는 각도이며, φ는 액정셀의 비틀려진 각도를 의미한다. 또한 X = [φ² + (Γ/2)²]/2 이고, Γ = 2πdΔn/λ인데 d는 액정 셀 갭이고, Δn은 액정의 굴절률 이방성을 의미한다.

컴퓨터 시뮬레이션은 45°-TN 셀과 VA 셀에 대해서 하였으며, 각 모드에 대해서 최적 위상지연값(dΔn)은 액정의 셀갭을 일정하게 놓고 액정의 굴절률 이방성을 변화시켜 최적 dΔn을 결정하였다.

최적 $d\Delta n$ 을 구한 후, 전압에 따른 반사율을 구하였고, 이에 대하여 화소 전극에 인가할 전압을 결정하였다. 그 후에 액정의 θ_0 를 변화시켜서 프린트 전기장의 영향에 따른 disclination line의 형성에 대하여 조사하였다. 표 1은 컴퓨터 시뮬레이션에 사용되어진 액정의 탄성계수, 유전율 그리고 굴절률 이방성을 나타내고 있다.

표 1. 각 모드에 대해서 컴퓨터 시뮬레이션에 사용되어진 액정의 물성값.

Table 1. Parameters of liquid crystal that were used in the simulation for each mode.

| | 45°-TN | VA |
|----------------------------------|--------|-------|
| $K_{11}(\text{pN})$ | 12.2 | 17.2 |
| $K_{22}(\text{pN})$ | 3.4 | 8.4 |
| $K_{33}(\text{pN})$ | 14.0 | 17.9 |
| ϵ_{\parallel} | 9.7 | 3.4 |
| ϵ_{\perp} | 5.7 | 7.1 |
| $\Delta n(\lambda=550\text{nm})$ | 0.22 | 0.078 |

2.2 45°-TN cell

그림 2는 교차된 편광판 상태 하에서 액정의 $d\Delta n = 0.44\mu\text{m}$ 이고, $\beta = -12^\circ$ 인 반사형 45°-TN 셀의 전압 인가에 따른 반사율 그래프를 보여주고 있다. 그림에서 보는 것과 같이 반사율이 최소일 때의 전압은 2V이며, 반사율이 최대일 때의 구동 전압은 3V이다. 그러나 광효율은 70%정도 밖에 되지 않는다.

그림 3은 화소 전극 크기가 $15\mu\text{m}$ 이고, 가운데 화소 전극은 3V 인가하고, 인접한 화소 전극들은 2V 인가하였을 때, 액정의 초기 θ_0 에 따라서 화소 전극들에서 disclination line의 형성유무를 보이고 있다. 그림 3(a)은 $\theta_0 = 0^\circ$ 이다. $\theta_0 = 0^\circ$ 에서는 화소 전극의 가장자리에서는 전계가 사선 형태로 형성되어진다. 또한, 전압을 인가한 화소 전극 가운데에서는 전계 방향에 대해서 액정이 일어나는 방향이 양방향이기 때문에 액정 동역학이 불안정한 것을 볼 수 있다. 이러한 이유에서 화소 전극 중앙에 위치한 액정들은 전계 방향에 대해서 완벽하게 수직으로 일어나지 못해서 disclination line이 형성되어지고, 전압을 인가하지 않은 양쪽 화소에서도 빛샘 영역이 발생하는 것을 보여주고 있다. 그림 3(b)은 $\theta_0 = 1^\circ$ 이다. $\theta_0 = 1^\circ$ 에서는 $\theta_0 = 0^\circ$ 일 때 화소 전극 중앙에 발생했던 disclination line이 왼쪽으로 이동한 것을 볼 수 있다. 이는 초기에 액

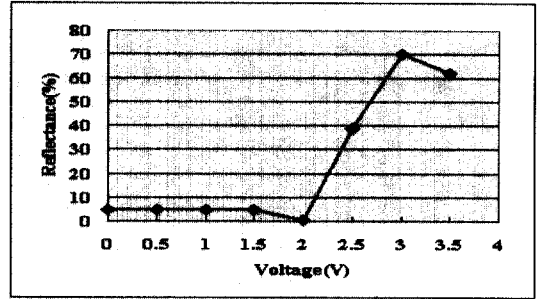


그림 2. 반사형 45°-TN 셀에서의 입사 파장이 550nm에서의 액정의 $d\Delta n = 0.44\mu\text{m}$ 이고, $\beta = -12^\circ$ 일 때 전압에 따른 반사율.

Fig. 2. Voltage-dependent reflectance for 550 nm in a reflective 45°-TN when $d\Delta n$ is $0.44\mu\text{m}$ at 550nm and $\beta = -12^\circ$.

정 방향자가 전계 방향에 대해서 한쪽 방향으로 일어설 수 있도록 θ_0 를 가졌기 때문이다. 가운데 화소 전극의 오른쪽에서는 액정 방향자가 전계에 대해서 액정이 일어나는 방향과 동일하기 때문에 액정 동역학이 안정해서 disclination line이 생기지 않는다. 그런데 왼쪽 화소 전극에서는 액정 방향자와 전계 방향에 대해서 액정이 일어나는 방향이 양쪽으로 존재하기 때문에 액정들 일어나는 방향에 대해서 경쟁이 일어나서 액정 동역학이 불안정해서 disclination line이 형성되어진다. 그림 3(c)은 $\theta_0 = 2^\circ$ 이다. $\theta_0 = 2^\circ$ 에서는 양쪽 화소 전극 사이에서 disclination line이 형성된 것을 볼 수 없으며, 이는 액정의 θ_0 가 전계 인가시 액정이 일어나는 방향을 어느 정도는 제어할 수 있어서 disclination line이 형성되지 않는다. 그림 3(d)은 $\theta_0 = 3^\circ$ 이다. $\theta_0 = 3^\circ$ 에서도 전계 인가시 화소 전극에서 disclination line이 형성되지 않은 것을 볼 수 있었다. 이는 그림 3(c)에서 발생한 원인과 동일하다. 그러므로 화소 전극이 $15\mu\text{m}$ 일 경우에는 프린트 전기장에 대해서 액정 동역학이 안정적이기 위해서는 액정의 초기 θ_0 가 2° 이상이 되어야한다. 그러나 θ_0 를 변화시켜도 전압을 인가하지 않은 화소 전극에서 반사율이 발생하는 것을 볼 수 있다. 이는 전압을 인가하지 않은 화소 전극에서 발생하는 반사율은 θ_0 와는 무관하게 발생하였으며, 이는 화소 전극 사이가 가까워서 화소 전극들 사이에서 프린트 전기장이 형성되어서 액정을 구동하게 되는 것이다.

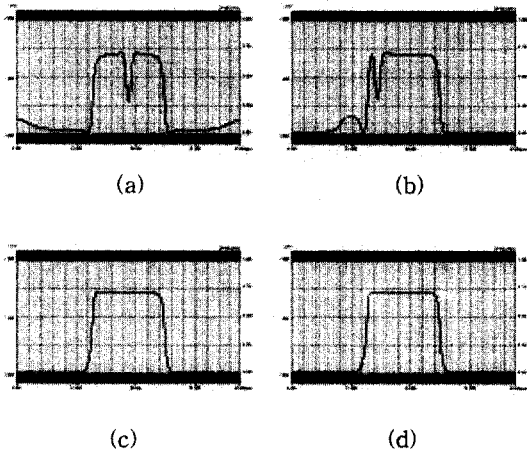


그림 3. 가운데 화소 전극에 전압을 인가하고, 인접한 화소 전극에는 전압을 인가하지 않았을 때, 15μm 화소 전극을 가지는 45°-TN 셀의 θ_p 에 따른 반사율: (a) $\theta_p = 0^\circ$, (b) $\theta_p = 1^\circ$, (c) $\theta_p = 2^\circ$, (d) $\theta_p = 3^\circ$.

Fig. 3. Reflectance of 45°-TN cell as a function of pretilt angle with 15μm pixel when one pixel on and the adjacent pixel off: (a) $\theta_p = 0^\circ$, (b) $\theta_p = 1^\circ$, (c) $\theta_p = 2^\circ$, and (d) $\theta_p = 3^\circ$.

그림 4는 화소 전극의 크기가 12μm이고, 나머지 조건들은 앞에서 했던 것과 동일하다. 그림 4(a)는 $\theta_p = 0^\circ$ 일 때이며, 그림 4(b)는 $\theta_p = 1^\circ$ 일 때이다. 그림에서는 보는 것과 disclination line이 발생하였다. 이는 그림 3의 (a)와 (b)에서의 발생했던 이유와 마찬가지로 프리즈 전기장이 액정의 동역학에 영향을 미치기 때문에 disclination line이 발생한다. 그림 4(c)는 $\theta_p = 2^\circ$ 이다. 그런데 그림 3에서 화소 전극의 크기가 15μm이고, 액정의 $\theta_p = 2^\circ$ 에서는 disclination line이 형성되지 않았다. 그러나 그림 4(c)에서는 보는 것과 같이 화소 전극의 크기가 줄어들 경우에서는 $\theta_p = 2^\circ$ 에서도 disclination line이 형성되어졌다. 이는 화소 전극 크기가 줄어들 때 따라서 프리즈 전기장의 영향이 더욱더 커졌기 때문이다. 그로 인해 전체 인가시 액정의 동역학에 영향을 미치게 된 것이다. 그래서 액정의 초기 $\theta_p = 2^\circ$ 보다는 큰 값을 가져야 할 것이다. 뿐만 아니라 왼쪽의 화소 전극에서 빛샘이 발생하던 것이 전체적으로 낮아지는 것을 볼 수 있다. 그림 4(d)는 $\theta_p = 3^\circ$ 이다. 화소 전극의 크기가 줄어들면

도 $\theta_p = 3^\circ$ 에서는 disclination line이 형성되지 않는 것을 볼 수 있었다. 이는 화소 전극 크기가 12μm일 경우에는 액정 방향자의 초기 θ_p 가 3° 보다는 커야 프리즈 전기장의 영향을 덜 받게 된다. 그래서 화소 전극과 화소 전극 사이에서 액정 동역학이 안정적이기 때문에 disclination line이 형성되지 않아서 디스플레이의 CR을 향상시킬 수 있을 것이다.

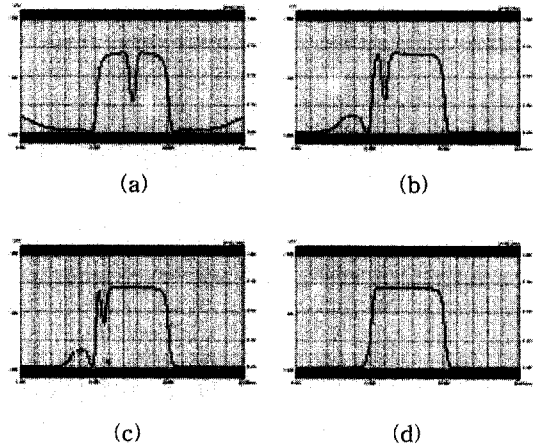


그림 4. 가운데 화소 전극에 전압을 인가하고, 인접한 화소 전극에는 전압을 인가하지 않았을 때, 12μm 화소 전극을 가지는 45°-TN 셀의 θ_p 에 따른 반사율: (a) $\theta_p = 0^\circ$, (b) $\theta_p = 1^\circ$, (c) $\theta_p = 2^\circ$, (d) $\theta_p = 3^\circ$.

Fig. 4. Reflectance of 45°-TN cell as a function of pretilt angle with 12μm pixel when one pixel on and the adjacent pixel off: (a) $\theta_p = 0^\circ$, (b) $\theta_p = 1^\circ$, (c) $\theta_p = 2^\circ$, and (d) $\theta_p = 3^\circ$.

그림 5는 화소 전극 크기가 10μm이고, 나머지 조건들은 앞에서 했던 것과 동일하다. 그림 5(a)는 $\theta_p = 0^\circ$ 이고 그림 5(b)는 $\theta_p = 1^\circ$ 이다. 그림 3(a)과 그림 3(b)에서의 발생했던 이유와 마찬가지로 disclination line이 발생한다. 또한 인접한 화소 전극들에서도 빛샘이 발생한 것을 볼 수 있었다. 그림 5(c)는 $\theta_p = 2^\circ$ 로 그림 4(c)와 마찬가지로 화소 전극 사이에서 disclination line이 형성되는 것을 알 수 있었다. 그림 5(d)는 $\theta_p = 3^\circ$ 이다. 그림 4(d)와 마찬가지로 disclination line이 존재하지 않는 것을 볼 수 있었다. 화소 전극 크기가 줄어들면

액정의 초기 θ_p 가 3° 이상이면 프리즈 전기장에 대해서 액정의 동역학이 안정적이 때문에 disclination line이 형성되지 않는다. 그러므로 액정 방향자의 초기 θ_p 를 제어해서 화소 전극에 발생하는 프리즈 전기장에 대해서 disclination line이 형성되지 않는 높은 CR과 고해상도를 가지는 투사형 마이크로 디스플레이를 구현할 수 있을 것이다.

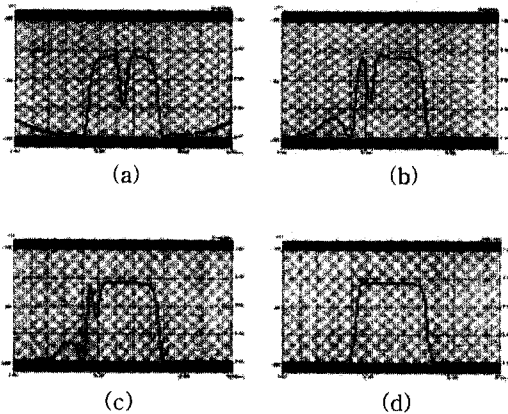


그림 5. 가운데 화소 전극에 전압을 인가하고, 인접한 화소 전극에는 전압을 인가하지 않았을 때, $10\mu\text{m}$ 화소 전극을 가지는 45° -TN 셀의 θ_p 에 따른 반사율: (a) $\theta_p = 0^\circ$, (b) $\theta_p = 1^\circ$, (c) $\theta_p = 2^\circ$, (d) $\theta_p = 3^\circ$.

Fig. 5. Reflectance of 45° -TN cell as a function of pretilt angle with $10\mu\text{m}$ pixel when one pixel on and the adjacent pixel off: (a) $\theta_p = 0^\circ$, (b) $\theta_p = 1^\circ$, (c) $\theta_p = 2^\circ$, and (d) $\theta_p = 3^\circ$.

2.3 VA cell

그림 6은 교차된 편광판 상태 하에서 액정의 $d\Delta n = 0.156\mu\text{m}$ 이고, $\beta = 45^\circ$ 인 VA셀의 전압 인가에 따른 반사율 그래프를 나타낸다. 그림에서 보는 것과 같이 액정셀의 문턱 전압은 대략 2.7V이며, 반사율이 포화되는 지점의 구동 전압은 대략 6V이다. 액정의 $d\Delta n = 0.44\mu\text{m}$ 이고, $\beta = -12^\circ$ 인 반사형 45° -TN 셀과는 달리 높은 전압을 걸어주면 92% 정도의 높은 광효율을 보여준다.

그림 7은 화소 전극 크기가 $15\mu\text{m}$ 이고, 가운데 화소 전극은 6V 인가하고, 인접한 화소 전극은 문턱

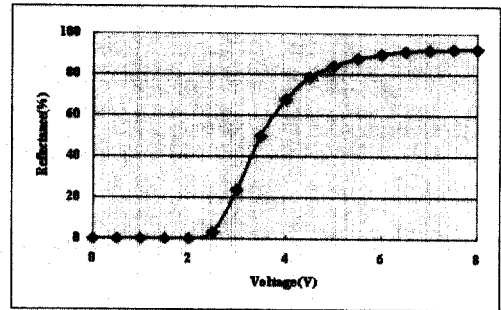


그림 6. 반사형 VA 셀에서의 입사 파장이 550nm 에서의 액정의 $d\Delta n = 0.156\mu\text{m}$ 이고 and $\beta = 45^\circ$ 일 때 전압에 따른 반사율.

Fig. 6. Voltage-dependent reflectance for 550nm in a reflective VA cell when $d\Delta n$ is $0.156\mu\text{m}$ at 550nm and β is 45° .

전압보다 낮은 1.8V 인가하였을 때, θ_p 에 따라서 disclination line이 형성 유무를 보이고 있다. 그림 7(a)은 $\theta_p = 89^\circ$ 이다. 가운데 화소의 전계 방향은 화소 중앙에서는 상하 방향이지만 화소 전극 양 끝단에서는 사선 방향으로 형성되어진다. 가운데 화소 전극의 왼쪽 부분에서는 전계에 대해서 액정의 동역학이 안정하지만 오른쪽 부분에서는 액정의 동역학이 불안정하다. 이런 부분에서는 전계에 대해서 액정의 높은 방향이 서로 반대로 높기 때문에 액정과 액정 사이에서 경쟁이 일어나서 액정 동역학이 불안정하고, 그 사이에 위치한 액정들은 움직이지 못한다. 그로 인해서 전계를 인가하면 초기 어둠 상태를 그대로 유지하기 때문에 disclination line이 형성된다. 그림 7(b)은 $\theta_p = 88^\circ$ 이다. 그림에서는 보는 것과 같이 초기 액정 방향자의 $\theta_p = 89^\circ$ 일 때보다는 disclination line의 형성 정도가 작아진 것을 볼 수 있다. 그림 7(c)은 $\theta_p = 87^\circ$ 로 그림 7(b)과 마찬가지로 θ_p 가 감소함에 따라서 disclination line의 형성되는 정도가 낮아진 것을 알 수 있다. 이는 초기 액정의 방향자 θ_p 가 작아지면 프리즈 전기장에 대해서 액정의 방향자가 한쪽 방향으로 높기 때문에 액정의 동역학이 안정적으로 된다는 것을 단적으로 보여준다. 그림 7(d)은 $\theta_p = 86^\circ$ 이다. θ_p 가 86° 이면 전계에 대해서 액정의 동역학이 매우 안정적이라는 것을 알 수 있다. 그래서 화소 전극과 화소 전극 사이에서

프린트 전기장이 크게 작용하더라도 disclination line이 형성되지 않는 것을 알 수 있었다. 화소 전극의 크기가 $15\mu\text{m}$ 일 경우에는 프린트 전기장에 대해서 액정 동역학이 안정적이기 위해서는 액정의 초기 θ_p 가 86° 이하가 되어야한다.

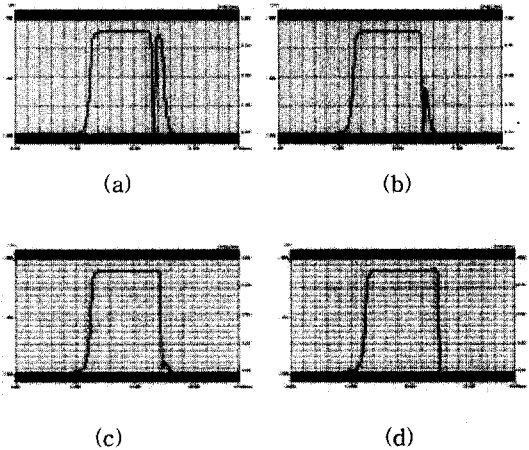


그림 7. 화소 전극에 전압을 인가하고, 인접한 화소 전극에는 전압을 인가하지 않았을 때, $15\mu\text{m}$ 화소 전극을 가지는 VA 셀의 θ_p 에 따른 반사율: (a) $\theta_p = 89^\circ$, (b) $\theta_p = 88^\circ$, (c) $\theta_p = 87^\circ$, (d) $\theta_p = 86^\circ$.

Fig. 7. Reflectance of VA cell as a function of pretilt angle with $15\mu\text{m}$ pixel when one pixel on and the adjacent pixel off: (a) $\theta_p = 89^\circ$, (b) $\theta_p = 88^\circ$, (c) $\theta_p = 87^\circ$, and (d) $\theta_p = 86^\circ$.

그림 8은 화소 전극 크기가 $12\mu\text{m}$ 이고, 나머지 조건들은 앞에서 행했던 것과 동일하다. 그림 8(a)은 $\theta_p = 89^\circ$ 이고, 그림 8(b)은 $\theta_p = 88^\circ$ 이다. 그림 7(a)과 그림 7(b)에서의 발생했던 이유와 마찬가지로 disclination line의 형성이 점점 더 약해지는 것을 볼 수 있다. 그림 8(c)은 $\theta_p = 87^\circ$ 이고, 그림 8(d)은 $\theta_p = 86^\circ$ 이다. 그림 7(c)과 그림 7(d)에서의 발생했던 이유와 마찬가지로 disclination line이 거의 발생하지 않거나 발생하지 않는다. VA에서는 45° -TN 셀과는 달리 액정의 초기 θ_p 에 따라서 화소 전극이 줄어들에 따라서도 $\theta_p = 86^\circ$ 이하에서는 프린트 전기장에 대한 disclination line의 형성되는 정도가 거의 없다는 것을 볼 수 있다.

그림 9는 화소 전극 크기가 $10\mu\text{m}$ 이고, 나머지 조

건들은 앞에서 행했던 것과 동일하다. 그림 9(a)는 $\theta_p = 89^\circ$ 이고, 그림 9(b)는 $\theta_p = 88^\circ$ 이다. 그림 7(a)과 그림 7(b)에서의 발생했던 이유와 마찬가지로 disclination line의 형성 정도가 적어진다. 그림 9(c)는 $\theta_p = 87^\circ$ 이고, 그림 9(d)는 $\theta_p = 86^\circ$ 이다. 그림 7(c)과 그림 7(d)에서의 발생했던 이유와 마찬가지로 disclination line이 약간 발생하거나 발생하지 않는다. VA 셀 경우에는 45° -TN 셀과는 달리는 초기 액정의 θ_p 가 86° 이하에서는 화소 전극의 크기가 줄어들어도 disclination line이 형성되지 않는 것을 볼 수 있었다. 그러기 때문에 고화질의 디스플레이를 구현하기 위해서는 액정의 초기 θ_p 가 86° 이하 이어야만 한다.

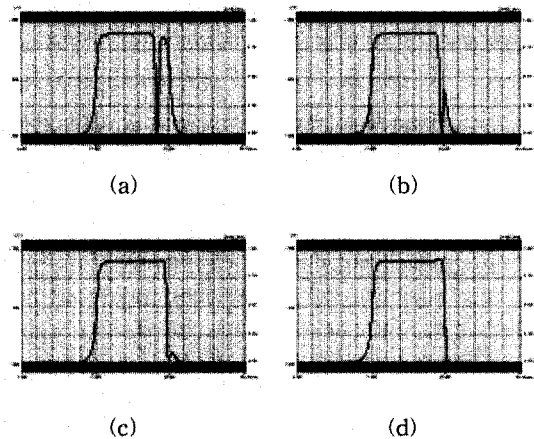


그림 8. 화소 전극에 전압을 인가하고, 인접한 화소 전극에는 전압을 인가하지 않았을 때, $12\mu\text{m}$ 화소 전극을 가지는 VA 셀의 θ_p 에 따른 반사율: (a) $\theta_p = 89^\circ$, (b) $\theta_p = 88^\circ$, (c) $\theta_p = 87^\circ$, (d) $\theta_p = 86^\circ$.

Fig. 8. Reflectance of VA cell as a function of pretilt angle with $12\mu\text{m}$ pixel when one pixel on and the adjacent pixel off: (a) $\theta_p = 89^\circ$, (b) $\theta_p = 88^\circ$, (c) $\theta_p = 87^\circ$, and (d) $\theta_p = 86^\circ$.

3. 결론

반사형 LCoS는 대형 스크린 투사형과 가상 투사형 디스플레이와 같은 많은 디스플레이 응용 분야에 매우 적합하다. 그러나 고화질의 대형 투사형 디스플레이를 구현하기 위해서는 높은 해상도가

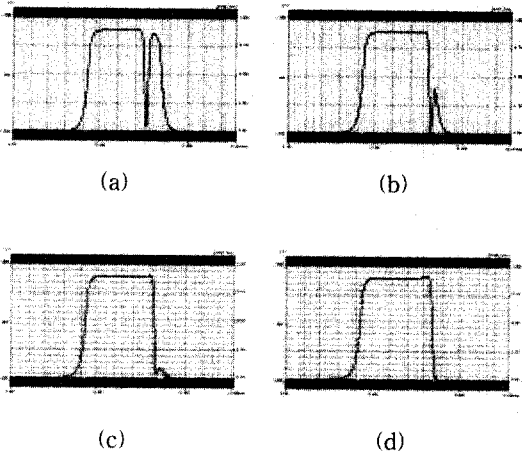


그림 9. 화소 전극에 전압을 인가하고, 인접한 화소 전극에는 전압을 인가하지 않았을 때, 10 μ m 화소 전극을 가지는 VA 셀의 θ_p 에 따른 반사율: (a) $\theta_p = 89^\circ$, (b) $\theta_p = 88^\circ$, (c) $\theta_p = 87^\circ$, (d) $\theta_p = 86^\circ$.

Fig. 9. Reflectance of VA cell as a function of pretilt angle with 10 μ m pixel when one pixel on and the adjacent pixel off: (a) $\theta_p = 89^\circ$, (b) $\theta_p = 88^\circ$, (c) $\theta_p = 87^\circ$, and (d) $\theta_p = 86^\circ$.

요구되어지는데 이에 따라 화소 크기가 줄어들고 화소 전극과 화소 전극 사이의 간격이 좁아진다. 이에 따라 발생하는 문제점은 화소 전극과 화소 전극 사이에 프린트 전기장이 강하게 존재해서 disclination line이 형성되어져서 디스플레이의 CR을 저하시킨다. 그러나 액정 초기 θ_p 에 의해서 disclination line의 형성 가능성 여부를 결정지을 수 있다. 45°-TN 셀 경우에는 화소 전극이 15 μ m일 시 액정의 초기 θ_p 가 2° 이상일 경우에는 화소 전극과 화소 전극 사이에 disclination line이 형성되지 않았다. 그리고 화소 전극의 크기를 12 μ m, 10 μ m으로 줄여도 액정의 초기 θ_p 가 3° 이상일 경우에는 화소 전극과 화소 전극 사이에 disclination line이 형성되지 않았다. 하지만 위의 결과들은 화소 전극들의 전위차가 1V인데, 실제 90°-TN 셀 경우에 전위차는 그 이상이 된다. 전위차가 클 경우에는 disclination line의 발생 정도는 커지고, 이것을 억제하는 방안들은 좀 더 연구되어야 한다. VA 셀 경우에는 액정의 초기 $\theta_p = 89^\circ$ 에서는 disclination line이 크게 형성되다가 θ_p 가 감소함에

따라서 그 정도가 작아지며, $\theta_p = 86^\circ$ 이하에서는 disclination line이 형성되지 않는다. 그래서 전압을 인가한 화소에서 반사율이 높아지는 것을 알 수 있었고, 또한 CR을 높일 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2002-000-00736-0)지원으로 시행되었습니다.

참고 문헌

- [1] F. Sato, Y. Yagi, and K. Hanihara, "High resolution and bright LCD projector with reflective LCD panels", SID'97 Digest, p. 997, 1997.
- [2] K. Allen, "Microdisplay market", MICRODISPLAY2001, p. 1, 2001.
- [3] 한정인, 홍성제, "Liquid crystal on silicon", 전기전자재료학회지, 15권, 2호, p. 28, 2002.
- [4] Z. Tajima, I. Takemoto, K. Shinbata, and H. Nakagawa, "LCOS Technology for Home Projector", IDW'02, p. 457, 2002.
- [5] Y. Ji, J. Gandhi, and M. E. Stefanov, "Fringe-field effects in reflective CMOS LCD design optimization", SID'99 Digest, p. 750, 1999.
- [6] K. H. Fan Chiang, S. T. Wu, and S. H. Chen, "Fringing field effect of the liquid-crystal-on-silicon devices", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 41, p. 4577, 2002.
- [7] Y. H. Jeong, H. Y. Kim, and S. H. Lee, "프린트 필드에 의해 구동되는 하이브리드형 네마틱 액정 디스플레이의 전기광학 특성", 전기전자재료학회논문지, 15권, 6호, p. 524, 2002.
- [8] H. Y. Kim, J. W. Koh, J. D. Noh, D. S. Seo, and S. H. Lee "유전율 이방성이 음인 액정을 이용한 이중도메인 FFS 모드의 전기광학 특성", 전기전자재료학회논문지, 15권, 8호, p. 720, 2002.
- [9] S. T. Wu, C. S. Wu, and C. L. Kuo, "Reflective direct-view and projection displays using twisted-nematic liquid crystal cells", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 36,

p. 2721, 1997.

- [10] J. Chen, F. H. Yu, S. T. Tang, H C. Huang, and H. S. Kwok, "New optimized reflective LCD modes for direct-view and projection displays", SID'97 Digest, p. 639, 1997.
- [11] K. Ohmuro, S. Kataoka, T. Sasaki, and Y. Koike, "Development of super-high-image-quality vertical-alignment-mode LCD", SID'97 Digest, p. 845, 1997.
- [12] A. Lien, "Extended Jones matrix representation for twisted nematic liquid-crystal display at oblique incidence ", Appl. Phys. Lett., Vol. 57, p. 2767, 1990.