

이중 주파수 액정을 적용한 액정 셔터의 고속 응답 특성

김대수¹, 한승환², 배 건¹, 전철규^{3,a}

¹ 호서대학교 디스플레이공학과

² (주)아이디

³ 호서대학교 그린에너지반도체공학과

Enhanced Electro-optical Characteristics of Liquid Crystal Shutter with a Dual Frequency Liquid Crystal Material

Dae Soo Kim¹, Seung Hwan Han², Geon Bae¹, and Chul Gyu Jhun³

¹ Department of Digital Display Engineering, Hoseo University, Asan 336-795, Korea

² R&D Center, Ideal Display, Seongnam 462-120, Korea

³ School of Green Energy & Semiconductor Engineering, Hoseo University, Asan 336-795, Korea

(Received November 1, 2013; Revised January 13, 2014; Accepted April 3, 2014)

Abstract: In this paper, by using a dual frequency liquid crystal material, we propose a liquid crystal device with a fast response characteristics. The dual frequency liquid crystal material has a positive dielectric anisotropy value at a low frequency. With a high frequency, the dielectric anisotropy becomes negative. Therefore, the relaxation process is governed by not only the elastic deformation, but also the dielectric interaction. The measured decay time and rise time were 0.88 ms and 0.33 ms, respectively.

Keywords: Liquid crystals, Liquid crystal display, Fast response time, Dual frequency liquid crystal

1. 서론

액정 디스플레이는 비발광형 디스플레이로, 액정분자의 배열에 따른 유효 위상지연 값에 따라 광학적 특성이 결정된다. 액정 분자의 기하학적 비대칭 구조로 인하여, 액정재료는 전기적으로는 유전율 이방성, 광학적으로는 굴절률 이방성의 성질을 가진다. 액정 분자에 전기장을 인가하면 유전 회전력 (dielectric torque)에 의하여 액정이 정렬되고, 액정의 정렬 방향에 따라 위

상지연 값이 변한다. 따라서 액정 디스플레이는 전기장으로 위상지연 값을 제어할 수 있는 광학 소자이다 [1-3]. 액정 분자에 전기장을 인가하거나, 인가된 전압을 제거함에 따라 액정분자가 회전하게 되는데, 점성유체의 회전에 의하여 광학적 특성이 제어되기 때문에 응답시간이 느린 단점이 있다. 최근 느린 응답 특성을 개선하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다 [4-6]. 본 연구에서는 이중 주파수 구동이 가능한 액정 재료를 적용한 액정 소자의 고속 응답 특성 구현에 대한 연구를 진행하였다.

a. Corresponding author; cgjhun@hoseo.edu

Copyright ©2014 KIEEME. All rights reserved.
 This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

2. 실험 방법

2.1 동작원리

2.1.1 TN 모드의 구조 및 동작 원리

일반적으로 사용되는 꼬인 네마틱 (twisted nematic, TN) 모드의 구조와 동작 원리를 그림 1에 나타내었다. 상부 기판과 하부 기판에 액정 분자가 기판에 평행하도록 배열시키고, 두 기판의 배열 방향이 90도가 되도록 하여 액정 분자가 90도로 꼬여있는 상태를 초기 상태로 제작한다. 편광판의 투과축은 상부와 하부 기판의 액정 분자 배열방향과 평행하고, 두 장의 편광판의 투과축이 서로 직교한 경우 normally white 모드로 제작된다.

편광판을 투과한 선편광된 빛의 편광방향은 액정 분자의 배열을 따라 모건 조건에 따라 편광방향이 90도로 회전하게 되어 상부 편광판을 통하여 빛이 투과되어 밝은 상태가 구현된다. 전압을 인가하게 되면, 액정 분자는 기판에 수직인 방향으로 정렬되고, 이때 액정층을 통과하는 빛은 편광상태의 변화 없이 액정층을 지나게 되어 상부 편광판에서 빛이 차단되어 어두운 상태가 구현된다. 인가한 전압을 제거하게 되면 액정은 탄성 복원력에 의하여 다시 원래의 꼬인 상태로 되돌아간다.

2.1.2 TN 모드의 응답 특성

TN 모드의 응답 특성은 다음과 같이 표현된다 [7].

$$t_{on} = \frac{\gamma d^2}{\epsilon_0 |\Delta\epsilon| V^2 - \pi^2 K} \tag{1}$$

$$t_{off} = \frac{r_1 d^2}{\pi^2 K} \tag{2}$$

$$K = K_{11} \frac{K_{33} - 2K_{22}}{4} \tag{3}$$

액정의 회전점성계수 (γ)와 액정의 셀갭 (d)이 작을수록, 유전율 이방성 ($\Delta\epsilon$)과 인가전압 (V)이 클수록 turn on 시간은 빨라진다.

Turn off 시간의 경우, 액정의 회전점성계수 (γ)와 액정의 셀갭 (d)이 작을수록, 액정의 탄성계수가 클수록 응답시간이 빨라진다.

Turn on 시간의 경우는 외부에서 인가해준 전압에 의하여 조절 가능하지만, turn off 시간의 경우, 액정 셀의 구조 및 액정의 고유한 물성에 의하여 결정되기 때문에 turn off 시간은 제어할 수 없다. TN 모드의 경우, 외부에서 인가한 전압을 갑자기 제거하게 되면, kick back 현상에 의해 optical bouncing 현상이 나타나는데, optical bouncing 현상도 응답 특성을 지연시킨다 [8,9].

2.1.3 이중 주파수 구동 액정의 유전율 이방성

이중 주파수 구동 액정 (dual frequency liquid crystal)의 유전율 이방성 특성은 인가한 전압의 주파수에 따라서 유전율 이방성이 양에서 음으로 바뀐다. 따라서 이중 주파수 구동 액정을 이용하여 TN 모드를 제작하는 경우, 인가전압을 제거하여 액정의 고유의 물성에 의하여 초기 상태로 복원되는 일반적인 TN 모드와는 달리, 인가한 전압의 주파수에 의하여 on 상태와 off 상태를 제어할 수 있다. 다시 말하면 인가된 전압의 주파수에 따라 유전율 이방성이 바뀌기 때문에 turn on 시간과 turn off 시간 모두 전기장을 인가하여 구동시킴으로써 응답 특성을 개선할 수 있다 [10,11].

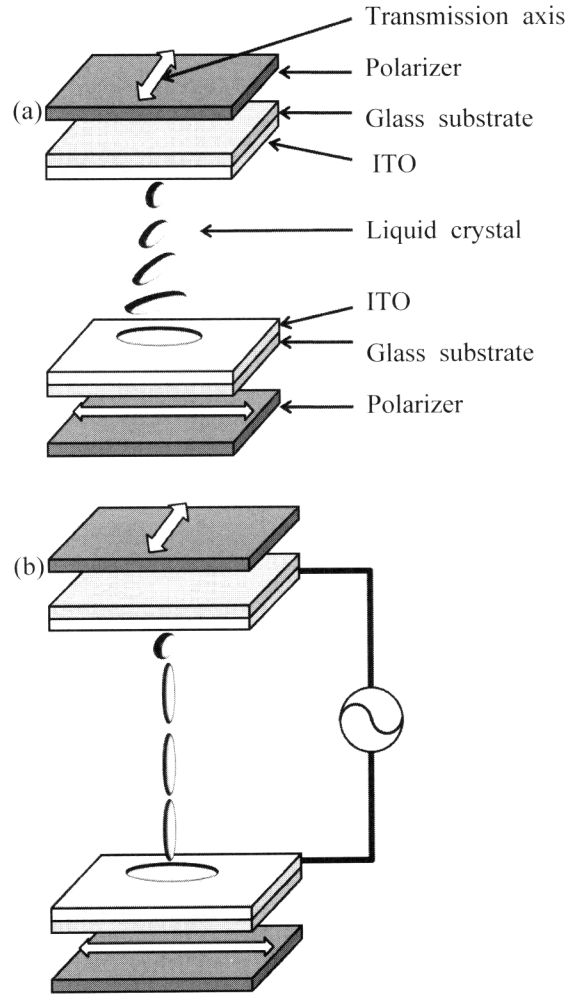


Fig. 1. Operational principle of TN mode. (a) without applied voltage and (b) with applied voltage.

2.2 소자 제작

2.2.1 DFLL를 적용한 TN cell의 광학구조 최적화

TN cell의 투과율이 최대가 되는 조건은 다음과 같다 [12].

$$\sqrt{1 + \left(\frac{2\Delta nd}{\lambda}\right)^2} = 2, 4, 6, \dots \quad (4)$$

$$\frac{\Delta nd}{\lambda} = \frac{\sqrt{3}}{2}, \frac{\sqrt{15}}{2}, \frac{\sqrt{35}}{2}, \dots \quad (5)$$

DFLL의 굴절율 이방성(Δn) 값이 0.2214이고, 설계 파장(λ)의 기준값을 550 nm로 하면, first maximum 조건에서 $\sqrt{3}/2$ 값을 만족하는 셀갭 (d)의 값은 다음의 식과 같이 계산된다.

$$d = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\lambda}{\Delta n} \quad (6)$$

식(6)으로 부터 최적의 cell gap은 약 2.3 μm 가 되는 것을 알 수 있다.

2.2.2 DFLL를 적용한 TN cell의 제작

ITO가 코팅된 유리기판 위에 수평배향막을 스프인코팅하고, 액정 배향을 위해 러빙을 실시하였다. 배향막은 선경 사각이 약 5도로 알려져 있는 JSL사의 AL22620을 사용하였다. 2.25 μm 의 직경을 가지는 스페이서를 이용하여 셀갭을 유지하였다. 초기 액정의 꼬임 상태를 유도하기 위하여 러빙 방향이 서로 수직이 되도록 두 장의 기판을 합착한 다음, 액정을 주입하였다. 실험에 사용된 액정은 이중 주파수 구동이 가능한 액정 (MLC-2048, Merck Co.)을 사용하였다. 실험에 사용된 액정의 유전율 이방성의 부호가 바뀌는 임계 주파수는 23 kHz로 알려져 있으며, 1 kHz의 주파수를 가진 전압을 인가한 경우, 유전율 이방성 값이 3.2의 값을 가지지만, 50 kHz의 주파수를 가진 전압을 인가하는 경우 유전율 이방성 값이 -3.1의 값을 가진다. 편광판의 투과축이 기판의 러빙방향과 일치하도록 하여 두 장의 편광판의 투과축이 직교하도록 편광판을 기판에 부착하였다.

3. 결과 및 고찰

제작된 셀의 전압에 따른 투과율 특성을 측정하여

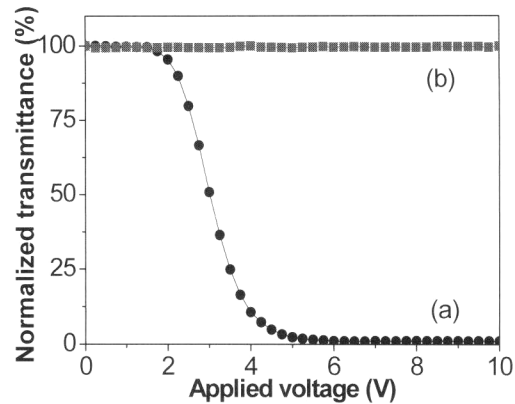


Fig. 2. V-T curve of TN cell fabricated by DFLL. (a) with 1 kHz and (b) with 50 kHz.

그림 2에 나타내었다. 인가한 전압의 주파수에 따라 액정의 유전율 이방성 값이 달라지기 때문에 1 kHz의 주파수와 50 kHz의 주파수를 사용하여 측정하였다. 1 kHz에서는 양의 유전율 이방성 값을 가져, 액정 분자가 전기장 방향에 평행하게 배열되기 때문에 약 5 V의 전압을 인가하여 어두운 상태를 구현할 수 있었다. 50 kHz의 주파수를 인가하는 경우, 유전율 이방성 값이 음의 값을 가져 액정 분자가 전기장 방향에 수직하게 정렬하고 있는 초기상태가 안정한 상태이기 때문에 전압에 따른 투과 특성의 변화가 없음을 확인할 수 있다.

이중 주파수 구동 액정을 사용한 액정 소자의 응답 특성을 측정하여 그림 3에 나타내었다. 그림 3(a)는 1 kHz의 주파수를 가지는 10 V의 전압을 인가하였을 경우의 decay time을 나타낸다. 투과율이 높은 초기 상태에 전압이 인가되는 순간 곧바로 투과율이 감소하였으며, 투과율이 90%에서 10%로 감소하는데 걸리는 시간은 0.88 ms로 측정되었다. 액정의 탄성 복원력에 의한 rise time 특성을 측정한 결과를 그림 3(b)에 나타내었다. 인가한 전압을 제거하는 순간 optical bouncing 현상이 나타났으며, 투과율이 10%에서 90%로 증가하는데 걸리는 시간은 6 ms로 측정되었다.

본 연구에서 제안하는 이중 주파수 구동방식으로 rise time을 측정하여 그림 3(c)에 나타내었다. 스위칭을 위해 50 kHz의 주파수를 가지는 10 V의 전압을 인가하여 0.33 ms의 빠른 응답시간을 구현할 수 있었다.

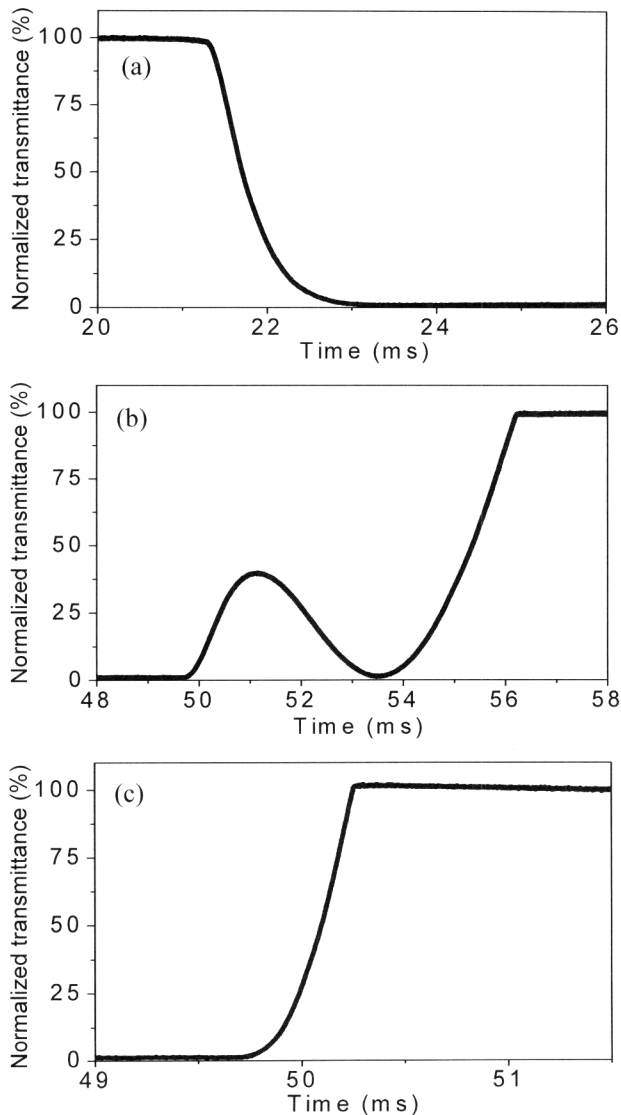


Fig. 3. Response time of TN cell fabricated by DFCL. (a) decay time under 10 V with 1 kHz, (b) rise time by removing applied voltage, and, (c) rise time under 10 V with 50 kHz.

새로운 구동 기법을 적용하여 rise time을 6 ms에서 0.33 ms로 개선하였다. 또한, decay time인 0.88 ms 보다 빠른 응답 특성을 보였다. Decay 스위칭의 경우, Normally white mode의 일반적인 액정 소자와 같이 유전 회전력에 의하여 액정 분자들이 회전하지만, 이중 주파수 구동이 가능한 액정 소자의 rise 스위칭 과정의 경우, 유전 회전력과 탄성 복원력이 함께 작용하여 액정의 응답시간이 단축되었다.

4. 결론

우리는 이중 주파수 구동 액정을 적용한 고속 응답 액정 소자를 제안하였다. 일반적인 액정의 동작에서는 전압을 인가하는 경우, 유전 회전력에 의하여 액정 분자가 회전하고, 인가한 전압을 제거하는 경우, 탄성 복원력에 의하여 액정 분자들이 초기 상태로 되 돌아온다. 완화 과정 (relaxation process)의 경우, 액정 물성 및 액정 셀의 고유 특성에 의하여 의존하여 제어할 수가 없다. 본 연구에서 제안하는 이중 주파수 구동의 액정의 경우, 인가한 주파수에 따라서 유전율 이방성 값이 양에서 음으로 바뀌기 때문에, falling time과 rising time을 모두 전압으로 제어할 수 있다. 특히, rising time의 경우, 유전 회전력과 탄성 복원력이 함께 작용하여 응답시간이 0.33 ms인 고속 응답의 액정 소자를 구현하였다. 이러한 고속 응답 액정 서터를 안경 방식의 입체 디스플레이 기술에 적용한다면 휘도 향상과 입체 cross talk의 감소로 입체 영상의 화질을 개선할 수 있다.

REFERENCES

- [1] P. J. Collings, *Liquid Crystals* (Princeton University Press, 1990)
- [2] P. G. de Gennes and J. Prost, *The Physics of Liquid Crystals* (Oxford University Press, 1995)
- [3] B. Bahadur, *Liquid Crystals Applications and Uses* (World Scientific, 1990)
- [4] T. Miyama, J. Thisayukta, H. Shiraki, Y. Sakai, Y. Shiraishi, N. Toshima, and S. Kobayashi, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **43**, 2580 (2004).
- [5] J. L. West, G. Zhang, A. Glushchenko, and Y. Reznikov, *Appl. Phys. Lett.*, **86**, 031111 (2005).
- [6] C. Y. Xiang, J. X. Guo, X. W. Sun, X. J. Yin, and G. J. Qi, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **42**, L763 (2003).
- [7] I. C. Khoo and S. T. Wu (World Scientific, 1993)
- [8] D. W. Berreman, *J. Appl. Phys.*, **46**, 3746 (1975).
- [9] C. Z. van Doorn, *J. Appl. Phys.*, **46**, 3738 (1975).
- [10] Y. Yin, S. V. Shiyonovskii, A. B. Golovin, and O. D. Lavrentovich, *Phys. Rev. Lett.*, **95**, 087801 (2005).
- [11] A. B. Golovin, S. V. Shiyonovskii, and O. D. Labrentovich, *Appl. Phys. Lett.*, **83**, 3864 (2003).
- [12] C. H. Gooch and H. A. Tarry, *J. Phys. D.:Appl. Phys.*, **8**, 1575 (1975).