

유전율 이방성이 양인액정을 이용한 Fringe-Field 구동형 수평배향된 단일갭 반투과형 디스플레이

임영진, 최민오, 이승희
전북대학교 신소재공학부

Homogeneous Aligned Single Gap Transflective Display driven by Fring-field using a Liquid Crystal with Positive Dielectric Anisotropy

Young Jin Lim, Min Oh Choi, Seung Hee Lee
School of Advanced Materials Engineering, Chonbuk National University

Abstract

We have designed a single gap transflective liquid crystal display (LCD) driven by a fringe electric field, in which the +LC ($\Delta\epsilon=7.4$, rubbing angle= 80°) is homogeneously aligned in the initial state. This device is a problem that the voltage-dependent transmittance and reflectance curves do not match each other. Thus a dual driving circuit is required. This study shows that optimization of the rubbing angle in the transmissive and reflective regions solves this problem so that the transflective display with a single cell gap and single gamma curve for reflective and transmissive region is possible.

Key Words : transflective LCD, in-cell retarder, single gap, wide viewing angle.

1. 서 론

반투과형 LCD는 실내외에서 높은 시인성을 가지고 있기 때문에 휴대용 디스플레이에 많이 응용되고 있다[1]. 일반적으로 반투과형 LCD는 반사와 투과 영역에서의 셀갭이 다른 구조[2,3]와 두 영역에 각각의 구동 회로로 구동하는 형태[4,5]가 있다. 이종의 셀갭을 갖는 구조의 반투과형 LCD에서는 반사 영역과 투과 영역에서 모두 높은 광효율을 갖는다. 그렇지만 투과 영역에서의 응답시간이 반사 영역에서의 응답시간보다 4배나 느리고 반사 영역과 투과 영역에서 색순도와 같은 화질의 차이가 생긴다. 게다가 두 영역에 단차를 두어서 셀갭을 다르게 해야 하므로 추가적인 공정이 필요하게 된다. 또한 이중 구동 회로를 이용한 반투과형 LCD는 반사 영역과 투과 영역의 셀갭을 동일하게 할 수 있지만 구동 회로에서의 비용이 증가하게 된다.

일반적인 액정 모드는 기판에 대해서 수평 혹은 수직으로 배열된 액정이 수직 전기장이 인가하면 수직 혹은 수평으로 액정들이 재배열한다. 이와는 달리 기판에 대해서 수평 배열된 액정이 전계 인가시 기판에 대해 거의 평행을 유지하면서 한 방향으로 구동되어 광시야각과 높은 투과율을 보이는 fringe-field switching (FFS) 모드가 제안되었다[6,7]. 이러한 넓은 시야각 특성 때문에 FFS 모드를 이용한 반사형 LCD에 대해서도 연구되었다[8,9]. 본 논문에서는 유전율이방성이 양인 액정을 이용한 단일갭 반투과형 FFS모드의 광학적 셀구조를 제안하였고 그에 따른 전기-광학 특성에 대해 연구하였다. 또, 기존의 이중 구동회로를 사용하는 반투과형 LCD의 문제점을 해결하기 위해 반사와 투과영역의 러빙 각을 조절함으로써 하나의 구동회로를 갖는 반투과형 LCD를 얻을 수 있었다.

2. 본 론

그림 1은 FFS 모드를 이용한 단일갭형 반투과형 LCD의 셀 구조를 나타낸다. 화소 전극은 반사 영역과 투과 영역에서 일반적인 FFS 모드와 동일하게 되어 있고 공통 전극을 반사 영역에서는 반사형 전극, 투과 영역에서는 투과형 전극으로 구성하였다. 화소 전극 위에 $\lambda/4$ 특성을 가지는 내장형 위상자가 배치되어 있다. 그리고 투과 영역에서의 광보상을 위해서 공통 전극 하부에 $\lambda/4$ 필름이 놓여져 있다. 두장의 편광판은 서로 90° 로 교차되어 있고 액정의 광축은 상부 편광판의 투과축과 일치한다. 본 논문에서 FFS 셀을 이용한 반투과형 LCD의 전기 광학 특성에 대해서는 LCD Master (Japan, Shintech)를 이용해서 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였으며, 계산 방법은 2X2 Jones matrix 방식[10]을 이용하였다. 화소 전극의 폭은 $3\mu\text{m}$ 이고 화소 전극간 거리는 $4.5\mu\text{m}$ 이다. 셀갭은 $4\mu\text{m}$ 로 하였고, 이때 사용된 액정의 굴절률 이방성 (Δn)은 0.1, 유전율 이방성 ($\Delta \epsilon$)은 7.4 이고 탄성계수가 $K_{11} = 11.7\text{pN}$, $K_{22} = 5.1\text{pN}$ 그리고 $K_{33} = 16.1\text{pN}$ 인 액정을 사용하였으며, 액정의 초기 러빙방향은 전기장의 수평 성분 방향에 대하여 80° 로 하였고 액정의 초기 프리틸트각은 2° 로 두었다.

그림 2는 반사 영역과 투과 영역의 광학 셀구조를 나타낸 것으로서 이때 나타낸 각은 x축에 대해서 시계 반대방향으로의 각을 의미한다. 그림 2(a)는 반사 영역으로 편광판과 내장형 위상자, 액정

셀, 그리고 반사판으로 구성되어 있다. 편광판의 투과축과 액정의 광축은 일치하며 편광판의 투과축에 대해서 내장형 위상자가 45° 틀어져 있다. 이때 빛의 편광 상태를 살펴보면, 편광판에 의해서 선편광된 빛이 액정의 광축방향과 일치하기 때문에 빛의 성분의 변화 없이 액정을 통과하고 이 빛이 45° 틀어진 내장형 위상자를 통과하면 원편광된 빛이 된다. 이 빛이 반사판과 내장형 위상자, 액정 셀을 지나면서 입사된 선편광된 빛에 대해서 90° 회전된 선편광된 빛이 되기 때문에 편광판 흡수축에 흡수되어 어둡게 상태를 나타낸다. 전압을 인가하면, 액정 방향자가 전계에 대해서 평균적으로 22.5° 회전하기 때문에 편광판을 통과한 빛이 액정 층을 지나면서 45° 회전된 선편광된 빛이 되어 내장형 위상자의 지연축 방향과 일치하게 되어 빛의 위상이 변하지 않는다. 이 선편광된 빛이 반사판과 내장형 위상자, 그리고 액정 층을 지나면서 초기 입사된 선편광된 빛의 방향과 일치하게 되어서 밝은 상태가 보여진다. 그림 2(b)는 투과 영역으로 편광판과 $\lambda/4$ 보상필름, 액정 셀, 내장형 위상자 그리고 편광판으로 이루어져 있다. 상판의 편광판 투과축과 액정의 광축은 일치하며 내장형 위상자는 45° , $\lambda/4$ 보상필름은 135° 틀어져 있으며 하부 편광판은 90° 틀어져 있다. 이때 빛의 편광 상태를 살펴보면, 전압 무인가시, 하부 편광판을 통과한 선편광된 빛이 $\lambda/4$ 보상 필름을 지나면서 원편광이 되고 이 빛이 다시 내장형 위상자를 지나면서 러빙 방향과 일치하는 선편광된 빛이 되

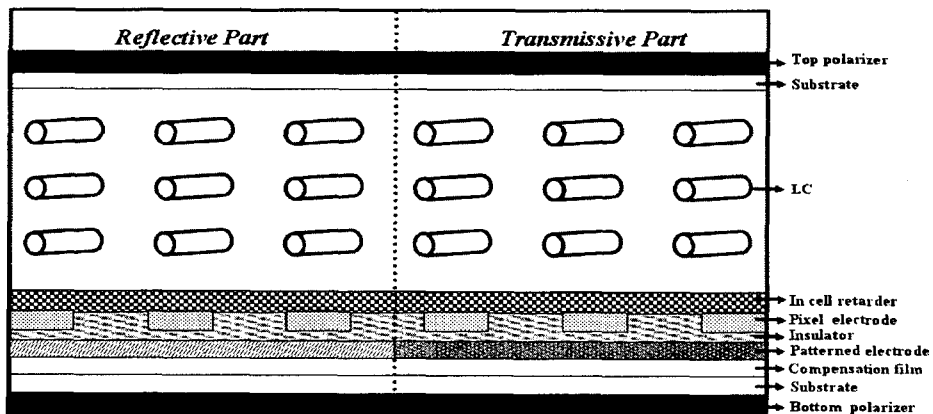


그림 1. FFS 모드를 이용한 단일갭형 반투과형 LCD의 개략적인 셀 구조.

Fig. 1. Schematic cell structure of a single gap transfective LCD using FFS mode.

어서 액정층을 통과해서 상부 편광판의 투과축 방향에 수직한 방향의 선편광된 빛이 되어 어둡게 상태가 보여진다. 전압 인가시, 액정 방향자가 45° 회전하게 되어서 내장형 위상자를 통과한 선편광된 빛이 액정층을 통과하면서 상부 편광판의 투과축과 일치하는 방향의 선편광된 빛이 되어 밝은 상태가 보여진다. 전압 인가시, 액정 방향자가 45°회전하게 되어서 내장형 위상자를 통과한 선편광된 빛이 액정층을 통과하면서 상부 편광판의 투과축과 일치하는 방향의 선편광된 빛이 되어 밝은 상태가 보여진다.

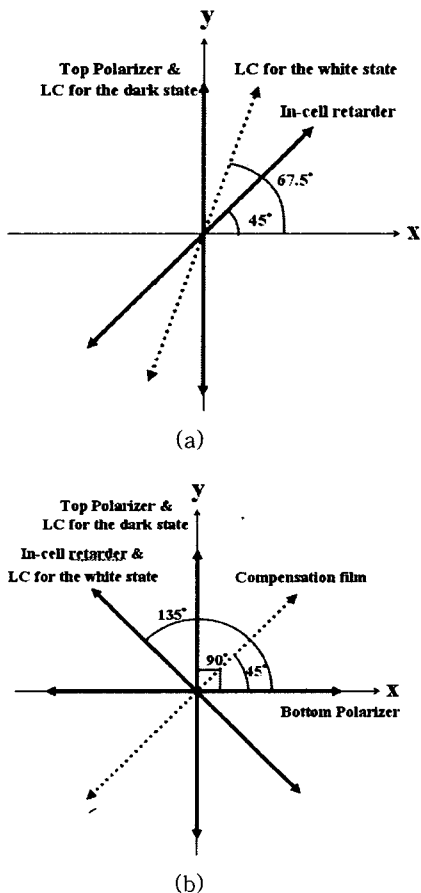


그림 2. 반투과형 LCD의 광학 셀 구조: (a) 반사 영역, (b) 투과 영역.

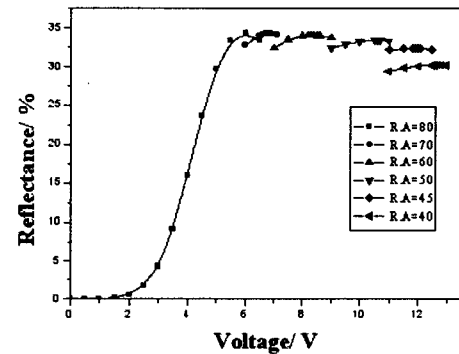
Fig. 2. Optical cell structure of the transfective LCD: (a) reflective area, (b) transmissive area.

그림 3은 러빙각의 변화에 따른 전압별 반사율과 투과율 곡선이다. 러빙각이 전기장 방향과 큰

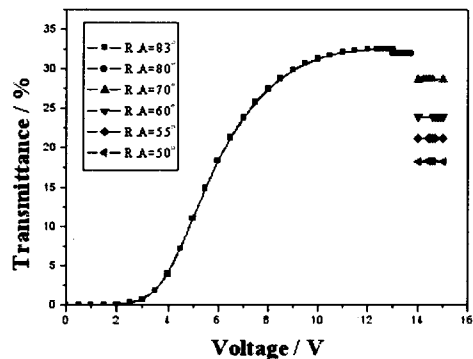
각을 이룰수록 높은 광효율과 낮은 구동전압을 나타낸다. 이는 액정 방향자가 회전하려는 유전율 토크값(N)의 크기에 따른 결과이며 유전율 토크값은 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$N = \square \Delta \epsilon (n \cdot E) n \times E \square = \Delta \epsilon E^2_0 \sin 2\phi \quad (1)$$

여기서 $\Delta \epsilon$ 은 유전율 이방성이고, n 은 액정 방향자의 단위벡터, E 는 전기장 벡터, ϕ 는 액정 방향자와 전기장 방향이 이루는 각을 나타낸다. 액정 방향자가 회전하려는 힘의 크기인 N 은 ϕ 가 45도를 이룰때 최대가 되며 액정 방향자를 초기 러빙방향으로부터 반사 영역은 22.5도 투과영역은 45도 회전시키는데 필요한 구동전압의 경우 ϕ 가 클수록 감소하게 된다. 하나의 구동회로를 사용하기위해 반사율과 투과율곡선이 일치하는 러빙각을 그림3에서 찾을 수 있었다.



(a)



(b)

그림 3. 러빙각의 변화에 따른 전압별 반사율(a) 과 투과율(b) 곡선

Fig. 3. Voltage-dependent reflectance(a) and

transmittance(b) curves as a function

of different rubbing angle.

그림4는 전압에 따른 광효율 곡선을 보여준다. 5V 이상에서는 반사영역과 투과영역의 광효율 곡선이 일치하지만 5V이하 저 전압에서는 광효율 곡선이 일치하지 않음을 볼 수 있다. 반사영역의 문턱전압이 투과영역 보다 낮은 이유는 식(1)을 보면 반사영역의 러빙각이 45도이기 때문에 전기장토크가 최대로 발생하여 낮은 전압에서도 액정이 쉽게 회전하기 때문이다.

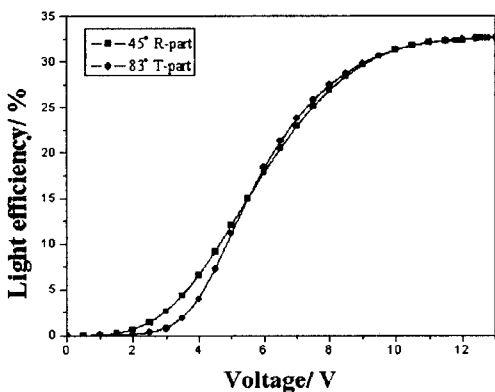


그림 4. 전압에 따른 광효율 곡선

Fig. 4. Voltage-dependent light efficiency curve

3. 결론

단일갭 반투과형 LCD를 디자인 할 경우 반사영역과 투과영역의 전압에 따른 광효율 곡선을 일치시키는 것은 매우 중요하다. 본 연구에서는 수평 배열되어 있는 FFS 셀에서 내장형 위상자를 이용해서 반사 영역과 투과 영역에서의 셀갭이 일정한 반투과형 LCD를 제안하였다. 이 반투과형 LCD는 이중구동회로를 갖는 기존의 단일갭 반투과형LCD의 문제점을 해결한 하나의 구동회로를 갖는 디바이스로써 모바일 디스플레이에 응용되리라 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국 과학재단 목적기초연구(R01-2004-000-1004-0) 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

[1] R. Watanabe and O. Tomita, "Recent trend of the active matrix LCDs for mobile use", IDW'02, p. 397, 2002.

[2] H. I. Baek, Y. B. Kim, K. S. Ha, D. G. Kim and S. B. Kwon, "New design of transfective LCD with single retarder film", IDW'00, p. 41, 2000.

[3] K. Fujimori, Y. Narutaki, Y. Itoh, N. Kimura, S. Mizushima, Y. Ishii and M. Hijikigawa, "New color filter structures for transfective TFT-LCDs", SID Dig. p. 1382, 2002.

[4] J. C. Kim, C. G. Jhun, K. H. Park, J. S. Gwag, S. H. Lee, G. D. Lee and T. H. Yoon, "Novel design techniques for transfective liquid crystal displays", Proc. of 3rd IMID, p. 283, 2003

[5] 송제훈, 임영진, 박지혁, 이승희, "FFS모드를 이용한 광시야각 반투과형 액정디스플레이" 한국전기전자재료학회 춘계학술대회, p.567, 2004.

[6] S. H. Lee, S. L. Lee and H. Y. Kim, "Electro-optic characteristics and switching principle of a nematic liquid crystal cell controlled by fringe-field switching", Appl. Phys. Lett., Vol. 57, No. 20, p. 2881, 1998.

[7] 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, No. 6A, p. 527, 2000.

[8] T. B. Jung, C. H. Park, H. Y. Kim, S. H. Hong and S. H. Lee, "A reflective liquid crystal display with fringe-field switching mode", Proc. of the 5th KLCC, p. 77, 2002.

[9] 정태봉, 박지혁, 이종문, 김용배, 이승희, "1매의 편광판으로 구성된 반사형 Fringe-Field Switching mode의 전기광학 특성", 전기전자재료학회회지, 16권, 2호, p. 131, 2003.

[10] A. Lien, "Extended Jones matrix representation for twisted nematic liquid crystal display at oblique incidence", Appl. Phys. Lett., 57, p. 2767, 1990.