

반사형 쌍안정 TN LC 셀의 설계 및 제작

백흥일 · 장기철 · 이기동 · 윤태훈 · 김재창

부산대학교 전자공학과

(1999년 1월 4일 받음, 1999년 7월 20일 수정본 받음)

본 논문에서는 LCD의 어두운 상태의 특성을 보완하기 위해 광대역 $\lambda/4$ 보상판을 사용하여 단일 편광판 모드 반사형 쌍안정 TN LCD를 설계·제작하였다. 단일 편광판 모드에서 광대역 $\lambda/4$ 보상판의 필요성을 이론적인 계산과 실험을 통해 확인하였고, 시험적으로 제작한 단일 편광판 모드 반사형 쌍안정 TN LCD는 기존 구조의 반사형 쌍안정 TN LCD와의 비교에서 더욱 밝은 디스플레이 특성을 나타내었다. 본 실험에서 우리는 10:1의 콘트라스트를 얻었다.

I. 서 론

쌍안정 TN(Twisted Nematic) LCD(Liquid Crystal Display)는 넓은 시야각 특성과 쌍안정성, 그리고 빠른 응답속도 때문에 passive-matrix 구동용으로 활발히 연구되고 있다.^[1] 최근에는 단일 편광판 모드(single polarizer mode) 반사형 쌍안정 TN LCD가 시험적으로 설계·제작되었다. 그들 중의 하나는 어떠한 보상판도 사용하지 않고 6:1의 콘트라스트를 얻었다.^[2] 그리고 또 다른 연구에서는 가시광선 영역에서 위상지연의 정도가 균일하지 않은 일축성 보상판을 사용하였다.^[3] 최근 반사형 LCD에 대한 연구경향들을 살펴보면 기존 반사형 LCD에서 반사판이 유리기판 뒤에 위치함으로써 발생하게 되는 시차문제를 해결하기 위하여 투명전극 대신 금속전극을 반사판으로 사용하고, 두장의 편광판으로 인한 빛의 흡수를 줄여 반사율을 높일 수 있는 단일 편광판 모드에 대한 연구가 가장 활발한 것을 알 수 있다.^[4] 그러나 이러한 장점들을 지니는 단일 편광판 모드는 오직 한 장의 편광판만을 사용하므로 광학적으로 어두운 상태에서 누설광이 발생한다는 단점이 있다. 따라서, 이러한 단점을 해결하기 위해 보상판이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 단일 편광판 모드의 특징들을 확인해보기 위해, 광대역(400 nm~700 nm) $\lambda/4$ 보상판을 적용한 단일 편광판 모드 반사형 쌍안정 TN LCD를 설계하고, 보상판을 적용한 것과 그렇지 않은 것의 특성을 이론적 계산과 실험을 통해 확인하였다. 또한 투과형 쌍안정 TN LCD에다 반사판을 부착한 기존 구조와의 비교실험도 병행하였다. 이러한 실험 결과를 통해 단일 편광판 모드의 장점과 단점, 단일 편광판 모드에서의 광대역 $\lambda/4$ 보상판의 필요성, 그리고 쌍안정 TN LCD의 반사형 디스플레이로서의 가능성을 확인하였다.

II. 반사형 쌍안정 TN LCD의 동작원리

쌍안정 TN LCD는 네마틱 액정 디렉터들이 $\Phi + 180^\circ$ 꼬여

*이 논문은 산업자원부와 과학기술부에서 시행한 선도기술 개발사업과 한국과학재단의 핵심전문연구과제(981-0914-071-2) 연구비에 의해 연구되었음.

있도록 제작되며, 이렇게 제작된 LCD는 인가되는 전압 파형에 따라 backflow 현상으로 인해 꼬임각이 Φ 와 $\Phi + 360^\circ$ 인 상태 사이를 스위칭 하게 된다. 이러한 쌍안정 특성을 얻기 위해서 두장의 유리기판은 반대방향으로 러빙하여, 액정 디렉터들의 배열상태가 스플레이(splay) 상태가 되도록 한다.^[5] 액정층이 꼬임각 Φ 상태에서 특정한 값의 위상지연을 지니도록 설계하면, $\Phi + 360^\circ$ 상태에서는 Mauguin 조건을 더 이상 만족하지 않게 되어 광학 특성에는 영향을 주지 않게 된다.

단일 편광판 모드 반사형 쌍안정 TN LCD의 광학적 구성은 그림 1과 같이 한 장의 편광판과 광대역 $\lambda/4$ 보상판, 꼬임각이 Φ 인 상태의 위상지연이 $\lambda/4$ 가 되도록 개념적으로 설계한 액정층, 그리고 반사판으로 이루어져 있다. 편광판의 편광축과 액정층의 입력 디렉터는 45° , 보상판의 광축과 액정층의 입력 디렉터는 평행하게 정렬 되도록 하였다. 일반적으로 $\lambda/4$ 보상판은 편광판을 한 장만 사용함으로써 발생하게 되는 광학적으로 어두운 상태에서의 누설광을 줄여주며, 한 장의 편광판이 두장의 직교된 편광판처럼 동작하도록 해 준다.^[6] 단일 편광판 모드 반사형 쌍안정 TN LCD의 동작 원리를 살펴보면 다음과 같다. 우선, 액정층이 꼬임각 Φ 상태가 되도록 전압 파형을 인가하면 액정층의 굴절률 이방성에 의한 위상지연은 $\lambda/4$ 가 되므로, 반사되는 빛은 보상판과 액정층에 의해 전부 λ 의 위상지연을 겪게 된다. 따라서 편광판에 의해 선택된 선편광의 방향은 180° 만큼 회전하여 다시 편광판을 투과하게 되고, 광학적으로 밝은 상태(ON)가 된다. 이와는 달리 액정층이 꼬임각 $\Phi + 360^\circ$ 상태가 되도록 전압 파형을 인가하면 반

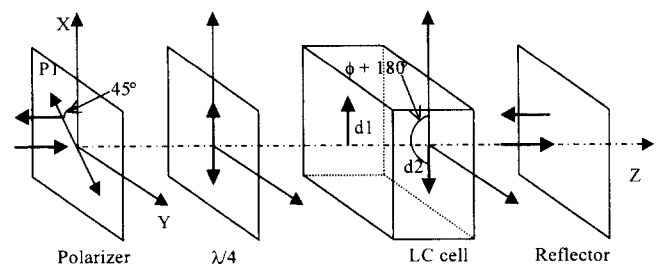


그림 1. 단일 편광판 모드 반사형 쌍안정 TN LCD.

사되는 빛은 두 번의 보상판 투과에 의한 $\lambda/2$ 의 위상지연을 겪게 되고, 입력된 선편광의 방향은 90° 만큼 회전하게 되므로 편광판을 투과할 수 없게되어 광학적으로 어두운 상태(OFF)가 된다. $\lambda/4$ 보상판이 사용되지 않은 경우에는 스위칭 조건이 이와는 반대가 된다.

III. 설계 및 계산 결과

반사형 쌍안정 TN LCD의 동작 가능한 꼬임각 Φ 와 액정 층의 굴절률 이방성에 의한 위상지연 Δnd 조건을 찾아보기 위해 가장 최근에 제시된 LCD 모드 설계방법중의 하나인 parameter space 방법^{12, 7)}을 이용하여 확인해 보았다. H. S. Kwok에 의해 제안된 parameter space 방법은 Jones matrix를 이용하여, 꼬여있는 네마틱 액정의 광학특성을 굴절률 이방성에 의한 위상지연 Δnd 와 전체 꼬임각 Φ 의 두 파라미터에 따라 계산·도시하는 방법이다.

쌍안정 TN LCD는 꼬임각 Φ 와 $\Phi + 360^\circ$ 라는 두 안정 상태를 이용하여 스위칭 하므로, 최적의 콘트라스트 비를 얻을 수 있는 Φ 와 Δnd 를 찾기 위해, 파장 589 nm에서, Φ 를 기준으로 한 반사량과 $\Phi + 360^\circ$ 를 기준으로 한 반사량의 비를 계산하여 Φ 와 Δnd 에 따른 콘트라스트 비를 그림 2에 등고선으로 나타내었다. 그림 2에서 x축과 y축은 각각 Φ 와 Δnd 의 변화를 나타내며, 각각의 등고선은 콘트라스트 10의 변화를 나타낸다. $\Phi = 0^\circ$, $\Delta nd = 0.148 \mu\text{m}$ 일 때 최대 콘트라스트가 형성되며, 그 동작 범위가 넓음을 알 수 있다. 이외에도 동작 가능한 범위가 여러 개 존재하나 그 동작 범위가 좁으므로, 조건이 조금만 달라져도 광학특성이 많이 달라지기 때문에 실제 제작에는 적합하지 않다. 그러므로 $\Phi = 0^\circ$, $\Delta nd = 0.148 \mu\text{m}$ 를 실제 셀 제작조건으로 선택한다. 이는 개념적으로 설계한 값인 파장 $\lambda = 589 \text{ nm}$ 에서의 $\lambda/4$ 값과 일치한다.

Extended Jones Matrix 방법¹⁸⁾을 사용하여 설계한 단일 편광판 모드 반사형 쌍안정 TN LCD의 광학특성을 광대역 $\lambda/4$ 보상판을 적용한 경우와 그렇지 않은 경우에 대해 계산해 보았다. 계산에 필요한 0° 와 360° 꼬여있는 네마틱 액정 디렉터의 분포상태는 Erickson-Leslie 유체 방정식¹⁹⁾을 이용하여 구

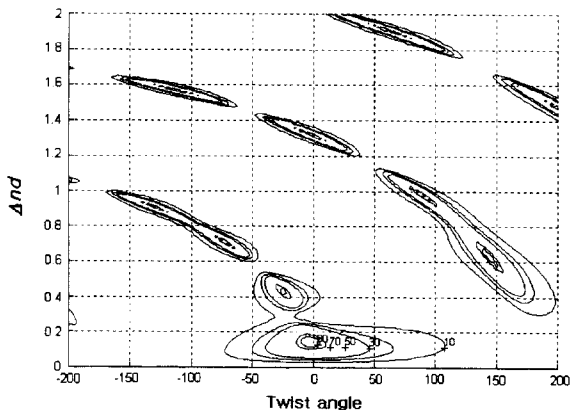


그림 2. 단일 편광판 모드 반사형 쌍안정 TN LCD의 꼬임각과 굴절률 이방성에 대한 콘트라스트 표시.

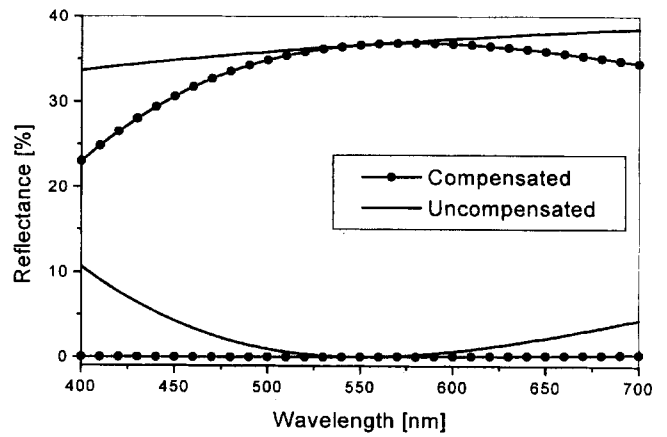


그림 3. 파장에 따른 단일 편광판 모드 반사형 쌍안정 TN LCD의 계산된 반사특성.

하였다. 파장에 따라 계산된 반사량을 그림 3에 나타내었다. 점선은 광대역 $\lambda/4$ 보상판을 사용한 경우의 ON·OFF 특성을, 직선은 그렇지 않은 경우이다. 보상판을 사용한 경우의 OFF 상태의 반사량은 가시광선 영역에서 거의 0인 것을 알 수 있으며, 이는 단일 편광판 모드에서의 OFF 상태의 누설광을 줄여 콘트라스트를 높이는데 도움을 줄 것이다. 이와는 달리, 보상판을 사용하지 않은 경우에는 OFF 상태의 반사량은 파장에 따라 최저 점으로부터 10%까지 변화함을 알 수 있다. 이러한 계산결과에서 광대역 $\lambda/4$ 보상판의 필요성을 확인하였다.

IV. 제작 및 측정 결과

설계한대로 단일 편광판 모드 반사형 쌍안정 TN LCD의 Δnd 조건을 맞추기 위해서 액정물질은 RDP-81003(LODIC Co. Ltd.)을 사용하였으며, 셀은 $2 \mu\text{m}$ 의 두께로 스플레이 상태의 배향특성을 얻을 수 있도록 180° 반대방향 러빙하여 제작하였다. d/p (depth/pitch)는 chiral dopant로 S-811(E-Merck Co.)을 사용하여 0.59가 되도록 하였다. 또한, 두장의 편광판을 사용하는 투과형 쌍안정 TN LCD에다 반사판을 부착하여 기존 구조로도 제작하였다. 이 경우 액정물질은 RDP-80176(LODIC Co. Ltd.)을, 셀 두께(d)는 $1.8 \mu\text{m}$ 로 하였으며, d/p 는 0.59, 반대방향 러빙을 하여 제작하였다.

제작한 반사형 BTN LCD의 광학적 특성을 측정하기 위하여, 할로겐 램프를 광원으로 사용하여 디스플레이가 실제 동작하는 환경에 가깝도록 하였으며, detector 앞에는 렌즈를 두어 디스플레이 표면과 detector 사이의 거리의 변화에 따른 측정결과와 변화가 거의 없도록 하였다. 또한 렌즈와 detector 사이에 사람의 시각특성과 동일한 파장특성을 지니는 photopic response filter(CVI Laser Co.)를 두어 디스플레이의 사용자인 사람의 눈을 최대한 모방하도록 하였으며, 측정의 정확성과 반복성을 위하여 컴퓨터를 이용하여 rotating stage와 detector를 자동으로 제어하였다.

광원의 입사방향을 35° 로 고정하고, 제작한 단일 편광판 모

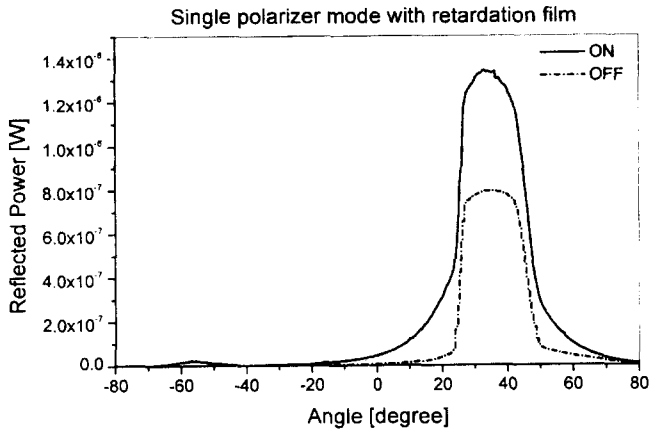


그림 4. 보상판을 적용한 단일 편광판 모드 반사형 쌍안정 TN LCD의 ON · OFF 특성.

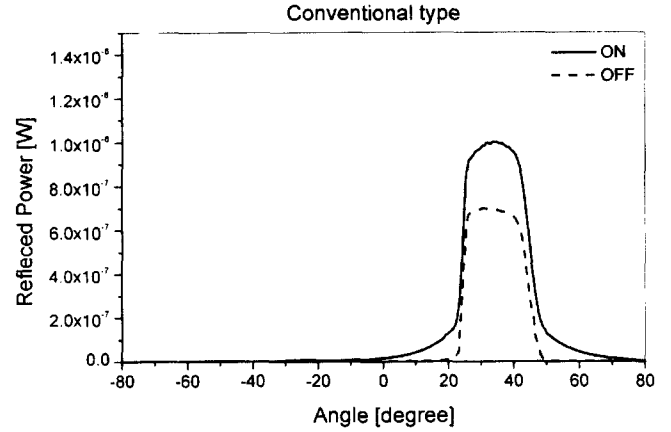


그림 6. 기존 구조 반사형 쌍안정 TN LCD의 ON · OFF 특성.

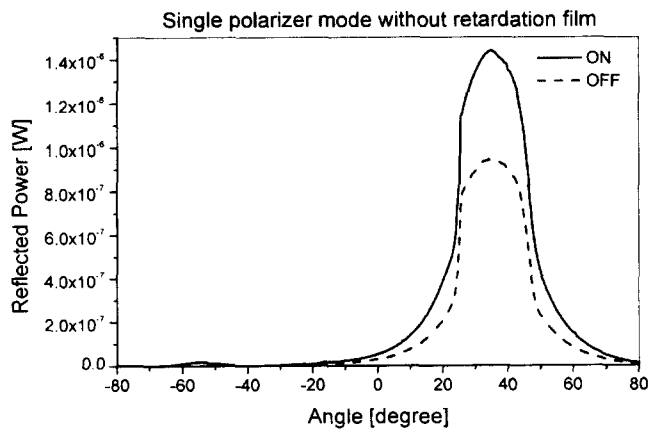


그림 5. 보상판을 적용하지 않은 단일 편광판 모드 반사형 쌍안정 TN LCD의 ON · OFF 특성.

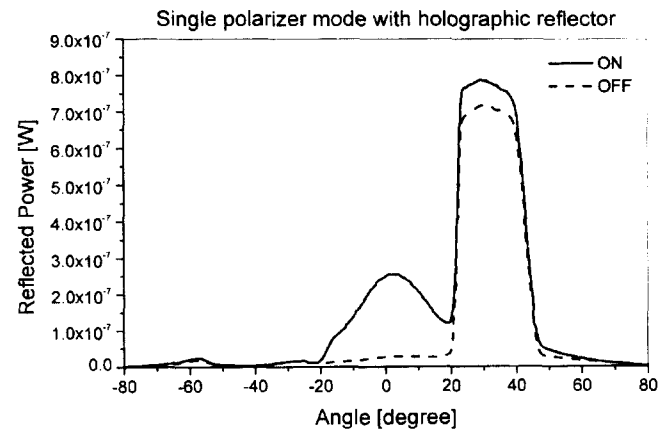


그림 7. Holographic reflector를 반사판으로 사용한 단일 편광판 모드 반사형 쌍안정 TN LCD의 ON · OFF 특성.

드 반사형 쌍안정 TN LCD의 ON · OFF 특성을 측정하였다. 그림 4는 광대역 $\lambda/4$ 보상판(Nitto Denko Co.)을 사용한 경우이고, 그림 5는 보상판을 사용하지 않은 경우이다. ON 상태의 반사량은 두 경우가 거의 동일하지만, OFF 상태의 반사량은 보상판을 사용하지 않은 경우가 훨씬 높은 것을 알 수 있다. 그리고 이때 콘트라스트(조임각 Φ 에서의 반사량/조임각 $\Phi + 360^\circ$ 에서의 반사량)는 0° 부근에서 보상판을 사용한 경우가 10:1, 그렇지 않은 경우가 2:1이었다. 이러한 결과는 앞 절에서 이론적 계산을 통해 이미 예측된 것이며, 이를 통해 다시 한번 단일 편광판 모드에서 콘트라스트의 향상을 위해서 광대역 $\lambda/4$ 보상판이 필요하다는 것을 확인하였다. 그림 6은 기존 구조의 반사형 쌍안정 TN LCD의 ON · OFF 특성을 측정한 결과이다. 편광판을 두 장 사용하였기 때문에 ON 상태의 반사량은 낮으나, OFF 상태의 누설광이 거의 없음을 알 수 있으며, 이 경우 0° 부근에서의 콘트라스트는 35:1로 단일 편광판 모드보다 높은 결과를 나타내었다. 이상의 실험결과에서 편광판을 한 장만 사용하는 단일 편광판 모드가 ON 상태의 반사량이 높으므로, 다른 문헌들의 주장과 같이 디스플레이의 밝기를 향상시키는데는 유리한 것을 알 수 있다. 하지만 콘트라스트 비는 OFF 상태의 누설광으로 인하여 오히려 낮아

지게 된다. 단일 편광판 모드에서 ON 상태의 반사량이 높음에도 불구하고 콘트라스트 비가 저하되는 이유는 광대역 $\lambda/4$ 보상판을 사용하였음에도 불구하고 OFF 상태일 때 빛의 누설이 어느 정도 발생하기 때문이다. 하지만 보상판을 사용하지 않는다면, 앞에서 설명한 바와 같이 10:1이라는 콘트라스트를 얻을 수 없을 것이다. 게다가 별도의 배면조명 없이 주변광원을 광원으로 이용하는 반사형 디스플레이에 있어서는 콘트라스트 비보다는 밝기가 더 중요한 요소이므로, 반사형 LCD를 설계함에 있어서 단일 편광판 모드가 더 적합하다고 볼 수 있겠다. 또한 편광율이 높은 편광판을 사용한다면 OFF시 누설되는 빛의 양을 줄임으로써 보다 높은 콘트라스트를 기대할 수 있다.

이와 더불어, 홀로그램의 재생특성을 이용하여 사용자에게 보다 유리한 환경을 제공하기 위해 제작된 holographic reflector(Dupont Co.)를 사용한 경우의 반사형 쌍안정 TN LCD의 ON · OFF 특성을 측정하여 보았다. 그림 7은 단일 편광판 모드에 적용한 경우이며, 그림 8은 기존 구조에다 적용한 것이다. Holographic reflector를 사용하였으므로, 두 경우 모두 ON 상태에서 표면반사에 의한 glare와 image의 방향이 분리됨을 알 수 있다.^[10] 앞의 실험 결과와 마찬가지로 image가 형성되는 0° 부근의 반사량은 단일 편광판 모드가 두배정

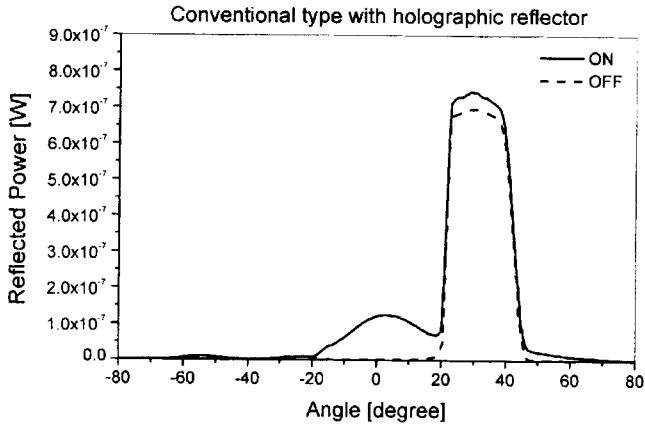


그림 8. Holographic reflector를 반사판으로 사용한 기존 구조 반사형 쌍안정 TN LCD의 ON · OFF 특성

도 높음을 알 수 있다. 하지만, OFF시의 누설광으로 인하여 콘트라스트는 10:1 정도로 거의 향상되지 않았으며, 편광판을 두장 사용하는 기존 구조에서는 64:1로 2배정도 향상되었다. Holographic reflector와 같이 glare와 image의 방향을 바꾸어 줄 수 있는 반사판을 사용하면, 일반적인 금속 반사판을 사용할 때와는 달리 image의 밝기가 최대가 되는 지점과 콘트라스트가 최대인 지점이 일치하게 되어, 사용자에게 좀 더 유리한 환경을 제공할 수 있다. 하지만 아직은 완전한 white holographic reflector가 개발되지 못하였고, 실제 단일 편광판 모드에서 금속전극을 반사판으로 사용하는 경향에는 적합하지 않다. 하지만 holographic reflector와 같은 반사특성을 지니는 미세구조(micro-structure) 금속전극을 제작할 수 있다면 반사형 LCD의 성능을 더욱 향상시킬 수 있을 것이다.^{[11], [12]}

V. 결 론

한 장의 편광판과 쌍안정 TN 액정층, 그리고 반사판으로 이루어지는 단일 편광판 모드 반사형 쌍안정 TN LCD를 광대역 λ/4 보상판을 적용한 경우와 그렇지 않은 경우의 두 가

지로 제작하였다. 그리고 투과형 셀에다 반사판을 부착하여 기존 구조의 반사형 쌍안정 TN LCD도 제작하였다. 측정결과에서 단일 편광판 모드에서 합당한 콘트라스트 비를 얻기 위해서는 광대역 λ/4 보상판을 사용하여야 함을 확인할 수 있었다. 그리고 디스플레이의 밝기가 향상된다는 점에서 단일 편광판 모드가 반사형 LCD의 구조로 더 적합하다고 볼 수 있다. 이번 실험에서 광대역 λ/4 보상판을 사용한 반사형 쌍안정 TN LCD에서 10:1의 콘트라스트를 얻었다. 또한 glare와 image의 방향을 분리할 수 있는 holographic reflector를 반사판으로 사용한 경우에 대해서도 특성을 측정하였으며, 이를 통해 반사형 LCD의 성능을 향상시킬 수 있는 가능성을 타진하였다.

참고문헌

- [1] T. Tanaka, Y. Sato, A. Inoue, Y. Momose, H. Nomura, and S. Iino, *Asia Display* **95**, 259, (1995).
- [2] Z. L. Xie and H. S. Kwok, *Jpn. J. Appl. Phys.* **37**, 2572, (1998).
- [3] Y. J. Kim, C. J. Yu, and S. D. Lee, *Asia Display* **98**, 763 (1998).
- [4] T. Ogawa, S. Fujita, Y. Iwai, and H. Koseki, *SID 98 Digest*, 217 (1998).
- [5] G. D. Lee, H. S. Kim, T. H. Yoon, J. C. Kim, and E. S. Lee, *SID 98 Digest*, 842 (1998).
- [6] S. T. Wu and C. S. Wu, *J. Appl. Phys.* **83**, 4096 (1996).
- [7] H. S. Kwok, *J. Appl. Phys.* **80**, 7, 3687, (1996).
- [8] Lien and C. J. Chen, *Jpn. J. Appl. Phys.* **35**, 1200 (1996).
- [9] D. W. Berreman, *J. Appl. Phys.* **46**, 3446 (1975).
- [10] G. Chen, K. W. Jelly, G. T. Valliath, W. J. Molteni, P. J. Ralli, and M. M. Wenyon, *J. SID*, **3/4**, p.159, 1995.
- [11] I. Hiyama, O. Itou and K. Kondo, *SID 97 Digest*, p. 655, 1997.
- [12] 백흠일, 우성일, 이기동, 윤태훈, 김재창, *한국광학회지* **9**, 355 (1998).

Design and Fabrication of a Reflective Bistable TN LCD

Heum-Il Baek, Ki-Cheol Chang, Gi-Dong Lee, Tae-Hoon Yoon and Jae Chang Kim

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

(Received January 4, 1999, Revised manuscript received July 20, 1999)

We designed and fabricated a single polarizer mode bistable twisted nematic liquid crystal display by employing a wide-band λ/4 retardation film to enhance the dark state property. We theoretically and experimentally confirmed the necessity of a wide-band λ/4 retardation film in a single polarizer mode. We obtained brighter image than previous reflective BTN LCDs. Measured contrast was about 10:1.