

AFLC 셀을 이용한 반사형 LCD의 설계 및 제작

김성철[†] · 박원상 · 이서현 · 황용석 · 이기동 · 윤태훈 · 김재창

부산대학교 전자공학과

(우) 609-735 부산광역시 금정구 장전동 산 30번지

(2001년 1월 29일 받음, 2001년 5월 10일 수정본 받음)

본 논문에서는 반강유전성 액정의 in-plane tilt 각이 약 22.5°인 특성을 가진다는 것을 이용하여 액정의 위상지연을 $\lambda/2$ 로 설계한 광대역 $\lambda/4$ 필름을 사용한 단일 편광판 모드 반사형 LCD의 구조를 제안하였으며, 이 구조의 여러 가지 광특성을 전사모사 해 보았다. 실제 실험에서는 in-plane tilt 각이 24.9°인 Chisso사의 CS-4001 반강유전성 액정을 사용하여 액정 셀의 위상지연을 $\lambda/2$ 로 설계하여 각도에 따른 반사특성과 파장에 따른 분광특성을 측정하였다.

분류코드 : DT.010.

I. 서 론

정보의 양이 날로 늘어감에 따라 PDA(Personal Digital Assistant)와 같은 휴대용 정보통신기기들은 좀 더 가볍고 얇으며, 소비전력이 작고 동화상 구현이 가능한 디스플레이 소자를 요구하고 있다. 따라서 배면조명(Backlight)을 사용하는 투과형 LCD 보다는 주변광을 광원으로 사용하는 반사형 액정디스플레이(LCD : liquid Crystal Display)에 대한 요구가 날로 늘어가고 있다. 현재 반사형 LCD는 Mixed Mode TN (M-TN),^[1] Reflective TN(R-TN),^[2]과 Reflective STN(R-STN),^[3]과 같은 단일 편광판을 이용한 TN이나 STN 액정모드를 기본적으로 사용하고 있다. 하지만 TN이나 STN 액정모드를 사용한 반사형 LCD는 좁은 시야각과 느린 응답특성 등의 문제점이 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 Reflective Optically Compensated Bend(R-OCB) Mode^[4] 및 Reflective Homeotropic Mode TN,^[5] 반사형 쌍안정 TN(Reflective Bistable-TN) Mode^[6-7]와 반강유전성 액정(Antiferroelectric Liquid Crystal : AFLC)을 이용한 반사형 액정디스플레이^[8] 등이 보고된 바 있다.

최근에는 밝기와 시차문제에서 우수한 단일 편광판 모드에 어두운 상태에서의 전 가시광 영역에서 누설광을 줄일 수 있는 광대역 $\lambda/4$ 필름의 역할을 하여 우수한 광학적 특성을 가지는 Non-Twist Mode와 In-plane switching Mode에 관한 연구가 진행되고 있다.^[8-12] 또한 동화상을 구현하기 위해서는 응답특성이 우수한 액정이 요구되는데, 본 연구에서는 이러한 점을 만족하는 반강유전성액정^[13]을 사용하여 광대역 $\lambda/4$ 필름을 사용한 단일 편광판 모드 반사형 AFLCD를 설계하여 여러 가지 광특성을 전사모사(Using DIMOS) 해보고 실제 테스트 셀을 제작하여 그 적용 가능성을 알아보았다.

II. 동작원리

그림 1은 반강유전성 액정의 구조 및 동작원리를 나타낸 것이다. 러빙 방향과 동일한 방향으로 편광판을 두고 이에 직교하는 방향으로 겹광판을 두면, 전압을 인가하지 않은 AF 상태(Antiferroelectric state)를 어두운 상태로 하고, 전압을 인가한 F(+) 혹은 F(-) 상태(Ferro State)를 밝은 상태로 사용한다. 이 때 투과율 T 에 관한 식은 아래와 같다.

$$T = \sin^2(2\theta) \sin^2\left(\frac{\pi \Delta n d}{\lambda}\right)$$

여기서 λ 는 액정의 경사각(Tilt Angle), $\Delta n d$ 는 액정의 위상지연 (Retardation), 그리고 (θ)는 입사 빛의 파장이다. 전압을 인가하지 않은 AF 상태는 θ 가 0°이므로 평균디렉터 방향이 러빙방향과 동일하게 되어 입사하는 빛이 하나의 굴절율만 느끼게 되어 빛의 편광상태가 변하지 않고 액정층을 그대로 통과하게 되므로 이 상태에서는 직교하는 편광판을 통과하지 못하게 되어 어두운 상태가 된다. 전압을 인가하게 되면 자발분극의 방향과 전계의 방향이 동일하게 되는 방향으로 액정 분자들이 경사각 θ 만큼 이동하게 된다. 이 때 액정의 위상지연에 의해 빛의 편광상태가 변하게 되므로 투과량을 가지는 밝은 상태가 된다. 그런데 실험에 사용된 CS-4001 AFLC의 경우, 경사각 θ 는 24.9°로 고정되어 있으므로 투과율을 최대로 하기 위해서는 위상지연 $\Delta n d$ 를 $\lambda/2$ 로 설계하면 이를 얻을 수 있다. 실험에 사용된 테스트 셀의 경우, 두께 d 를 1.92 ± 0.1 μm 범위에서 설계하였다.

반강유전성 액정을 이용한 반사형 LCD는 그림 2과 같이 편광판, 반강유전성 액정 셀, 광대역 $\lambda/4$ 필름, 그리고 반사판으로 구성된다. 이 때 편광판의 투과축, 액정 셀의 러빙축을 동일하게 배열하고 광대역 $\lambda/4$ 필름의 광축(Slow Axis)은 이들 축과 45°가 되도록 배열하면 전압을 인가하지 않은 AF 상태와 전압을 인가한 F 상태에서 각각 어두운 상태와 밝은 상태

[†]E-mail: sckim3@hyowon.pusan.ac.kr

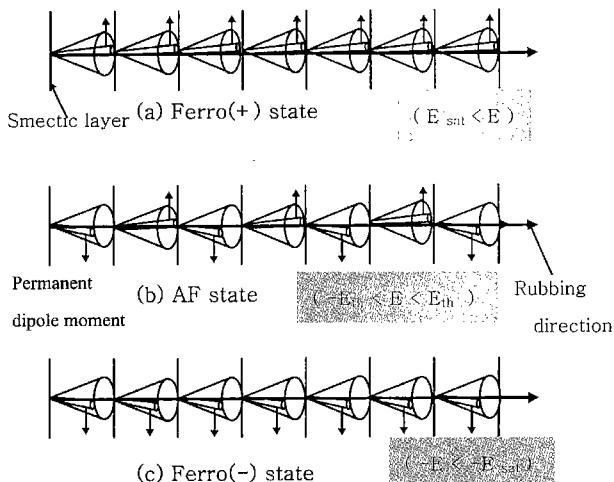
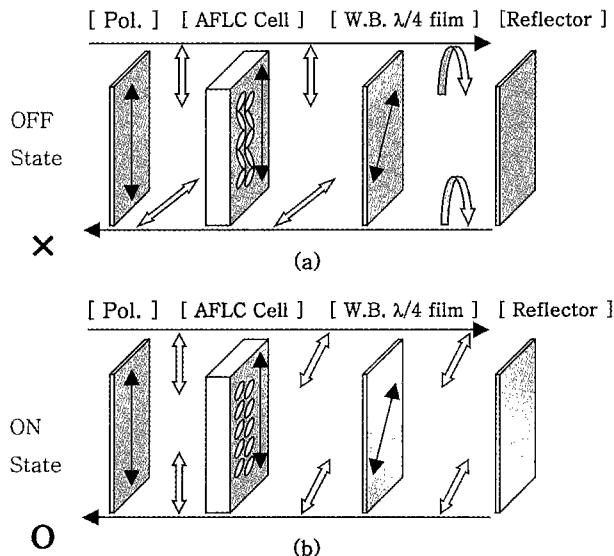


그림 1. 반강유전성 액정의 구조 및 동작원리.

그림 2. In-plane tilt 각이 22.5° 인 반강유전성 액정을 이용한 반사형 LCD의 동작 원리. (a) 어두운 상태 (AF-state), (b) 밝은 상태 (F-state).

를 구현할 수 있다. 여기서 광대역 $\lambda/4$ 필름을 사용한 이유는, 어두운 상태에서 일반적인 $\lambda/4$ 필름은 한 파장에서만 반사된 빛을 90° 회전시키기 때문에 가시광선 전 영역에서 보면 누설 광이 발생하지만 이 셀에 광대역 $\lambda/4$ 필름을 사용하면 전 가시광선 파장영역 빛의 편광상태를 90° 회전시켜주므로 누설광을 크게 줄여 어두운 상태를 우수하게 만들 수 있기 때문에 높은 콘트라스트를 얻을 수 있으며 파장에 따른 분산 특성을 우수하게 할 수 있는 장점이 있기 때문이다.

그림 2는 광대역 $\lambda/4$ 필름을 사용한 단일 편광판 모드 반사형 AFLCD의 동작원리를 나타낸 것이다. 여기서 사용된 광대역 $\lambda/4$ 필름의 구조는 편광판의 투과축에 대해 15° 의 광축을 가진 $\lambda/2$ 필름과 75° 의 광축을 가진 $\lambda/4$ 필름으로 구성되어 있으며, 이 두 장의 필름은 45° 의 광축을 가진 전 파장영역에서 $\lambda/4$ 의 위상지연을 느낄 수 있는 필름의 역할을 한다.^[12] 그림 2(a)와 3(a)는 어두운 상태를 나타낸 것이다. 전압을 인가

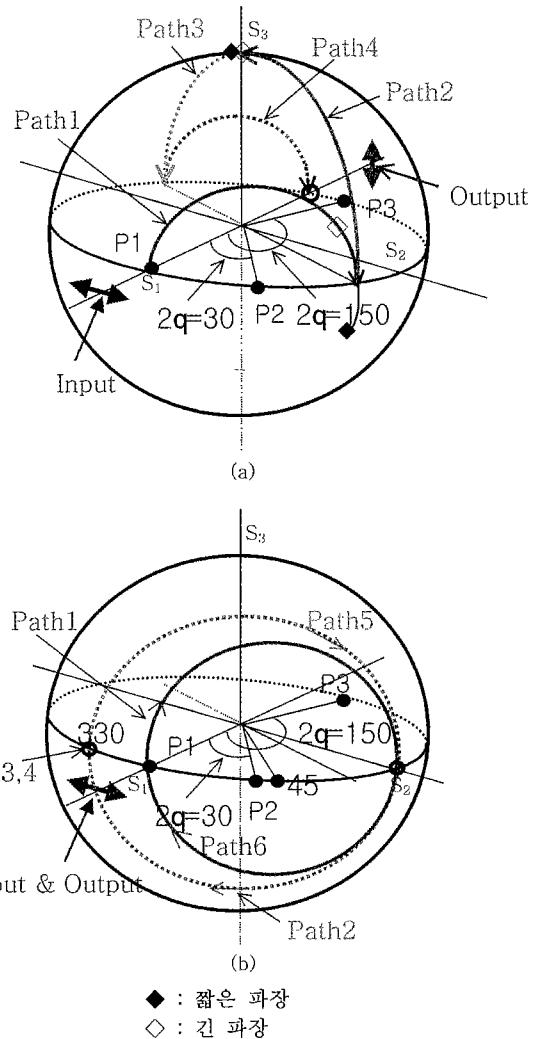


그림 3. 반사형 AFLCD의 뾰앙끼래 구상의 표현. (a) 어두운 상태, (b) 밝은 상태.

하지 않은 AF 상태에서 선편광 된 입사 빛은 액정을 지날 때 액정의 광축이 편광판의 투과축과 일치하므로 액정의 위상지연은 전혀 느끼지 못하고 편광상태를 그대로 유지하게 된다. 그 후 45° 의 광축을 가진 광대역 $\lambda/4$ 필름을 지나면 원편광으로 바뀌게 되고, 다시 반사판을 지나 되돌아오면 결국 광대역 $\lambda/4$ 필름을 두 번 지나는 셈이 되므로 총 $\lambda/2$ 의 위상지연을 느껴 들어온 빛에 대해 90° 회전된 선편광 성분이 나오게 된다. 그리고 이 빛은 다시 액정의 광축과 90° 를 이루므로 위상지연을 느끼지 못하고 그대로 나오게 되고 결국 들어간 빛에 대해 90° 회전된 빛이 나오게 되어 편광판에 의해 차단되어 어두운 상태를 구현할 수 있다.

밝은 상태는 그림 2(b)와 3(b)에서 볼 수 있는데, 이 구조는 앞의 어두운 상태와는 달리 전압을 인가하여 F 상태를 구현하여 액정의 광축이 22.5° 회전하게 하여 액정의 위상지연을 느낄 수 있도록 한 것이다. 편광판에 의해 선편광 된 빛은 편광판의 투과축에 대해 22.5° 광축을 가지고 $\lambda/2$ 의 위상지연을 느끼는 액정 셀을 통과하므로 45° 방향으로 선편광 된 빛이 나오며 다시 이 빛은 반사판에 의해 두 번의 광대역 $\lambda/4$ 필

름을 지나게 되는데, 이 때 이 필름의 광축이 45° 로 놓여 있으므로 필름에 의한 위상지연은 느끼지 못하고 편광상태를 계속 유지하게 된다. 그리고 다시 액정 셀을 지날 때 액정 셀이 22.5° 의 광축을 가지므로 편광이 입사 방향, 즉 0° 방향으로 회전하여 처음의 편광상태와 평행하게 되어 밝은 상태를 구현할 수 있다.

그림 3은 그림 2에 대한 뾰앙까레 구(Poincare Sphere)^[14] 표현으로 좀 더 자세한 편광상태의 변화와 분광특성을 알아 볼 수 있다. 뾰앙까레 구는 Stokes 매개변수 S_1 , S_2 , S_3 를 축으로 하는 구이며 반경은 S_0 이며, 이는 빛의 세기를 나타낸다. S_1 과 S_2 는 적도상에 위치하며 각각 수평 또는 수직 선편광, $\pm 45^\circ$ 선평광을 나타내며, 극 지점에 위치한 S_3 는 좌선성 혹은 우선성 원편광을 나타낸다. 그림 3에서 보듯이 P2는 Half-wave 필름의 광축인 15° 를 나타내며, P3는 Quarter-wave 필름의 광축의 위치인 30° 를 나타낸다. 그림 3(a)에서 보면, 처음 Half-wave 필름을 지나면서 550 nm 의 설계 기준 파장의 빛은 P2를 기준으로 Path1을 따라 180° 회전한 지점에 위치한다. 그리고 ◆로 표시된 기준 파장보다 짧은 파장의 빛은 더 많은 위상지연을 느껴 180° 의 각보다 더 많은 각을 회전하며, ◇로 표시된 기준 파장보다 긴 파장의 빛은 위상 지연을 적게 느껴 180° 의 각보다 더 작은 각을 회전한다. Half-wave film을 지난 후의 편광 상태는 Quarter-wave 필름을 지나면서 뾰앙까레 구면 상에서 P3점을 중심으로 하여 ◆와 ◇은 90° 회전한다. 여기서 Path2를 따라 긴 파장은 짧은 경로를 짧은 파장은 긴 경로를 이동하여 극점에 거의 대부분의 파장들이 모이게 된다. 그리고 반사판에 의해 다시 되돌아오는 경로는 Path 3,4를 따라 동일한 과정으로 진행한다. 결국 전 가시광 영역에서 광대역 필름으로 동작함을 보여준다. 마찬가지로 그림 3(b)도 같은 원리로 조사해 보면, 우수한 분산특성을 가짐을 알 수 있다.

III. 실험방법

실험에 사용된 시편의 제작을 위해서 먼저 Indium-tin-oxide (ITO)가 코팅 된 유리기판 위에 PI 배향막(Nissan Chem. RN-1199)을 약 400 \AA 두께로 스판코팅 한 후, 80°C 에서 30분간 전열처리한 후 250°C 에서 경화시켰다. 액정의 배향을 위해 열처리된 배향막을 러빙 하였으며, 이와 같이 준비된 두 장의 유리기판 사이의 두께를 조절하기 위해서 스페이서(Spacer)를 사용하였다. 제작된 시편의 두께는 $1.8\text{ }\mu\text{m}$ 의 Spacer를 사용하여 Cold Presser의 압력과 압력유지 시간으로 조정하였으며, 제작된 시편은 분광기를 사용하여 광학적으로 두께 측정을 하였다. 실험에 사용된 반강유전성 액정은 Chisso 사의 CS-4001을 사용하였으며, 상온에서 큰 점성을 갖기 때문에 등방상(Isotropic Phase)을 갖는 90°C 이상이 유지되도록 장치된 전기로 안에서 모세관 현상을 이용하여 준비된 시편에 주입하였다. 이렇게 완성된 반강유전성 액정 시편을 편광자, 광대역 $\lambda/4$ 필름, 그리고 반사판과 함께 그림 2과 같은 순서로 배치하여 반사형 테스트 셀을 제작한 후 파장에 따른 분산특성, 콘트라스트 등의 반사특성을 측정하기 위한 실험을 수행하였다.

IV. 실험결과

그림 4와 5는 설계된 반사형 AFLCD의 어두운 상태와 밝은 상태의 시야각과 파장에 따른 분산특성을 전산모사 한 것

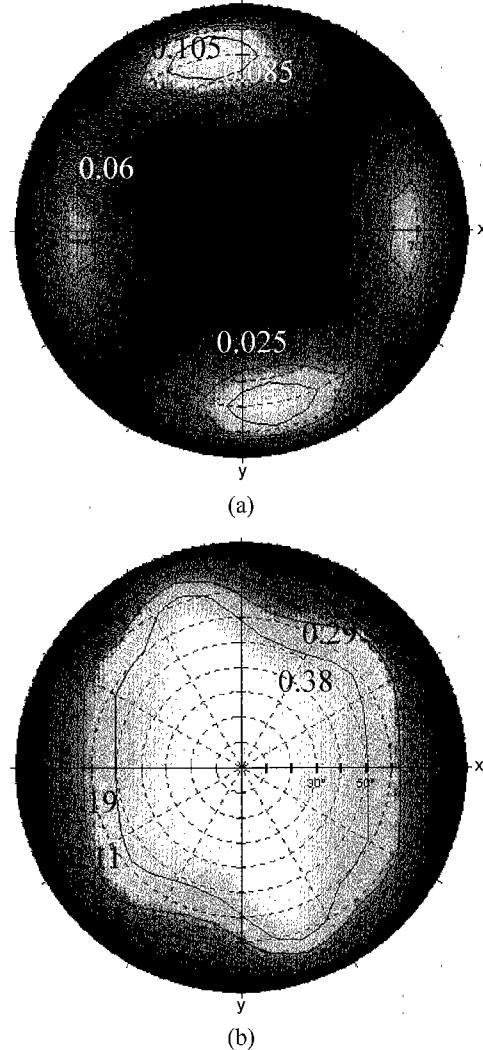


그림 4. 반사형 AFLCD의 시야각 특성. (a) 어두운 상태, (b) 밝은 상태.

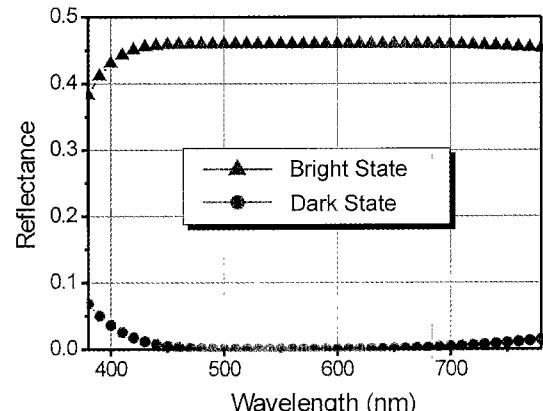


그림 5. 반사형 AFLCD의 어두운 상태와 밝은 상태의 분산특성.

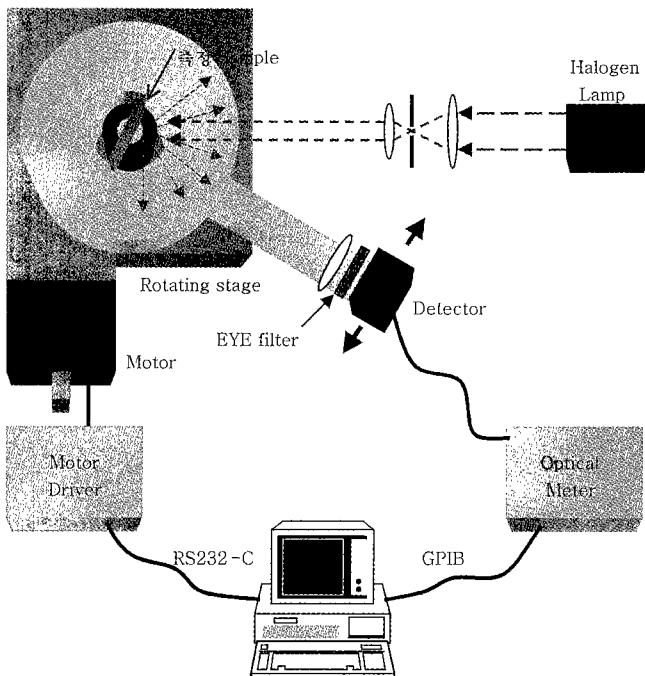


그림 6. 반사특성 측정 구성.

이다. 이 그림에서 보면, 어두운 상태와 밝은 상태의 시야각과 분산특성이 아주 뛰어남을 알 수 있었다. 어두운 상태는 광대역 $\lambda/4$ 필름을 사용하여 가시영역에서 누설광을 최소로 하여 우수한 상태를 구현할 수 있었다. 또한 최대 반사를 면에서도 반사형의 최대 반사율인 50%에 가까운 반사량을 얻을 수 있음을 알았다. 그리고 거의 모든 파장에서 분산특성이 우수하여 밝은 상태의 색상이 거의 백색 광원과 동일하게 나타남을 알 수 있었다.

반사특성 측정을 위한 실험 구조는 그림 6과 같이 하였다. 입사각은 -30° 이며, 측정의 정확성과 반복성을 위하여 컴퓨터를 이용하여 Rotating Stage와 검출기(Detector)를 자동으로 제어하였다. 광원으로 할로겐 램프를 사용하여 디스플레이가 실제 동작하는 환경에 가깝도록 하였으며, Detector 앞에 렌즈를 두어 디스플레이 표면과 Detector 사이의 거리의 변화에 따른 측정결과의 변화가 거의 없도록 하였다. 또한 렌즈와 Detector 사이에 사람의 시감 특성과 동일한 파장특성을 지니는 EYE-filter(CVI Laser Co.: Photonic Response Filter)를 두어 디스플레이의 사용자인 사람의 눈을 최대한 모방하도록 하였다. 이러한 실험 구조로 반사형 AFLCD의 각에 따른 반사특성을 측정하여 그림 7에 나타내었다. 그림 7에서 보듯이 최대의 밝기는 셀 표면의 수직방향의 30° 부근에서 나타났으나, 셀 표면의 반사 때문에 최대의 콘트라스트는 이 각도에서 나타나지 않았다. 최대의 콘트라스트는 약 15° 근처에서 나타나는데, 이 때 측정된 콘트라스트는 약 20:1이었다.

그림 8은 제작된 반사형 테스트 셀의 어두운 상태와 밝은 상태에서의 분광특성을 나타낸 것이다. 광원은 할로겐램프를 사용하였으며 측정시의 기준은 빈 시편에 금속화 반사판을

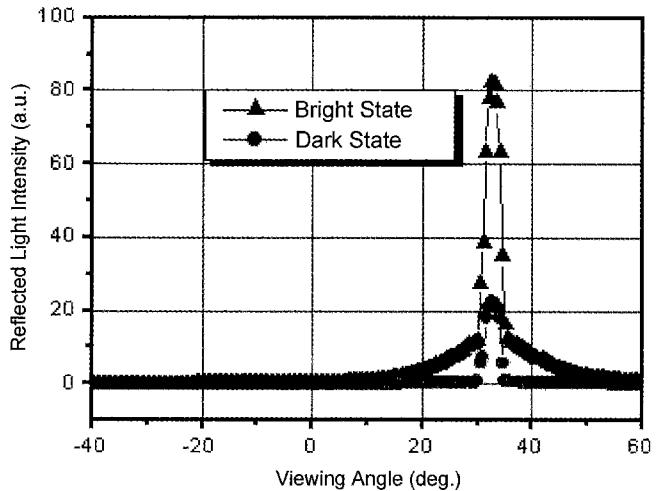


그림 7. 반사형 AFLCD의 각에 따른 반사특성.

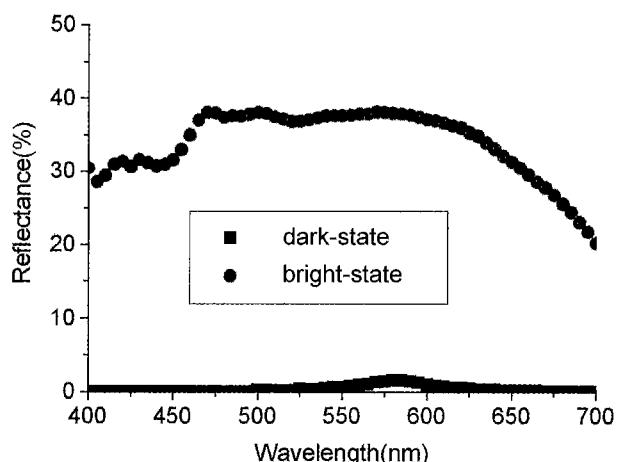


그림 8. 반사형 AFLCD의 분광특성.

부착시킨 것으로 하였다. 비록 실험에서 사용한 반강유전성 액정의 In-plane tilt각이 22.5° 는 아니었지만 분산정도가 양호함을 볼 수 있다.

V. 결 론

반강유전성 액정의 In-plane tilt각이 약 22.5° 인 특성을 가진다는 것을 이용하여 액정층의 위상지연을 $\lambda/2$ 로 설계한 광대역 $\lambda/4$ 필름을 사용한 단일 편광판 모드 반사형 LCD의 구조를 제안하였으며, 이 구조에 대한 광특성을 전사모사 해보고 그 적용 가능성을 알아보았다. 실제 실험에서는 In-plane tilt각이 24.9° 인 Chisso사의 CS-4001 반강유전성 액정을 사용하여 각도에 따른 어두운 상태와 밝은 상태의 반사특성과 분광특성을 측정하였다. 각도에 따른 어두운 상태와 밝은 상태의 반사특성 실험을 한 결과에서는 콘트라스트가 약 20:1이 됨을 알 수 있었고, 파장에 따른 분산특성 실험을 한 결과에서 분산정도가 양호함을 볼 수 있었다.

감사의 글

This work was supported in part by University Research Program of MIC (Ministry of Information and Communication) and G7 Project.

참고문헌

- [1] S.-T. Wu and C.-S. Wu, "Mixed-mode twisted nematic liquid crystal cells for reflective displays," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 68, no. 11, pp. 1455-1457, 1996.
- [2] S. T. Tang, F. H. Yu, J. Chen, M. Wong, H. C. Huang, and H. S. Kwok, "Reflective twisted nematic liquid crystal displays. I. Retardation compensation," *J. Appl. Phys.*, vol. 81, no. 9, pp. 5924-5929, 1990.
- [3] S. Fujita, H. Mizuno, M. Nishinaka, H. Yamaguchi, T. Ohtani, and T. Ogawa, "Reflective color STN-LCD technologies," *IDW' 98*, pp. 213-216, 1998.
- [4] T. Ishinabe, T. Miyashita, and T. Uchida, "Optical design of R-OCB mode full-color reflective LCD with Wide viewing angle, and high contrast," *SID' 98 DIGEST*, pp. 774-777, 1998.
- [5] S. W. Suh, S. D. Lee, and J. S. Patel, "Reflective homeotropic mode in a twisted nematic liquid crystal," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 73, pp. 1062-1064, 1998.
- [6] Z.-L Xie and H. S. Kwok, "Reflective bistable twisted nematic liquid crystal display," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 37, no. 5A, pp. 2572-2575, 1998.
- [7] G. D. Lee, H.-I. Baek, G. H. Kim, T. H. Yoon, J. C. Kim, and E. S. Lee, "Design of a reflective bistable twisted-nematic LCD for high-reflection and high-contrast operation," *Euro Display' 99*, pp. 307-310, 1999.
- [8] W. S. Park, S.-C. Kim, G.-D. Lee, T.-H. Yoon, and J. C. Kim, "A new reflective display mode for antiferroelectric Liquid Crystall," *J. Information Display*, vol. 1, no. 1, pp. 48-51, 2000.
- [9] G.-D. Lee, S.-C. Kim, W. S. Park, T.-H. Yoon, J. C. Kim et al., "Reflective liquid crystal display using a non-twist half-wave cell," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 39, no. 3A/B, pp. L221-L224, 2000.
- [10] T.-H. Yoon, G.-D. Lee, G.-H. Kim, S.-C. Kim, W. S. Park, J. C. Kim, and S. H. Lee, "Reflective liquid crystal display using 0-twisted half-wave cell," *SID' 00*, pp. 751-754, 2000.
- [11] G.-D. Lee, G.-H. Kim, T.-H. Yoon, and J. C. Kim, "Configuration optimization of a reflective bistable-twisted-nematic cell for high-contrast operation," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 39, no. 5A, pp. 2716-2720, 2000.
- [12] T.-H. Yoon, G.-D. Lee, and J. C. Kim, "Nontwist quarter-wave liquid crystal cell for high-contrast reflective display," *Optics Lett.*, vol. 25, no. 20, pp. 1547-1549, 2000.
- [13] A. D. L. Chandani, E. Gorecka, and Y. Ouchi, "Antiferroelectric chiral smectic phases responsible for the tristable switching in MHPOBC," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 27, no. 7, pp. L1265-L1268, 1989.
- [14] E. Collett, *Polarized Light* (Marcel Dekker, Inc., USA, 1993), Chapter 3.

Optical configuration and fabrication for a reflective display using an antiferroelectric liquid crystal cell

Sung-Chul Kim[†], Won Sang Park, Seo Hern Lee, Yong Seok Hwang,

Gi-Dong Lee, Tae-Hoon Yoon, and Jae Chang Kim

Department of Electronics Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, KOREA

[†]E-mail: sckim3@hyowon.pusan.ac.kr

(Received January 29, 2001 ; Revised manuscript received May 10, 2001)

In this paper, we propose an optical configuration of a reflective AFLC display mode using a half-wave AFLC cell in which in-plane tilt angle is 22.5°. To check the validity of our design, we fabricate a reflective half-wave AFLC cell of which the in-plane tilt angle is 24.9°, and measure viewing angle and visible spectra characteristics. In the results, the half-wave AFLC cell in the reflective configuration exhibits wide viewing-angle as well as high brightness and contrast.

Classification code : DT.010.