

Two-Band 광배향 기법을 이용하여 IPS 액정 셀의 응답 시간 개선

이 인호*, 권 대영*, 문 병준*, 이 기동*

* 동아대학교 전자공학과

High Speed In-plane Switching Liquid Crystal Cell using Two-Band Ultra-violet Exposure Method

In ho Lee*, Dae-Young Gwon*, Byung-Jun Mun*, Gi-Dong Lee*

* Department of Electronics Engineering, Dong-A University, Busan, 604-714, South
Korea

E-mail: rinno0322@gmail.com

요 약

본 논문에서는 액정 셀의 응답 속도를 개선하기 위하여 광배향층 내에 반응성 액정 단량체 (RM)를 혼합하고 Two-Band 특성의 UV 노출 기법을 이용하여 표면 고정 에너지를 개선하였다. 제안된 Two-Band UV 노출 기법은 340nm 이상의 장파장 밴드와 254nm의 단파장 밴드를 이용하여 RM과 광배향층의 광중합 형성을 각각 수행하였고 강한 고정에너지 특성과 배향 특성을 함께 만족 하였다. 또한, In-plane switching (IPS) 액정 셀 제작을 통해 응답시간을 측정하였고 기존 광배향 기법과 비교함으로써 응답시간이 22% 이상 개선되었음을 확인 하였다.

I. 서 론

오늘날 디스플레이 기술을 대표하는 액정디스플레이의 영상품질은 Twisted Nematic(TN) ahe[1-2], in-plane switching (IPS) mode [3-4], the fringe-field switching (FFS) mode [6-7], the patterned vertical alignment (PVA) mode [8-9], the multi-domain VA (MVA) mode [10-11] 등의 액정 모드 개발에 힘입어 나날이 발전하고 있다. 예를 들어 이러한 우수한 액정 모드 발전에도 불구하고, 액정표시장치에 대한 현재의 기술은 여전히, 해상도, 시야각, 휘도, 응답시간 등을 포함하는 영상

품질 성능 향상을 이루기 위해 필요하다. 액정디스플레이와 경쟁적으로 성장 중인 유기 발광 다이오드(OLED)의 경우는 여러 영상품질 성능 중 응답시간 부분에서 유기 소자 자체가 빠른 응답속도를 가지기 때문에 액정디스플레이의 느린 응답시간으로 인해 발생하는 motionblur현상과 color break-up을 극복할 수 있다고 알려져 있다. 액정표시장치에서 응답시간에 영향을 미치는 중요한 변수는 소자의 cell gap, 유전율 이방성, 점도 및 액정의 탄성상수이다. 종전의 연구는 액정표시장치의 고속응답을 최적화하기 위해 수행되었다[12]. 하지만 현재 액정표시장치의 고속응답을 위한 연구는 액정 배향층의 표면 고정에너지인 표면고정에너지에 초점을 맞추고 있다. 배향막의 강한 표면 고정에너지가 액정 분자의 동적 거동에 큰 영향을 미치기 때문이다[13].

최근에 배향막의 표면고정에너지를 높이기 위해 자외선(Ultra-violet) 반응성 액정 단량체(RM)를 혼합하는 연구가 있었다. 여기서 RM은 액정분자와 강한 상호 결합을 유도할 수 있다. 따라서, 반응성 액정 단량체가 혼합된 배향막 표면이 액정층 사이에서 강한 고분자 네트워크를 형성하여 표면 고정 에너지를 향상시킬 수 있다. 특히, 러빙 배향층 내에 반응성 액정 단량체를 혼합하여 표면고정에너지를 개선한 다수의 연구결과가 발표되었다[14]. 그러나, 기계적 접촉을 이용한 러빙 배향층은 균일한 액정 분자 배열을 얻기 어렵고, 정전기 및 먼지 등의 오염에도 쉽게 노출될 수 있다. 뿐만 아니라 광시야각

을 위한 멀티 도메인 구조 형성도 어려움이 있다. 따라서, 러빙 배향층의 문제를 극복하기 위해 UV 노출을 이용한 광배향 기법 연구가 필요하다 [16]. 그러나 광배향층은 러빙 배향층의 단점을 극복할 수 있음에도 불구하고 약한 표면 고정에너지로 인하여 액정 셀의 응답시간이 다소 느려지는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 Two-Band 특성의 UV 노출 기법을 이용하여 반응성 액정 단량체-광배향 혼합물층의 표면 고정 에너지를 개선하고 IPS 액정 셀의 응답시간을 향상 시켰다. 제안 된 Two-Band UV 노출 기법은 1차 UV 조사 시에 340nm 이상의 장파장 밴드를 이용하여 광배향층 내에 혼합된 반응성 액정 단량체의 고분자 네트워크를 형성하고 2차 UV 조사 시에 254nm의 단파장 밴드를 이용하여 광배향층 표면의 order parameter를 형성 시켜 표면 고정 에너지를 개선 시켰다. 제안 된 광배향 기법을 이용한 IPS 액정 셀을 제작하고 응답시간을 측정하여 성능을 증명 하였다.

II. 본 론

우리는 Rapini-Papoular 모델 표면 운동방정식의 모델의 한정된 값을 갖는 경우, 구동 셀의 상승시간 및 하강시간의 합산에 의해 정의 된 응답시간으로 표면고정에너지가 응답시간에 크게 의존하는 것을 증명 할 수 있다[15].

$$\tau = \frac{\gamma}{\epsilon_0 |\Delta\epsilon E^2 - 2/d|} \quad (1-a)$$

$$ff = \frac{\gamma d}{d/K_{22} + 2) W} \quad \frac{\gamma d}{2 W} \quad (1-b)$$

이 방정식 에서 γ 는 rotational viscosity 이고, K_{22} 는 twist elastic constant, $\Delta\epsilon^2$ 는 electric field energy density 그리고 $\Delta\epsilon$ 는 액정 dielectric anisotropy 이며, 마지막으로 d 는 cell gap 이다. 식 (1) 에서, 응답시간이 W 에 반비례하는 것을 볼 수 있으며 여기서 우리는 강한 표면고정에너지가 고속 액정디스플레이 를 만들 수 있음을 알 수 있다. 우리는 광배향막의 표면 고정에너지를 개선하기 위해 광배향제에 Reactive mesogen(RM)을 혼합하였다. 그러나 이때 RM 과 광배향제가 동시에 UV 노광으로 인해 화학구조가 변경되므로 RM 의 광중합 및 광배향제의 배향과정의 중첩이 일어난다 그러므로

본 연구에서는 RM 과 광배향제의 반응과장대역을 분리하는 파장대역 분리법을 제안하였다. Fig. 1(a) 는 실험에 사용된 IPS-LC cell 의 단면도 이다. Indium-tin-oxide (ITO) common 전극 과 pixel 전극은 각각 $10\mu\text{m}$ 의 두께 이며 이 둘 사이의 거리는 $30\mu\text{m}$ 로 구성되었다. 그리고 cell gap 은 $3.2\mu\text{m}$ 로 일정하게 고정하였다. Fig. 1(b)는 spincoating 과정이다. 광배향제(Nissan Chemical Co., Japan, RN-1322)에 혼합된 RM(Merck, Germany)과 photo-initiator(Ciba, Darocur TPO)의 각 각 혼합 비율은 0.05:4.2wt% 이다. 우리는 혼합액을 80°C 를 유지

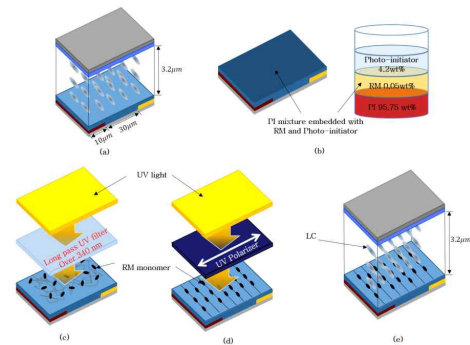


Figure 1. Fabrication process of the double UV exposure method with a separated bandwidth to achieve strong anchoring energy of the photo-alignment layer.

1 시간 교반 하였으며, RM 의 반응 과장대역은 광 배향제의 파장대역과 분리 시키기 위해 340nm 이상 파장대역 에서 반응하도록 설계하였다. 그 후 혼합 액을 1100rpm 에서 15s 그리고 4000rpm 에서 45s spin-coating 하였고 80°C 에서 5min 간 pre-bake 그리고 230°C 에서 20min 간 hard bake 하였다. RM 의 화학적 반응을 유도 하기위해 우리는 UV long pass filter 를 사용하여 340nm 이상의 장을 가지는 UV 를 80s 간 $15\text{mW}/\text{cm}^2$ 의 intensity 로 조사 하였으며(Fig. 1(c)), 그 후 광배향막의 배향을 유도하기 위해 UV long pass filter 를 제거한 후 240nm 부터 400nm 파장 대역까지의 UV를 조사하였다. 우리는 제조공정에 파장대역 분리법을 사용하여, 화학적 중첩반응을 피해 강한 표면고정에너지를 얻었다. 그 이후에, 두 기판은 $3.2\mu\text{m}$ 의 cell gap 을 가지게 합착하였고. 최종적으로, 액정을 주입하였다.(Merck, Germany, MLC-7037)($\Delta\epsilon = 5$, $\Delta n = 0.1144$, $K_{11} = 12.3 \text{ pN}$, $K_{22} = 6 \text{ pN}$, and $K_{33} = 13.25 \text{ pN}$) (Fig. 2(e)).

III. 결과

Fig 2. 는 일반적인 광배향 기법을 이용한 광배향층과 제안된 광배향 기법을 이용한 RM-광배향 혼합물 층의 표면고정에너지를 측정된 결과이다. 표면고정에너지 (A)는 torque balance method 로 측정되며 이때 twisted nematic(TN) 액정 셀을 이용하여 측정한다[17].

$$2K_2 \times \left\{ \phi_r - \left(2\pi \times \frac{d}{p} \right) \right\} \cdot \phi_r = \phi_r - 2\Delta\phi \quad (2)$$

$$d \times \sin 2\Delta\phi$$

이때 ϕ_r 는 angle between two alignment angles 이며 ϕ_r 는 actual twist angle 그리고 p 는 액정의 pitch 이다. 본 실험에서는 ϕ_r 를 30° 로 설정하였고 p 를 12 μm 로 설정 하였다. Fig 2. 에있는 3 가지 곡선은 각각 cell gap 을 2.7 μm , 3.2 μm , 3.7 μm 로 설정하고 표면고정에너지를 측정하였을 때 나타나는 결과를 고시한 것이다.

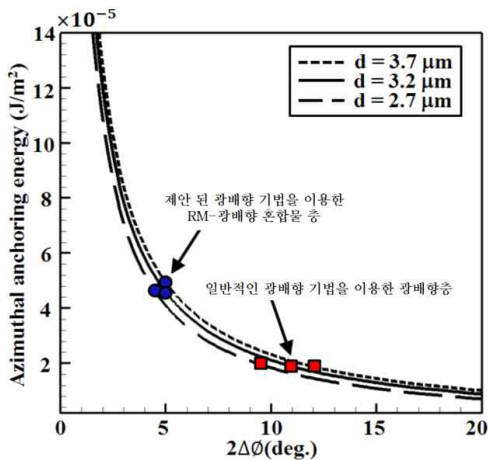


Figure 2. Comparison of the measured azimuthal anchoring energy. the pure photo-sensitive polymer materials and the proposed photo-sensitive polymer with embedded RMs.

Fig. 2 에서 우리는 pure photo-sensitive PI layer(P-PI) 와 제안된 photosensitive PI with an embedded RM layer(E-PI)의 표면 고정에너지를 알 수 있다. P-PI 의 경우 $2\Delta\phi$ 는 9.5°~12.0°에서 분포 하였고 E-PI 의 경우 $2\Delta\phi$ 는 4.5°~5.0°에서 분포 하였다. 이는 P-PI 의 표면고정에너지는 $1.887 \times 10^{-5} \text{ J/m}^2$ 로 나타났고 EPI 는 $4.581 \times 10^{-5} \text{ J/m}^2$ 로 나타나 약 2.5 배 이상의 표면에너지 증가가 있음을 알 수 있다. 이는 E-PI 의 혼합

되어있는 RM 이 표면 에너지를 증가시켰기 때문이다.

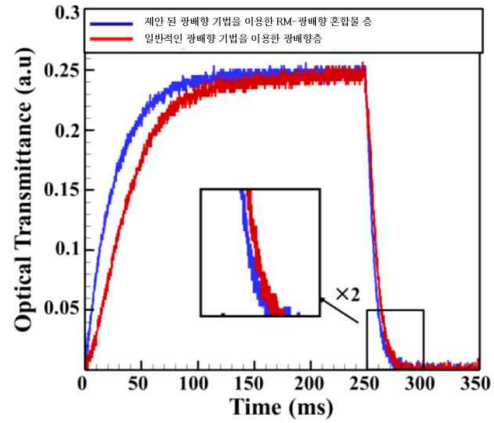


Figure 3. The measured optical response time of the IPS LC mode: the pure photo-sensitive polymer materials and the proposed photo-sensitive polymer with embedded RMs

Fig. 3.는 P-PI 와 E-PI 의 IPS mode LC cell 의 응답시간을 나타내는 그래프이다. P-PI 의 경우 69.34 ms 의 상승시간 17.14ms 의 하강시간을 나타내었으며 총 응답시간은 86.48ms 이다. 이때 최대 투과율 전압은 13V 이다. E-PI 의 경우 45.89 ms 의 상승시간 10.71ms 의 하강시간을 나타내었으며 총 응답시간은 56.60ms 이다. 이때 최대 투과율 전압은 16.5V 이다.

IV. 결론

결론적으로, 제안된 광배향 기법을 이용한 RM-광배향 혼합물의 응답시간은 기존 광배향 기법에 대비하여 약 22.3% 개선되었음을 확인할 수 있다. 따라서, 본 논문에서 제안된 Two-Band UV 노출 기법은 다양한 액정 모드에서 빠른 응답 속도를 제공할 수 있다.

감사의 글

This work was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2015R1D1A3A03020569)

참고 문헌

- [1] M. Schadt, and W. Helfrich, "Voltage-dependent optical activity of a twisted nematic liquid crystal," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 18, no. 4, pp. 127-128 (1971).
- [2] S.-T. Wu, U. Efron, and L. D. Hess, "Optical rotatory power of 90 twisted nematic liquid crystal," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 44, no. 9, pp. 842-844 (1984).
- [3] 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, no. 11, pp. 6798-6803 (1997).
- [4] T. Satake, T. Nishioka, T. Saito, and T. Kurata, "Electrooptical study of an in-plane switching mode using a uniaxial medium model," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 40, no. 1, pp. 195-199 (2001).
- [5] 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. 73, no. 20, pp. 2881-2883 (1998).
- [6] S. H. Lee, S. S. Bhattacharyya, H. S. Jin, and K.-U. Jeong, "Devices and materials for high-performance mobile liquid crystal displays," *J. Mater. Chem.*, vol. 22, no. 24, pp. 11893-11903 (2012).
- [7] K. H. Kim, K. H. Lee, S. B. Park, J. K. Song, S. N. Kim, and J. H. Souk, "Domain divided vertical alignment mode with optimized fringe field effect," in *The 18th International Display Research Conference Asia Display (Society for Information Display)*, pp. 383-386 (1998).
- [8] B.-J. Mun, T. Y. Jin, G.-D. Lee, Y. J. Lim, and S. H. Lee, "Optical approach to improve the gamma curve in a vertical-alignment liquid-crystal cell," *Opt. Letters*, vol. 38, pp. 799-801 (2013).
- [9] Y. W. Zhang, S. J. Xu, and C.-H. Chiu, "Vertical selfalignment of quantum dots in superlattice," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 71, no. 13, pp. 1809-1811 (1999).
- [10] A. Takeda, S. Kataoka, T. Sasaki, H. Chida, H. Tsuda, K. Ohmuro, T. Sasabayashi, Y. Koike, and K. Okamoto, "A super-high-image-quality multi-domain vertical alignment LCD by new rubbing-less technology," *SID Symposium Digest of Technical Papers*, vol. 29, pp. 1077-1080 (1998).
- [11] S. T. Wu, and D. K. Yang, *Reflective liquid crystal display* (Wiley, New York, 2001).
- [12] X. Nie, R. Lu, H. Xianyu, T. Wu, and S.-T. Wu, "Anchoring energy and cell gap effects on liquid crystal response time," *J. Appl. Phys.*, vol. 101, no. 10, pp. 103110 (2007).
- [13] M. Escuti, C. Bowley, G. Crawford, and S. Zumer, "Enhanced dynamic response of the in-plane switching liquid crystal display mode through polymer stabilization," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 75, no. 21, pp. 3264-3266 (1999).
- [14] Y. Kim, Y.-J. Lee, D.-H. Kim, J.-H. Baek, J.-H. Lee, B.-K. Kim, C.-J. Yu, and J.-H. Kim, "Fast response time of fringe-field switching liquid crystal mode devices with reactive mesogens in a planar alignment layer," *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 46, pp. 485306 (2013).
- [15] J.-H. Kim, and S. Kumar, "Alignment of liquid crystals on polyimide films exposed to ultraviolet light," *Phys. Rev. E*, vol. 57, no. 5, pp. 5644-5650 (1998).
- [16] M. Jiang, Z. Wang, R. Sun, K. Ma, R. Ma, and X. Huang, "Method of studying surface torsional anchoring of nematic liquid crystal," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 33, pp. L1242-1244 (1994).