

폴리머 네트워크가 형성된 TN 액정셀의 고속응답 특성

진혜정 · 김기한 · 백종인 · 김재창 · 윤태훈[†]

부산대학교 전자전기공학부

☎ 609-735 부산광역시 금정구 장전동 산 30번지

(2010년 3월 19일 받음, 2010년 4월 7일 수정본 받음, 2010년 4월 8일 게재 확정)

본 논문에서는 광학적으로 비등방성인 폴리머를 이용하여 90° TN(Twisted Nematic) 액정셀의 응답시간을 향상시키는 방법을 제안하였다. 액정과 비등방성 폴리머를 일정 비율로 혼합하여 TN 액정셀에 주입한 뒤 UV를 조사하여 폴리머 네트워크를 형성시킴으로써 투과율에 영향을 주지 않고 응답시간을 향상시킬 수 있다. 폴리머 네트워크가 형성되지 않은 TN 액정셀의 turn-off 시간이 16 ms인데 반해 제안된 방법에서는 액정과 비등방성 폴리머의 혼합 비율이 3, 5, 10 wt%로 증가할 때 12, 11, 9 ms로 고속 turn-off가 구현될 수 있다. 또한, turn-off 동작 시 TN 액정셀에서 발생하였던 delay time과 backflow가 폴리머 네트워크의 형성에 의해 크게 개선됨을 확인하였다.

Fast Switching of a Polymer-networked Twisted Nematic Liquid Crystal Cell

Hye-Jung Jin, Ki-Han Kim, Jong-In Baek, Jae Chang Kim, and Tae-Hoon Yoon[†]

School of Electrical Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

(Received March 19, 2010; Revised manuscript April 7, 2010; Accepted April 8, 2010)

We propose a method to enhance the response time of a twisted nematic liquid crystal (TN-LC) cell using an anisotropic polymer. Polymer networks are formed by the phase separation between a LC and a UV-curable polymer. A TN-LC cell is exposed to UV light after the mixture of LC and anisotropic polymer is injected into the TN-LC cell. As a result, turn-off time of a TN-LC cell can be decreased remarkably without any loss of the transmittance. The turn-off time of a TN-LC cell with pure LC was 16 ms, but those of polymer networked TN-LC cells were 12, 11, and 9 ms when the concentration of the polymer was 3, 5, and 10 wt%, respectively. Moreover, by virtue of the polymer network, the backflow effect and the delay time generated during the turn-off process disappeared.

Keywords: Twisted nematic, Liquid crystal display, Polymer network, Fast response

OCIS codes: (120.2040) Displays; (230.3720) Liquid-crystal devices

I. 서 론

액정표시소자(liquid crystal display: LCD)는 저 소비전력, 경량, 박형 등의 장점으로 휴대폰, PDA 등의 소형기기에서부터 모니터, TV와 같은 대형기기에까지 널리 사용되고 있다. 나아가 더욱더 우수한 화질을 구현할 수 있는 디스플레이가 요구되고 있어 액정표시소자는 광시야각, 높은 명암비, 고속응답특성 등이 요구된다. 최근에는 이러한 특성 중 복잡한 정보를 생동감있게 표현하기 위해 동화상의 구현이 중요시되어, 액정표시소자의 고속응답특성이 매우 중요하다. 그러나, 액정표시소자는 점성을 갖는 액정의 전기광학효과를

이용하여 동작하므로 제한된 응답특성을 나타내어 현재까지 큰 문제로 부각되고 있다.

액정의 응답특성은 전계 인가 시의 turn-on 시간과 전계 제거 시의 turn-off 시간으로 크게 나눌 수 있다.^[1, 2] 이 중 turn-on 시간의 경우에는 인가한 전압의 크기에 따라 제어할 수 있으므로 오버드라이빙 기술을 이용하여 고속응답의 확보가 가능하였다.^[3] 그러나, 전계 제거 시의 turn-off 시간은 액정의 물성인 점성과 탄성계수 등에만 의존하므로 느린 응답특성이 문제된다. 현재까지 액정표시소자의 느린 turn-off 시간을 개선하기 위해 점성이 낮은 액정의 사용 및 새로운 전극구조와 구동방법 등과 같은 다양한 방법이 제안되었으

[†]E-mail: thyoon@pusan.ac.kr

Color versions of one or more of the figures in this paper are available online.

나, 이러한 방법은 새로운 액정개발의 요구 및 바이어스 전압을 필요로 하고 복잡한 구조와 구동방법, 낮은 투과율이 문제되었다.^[4-13] 최근에는 VA(vertical alignment) 액정모드에서 폴리머 네트워크를 형성하여 액정과 폴리머 간의 앵커링 에너지를 이용해 relaxation을 가속시켜 고속 turn-off 시간을 구현하고 optical bouncing을 제거한 연구가 보고된 적이 있으나, 15 V이상의 높은 구동전압과 25% 미만의 낮은 투과율이 여전히 문제로 남아 있다.^[14]

한편, TN(twisted nematic) 액정셀은 높은 개구율, 우수한 분광특성 및 높은 셀 갭 마진 등의 장점으로 널리 사용되고 있고 더욱이 동화상의 구현을 주로 이용하는 대형 디스플레이 기기에 적용됨에 따라 TN 액정모드에서도 고속응답 구현이 필수적이다. 그리고 TN 액정셀 역시 turn-off 시 발생하는 backflow 현상은 구동방법과 시인성에 영향을 주며, backflow가 발생하지 않는 전압범위 내에서도 여전히 존재하는 delay time은 느린 응답시간을 야기할 수 있다.^[15, 16]

본 논문에서는 TN 액정셀에 비등방성을 가진 광경화 물질로 폴리머 네트워크를 형성시켜 액정과 폴리머 네트워크 간의 앵커링 에너지를 이용하여 TN 액정셀의 turn-off 응답시간을 개선하고자 하였다. 전압을 인가하지 않은 상태에서 UV를 조사하여 폴리머 네트워크를 형성함으로써 투과율의 감소없이 TN 액정셀에서 고속 turn-off 특성을 확보하였고, 추가적으로 backflow와 delay time이 제거되었다.

II. 제안된 소자의 설계 및 제작

본 논문에서는 TN 액정셀에 비등방성 폴리머 네트워크를 형성시켜 응답속도를 향상시키고 backflow와 delay time을 제거하는 것을 목표로 하였다. 그림 1에 폴리머 네트워크가 형성된 TN 액정셀의 구조를 나타내었다. 제안된 구조의 전기광학특성을 확인하기 위해 TN 액정셀을 제작하고 네트워크를 형성하는 실험을 진행하였다. 상하판의 ITO 유리에 수평 배향막(7492K, Nissan Chemical)을 스프인 코팅하고 액정을 90°로 꼬이도록 형성시키기 위해 상하판의 액정 배열방향이 90°가 되도록 리빙하였다. 셀갭을 3.8 μm 로 설계한 뒤 스페이서를 이용하여 셀갭을 구현하고 상하판을 접착하였다. 액정은 ZLI-1565(Merck, $\Delta n: 0.1261$, $\Delta \epsilon: 7$)을 사용하였으며, 이와 같은 설계조건은 TN 액정셀에서 최대 투과율을 나타내는 최소 Mauguin parameter를 만족한다.^[17, 18] TN 액정셀에 폴리머 네트워크를 형성시키기 위해서 광경화성 비등방형 폴리머 RMS03-013C(+A optical symmetry, Merck)를 사용하였으며, 액정과 3 wt%, 5 wt%, 10 wt%의 비율로 혼합하였다. 이 때, 사용된 폴리머는 주로 액정표시소자에서 in-cell retarder로 사용되는 광학적 이방성 물질이며 기판 위에 코팅할 경우 +A plate의 역할을 한다. 액정과 비등방형 폴리머의 혼합물을 준비된 TN 액정셀에 주입한 후 액정셀에 전계를 인가하지 않은 상태로 상온에서 3 mW/cm^2 세기의 UV light를 30 분 동안 조사하여 폴리머 네트워크를 형성하였다. 폴리머 네

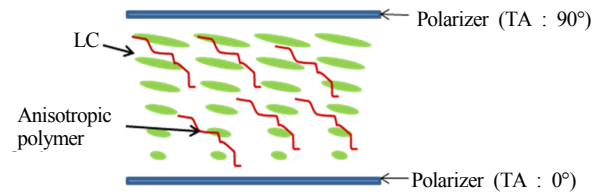


FIG. 1. Configuration of an anisotropic polymer-networked TN cell.

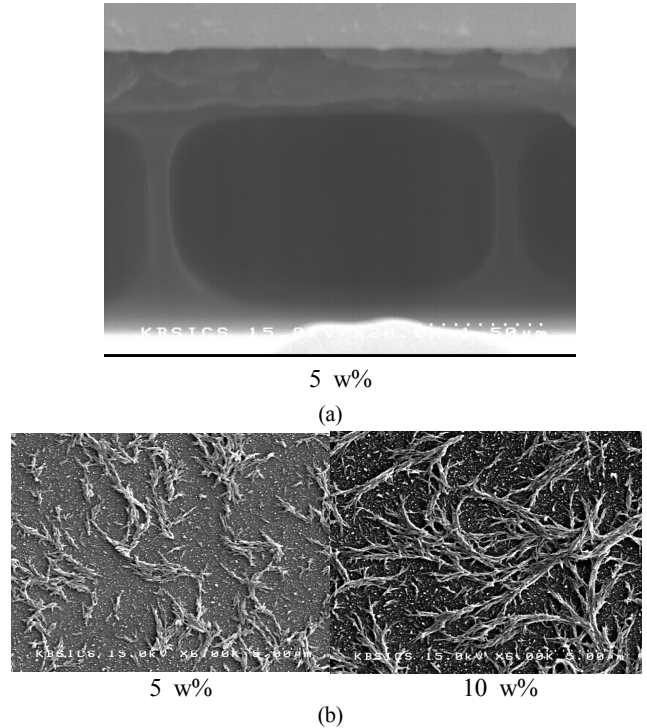


FIG. 2. Scanning electron microscopy of anisotropic polymer-networked TN cells (polymer concentration: 5 wt% and 10 wt%). (a) cross section, (b) surface.

트워크가 형성된 TN 액정셀의 전기광학특성을 비교하기 위해 폴리머가 혼합되지 않은 순수한 액정을 이용하여 동일한 조건의 TN 액정셀을 제작하였다.

TN 액정셀의 내부에 형성된 폴리머 네트워크를 scanning electron microscopy(SEM)를 이용하여 확인하였다. 그림 2(a)의 단면사진에서 상하기판을 연결하는 기둥모양의 네트워크가 형성됨을 확인할 수 있으며, 그림 2(b)의 표면사진에서도 폴리머의 혼합비율에 따라 폴리머 네트워크가 형성되어 있는 것을 확인하였다. 폴리머 네트워크가 형성된 TN 액정셀의 폴리머 혼합비율에 따른 전기광학특성을 살펴보고자 한다.

III. 실험 결과

제작된 TN 액정셀은 직교하는 두 장의 편광판 사이에 두고 전압을 인가하지 않은 상태에서 밝은 상태를 나타내는

normally white(NW) 모드로 동작시켜 측정하였다. NW-TN에 수직전계를 인가하면 액정이 전계의 방향으로 배열되어 어두운 상태를 나타내며, 전계를 제거하면 초기 액정의 배열로 relaxation하게 되고 밝은 상태를 구현한다.

그림 3은 제작된 액정셀의 전압에 따른 투과율(V-T) 특성을 나타낸다. 측정결과 폴리머 네트워크를 형성하지 않은 액정셀과 폴리머 네트워크가 형성된 액정셀의 초기 휘도는 32%로 동일 했으며, 광경화성 폴리머의 wt%가 증가함에 따라 구동전압이 4, 5, 7, 10 V로 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 3 wt%, 5 wt% TN 액정셀의 경우에는 전계를 인가함에 따라 폴리머 네트워크를 형성하지 않은 TN 액정셀과 거의 동일한 어두운 상태를 확보할 수 있지만, 10 wt% 액정셀의 경우에는 전계를 인가하여도 폴리머 네트워크 주변의 액정들이 완전히 수직배열되지 못하고, 폴리머의 잔존 retardation에 의해 10 V의 높은 구동전압에서도 투과율이 0.9%로 나타나, 빛샘이 확인되었다.

그림 4는 폴리머 네트워크가 형성된 TN 액정셀의 응답특성 그래프를 나타낸다. 각 TN 액정셀의 구동전압에서 응답

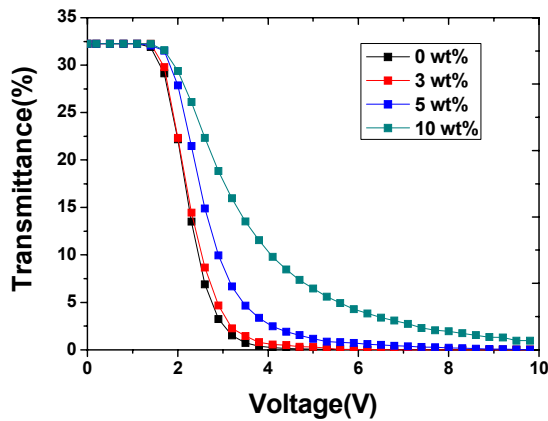


FIG. 3. Measured V-T curves of a TN cell with pure LC and anisotropic polymer-networked TN cells.

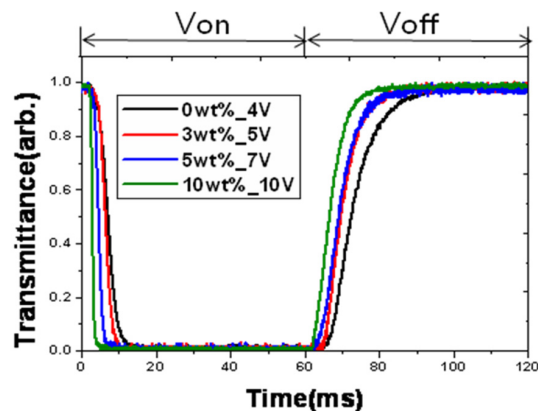


FIG. 4. Measured response characteristics of a TN cell with pure LC and an anisotropic polymer-networked TN cell. We applied the saturation voltage obtained from Fig. 3 to each cell.

시간을 측정하였다. 폴리머 네트워크가 형성되지 않은 액정셀은 인가전압인 4 V에서 turn-on과 turn-off 응답시간이 각각 5.2 ms, 16 ms이었다. 한편, 3 wt%, 5 wt%, 10 wt%로 폴리머의 비율이 증가함에 따라 TN 액정셀의 turn-on 시간은 3.7, 2.2, 1.1 ms, turn-off 시간은 12, 11, 9 ms로 응답시간이 개선됨을 확인할 수 있었다. 개선된 turn-on 시간이 구동전압의 영향을 받은 것인지 확인하기 위해 10 V의 동일한 구동전압에서 액정셀들의 응답시간을 측정하였다. 그림 5를 살펴보면 폴리머 혼합비율에 상관없이 1.1 ms의 동일한 turn-on 시간이 가지므로, 그림 4에서 확인된 빠른 turn-on 시간은 폴리머 네트워크에 의해 개선된 영향보다 높은 구동전압에 기인하는 것으로 볼 수 있다.

또한, turn-off 시간은 초기의 액정 배열과 같은 방향으로 형성된 폴리머 네트워크와 액정 간의 앵커링 에너지의 영향을 받아 turn-off 시 액정의 relaxation이 폴리머 네트워크가 형성되지 않은 셀에 비해 가속될 수 있음을 확인할 수 있었다.^[14]

한편, 폴리머 네트워크가 형성되지 않는 TN 액정셀에서는 그림 6(a)와 같이 NW-TN 액정셀의 구동전압을 4, 5, 6 V로 증가시켰을 때, 4 V의 구동전압에서는 발생하지 않았던 backflow 현상이 구동전압이 증가함에 따라 turn-off 시 발생하는 것을 확인할 수 있다.^[15] 또한 그림 6(b)의 구동전압 4 V에서의 응답특성 그래프를 통해 backflow가 없어도 turn-off 시 4.7 ms의 delay time이 존재하는 것을 확인할 수 있었다.^[16] 이러한

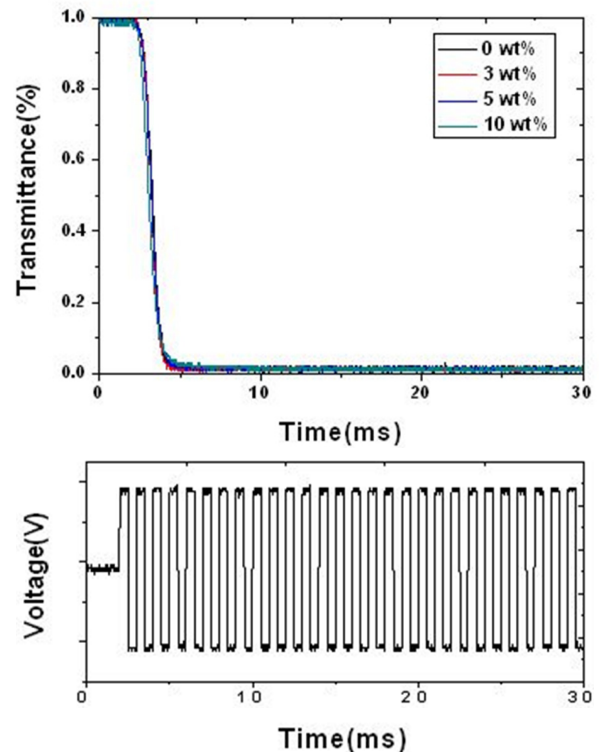


FIG. 5. Measured response characteristics of a TN cell with pure LC and an anisotropic polymer-networked TN cell. We applied 10 V to each cell.

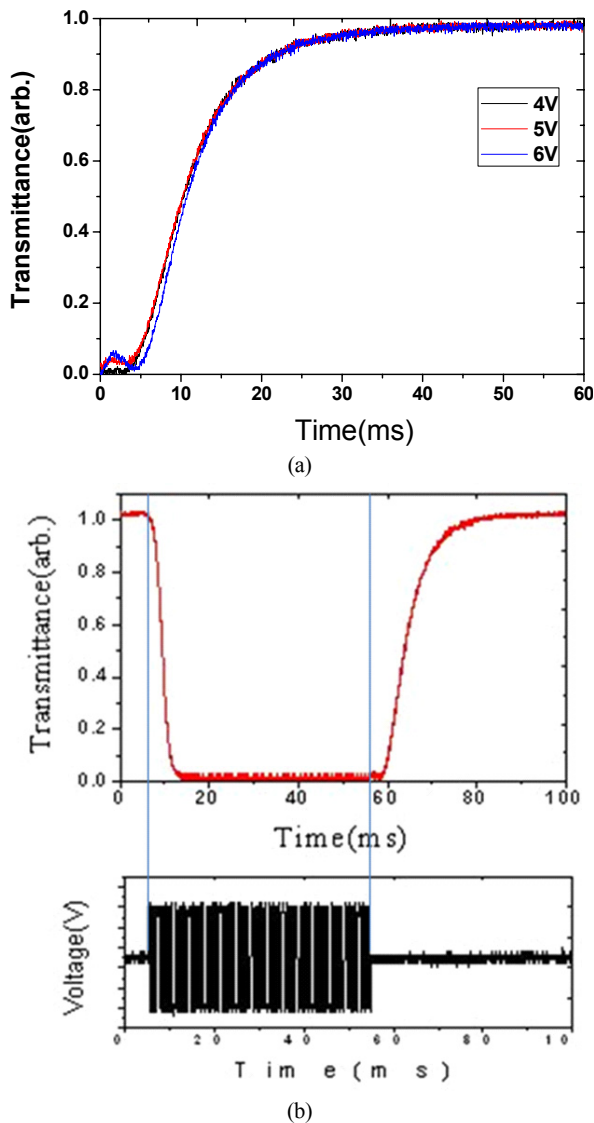


FIG. 6. (a) Backflow effect and (b) delay time of a TN cell at an applied voltage of 4 V.

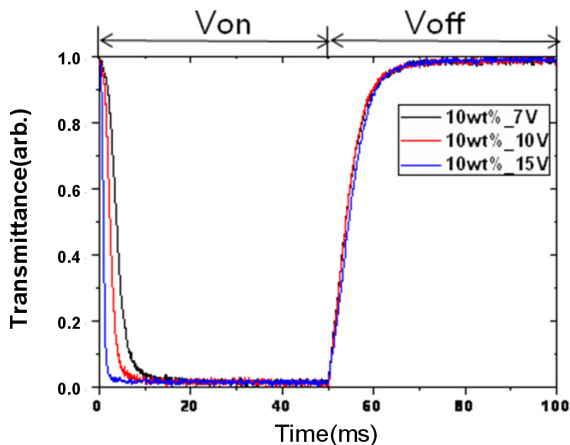


FIG. 7. Response characteristics dependent on the voltage applied to a TN cell with polymer concentration of 10 wt%. Backflow effect and delay time are eliminated in turn-off process.

delay time과 backflow 현상은 시인성의 문제를 야기시킨다.

그림 7은 폴리머 비율이 10 wt%인 경우 네트워크가 형성된 TN 액정셀의 인가전압에 따른 응답시간을 나타낸 그래프이다. 폴리머 네트워크를 형성함으로써 구동전압을 7, 10, 15 V로 증가시켜도 높은 구동전압에서 backflow가 발생하지 않는 것을 확인할 수 있으며 또한, turn-off 시 발생하였던 delay time도 제거됨으로써 전압을 제거하자마자 빠르게 액정이 반응할 수 있음을 확인하였다. 따라서 TN 액정셀에서 turn-off 시 문제되었던 두 현상을 제거함으로써 시인성에 영향을 주지 않고 응답시간을 향상시킬 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 비등방형 광경화성 폴리머를 이용하여 NW-TN 액정셀 내부에 네트워크를 형성시켜 그 전기광학특성을 확인하였다. 폴리머 혼합비율이 높아질수록 구동전압이 다소 증가하였지만 turn-off 시간이 크게 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 또한, TN 액정셀의 응답시간에 영향을 주는 delay time과 backflow 현상을 제거함으로써 응답시간을 개선할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

References

1. S. T. Wu and D.-K. Yang, *Reflective Liquid Crystal Displays* (Wiley, New York, USA, 2001).
2. S. T. Wu and D.-K. Yang, *Fundamentals of Liquid Crystal Devices* (Wiley, New York, USA, 2006).
3. S. Nagata, E. Takeda, Y. Nanno, T. Kawaguchi, Y. Mino, A. Otsuka, and S. Ishihara, "Capacitively coupled driving of TFT-LCD," in *Proc. SID Int. Symp. Dig. Tech. Pap.* (Baltimore, MD, USA, May 1989), pp. 242-245.
4. J. L. West, G. Zhang, and A. Glushchenko, "Stressed liquid crystals for electrically controlled fast shift of phase retardation," in *Proc. SID Int. Symp. Dig. Tech. Pap.* (Baltimore, MD, USA, May 2003), pp. 1469-1472.
5. P. J. Bos and K. R. Koehler-Beran, "The π -cell, a fast liquid-crystal optical switching device," *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **113**, 329-339 (1984).
6. C. Y. Xiang, J. X. Guo, X. W. Sun, X. J. Yin, and G. J. Qi, "A fast response, three-electrode liquid crystal device," *Jpn. J. Appl. Phys.* **42**, L763-765 (2003).
7. C. Y. Xiang, X. W. Sun, and X. J. Yin, "The electro-optic properties of a vertically aligned fast response liquid crystal

- display with three-electrode driving,” J. Phys. D **37**, 994-997 (2004).
8. J. L. West, G. Zhang, A. Glushchenko, and Y. Reznikov, “Fast birefringent mode stressed liquid crystal,” Appl. Phys. Lett. **86**, 031111 (2005).
9. J. S. Gwag, J. C. Kim, and T.-H. Yoon, “Electrically tilted liquid crystal display mode for high speed operation,” Jpn. J. Appl. Phys. **45**, 7047-7049 (2006).
10. C. Y. Huang, R. X. Fung, Y. G. Lin, and C. T. Hsieh, “Fast switching of polymer-stabilized liquid crystal pi cells,” Appl. Phys. Lett. **90**, 171918 (2007).
11. J.-I. Baek, K.-H. Kim, J. C. Kim, and T.-H. Yoon, “Fast turn-off switching of a liquid crystal cell by optically hidden relaxation,” in *Proc. SID Int. Symp. Dig. Tech. Pap.* (Los Angeles, CA, USA, May 2008), pp. 1846-1849.
12. K.-H. Kim, J.-I. Baek, J. C. Kim, and T.-H. Yoon, “Quasi-impulsive driving for high-speed operation of a homogeneous aligned LC cell with 3-electrode structure,” in *Proc. SID Int. Symp. Dig. Tech. Pap.* (San Antonio, TX, USA, June 2009), pp. 673-676.
13. J.-I. Baek, K.-H. Kim, J. C. Kim, T.-H. Yoon, H. S. Woo, S. T. Shin, and J. H. Souk, “Fast in-plane switching of a liquid crystal cell triggered by a vertical electric field,” Jpn. J. Appl. Phys. **48**, 104505 (2009).
14. J.-I. Baek, K.-H. Kim, J. C. Kim, T.-H. Yoon, H. S. Woo, S. T. Shin, and J. H. Souk, “Fast switching of vertical alignment liquid crystal cells with liquid crystalline polymer networks,” Jpn. J. Appl. Phys. **48**, 056507 (2009).
15. C. Z. van Doorn, “Dynamic behavior of twisted nematic liquid-crystal layers in switched fields,” Jpn. J. Appl. Phys. **46**, 3738-3745 (1975).
16. F. Nakano, H. Kawakami, H. Morishita, and M. Sato, “Dynamic properties of twisted nematic liquid crystal cells,” Jpn. J. Appl. Phys. **19**, 659-663 (1980).
17. C. H. Gooch and H. A. Tarry, “The optical properties of twisted nematic liquid crystal structures with twist angles $\leq 90^\circ$,” J. Phys. D: Appl. Phys. **8**, 1575-1584 (1975).
18. K.-H. Kim, J.-I. Baek, J. C. Kim, and T.-H. Yoon, “An optical configuration for the normally black twisted nematic liquid crystal cell,” Hankook Kwanghak Hoeji (Korean Opt. Photon.) **19**, 48-53 (2008).