

마이크로디스플레이의 액정 러빙 방향과 전압 인가 방식에 따른 Disclination Line의 생성

Generation of Disclination Line Dependent on Liquid Crystal's Rubbing Direction and Voltage Driving Method in Microdisplays

정태봉¹, 송제훈¹, 오세태¹, 이승희^{1,a}

(Tae Bong Jung¹, Je Hoon Song¹, Sae Tae Oh¹, and Seung Hee Lee^{1,a})

Abstract

We have studied how liquid crystal's rubbing direction and voltage driving method affect generation of disclination line. At first, generation of disclination line in vertical alignment(VA) cell and VA-twisted nematic(TN) cell has been examined. When liquid crystal's rubbing direction of bottom substrate was 0° , the degree of generated disclination line was the smallest value. Further, the generation of disclination line above the electrode is less in the frame inversion than in the line inversion. Secondly, we have examined a generation of disclination line in reflective fringe-field switching cell. When the distance between common electrodes is over $3 \mu\text{m}$ with on-state of one pixel and off-state of neighboring pixels, the reflectance appears only on-state pixel without generating reflectance in adjacent pixels.

Key Words : Disclination line, VA, VA-TN, Fringe-field switching, Frame inversion, Line inversion

1. 서론

액정을 이용한 마이크로 디스플레이는 광원을 어떻게 사용하느냐에 따라 크게 투과형 high temperature poly-silicon(HTPS), 반사형 liquid crystal on silicon(LCoS) 그리고 micro electro-mechanical system(MEMS) 3가지로 분류 될 수 있다[1]. 마이크로 디스플레이에서 대형 화면을 만들기 위해서는 고 해상도가 요구되어지고, 이에 따라 전극과 전극 사이가 짧아져야 한다. 하지만 전극간 간격이 짧아지면 고 해상도를 얻을 수 있지

만, 개구율이 감소하고 회절 현상이 일어난다. 또한, 수직 전기장이 아닌 수직 및 수평 성분을 가지는 프린즈(fringe) 전기장 세기의 증가와 같은 문제점이 야기된다[2]. 종래 보고된 내용에 의하면 하나의 화소 전극에 전압을 인가하고 주변 화소 전극에는 전압을 인가하지 않았을 때, 인가된 화소 전극에서 reverse tilt domain이 형성된다. 이는 화소 전극 중앙에서는 전기장 방향이 수직 방향이지만, 전극 모서리에서는 사선 방향이다. 따라서 전극 중앙과 모서리에서 액정 방향자가 전기장에 반응하는 것이 상이하기 때문에 액정 방향자가 불연속으로 존재하며, 이를 disclination line이라 일컫는다[3]. 또한, 액정 디스플레이에서 프린즈 전기장은 화소 전극과 화소 전극 사이에서 disclination line을 형성시키는 원인이 된다. 이러한 화질을 저하시키는 영역을 감추기 위해 black matrix(BM) 영역을 좀더 넓게 형성해야 하며, 이로 인해 디스플레이의 개구율 감소를 초래한다.

1. 전북대학교 신소재공학부

(전북 전주시 덕진동 1가 664-14)

a. Corresponding Author : lsh1@chonbuk.ac.kr

접수일자 : 2004. 1. 26

1차 심사 : 2004. 2. 27

2차 심사 : 2004. 3. 10

심사완료 : 2004. 3. 18

이러한 disclination line 형성을 억제하기 위해 종래에 화소 전극의 모서리 기울기를 변화시키거나, 액정의 초기 프리틸트각을 변화 등 몇 가지 방안들이 제안되어졌다[4-7].

본 논문에서는 초기 액정 방향자가 수직 배열을 하고 있는 반사 및 투과형 vertical alignment (VA) 셀에서 러빙이 서로 반대 방향인 것과 러빙 방향이 90°인 VA-twisted nematic(TN) 셀에 대해서 하판의 러빙 방향과 전압 인가 방식에 따라서 disclination line의 형성 정도에 대해서 연구하였다. 또한, 광시야각과 고 투과율을 보이는 fringe-field switching(FFS) 모드[8,9]에 대해서도 전극간 간격과 전압 인가 방식에 따라 disclination line의 형성 정도를 조사하였다.

2. 본 론

2.1 셀구조

그림 1은 시뮬레이션을 통해 액정셀의 투과율 및 반사율을 측정하기 위한 VA 셀구조의 단면이다. 전극 폭과 전극간 간격 그리고 전극 높이는 각각 16 μm, 2.2 μm, 0.12 μm이다. 사용된 액정의 탄성 계수 K₁₁, K₂₂, K₃₃은 각각 17.2 pN, 8.4 pN, 17.9 pN이고, 유전을 이방성 -4인 음의 액정을 사용하였다. 액정의 프리틸트각은 상부 및 하부 각각 89°이고, 굴절률 이방성(Δn)은 각 셀의 최적 조건으로 설정하였다. 또한 본 논문에서 정의된 러빙각(rubbing angle) 또는 액정의 꼬임각(twist angle)은 기준선 AB를 기준으로 반시계 방향의 각으로 정의하였다. 본 논문에 사용되어진 시뮬레이터는 LCD Master (Shintech, Japan)이며, 계산 알고리즘은 2X2 Jones extended matrix 방법을 사용하였다[10].

일반적으로 교차된 편광판 사이에 액정과 같은 불굴절 물질이 존재하는 셀에서 정규화된 광 투과 공식은 다음과 같다.

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

여기서 ψ는 교차된 편광판 투과축 중 한 축과 액정 방향자 사이의 각도이고, Δn은 액정의 굴절률 이방성, d는 액정의 셀점, λ는 입사 파장이고, θ, φ는 구 좌표계에서 극각과 방위각을 나타낸다.

그림 2는 교차된 편광판에 대해 액정 방향자의

여러 배열 형태를 보여준다. VA 셀의 경우, 교차된 편광판 사이에 액정이 초기 수직 배열되어 있다(그림 2(a) 참조). 정면에서 편광판을 통과한 빛이 액정의 단축만 지나기 때문에 액정셀의 유효 굴절률 Δn이 0이므로, 위 투과율 공식에 의해서 투과율이 발생하지 않는다. 전압을 인가하면 유전을 이방성이 음인 액정이 기판에 평행하게 눕게 되는데, 눕는 방향이 그림 2(b)와 같이 교차된 편광판 축 중의 하나와 평행하면 투과율 공식에서 ψ가 0°이므로 투과율은 발생하지 않는다. 하지만 그림 2(c)와 같이 액정 방향자가 편광판 투과축에 대해 45°로 틀어지면 투과율 공식에서 ψ가 45°이기 때문에 sin²(2ψ)가 최대값을 가지며, 투과율은 유효 dΔn이 λ/2일 때 최대값을 갖는다. 반면에 FFS 셀의 경우 초기에 수평 배열된 액정 방향자가 편광판 축과 일치해 있어 어둠 상태를 보여주고, 전압 인가시 ψ가 임의의 값을 갖고 동시에 유효 dΔn이 발생하여 투과율을 갖는다. 최대 투과율을 가질 조건은 VA셀과 동일 조건이다.

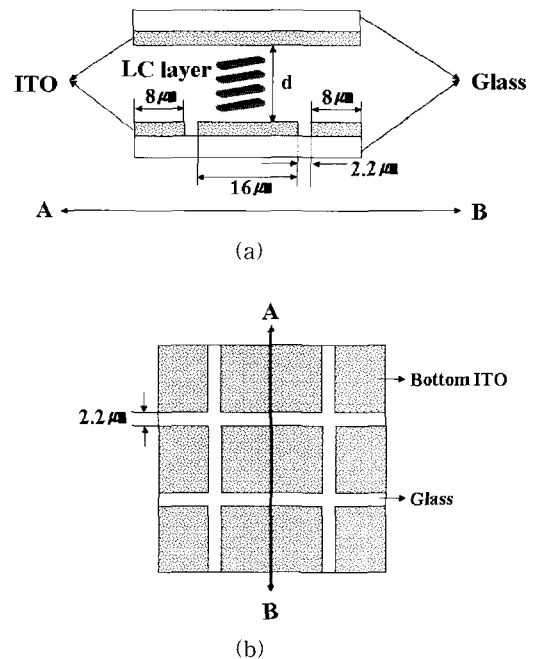


그림 1. 시뮬레이션에 사용되어진 액정셀 구조: (a) 단면도, (b) 상면도.

Fig. 1. LC cell structure used for simulation: (a) cross-section, and (b) top view.

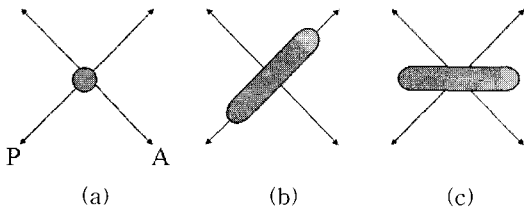


그림 2. 교차된 편광판 투과축에 대해 액정 방향자의 형태: (a) 수직, (b) 0°, (c) 45°.

Fig. 2. Configurations of LC director under crossed polarizers: (a) vertical alignment, and homogenous alignment with 0° (b) and 45° (c) between the polarizer and the LC.

2.2 반사형 VA 셀

초기 교차된 편광판 투과축에 대해 수직 배향된 액정셀에 그림 3과 같이 하판의 가운데 화소 전극에는 6 V, 인접한 전극들에 0 V 전압을 인가할 때, 하판 러빙 방향에 따른 전극 위치별 반사율을 보여주고 있다. 셀구조는 교차된 편광판 상태에서 d 는 2 μm , 액정의 $d\Delta n$ 은 0.156 μm 이며, 전극 폭과 전극간 간격은 각각 16 μm , 2.2 μm 이다. 이 때, 교차된 임의의 편광판 투과축은 러빙 방향에 대해서 45°이며, 하판의 러빙 방향은 그림 1(a)인 AB에 대해 반시계 방향의 각을 의미한다. 그리고, 상판 러빙 방향은 하판 러빙 방향에 대해 180°이다. 먼저 러빙 방향이 반사율에 어떤 영향을 미치는지 알아 보았다. 그림 3(a)은 하판 러빙 방향이 0°인 경우이다. 화소 전극 오른쪽에서 disclination line이 형성된다. 생성 원인은 다음과 같다. 유전율 이방성이 음인 액정을 사용하였기 때문에 전압 인가시 액정 방향자는 전기장 방향에 대해서 수직하게 배열한다. 하판 전극들 사이에서 6 V의 전위차(ΔV)가 존재하므로 수평 전기장이 존재한다. 그렇지만, 수평 전기장 방향은 러빙 방향과 평행하기 때문에 액정의 꼬임각은 발생하지 않고 눕는 각 (tilt angle)만 변화한다. 투과율 공식에서 Ψ 가 45°이므로, 반사율은 상부 및 하부 전극에 의해 형성되는 수직 전기장이 액정의 눕는 각을 얼마나 변화시키느냐 즉 유효 $d\Delta n$ 값에 의존한다. 반사율 최대 영역에서 액정의 최대 눕는 각은 셀의 중앙인 $d/2$ 인 영역이며, 방향자 분포 조사 결과 최대 89°에서 5°로 변형된다[11]. 전압 인가된 전극의 전계 방향은 전극 중앙은 수직 방향이지만, 모서리에서는 사선 방향이다. 이로 인해 화소 전극 왼쪽에서는 전계에

대해서 액정 방향자가 오른쪽으로 눕고 전극 위 부분에서도 액정 방향자가 오른쪽으로 눕지만, 화소 전극 오른쪽에서는 유효 전기장 방향이 액정의 프리틸트각 89°보다 커서 액정 방향자가 왼쪽으로 눕게 된다. 이와 같이 화소 전극 오른쪽 끝 부분에서 발생된 전계에 대해서 액정 방향자가 눕는 방향이 양방향이기 때문에 reverse tilt domain이 형성된다. 이러한 영역은 왼쪽과 오른쪽으로 눕는 액정 방향자 사이에서 경쟁이 일어나 액정 동역학이 불안정하고, 그 사이에 위치한 액정 방향자들은 움직이지 못한다. 결과적으로 전압 인가시 초기 어둡 상태를 그대로 유지하여 disclination line이 형성된다. 그림 3(b)은 하판 러빙 방향이 45°인 경우이다. 화소 전극 오른쪽에서 disclination line이 형성되며, 그림 3(a)과 달리 액정 방향자는 수직 및 수평 전기장에 의해서 변형된다. 화소 전극 왼쪽에서는 액정 방향자가 45° 시계 방향으로 꼬이면서 눕는 반면에, 전극 위 부분에서는 꼬임이 없이 눕게 된다. 반면에 화소 전극 오른쪽 부분에서는 초기 러빙 방향에 대해 반시계 방향으로 90° 회전하며 눕는다. 따라서 전극 위치별 액정 방향자의 분포를 보면 화소의 왼쪽 부분에서는 0°, 중앙 부분에서는 45°, 오른쪽 부분에서는 180°이다. 결과적으로 화소의 왼쪽 부분에서 전극 안쪽까지는 수평축을 따라 0°에서 45°로 액정 방향자가 꼬이면서 눕기 때문에 그림 3(a)과 같이 왼쪽 경계 면에서 반사율이 최대 값을 갖지 못한다. 또한 화소의 오른쪽 부분에서는 꼬임 방향이 서로 크게 달라 두 영역의 중간에서는 액정의 꼬임각이 90°로 회전하여 눕기 때문에 교차된 임의의 편광판 투과축과 일치, 즉 Ψ 가 0°가 되어 반사율이 발생하지 못하는 것을 알 수 있다. 그림 3(c)은 하판 러빙 방향이 90°인 경우이다. 화소 전극 중앙 부분에 있는 액정이 90° 방향에서 꼬임 없이 눕는 반면에 화소 전극 왼쪽에서는 0°, 오른쪽에서는 180° 방향으로 꼬이면서 눕기 때문에 중앙과 양 끝단 사이에 있는 액정들은 각각 45° 및 135° 방향으로 눕게 된다. 이 때 교차된 편광판 축이 45° 및 135° 방향과 일치하기 때문에 Ψ 가 0°가 되어 반사율이 발생하지 않는다. 그 결과 그림 3(c)에서 보는 것처럼 양 끝단에 대칭적으로 disclination line이 형성되는 것을 알 수 있다. 그림 3(d)은 하판 러빙 방향이 135°인 경우이다. 화소 전극 왼쪽에서 disclination line이 형성되었으며, 형성 원인은 그림 3(b)과 같다. 위의 결과를 정리해보면, 한 화소가 밝은 상태에 있을 시 주변 화소 및 disclination line 발생 정도에 미치는 영향은 러빙 방향이 0° 경우가 가장 적다고 볼 수 있다.

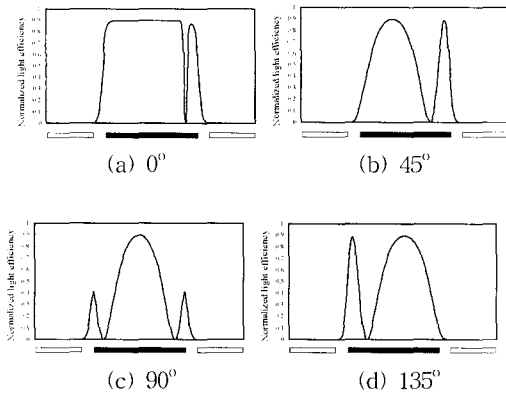


그림 3. 하판 러빙 방향에 따른 VA 셀의 반사율.
 Fig. 3. Reflectance of VA cell as a function of rubbing direction of bottom substrate.

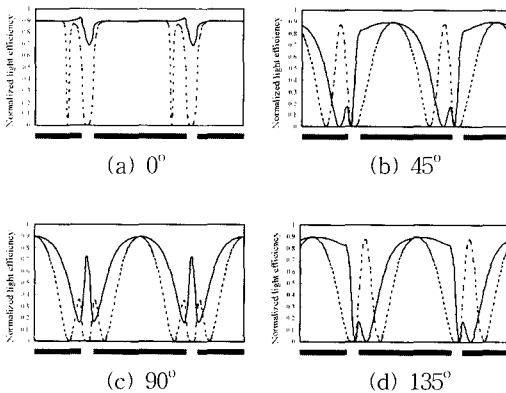


그림 4. 하판 러빙 방향에 따른 VA 셀의 반사율.
 Fig. 4. Reflectance of VA cell as a function of rubbing direction of bottom substrate.

다음으로, 전압 인가 방법에 따라 반사율에 어떤 영향을 미치는지 알아보았다. 그림 4는 하판의 모든 전극에 6 V 전압을 인가할 때 반사율을 보여 주고 있다. 전압 인가 방식은 다음과 같이 적용하였다. 첫 번째 경우는 frame inversion으로 화소 전극에 같은 극성의 전압 6 V를 인가하였다. 두 번째 경우는 line inversion으로 짝수 번째와 홀수 번째의 전극에 6 V와 -6 V의 전압을 인가하였다. 그림 4에서 실선은 frame inversion 적용시, 점선은 line inversion 적용시 반사율을 나타낸다. 그림 4(a)는 하판 러빙 방향이 0°인 경우로 frame

inversion시 disclination line의 형성은 없고 투과율이 우수하지만, 화소 전극 사이에서 투과율이 약간 저하된다. 이는 액정 방향자가 수직 전기장 방향에 대해 완벽하게 눕지 못해 투과율 공식 $\sin^2(\pi d \Delta n / \lambda)$ 에서 액정의 유효 $d \Delta n$ 이 $\lambda/2$ 보다 작은 값을 가져 최대 반사율을 보이지 못한다. Line inversion시 disclination line 형성 영역은 전극 오른쪽과 전극 사이이다. 전극 오른쪽에서 disclination line 형성 원인은 그림 3(a)과 같다. 전극 사이의 왼쪽과 오른쪽 영역에서는 유효 전기장 방향이 액정의 프리틸트각 89°보다 작아 전극 사이의 왼쪽에서는 액정 방향자가 왼쪽으로, 전극 사이의 오른쪽에서는 오른쪽으로 눕게 된다. 결과적으로 전극 사이의 액정 방향자는 양 방향으로 눕기 때문에 전극 사이의 중앙에서는 액정 방향자가 어떤 방향으로도 눕지 못하고 초기 그대로 존재하며, 그림 2(a)와 동일한 형태이므로 반사율이 발생하지 않는다. 그림 4(b)는 하판 러빙 방향이 45°인 경우로 frame inversion시 disclination line 형성 영역은 전극 오른쪽과 전극 사이이다. 전극 오른쪽에서 형성 원인은 화소 전극 왼쪽에서는 액정 방향자가 45° 시계 방향으로 꼬이면서 눕는 반면에 화소 전극 오른쪽 부분에서는 초기 러빙 방향에 대해 반시계 방향으로 90° 회전하며 눕는다. 결과적으로 화소의 왼쪽 부분에서 전극 안쪽까지는 수평축을 따라 45°로 액정 방향자가 꼬이면서 눕기 때문에 반사율 최대값을 갖고, 이 영역은 화소 전극 중앙까지 차지한다. 또한 화소의 오른쪽 부분에서는 꼬임 방향이 서로 크게 달라 두 영역의 중간에서는 액정의 꼬임각이 90°로 회전하여 눕기 때문에 교차된 임의의 편광판 투과축과 일치, 즉 ψ 가 0°가 되어 반사율이 발생하지 못하는 것을 알 수 있다. 화소 전극 사이에서는 그림 4(a)의 line inversion시와 같으나 disclination line이 형성된 영역의 액정 방향자는 평균적으로 90°로 눕기 때문에 교차된 임의의 편광판 투과축과 일치, 즉 ψ 가 0°가 되어 반사율이 발생하지 못하는 것을 알 수 있다. Line inversion시 전극 오른쪽과 전극 사이에서 disclination line이 형성된다. 전극 오른쪽에서 형성 원인은 그림 3(b)과 같고, 전극 사이에서는 그림 4(a)의 line inversion과 같다. 그림 4(c)는 하판 러빙 방향이 90°인 경우이다. Frame inversion시 전극 양 끝단에서 투과율이 저하된다. 화소 전극 위의 액정 방향자 분포는 평균적으로 화소 전극 왼쪽은 59°, 화소 전극 중앙은 90°, 화소 전극 오른쪽은 121°로 반시계 방향으로 틀어졌다. 투과율 저하를 보이는 전극 양 끝단의

액정 방향자는 평균적으로 화소 전극 왼쪽은 67° , 화소 전극 오른쪽은 121° 들어섰다. 이는 135° 와 45° 로 교차된 편광판 투과축에 대해서 반사율이 최대가 되기 위한 조건인 90° 와 180° 를 벗어났기 때문에 반사율 저하를 보인다. Line inversion시 disclination line의 형성 영역은 전극 양 끝단과 전극 사이이다. 전극 양 끝단에서 형성 원인은 그림 3(c)과 같고, 전극 사이에서는 그림 4(a)의 line inversion과 같다. 그림 4(d)는 하판 러빙 방향이 135° 인 경우이다. Frame inversion시 전극 왼쪽과 전극 사이에서 disclination line이 형성된다. 형성 원인은 다음과 같다. 전극 위치별 액정 방향자 분포는 그림 4(b)와 같으나, 화소 전극 중앙에서 전극 오른쪽까지 액정 방향자가 평균적으로 135° 틀어져 반사율이 최대이나, 이 영역을 벗어난 화소 전극에서는 액정 방향자가 135° 보다 작아 반사율이 저하된다. Disclination line 형성 영역에서는 액정의 꼬임각이 90° 로 회전하여 높기 때문에 교차된 임의의 편광판 투과축과 일치, 즉 Ψ 가 0° 가 되어 반사율이 발생하지 못하는 것을 알 수 있다. Line inversion시 전극 왼쪽과 전극 사이에서 disclination line이 형성된다. 전극에서 형성 원인은 그림 3(d)과 같고, 전극 사이에서는 그림 4(a)의 line inversion과 같다. 위의 결과를 정리해보면, 모든 화소가 밝음 상태에 있을 시 주변 화소 및 disclination line 발생 정도에 미치는 영향은 러빙 방향이 0° 이며, frame inversion시가 가장 적다고 볼 수 있다.

2.3 투과형 VA 셀

초기 교차된 편광판 투과축에 대해 수직 배향된 액정셀에 그림 5와 같이 하판의 가운데 화소 전극에는 6 V, 인접한 전극들에 0 V 전압을 인가할 때, 하판 러빙 방향에 따른 전극 위치별 투과율을 보여주고 있다. 셀구조 및 러빙 방향은 반사형 셀과 동일하며, 교차된 편광판 상태에서 액정셀의 d 는 $4 \mu\text{m}$, 액정의 $d\Delta n$ 은 $0.35 \mu\text{m}$ 이다. 먼저 러빙 방향이 투과율에 어떤 영향을 미치는지 알아보았다. 하판 러빙 방향에 따른 disclination line의 형성 원인은 그림 3과 마찬가지로, 형성 영역이 반사형 셀보다 넓다. 이는 투과형 셀의 d 가 반사형 셀의 d 보다 2배 크기 때문에, 셀 중앙에 있는 액정들을 수직으로 잡고 있는 수직 배향력이 반사형 셀에 비해 약하다. 즉, 액정셀의 탄성 에너지가 반사형 셀보다 작아 프린즈 전기장에 의해 reverse tilt가 커지며 반사형 셀보다 좀 더 안쪽에 disclination line이 존재하게 된다. 러빙 각도에 따른 disclination line의 발생 정도를 보면 러빙 방향이 0° 일 경우가 가장 적은 것을 볼 수 있다.

다음으로, 전압 인가 방법에 따라 투과율에 어떤 영향을 미치는지 알아보았다. 그림 6은 인접한 모든 전극에 6.4 V 전압을 인가할 때 투과율을 보여주고 있다. 전압 인가 방식은 그림 4와 같다. 그림 6(a)은 하판 러빙 방향이 0° 인 경우이다. Frame inversion시 투과율이 화소 전 영역에서 균일하게 발생하였다. Line inversion시 disclination line의 형성 영역은 전극 오른쪽과 전극 사이이다. 전극에서 형성 원인은 그림 3(a)과 같고, 전극 사이는 그림 4(a)의 line inversion과 같다. 그림 6(b)은 하판 러빙 방향이 45° 인 경우이다. Frame inversion시 전극 오른쪽에서 투과율이 저하되었다. 투과율이 최대인 영역에서는 액정 방향자가 평균적으로 45° 틀어졌으며, 정면에서 액정 유효 $d\Delta n$ 이 $\lambda/2$ 를 만족하지만, 투과율 저하된 영역에서는 교차된 편광판에 대해 액정 방향자가 평균적으로 66° 틀어졌기 때문이다. Line inversion시 disclination line 형성 영역은 전극 오른쪽과 전극 사이이다. 전극에서 형성 원인은 그림 3(b)과 같고, 전극 사이는 그림 4(a)의 line inversion과 같다. 그림 6(c)은 하판 러빙 방향이 90° 인 경우이다. Frame inversion시 전극 양 끝단에서 투과율이 조금 저하된다. 투과율이 최대인 영역에서 액정 방향자는 90° 틀어졌으며, 정면에서 액정 유효 $d\Delta n$ 이 $\lambda/2$ 를 만족한다. 반면에 투과율이 저하된 영역의 화소 전극 왼쪽에서는 액정 방향자가 평균적으로

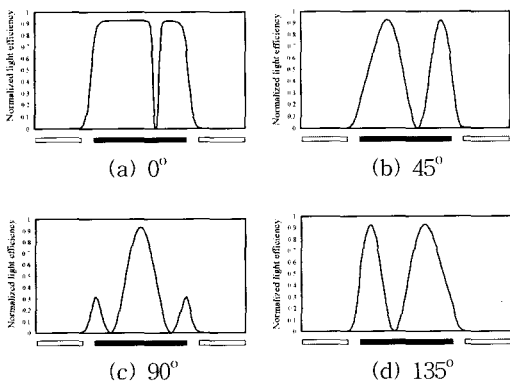


그림 5. 하판 러빙 방향에 따른 VA 셀의 투과율.
 Fig. 5. Transmittance of VA cell as a function of rubbing direction of bottom substrate.

로 78°, 오른쪽 영역에서는 101° 틀어졌기 때문에 투과율이 최대이기 위한 조건 90°를 벗어났기 때문이다. Line inversion시 disclination line의 형성 영역은 전극 양 끝단과 전극 사이이다. 전극에서 형성 원인은 그림 3(c)과 같고, 전극 사이는 그림 4(a)의 line inversion과 같다. 그림 6(d)은 하판 러빙 방향이 135°인 경우이다. Frame inversion시 화소 전극 왼쪽에서 투과율이 저하된다. 투과율이 최대인 영역에서 액정 방향자는 135° 틀어졌으며, 정면에서 액정 유효 $d\Delta n$ 이 $\lambda/2$ 를 만족한다. 반면에 투과율이 저하된 영역에서는 교차된 편광판에 대해 액정 방향자가 평균적으로 114° 틀어졌기 때문이다. Line inversion시 disclination line의 형성 영역은 전극 왼쪽과 전극 사이이다. 전극에서 형성 원인은 그림 3(d)과 같고, 전극 사이는 그림 4(a)의 line inversion과 같다. 위의 결과를 정리해보면, 모든 화소가 밝음 상태에 있을 시 주변 화소 및 disclination line 발생 정도에 미치는 영향은 러빙 방향이 0°이며, frame inversion시 가장 적다고 볼 수 있다.

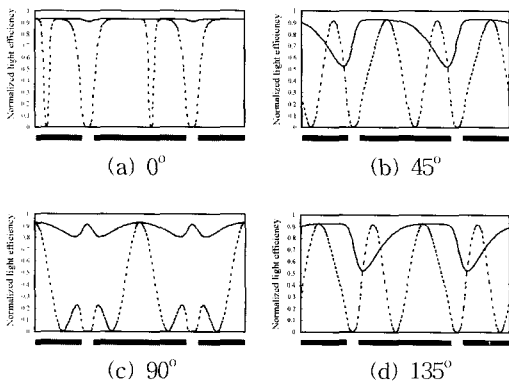


그림 6. 하판 러빙 방향에 따른 VA 셀의 투과율.
 Fig. 6. Transmittance of VA cell as a function of rubbing direction of bottom substrate.

2.4 반사형 VA-TN 셀

초기 교차된 편광판 투과축에 대해 수직 배향된 액정셀에 그림 7과 같이 하판의 가운데 화소 전극에는 3.4 V, 인접한 전극들에 0 V 전압을 인가할 때, 하판 액정 러빙 방향에 따른 전극 위치별 반사율을 보여주고 있다. 셀구조는 반사형 VA 셀과 동일하나, 상부 러빙 방향은 하부 러빙 방향에 대해 90°이다. 상부 및 하부 편광판은 각각의 러빙 방향

과 일치하며, 교차된 편광판 상태에서 d 는 2 μm 이고, $d\Delta n$ 은 0.24 μm 이다. 먼저 러빙 방향이 반사율에 어떤 영향을 미치는지 알아보았다. 그림 7(a)은 하판 러빙 방향은 0°인 경우이다. Disclination line 형성 영역은 화소 전극 오른쪽이다. 화소 전극 왼쪽에서는 평균적으로 액정 방향자가 310°, 중앙에서는 315°, 오른쪽에서는 202°로 눕는다. 화소 전극 왼쪽에서 화소 중앙으로 갈수록 액정의 꼬임각이 증가, 즉 Ψ 가 커지고, 정면에서 유효 $d\Delta n$ 이 증가되어 반사율이 커짐을 알 수 있다. 하지만 disclination line이 형성된 영역에서는 액정 방향자의 꼬임각이 270°이기 때문에 교차된 임의의 편광판 투과축과 일치, 즉 Ψ 가 0°가 되어 반사율이 발생하지 못하는 것을 알 수 있다. 그림 7(b)은 하판 러빙 방향이 45°이다. Disclination line 형성 영역은 화소 전극 오른쪽 두 곳이다. Disclination line 형성 영역은 화소 전극 오른쪽 두 곳이다. 화소 전극 왼쪽에서는 평균적으로 액정 방향자가 0°, 중앙에서는 3°, 오른쪽에서는 154°로 눕는다. 화소 전극 왼쪽에서 화소 중앙으로 갈수록 액정의 꼬임각은 반사율이 최대인 조건 0°를 크게 벗어나지 않았지만, 화소 중앙에서 화소 오른쪽으로 갈수록 Ψ 가 감소하기 때문에 반사율이 저하된다. Disclination line이 형성된 영역에서는 액정 방향자의 평균 꼬임각은 45°와 135°이기 때문에 교차된 임의의 편광판 투과축과 일치, 즉 Ψ 가 0°가 되어 반사율이 발생하지 못하는 것을 알 수 있다. 그림 7(c)은 하판 러빙 방향이 90°인 경우이다. Disclination line 형성 영역은 화소 전극 오른쪽이다. 화소 전극 왼쪽에서는 평균적으로 액정 방향자가 0°, 중앙에서는 90°, 오른쪽에서는 135°로 눕는다. 화소 전극 왼쪽에서 화소 중앙으로 갈수록 액정의 꼬임각이 증가, 즉 Ψ 가 커지고, 정면에서 유효 $d\Delta n$ 이 증가되어 반사율이 커짐을 알 수 있다. 하지만 disclination line이 형성된 영역에서는 액정 방향자의 꼬임각이 90°이기 때문에 교차된 임의의 편광판 투과축과 일치, 즉 Ψ 가 0°가 되어 반사율이 발생하지 못하는 것을 알 수 있다. 그림 7(d)은 하판 러빙 방향이 135°인 경우이다. Disclination line 형성 영역은 화소 전극 양 끝단이다. 화소 전극 위치별 액정 방향자의 분포는 그림 7(c)과 같지만, 편광판 투과축들이 40°와 135°이므로 교차된 임의의 편광판 투과축과 일치, 즉 Ψ 가 0°가 되어 반사율이 발생하지 못하는 것을 알 수 있다. 위의 결과를 정리해보면, 한 화소가 밝음 상태에 있을 시 주변 화소 및 disclination line 발생 정도에 미치는 영향은 러빙 방향이 0°, 90° 경우가 가장 적다고 볼 수 있다.

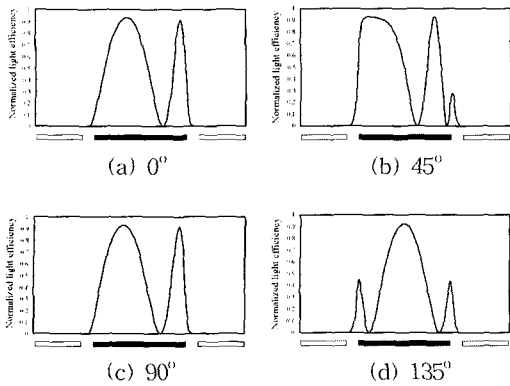


그림 7. 하판 러빙 방향에 따른 VA-TN 셀의 반사율.

Fig. 7. Reflectance of VA-TN cell as a function of rubbing direction of bottom substrate.

다음으로, 전압 인가 방법에 따라 화소 전극 위치별 반사율에 어떤 영향을 미치는지 알아보았다. 그림 8은 인접한 모든 전극에 3.4 V 전압을 인가할 때, 전극 위치별 반사율을 보여주고 있다. 그림 8(a)은 하판 러빙 방향이 0°인 경우이다. Frame inversion시 disclination line 형성 영역은 전극 오른쪽과 전극 사이이다. 화소 전극 왼쪽과 중앙의 액정 방향자는 평균적으로 315° 틀어졌으나, 중앙에서 화소 전극 오른쪽으로는 270° 틀어졌다. 화소 전극 오른쪽과 화소 전극 사이에서는 액정의 꼬임 각이 270°로 회전하여 눕기 때문에 교차된 임의의 편광판 투과축과 일치, 즉 ψ 가 0이 되어 반사율이 발생하지 못하는 것을 알 수 있다. Line inversion시 disclination line의 형성 영역은 전극 오른쪽과 전극 사이이다. 전극에서 형성 원인은 그림 7(a)과 같고, 전극 사이에서는 그림 4(a)의 line inversion과 같다. 그림 8(b)은 하판 러빙 방향이 45°인 경우이다. Frame inversion시 disclination line의 형성 영역은 전극 오른쪽과 전극 사이이다. 화소 전극 왼쪽에서는 평균적으로 액정 방향자가 353°, 중앙에서는 0°, 오른쪽에서는 76°로 각각 회전하면서 눕는다. 하지만 disclination line 형성 영역은 액정 방향자가 45° 눕기 때문에 교차된 임의의 편광판 투과축과 일치, 즉 ψ 가 0이 되어 반사율이 발생하지 못하는 것을 알 수 있다. Line inversion시 전극 오른쪽 두 곳과 전극 사이에서 disclination line이

형성된다. 전극에서 형성 원인은 그림 7(b)과 같고, 전극 사이에서는 그림 4(a)의 line inversion과 같다. 그림 8(c)은 하판 러빙 방향이 90°인 경우이다. Frame inversion시 disclination line 형성 영역은 전극 오른쪽과 전극 사이이다. 화소 전극 위치별 액정 방향자의 분포는 그림 7(a)과 같지만, 편광판 투과축들이 0°와 90°이므로 교차된 임의의 편광판 투과축과 일치, 즉 ψ 가 0°가 되어 반사율이 발생하지 못하는 것을 알 수 있다. Line inversion시 disclination line 형성 영역은 전극 오른쪽과 전극 사이이다. 전극에서 형성 원인은 그림 7(c)과 같고, 전극 사이는 그림 4(a)와 같다. 그림 8(d)은 하판 러빙 방향이 135°인 경우이다. Frame inversion시 전극 양 끝단에서 반사율이 저하된다. 화소 전극 왼쪽에서는 평균적으로 액정 방향자가 61°, 중앙에서는 90°, 오른쪽에서는 116°로 각각 회전하면서 눕는다. 화소 양 끝단의 액정 방향자는 반사율이 최대가 되기 위한 조건인 45°와 135°를 벗어났기 때문이다. Line inversion시 전극 양 끝단과 전극 사이에서 disclination line이 형성된다. 전극에서 형성 원인은 그림 7(d)과 같고, 전극 사이에서는 그림 4(a)의 line inversion과 같은 이유이다. 위의 결과를 정리해보면, 모든 화소가 밝음 상태에 있을 시 주변 화소 및 disclination line 발생 정도에 미치는 영향은 러빙 방향이 0°, 90°이며, frame inversion시가 가장 적다고 볼 수 있다.

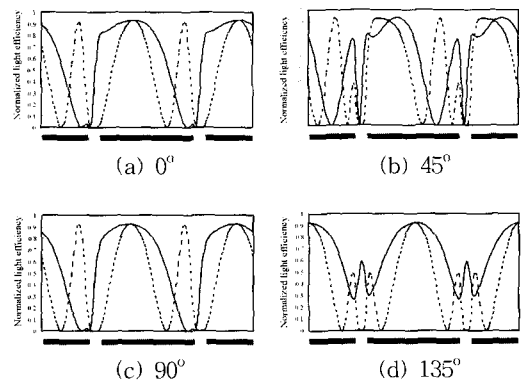


그림 8. 하판 러빙 방향에 따른 VA-TN 셀의 반사율.

Fig. 8. Reflectance of VA-TN cell as a function of rubbing direction of bottom substrate.

2.5 투과형 VA-TN 셀

초기 교차된 편광판 투과축에 대해 수직 배향된 액정셀에 그림 9와 같이 하판의 가운데 화소 전극에는 3.4 V, 인접한 전극들에 0 V 전압을 인가할 때, 하판 액정 러빙 방향에 따른 전극 위치별 투과율을 보여주고 있다. 셀구조 및 러빙 방향은 반사형 셀과 동일하며, 교차된 편광판 상태에서 액정셀의 d 는 4 μm , 액정의 $d\Delta n$ 은 0.35 μm 이다. 먼저 러빙 방향이 투과율에 어떤 영향을 미치는지 알아보았다. 러빙 방향에 따른 disclination line 형성 정도는 반사형 VA-TN 셀보다 높다. 이는 그림 5와 같은 이유이며, 러빙 방향에 따른 disclination line의 발생 정도를 보면 0°와 90° 일 경우가 가장 적은 것을 볼 수 있다.

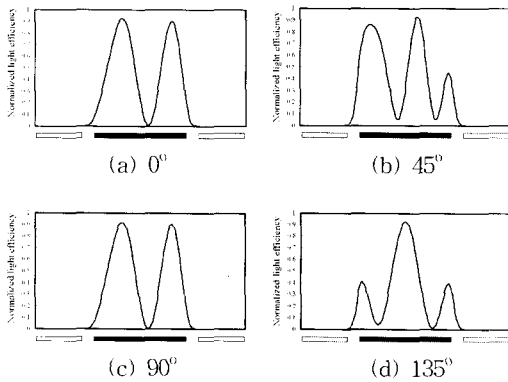


그림 9. 하판 러빙 방향에 따른 VA-TN 셀의 투과율.

Fig. 9. Transmittance of VA-TN cell as a function of rubbing direction of bottom substrate.

다음으로, 전압 인가 방법에 따라 화소 전극 위치별 투과율에 어떤 영향을 미치는지 알아보았다. 그림 10은 인접한 모든 전극에 3.4V 전압을 인가할 때, 하판 러빙 방향에 따른 전극 위치별 투과율을 보여주고 있다. 그림 10(a)은 하판 러빙 방향이 0°인 경우이다. Frame inversion시 전극 오른쪽에서 투과율이 저하된다. 화소 전극 왼쪽과 중앙에서는 액정 방향자가 평균적으로 315° 틀어졌으나, 화소 전극 오른쪽에서는 330° 틀어졌다. 이는 투과율이 최대가 되기 위한 조건인 315°를 벗어났다. Line inversion시 disclination line의 형성 영역은 전극 중앙과 전극 사이이다. 전극에서 형성 원인

은 그림 7(a)과 같고, 전극 사이는 그림 4(a)의 line inversion과 같다. 그림 10(b)은 하판 러빙 방향이 45°인 경우이다. Frame inversion시 전 영역에 균일하게 투과율이 발생한다. Line inversion시 disclination line 형성 영역은 전극 두 영역과 전극 사이이다. 전극에서 형성 원인은 그림 9(b)와 같고, 전극 사이는 그림 4(a)의 line inversion과 같다. 그림 10(c)은 액정의 하판 러빙 방향이 90°인 경우이다. Frame inversion시 화소 전극 오른쪽에서 투과율이 저하된다. 화소 전극 왼쪽과 중앙에서는 액정 방향자가 평균적으로 45° 틀어졌으나, 화소 전극 오른쪽에서는 56° 틀어졌다. 화소 전극 오른쪽에서는 액정 방향자가 투과율이 최대가 되기 위한 조건인 45°를 벗어났기 때문이다. Line inversion시 disclination line의 형성 영역은 전극 중앙과 전극 사이이다. 전극은 그림 9(c)와 같고, 전극 사이는 그림 4(a)의 line inversion과 같다. 그림 10(d)은 액정의 하판 러빙 방향이 135°인 경우이다. Frame inversion시 투과율이 전 영역에서 균일하게 발생한다. Line inversion시 전극 양 끝단과 전극 사이에서 disclination line이 형성되는 것을 볼 수 있다. 전극에서 형성 원인은 그림 9(d)와 같고, 전극 사이에서는 그림 4(a)의 line inversion과 같다. 위의 결과를 정리해보면, 모든 화소가 밝은 상태에 있을 시 주변 화소 및 disclination line 발생 정도에 미치는 영향은 러빙 방향이 45°, 135°이며, 반사형과 마찬가지로 frame inversion시가 가장 적다고 볼 수 있다.

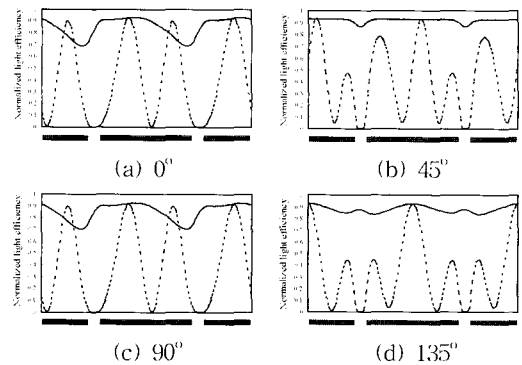


그림 10. 하판 러빙 방향에 따른 VA-TN 셀의 투과율.

Fig. 10. Transmittance of VA TN cell as a function of rubbing direction of bottom substrate.

2.6 반사형 FFS 셀

다음은 FFS 셀을 이용한 LCoS 구조를 연구하였다. 종래의 한 연구 결과를 보면 그림 11과 같이 공통 전극(common electrode)에는 0 V, 절연체 상부에 존재하는 가운데 화소 전극에 5 V, 주위에 인접한 화소 전극에는 1 V를 인가하였다[4]. 이는 화소 전극에 전압 인가시 각각의 화소 전극에 대한 전위차(ΔV)가 4 V로 존재하며, 이는 화소 전극 폭이 3 μm 전극 하나 하나가 한 개의 화소를 나타내는 것을 의미한다. 이는 화소 크기가 16 μm 인 셀을 표현하지 못한 것으로 접근 방식에 오류가 있다고 볼 수 있다.

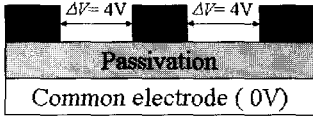


그림 11. FFS 셀을 이용한 종래의 연구 방법.
Fig. 11. Conventional research method using reflective FFS cell.

그림 12는 본 논문에서 반사형 FFS 셀을 이용한 LCoS 또는 마이크로 디스플레이에서 올바른 전압 인가 방식을 보여준다. 하나의 공통 전극 위에 전위가 같은 몇 개의 화소 전극이 일정한 폭과 간격으로 배열되어 있으며, 또한 공통 전극 사이도 일정한 간격으로 배열되어졌다.

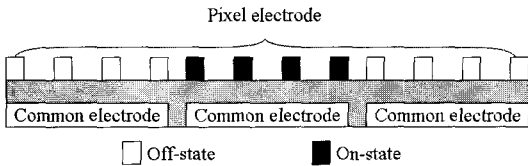


그림 12. FFS 셀을 이용한 LCoS 또는 마이크로 디스플레이의 셀구조 및 구동 방식.
Fig. 12. Cell structure of LCoS or Microdisplay using the FFS cell and driving method.

그림 13은 고정세 LCoS 또는 마이크로 디스플레이에서 반사형 FFS 셀을 이용한 것으로, 교차된 편광판 상태에서 공통 전극간 거리에 따른 전극 위치별 반사율을 보여주고 있으며, 교차된 편광판 투과축 중 한 축과 러빙 방향은 일치한다. 전압이

인가되지 않은 화소에서는 반사율이 발생하지 않아야 되나 그림에서 보는 것처럼 중앙에 있는 화소에 전압 인가시 중앙 화소에 인접한 영역에서도 반사율이 발생하였다. 이는 가운데 화소에 전압 인가시 액정의 꼬임각이 발생하여 화소 위에서 반사율이 발생하였다. 반면에 인접한 화소 영역에서는 꼬임각을 가지는 액정들의 탄성력에 의해 인접한 화소의 액정 분자들까지 꼬임각을 가질 수 있도록 영향을 주어 전압이 인가되지 않는 화소까지 반사율이 발생하는 것을 알 수 있다. 이러한 반사율은 어둠 상태에서 빛샘으로 작용하여 셀의 명암대비를 저하시킨다. 따라서, 화소간 거리가 어떤 영향을 주는지를 살펴보기 위해 거리를 1 μm 에서 4 μm 까지 바꾸면서 인접화소의 빛샘을 조사하였다. 가운데 화소에 8.5V, 인접한 화소에는 0V 전압을 인가하였다. 화소 전극 폭은 3 μm , 전극간 간격은 4.5 μm , 공통 전극 폭은 14.5 μm , 액정의 d 는 2 μm 이며, 사용된 액정이나 러빙 방향 등의 시뮬레이션 조건은 종래에 보고된 내용과 동일하다[9]. 그림에서 알 수 있듯이 화소간의 공통 전극의 간격이 짧을수록 전압 인가한 화소 주변에서도 반사율이 발생하나, 공통 전극간 간격이 3 μm 이상에서는 반사율이 발생하지 않음을 알 수 있다. 이는 3 μm 이상의 충분한 공통 전극간격은 가운데 화소 전극에 의한 액정의 꼬임각이 주변 화소 전극의 액정 방향자에게 영향을 주지 못했기 때문이다. 이러한 관점에서 보면 액정 twist elastic coherence 거리가 3 μm 보다는 적다고 볼 수 있어 한 화소가 밝은 상태에 있을 시 주변 화소에 반사율 발생 여부는 공통 전극 간격이 3 μm 이상이면 발생하지 않는다는 것을 알 수 있다.

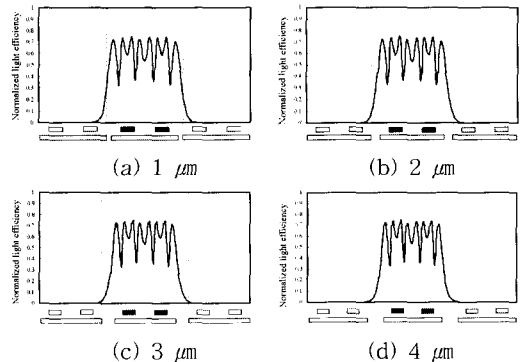


그림 13. 공통 전극 간격에 따른 FFS 셀의 반사율.
Fig. 13. Reflectance of FFS cell as a function of common electrode interval.

다음으로, 전압 인가 방법 및 공통 전극 간격에 따라 반사율에 어떤 영향을 미치는지 알아보았다. 그림 14는 모든 화소에 8.5 V 전압을 인가할 때, 전극 위치별 반사율을 보여주고 있으며, 전압 인가 방식은 그림 4와 동일하다. Frame inversion시 공통 전극 전 영역에서 반사율이 발생하나, 공통 전극 간격이 넓어질수록 공통 전극 사이에서 반사율이 저하된다. 이는 공통 전극 위에 있는 화소 전극들에 대한 이웃한 공통 전극들 위에 있는 화소 전극들간의 ΔV 가 0V이기 때문에 공통 전극 사이에서는 화소 전극에 의한 간섭 효과가 없다. 결과적으로 공통 전극간 간격이 넓어질수록 전극간 사이의 액정 꼬임각이 작아지기 때문에 반사율이 저하된다. Line inversion시 frame inversion과 같이 화소 전 영역에서 반사율이 발생하나, 공통 전극 간격이 3 μm 시 공통 전극 사이에도 높은 반사율을 보인다. 이는 공통 전극 위에 있는 화소 전극들에 대한 이웃한 공통 전극 위에 있는 화소 전극들간의 ΔV 가 17V이기 때문에 공통 전극 사이에서는 화소 전극에 의한 간섭 효과가 2배로 커진다. Frame inversion 경우와는 달리 공통 전극 사이의 액정의 방향자의 꼬임각이 매우 크게 발생된다. 공통 전극 간격이 2 μm 일 때 액정 방향자의 꼬임각이 평균적으로 45°이나, 공통 전극 간격이 3 μm 이상이면 액정 방향자의 꼬임각이 45° 이하이다.

위의 결과를 정리해보면, 모든 화소가 밝음 상태에 있을 시, frame inversion이 공통 전극 사이에서 간섭 효과가 없고, 또한 공통 전극 간격이 넓어질수록 간섭 효과는 발생하지 않는다. 그래서 FFS 셀을 이용한 LCoS 소자에서는 frame inversion이 적당하다고 볼 수 있다.

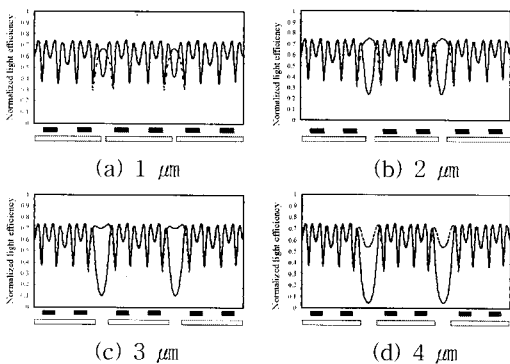


그림 14. 공통 전극 간격에 따른 FFS 셀의 반사율.
Fig. 14. Reflectance of FFS cell as a function of common electrode interval.

3. 결론

본 연구는 VA 셀과 VA-TN셀의 액정 하판 러빙 방향과 전압 인가 방식에 따른 disclination line 형성에 대해서 연구하였다. VA 셀에서 주변 화소 및 disclination line 발생 정도에 미치는 영향은 하판 러빙 방향이 0이며, frame inversion시 가장 적었으며, VA-TN 셀에서는 하판 러빙 방향이 0, 90이며, frame inversion시 가장 적었다. FFS 셀을 이용한 LCoS 및 마이크로 디스플레이에서 한 화소가 밝음 상태에 있을 시 주변 화소에 반사율 발생 여부는 공통 전극 간격이 3 μm 이상이면 발생하지 않는다는 것을 알 수 있었으며, frame inversion이 우수한 화질 구현이 가능하다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R-05-2002-000-00736-0)지원으로 시행되었습니다.

참고 문헌

- [1] C. Chinnock, "Microdisplay industry-The year in review", Microdisplay 2001, p. 71, 2001.
- [2] Y. Ji, J. Gandhi, and M. E. Stefanove, "Fringe-field effects in reflective CMOS LCD design optimization", SID'99 digest paper, p. 750, 1999.
- [3] H. T. Kanagawa, F. A. Kanagawa, K. U. Kanagawa, "Liquid crystal display apparatus using switching devices and a manufacturing the same", Pub. No.: US2001/0040660 A1, 2001.
- [4] K-H. F. Chiang, S. T. Wu, and S. H. Chen, "Fringing field effect of the Liquid-Crystal-on-Silicon Devices", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 41, No. 7A, p. 4577, 2002.
- [5] F. J. Kahn, "Recent trends in electronic projection", IDW'00 Digest paper, p. 1037, 2000.
- [6] W-Y. Chou, C H. Hsu, S-W. Change, H-C. Chiang, and T-Y. Ho, "A novel design to eliminate fringe field effects for liquid crystal on silicon", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.

- 41, No. 12, p. 7386, 2002.
- [7] T. B. Jung, S. T. Oh, and S. H. Lee, "Liquid-Crystal-on-silicon 소자에서 액정의 프리틸트각에 따른 Disclination line 발생", 전기전자재료학회논문지, 16권, 4호, p. 322, 2003.
- [8] T. B. Jung, C. H. Park, J. M. Rhee, Y. B. Kim, and S. H. Lee, "1매의 편광판으로 구성된 반사형 Fringe-field switching mode의 전기 광학 특성", 16권, 2호, p. 131, 2003.
- [9] T. B. Jung, S. H. Lee, "Fringe-field 구동형 새로운 반투과형 수평 배향 액정 디스플레이", 16권, 6호, p. 501, 2003.
- [10] 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.
- [11] S. H. Lee, private communication.