

논문 19-1-15

경사 전기장 구동에 의한 수평배열 액정 디스플레이의 전기광학특성 연구

Electro-optic Characteristic of Homogeneously Aligned Liquid Crystal Display Driven by an Oblique Field

박상현¹, 이지연¹, 이승희^{1,a}
(Sang Hyun Park¹, Ji Youn Lee¹, and Seung Hee Lee^{1,a})

Abstract

We have studied electrode-optic characteristics of in-plane switching (IPS) of liquid crystal director driven by an oblique electric field. Because the conventional IPS mode does not have an electrode on top substrate, it shows not only slow response time due to weak electric field but also slow discharging problem when electrostatic field is generated after fabricating the cell. To solve these problems, we have formed additional electrode including dielectric layer in the inner part of the cell on top substrate and studied electrode-optic characteristics of the new device.

Key Words : Transmissive liquid crystal display, Oblique field, Dielectric layer

1. 서론

최근 들어 액정 디스플레이(LCD) 시장의 급격한 성장에 힘입어 액정 디스플레이의 고질적인 문제점인 시야각 특성과 실제 칼라 재현성 및 응답속도를 개선하기 위한 연구가 활발해지면서 in-plane switching (IPS)[1,2], multi-domain vertical alignment (MVA)[3], fringe-field switching (FFS) [4,5] 모드 등이 개발되어 상용화 되고 있다.

하지만 시야각이나 실제 칼라 재현성은 어느 정도 그 특성이 기존 브라운관(CRT)의 성능에 뒤쳐지지 않으나 응답속도는 아직 동영상을 구현하기에는 충분하지 못하다. LCD-텔레비전에서 동영상을 표현하기 위해 필요로 하는 최소 응답속도는 일반적으로 15 ms이하이다[6]. 액정 디스플레이의 응답시간은 일반적으로 인가되는 전압의 세기, 액정 방향자의 동역학적 안정성, 탄성상수, 셀 갭 등에 직접적으로 의존한다. 현재 셀 구조 및 액정의

물성특성들을 최적화하여 액정의 응답속도를 개선하고자 하는 연구가 계속되고 있으며, 전압을 overdriving 하거나[7] 수직배향(VA) LCD에서의 초기 틸트 형성[8] 등을 위해 전압 인가 파형을 최적화 하는 방식이 제안되었다. 또한 액정 동력학 자체에서 고속응답 특성을 주는 새로운 액정 모드인 OCB(optically compensated bend)[9], OCS(optically compensated splay)[10] 기술 등이 개발되어졌다. 하지만 이러한 응답속도를 개선하는 새로운 방법들은 추가 부품이나 공정이 필요하여 공정상 생산 가격이 높아지고, OCB와 OCS는 각각 bend 형태 또는 splay 형태로의 액정 전이 시간이 필요하다는 문제점이 있다. 현재 상용화 되고 있는 액정 모드들은 일반적으로 네마틱 액정을 사용하고 있고, 네마틱 액정의 분자의 고유한 특성에 의해 빠른 응답속도를 표현한다는 것은 어려운 일이다. 광시야각 특성을 갖는 액정 모드들 중 IPS나 FFS는 twist 변형 특성과 상판에 전극이 없는 특성을 갖고 있기 때문에 응답속도 측면에서 다른 모드들에 비해 불리하다. 상판에 전극이 없기 때문에 셀 상부 쪽의 액정층은 전기장의 세기가 약해져 rise time이 느려지며, 탄성상수중 제일 작은 탄

1. 전북대학교 신소재공학부
(전북 전주시 덕진동 1가 664-14)
a. Corresponding Author : lsh1@chonbuk.ac.kr
접수일자 : 2005. 8. 24
심사완료 : 2005. 11. 7

성력 특성을 보여주는 트위스트 변형을 하기 때문에 decay time 또한 느리다. 또한 기존의 IPS나 FFS는 상판에 전극이 없는 관계로 편광판 부착 공정시 일어나는 정전기 방출이 용이 하지 못하다. 이를 개선하기 위하여 이면 투명도전막 ITO(indium-tin-oxide)가 증착된 유리기판을 사용하는데 액정셀 공정 중에 전극의 손상을 야기할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 IPS 셀 내부의 상판에 전극을 두어 응답속도를 개선시키는 방법을 개선 시켰으며, 수직전기장 형성에 의한 투과율 저하를 방지하기 위하여 상판 전극위에 유전층을 두어 수직전기장의 세기와 방향을 조정하였다.

2. 셀 구조 및 시뮬레이션 조건

일반적인 IPS모드는 액정층 하부의 기판에 형성되어진 화소전극과 공통전극에서 발생하는 in-plane field에 의해서 액정을 제어하는 방식이다. 편광판 두 장이 90°로 교차되고 그사이에 액정이 존재할 시의 IPS 모드의 광투과율 공식은 다음과 같이 고려될 수 있다.

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

여기서 ϕ 는 교차된 편광판의 투과축 중의 하나와 액정 방향자 사이에 이루는 각을 말한다. Δn 은 액정의 복굴절 값이고, λ 는 입사광의 파장을 말한다. 이 식에서 투과율이 최대가 되기 위해서는 ϕ 가 45° 이어야 하고 액정셀의 위상지연값($d\Delta n$)은 최소 $\lambda/2$ 값을 만족해야만 한다. IPS모드는 초기 교차된 편광판 중 하나의 광축을 액정의 초기 방향자와 일치시킴 의로써 이때는 ϕ 가 0° 이므로 위상지연이 발생되지 않으며, 전압 인가시 액정이 twist되고, 즉 ϕ 값이 증가하면서 위상지연이 발생하여 빛이 투과하게 된다.

본 연구에서의 상판에 전극이 있는 IPS모드의 셀은 그림 1과 같이 일반적인 IPS 모드의 액정층 상부 기판에 추가로 전극을 둔 것이며, 전극 상판의 전극은 전 영역에 전극이 존재하는 평면 전극을 사용하였다. 본 연구에서는 하부기판의 전극의 폭을 5 μm , 전극과 전극사이의 거리는 10 μm 로 두었으며, 유전율 이방성이 양인 액정을 사용하였다. 이 때 초기 IPS모드와 같이 어둠 상태를 나타내다가 전압 인가시 액정들의 twist로 인하여 빛이 투과하게 되는데, 이 때 전극 윗부분에서 야기되는 수직전기장으로 인하여 전극 윗부분의 액정들은

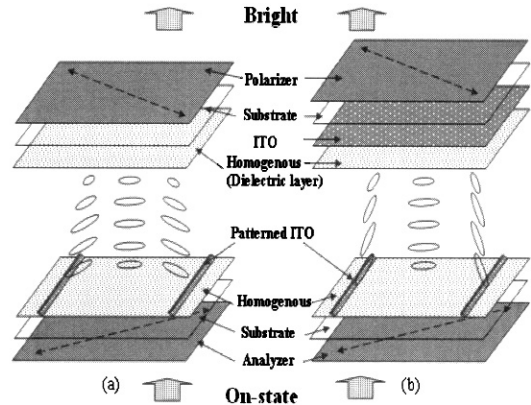


그림 1. (a) 기존의 IPS 셀과 (b) 상판에 전극이 있는 IPS 셀의 구조.

Fig. 1. Structure of (a) conventional IPS cell and (b) proposed IPS cell with upper electrode.

위 식에서와 같이 ϕ 가 0°에 가까워짐으로써 위상지연이 발생되지 않아 계속 어둠 상태를 나타낸다. 그래서 발생하는 수직 전기장을 경사지게 하기 위하여 상판의 투명전극 밑에 유전층을 형성 시켰으며, 유전층의 유전상수는 5로 하였다. 유전층의 두께는 각각 0.8, 1.6, 2.4, 3.2 μm 로 형성하여 전기광학 특성을 조사하였다.

시뮬레이션 조건을 보면, 액정셀은 수평 배향으로 두었고, 2°의 초기틸트각(Θ_0)을 형성하였다. 초기 어둠상태를 구현하기 위하여 수평 배향면의 액정 러빙방향이 수평전기장방향에 대해 80°를 이루도록 하였으며, 하부 편광판의 투과축 방향이 액정의 러빙 방향과 0°를 이루도록 하였고 상부편광판의 투과축은 하부 편광판 투과축과 90°를 이루고 있다. 액정의 ϵ_{11} 은 12, ϵ_{\perp} 은 3으로 유전율 이방성($\Delta\epsilon$)은 +9가 되며, 탄성 상수 K_{11} , K_{22} , K_{33} 값은 각각 13.2, 7.5, 15.1 pN 으로 두었다. 셀갭은 4 μm 로 고정하였으며 셀의 투과율을 최대화하기 위하여, 액정의 굴절율 이방성(Δn)을 조정하여 위상지연값($d\Delta n$)이 IPS셀은 0.32 μm , FFS셀은 0.36 μm 가 되게 하였다. 컴퓨터 시뮬레이션에서 투과율 계산은 2x2 Jones extended matrix 방법으로 계산하였다[11].

전압인가 방식은 하부 기판의 화소 전극과 공통전극에 극성을 달리하여 전압을 인가하는 방법을 채택하였고 상판의 전압은 0 V로 고정하였다. 아래 결과에서의 5 V는 화소전압과 공통전압에 각각 +2.5 V 와 -2.5 V가 인가되었음을 의미한다.

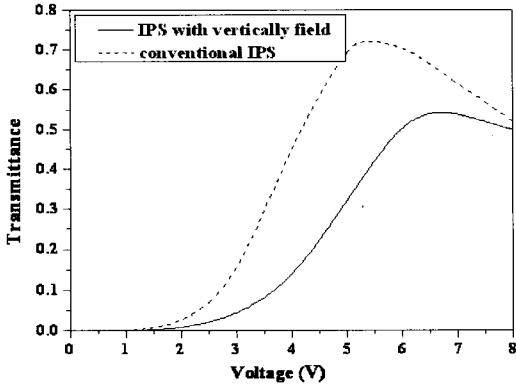


그림 2. 기존 IPS와 상판에 유전층 없이 전극만 존재하는 IPS 모드의 V-T curve.

Fig. 2. Voltage-dependent transmittance characteristics of conventional IPS mode and IPS mode including only upper electrode without dielectric.

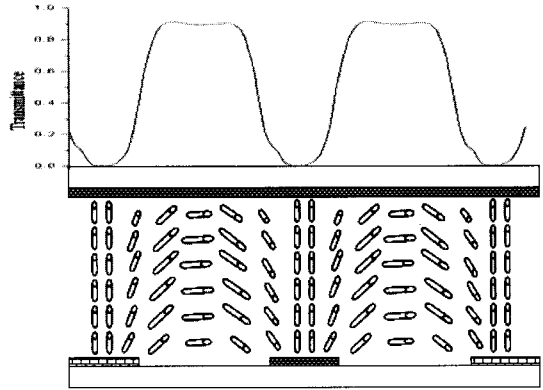


그림 3. 유전층 없이 전극만 존재하는 IPS 모드의 구동전압(6.5 v)에서의 투과율 및 액정 방향자 분포.

Fig. 3. Transmittance distribution and LC director distribution at a driving voltage (6.5 v) for the IPS cell including only upper electrode without dielectric.

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

그림 2는 유전층 이방성이 양인 액정을 사용한 기존의 IPS셀과 유전층 없이 상판에 전극만을 둔 IPS 셀의 전압에 따른 투과율 곡선이다. 기존의 IPS셀에서는 액정 방향자가 수평전기장에 의해 유전회전력을 받아 기판에 평행하게 회전하는데 전극사이에서는 액정이 충분히 회전하지만 전극위에서는, 전극 윗부분에서의 약한 수평전기장에 의해 액정의 twist가 적기 때문에 상대적으로 투과율이 좋지 못하다. 이러한 이유 때문에 그림 2에서 나타난 바와 같이 IPS셀의 광효율이 0.8을 넘지 못한다.

반면에 기존의 IPS에 비해 상판에 전극만을 둔 IPS의 구동전압은 5.5 v에서 6.5 v로 올라가며 투과율 또한 0.72에서 0.54로 현저하게 떨어지게 된다. 이것은 전극 윗부분에서 야기되는 수직전기장에 의해 수평 배열된 유전층 이방성이 양인 액정들이 twist 대신 수직전기장 방향으로 일어서려고 하기 때문에 투과율이 떨어진 것이며, 전체적으로 야기되어진 수직전기장 영역에 의하여 수평전기장 성분이 약해지므로 구동전압 역시 올라가게 된 것이다.

그림 3은 상판에 유전층 없이 전극만을 형성시킨 IPS 모드의 구동전압(6.5 v)에서의 투과율과 액정 방향자를 보여준다. 그림에서 보는 것과 같이 전극 윗부분에서의 액정들은 상하판 사이의 전위차에

의해 형성되어진 수직전기장에 의해 완전히 서 있게 되고 이로 인해 전극 윗부분의 액정들에 의해 발생되어지는 위상지연이 없기 때문에 투과율이 발생되지 않으며 어둡상태를 보여준다. 전극 edge 근처에서도 수평 전기장이 약하기 때문에 액정들이 twist 되지 못해 투과율은 떨어진다. 그림 2와 3에서 우리는 상판에 전극 형성시에 야기되는 수직전기장에 의해 수직으로 배열되어지는 액정으로 인한 투과율 저하를 볼 수 있었으며, 수평전기장의 형성이 투과율과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다.

위와 같은 문제점을 해결하고자, 상판의 전극 위에 유전층의 두께를 달리 형성시켰으며, 그림 4는 형성되어진 유전층의 두께 변화에 따른 전압 대비 투과율 곡선이다. 그림에서와 같이 유전층의 두께가 0 μm 에서 3.2 μm 로 변함에 따라 투과율과 구동전압도 각각 0.54, 6.5 v에서 0.67, 5.6 v로 변하게 되며 이는 기존의 IPS 모드의 투과율(0.72)과 구동전압(5.5 v)에 가까워지는 것을 알 수 있다. 또한 유전층의 두께에 따라 문턱전압과 구동전압이 달라지는 것을 알 수 있고, 상부전극에 유전층이 형성되지 않았을 때의 투과율보다 3.2 μm 의 유전층이 형성되었을 시에는 투과율이 24 % 증가된다.

그림 5는 유전층의 두께가 3.2 μm 일 때 구동전압(5.6 v)에서 투과율과 액정들의 방향자를 보여준

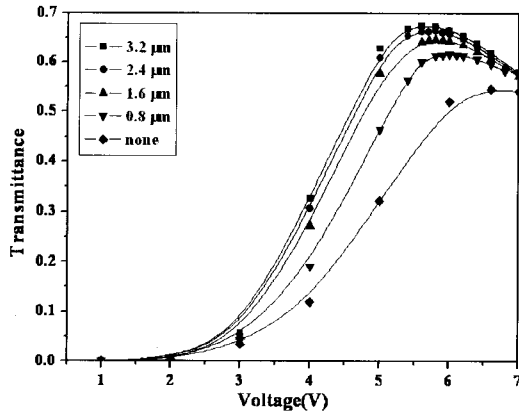


그림 4. 상판의 전극이 있는 IPS 모드의 유전층 두께 변화에 따른 V-T curve.

Fig. 4. Voltage-dependent transmittance characteristics of IPS mode including upper electrode by changed thickness of dielectric layer.

다. 전극만 형성되어진 것과는 달리 유전층이 존재함으로써 전극 윗부분에서 발생되던 수직전기장의 경사로 액정들을 트위스트 되게 하고, 그로 인해 투과율이 발생되어진다. 전극 edge 윗부분의 액정 방향자 또한 트위스트 되어서 투과율 곡선의 끝까지의 폭이 좁아졌고, 이는 전체적인 투과율 상승에 영향을 주었다. 여기서 상판 전극과 유전층 형성인 전극 중앙부분과 전극 모서리 부분의 액정 방향자와 투과율에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있으며, 전극과 전극 사이의 액정 방향자와 투과율에는 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

상판의 전극에 의해 수직전기장 성분이 강한 전극 중앙 부분과 전극 모서리부분의 전기장이 유전층 두께에 따라 어떻게 변하는지 자세히 알기 위해 셀의 수직거리(z)와 셀갭(d)의 비 z/d에 따른 액정 방향자 배열과 그에 따른 투과율 특성에 대해 좀 더 자세히 알아보았다. 그림 6은 구동전압에서의 전극 중앙 부분(A)의 유전층 두께에 따른 액정의 (a) twist와 (b) tilt 되는 정도를 보여준다. 유전층이 없을 시에는 셀의 수직층 위치에 관계없이 twist가 거의 발생하지 않고 tilt는 셀 중앙층에서도 80° 정도로 발생하여 액정광축이 편광자축과의 각도가 거의 없어 투과율이 발생되지 않는다는 것을 알 수 있다. 유전층의 두께가 0.8 μm에서 3.2 μm 로 변함에 따라 z/d의 0.2-0.8 사이에서 twist 되는 정도가 커지게 되고 tilt각은 유전층의 두께가

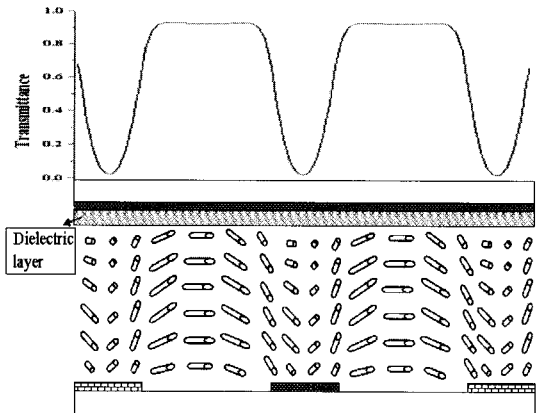


그림 5. 상판의 전극위에 유전층(3.2 μm)이 형성되어진 IPS 모드의 구동전압(5.6 v)액정에서의 방향자 분포와 투과율 곡선.

Fig. 5. Transmittance distribution and LC director distribution at a driving voltage(5.6 v) for the IPS cell including only upper electrode with dielectric thickness 3.2 μm.

3.2 μm 에 가까워짐에 따라 z/d의 0.45부근에서 20° 정도로 유전층을 사용하지 않을 경우의 80°에 비해 현저하게 감소함을 보여준다. 하지만 전극 중앙 부분에서 tilt 되는 정도에 비해 twist 되는 정도가 적기 때문에 투과율이 그리 많이 향상되지 않는 것을 알 수 있으며, 이는 기존 IPS셀이 갖고 있는 전극 중앙 부분의 투과율 특성을 잘 설명해 준다. 그림 7은 구동전압에서의 전극 모서리 부분(B)의 유전층 두께에 따른 액정의 (a) twist와 (b) tilt 되는 정도를 보여준다. 유전층이 없을 시에는 z/d의 0-0.2에서만 twist가 커졌다가 1에 가까워질수록 크게 감소하는 것을 알 수 있고 이는 충분치 못한 위상지연에 의해서 투과율이 좋지 못하다는 것을 알 수 있다. 유전층의 두께가 0.8 μm에서 3.2 μm 로 변함에 따라 twist각의 변화는 많은 차이가 없으나 tilt 되는 정도는 48° 에서 37°까지 더 작아짐으로써 투과율이 향상되는 것을 보여준다. 여기서 유전층의 두께가 액정 방향자의 tilt 와 twist 각에 큰 영향을 미치며, 이는 바로 투과율과 밀접하게 관련된다는 것을 잘 설명하고 있다.

액정의 rise time은 전기장의 세기에 밀접한 관련이 있다. 하지만, 기존의 IPS 모드는 전극이 하판에만 형성되므로 액정층 상부쪽의 전기장이 약하게 되어 액정에 강한 유전 토크(torque)를 주지 못하게 되므로 rise time이 느려지게 된다. Decay time 또한 액정의 탄성상수에 선형적으로 반비례

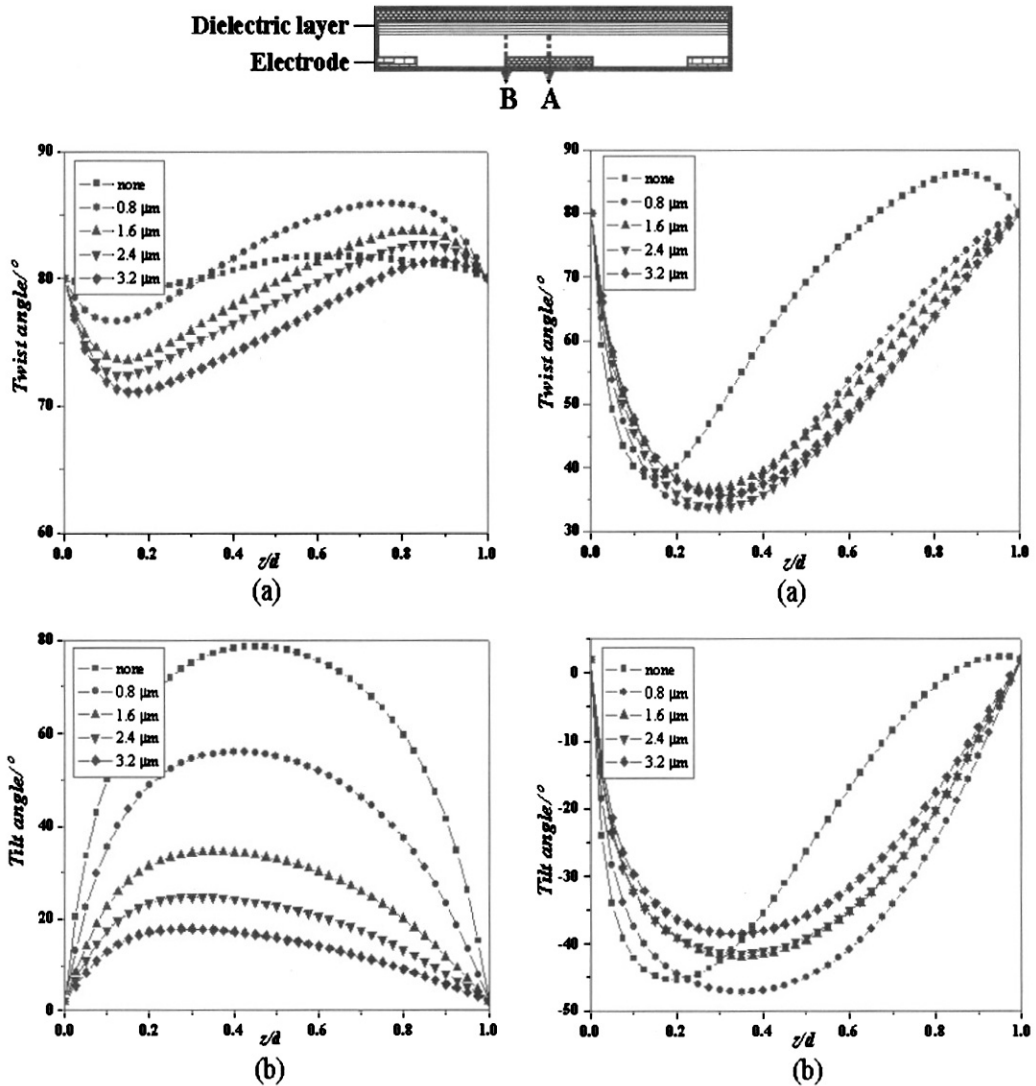


그림 6. 상판에 전극이 있는 IPS 모드의 유전층 두께 변화에 따른 전극 중앙 부분(A)에서의 액정의 (a) twist 및 (b) tilt 각 분포도.

Fig. 6. (a) Twist and (b) tilt angle distribution of the IPS cell including upper electrode at the center(A) of the electrode as a function of thickness of dielectric layer.

그림 7. 상판에 전극이 있는 IPS 모드의 유전층 두께 변화에 따른 전극 모서리 부분(B)에서의 액정의 (a) twist 및 (b) tilt 각 분포도.

Fig. 7. (a) Twist and (b) tilt angle distribution of the IPS cell including upper electrode at the edge(B) of the electrode as a function of thickness of dielectric layer.

하게 되는데, 그 중 twist 변형하는 IPS 모드는 탄성력 K_{22} 가 가장 작은 관계로 다른 변형 보다 decay time이 느려진다. 이렇게 기존의 IPS 모드는 응답속도 측면에서 불리한 조건을 갖고 있다. 표 1은 기존의 IPS모드와 상판에 전극을 둔 IPS모

드의 유전층 두께에 따른 응답속도를 변화를 보여 준다. 여기서 응답속도는 각 구조의 구동전압을 인가하고 off 하면서 90 %의 투과율을 변화하는 시간으로 정의 하였다.

표 1. 상판의 전극이 있는 IPS 모드의 유전층 두께에 따른 응답속도 특성.

Table 1. Response characteristics depend on the thickness of the dielectric layer IPS mode including upper electrode.

	$\tau_{on}(ms)$	$\tau_{off}(ms)$
IPS	30	30
3.2 μm	30	27
2.4 μm	27	27
1.6 μm	27	27
0.8 μm	26	26

상판에 전극을 형성 시킨 IPS 모드는 기존의 IPS 모드에 비해 rise, decay time 모두 빨라지는 것을 알 수 있다. 또한 형성되어진 상판 전극 위의 유전층의 두께가 얇아질수록 응답속도가 빨라지는 것을 볼 수 있다. 이는 유전층이 없으면 구동전압이 증가하고 전기장 세기도 강해져 rise time이 빨라지고 전압 off시 초기상태로 돌아올 때는 순수하게 twist 변형이 아닌 splay/bend 변형이 혼합되어 복원력이 크기 때문에 빨라지는 것으로 예상된다.

4. 결론

본 논문에서는 기존의 IPS 모드의 상판에 전극과 전극 위에 유전층을 형성시킨 IPS 모드의 전기광학 특성 변화를 알아보았다. 상판에 전극을 형성 시킬 경우 기존의 IPS모드보다 빠른 응답속도 특성을 보였으나 구동전압이 올라가고 투과율이 떨어지는 단점이 존재하였다. 하지만 전극위에 유전층을 형성시킴으로써 형성되는 경사 전기장을 이용한 액정의 제어로 수직전기장에 의한 투과율 저하와 구동전압의 상승을 감소 시켰다. 이와 같이 기존의 IPS 모드에 상판에 전극을 씌우므로 상판의 무전극으로 인해 발생하는 여러 문제점을 보완할 수 있을 것으로 예상된다. 하지만 기존의 IPS모드의 전압인가 방식과는 다른 방식으로 전압을 형성 하였으며, dual 구동 방법을 전제로 하고 있기 때문에 구동 방법에 대한 연구가 좀 더 필요하다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업 연구결과로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] M. Oh-E and K. Kondo, "Quantitative analysis of cell gap margin for uniform optical properties using In-plane switching of liquid crystals", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 36, p. 6798, 1997.
- [2] 김향울, 서대식, 남상희, "IPS셀의 전압보유율 및 잔류DC특성 연구", 전기전자재료학회논문지, 15권, 2호, p. 169, 2002.
- [3] A. Takeda, S. Kataoka, T. Sasaki, H. Chida, H. Tsuda, K. Ohmuro, and Y. Koike, "A super-high-image-quality multi-domain vertical alignment LCD by new rubbing-less technology", SID'98 Digest, p. 1077, 1998.
- [4] S. H. Lee, S. L. Lee, and H. Y. Kim, "High-transmittance, wide-viewing-angle liquid crystal display controlled by fringe-field switching", Asia Display'98, p. 371, 1998.
- [5] 김향울, 고재완, 노정동, 서대식, 이승희, "유전율 이방성이 음인 액정을 이용한 이중 도메인 FFS 모드의 전기광학 특성", 전기전자재료학회논문지, 15권, 1호, p. 720, 2002.
- [6] H. Take, "Technology Trends on Large Area LC- TVs", IDW'03, Digest, p. 227, 2003.
- [7] B. W. Lee, C. W. Park, S. G. Kim, M. B. Jeon, J. Heo, D. S. Sagong, J. S. Kim, and J. H. Souk", TFT-LCD with sub-10 ms of all gray response time", IDW'00, Digest, p. 1153, 2000.
- [8] K. Hanaoka, Y. NaKanishi, Y. Inoue, S. Tanuma, and Y. Koike, "A new MVA-LCD by polymer sustained alignment technology", SID '04 Digest, p. 1200, 2004.
- [9] P. J. Bos, P. A. Johnson, and R. Koehler/Beran, "A liquid crystal optical switching device(p-cell)", SID '83 digest paper, p. 30, 1983.
- [10] 김승재, 이종문, 이승희, "광학적 자기 보상 스플레이 구조를 갖는 새로운 액정 소자", 전기전자재료학회논문지, 17권, 5호, p. 536, 2004.
- [11] A. Lien, "Extended jones matrix representation for twisted nematic liquid crystal display at oblique incidence", Appl. Phys. Lett., Vol. 57, p. 2767, 1990.