

반사형 LCD의 기술현황



서대식

숭실대학교 전기공학과 조교수
 숭실대학교 생산기술연구소 LCD 연구센터장
 제1회 젊은 과학자상 수상

1. 서 론

오늘날 정보화시대에 있어서 인간과 컴퓨터와의 정보전달의 수단은 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 특히 휴대 가능한 정보표시소자는 정보화를 한층 발전시키는 계기가 되었다. 정보표시소자에는 발광형과 비발광형으로 구분되고 있으며 비발광형으로는 액정디스플레이(Liquid Crystal Display)가 주류를 이루고 있다¹⁾. LCD는 저소비전력, 저전압, 고화질, 평판 등의 장점을 가지고 있으며 오늘날 평판디스플레이소자(flat panel display device)를 대표하고 있다. 이러한 LCD는 노트북컴퓨터, 모니터 등에 많이 사용되고 있으며 향후 벽걸이TV 등에 응용이 예상되고 있다. 오늘날 문화가 발달함에 따라 휴대가 가능한 정보표시소자의 요구가 한층 더해지고 있다. 특히 휴대화가 가능한 것이 중요하며 이러한 조건을 만족시킬 수 있는 저소비전력용 반사형 LCD가 큰 기대를 모으고 있다. 휴대형 정보표시소자용 LCD로는 저 소비전력, 보기 용이, out Dow news가 가능한 것이 요구된다. 현재 흑백 TN (twisted nematic 방식), S(super) TN 방식의 반사형을 이용한 단말기가 제품화되고 있지만, 칼라화의 요구가 높아져 반사형 칼라 LCD의 연구개발이 활발해지고 있다. 본 해설에서는 반사형 LCD의 종류 및 기술현황에 대하여 설명한다.

2. 반사형 LCD의 종류 및 기술

현재, 제품화되고 있는 투과형 칼라 LCD는 2장의 편광판(광이용효율 : 약 30%)을 사용하는 방식이며, TFT array 개구율(60~80%)을 고려하면 backlight 광의 이용효율이 매우 낮은 약 10% 이하이다. backlight가 불필요한 반사형 칼라 LCD 실현을 위해서는 광이용 효율을 크게 향상시키는 신LCD 모드의 개발을 포함하여 새로운 소자구조와 그 요소기술의 개발이 필요하다. 표 1에 각종 반사형 LCD의 종류 및 특징에 대하여 나타내었다.

2-1. 편광판 사용의 칼라필터 방식

(1) STN-LCD방식

현재, 휴대정보단말기에 사용되고 있는 흑백 반사형 STN-LCD는 그림 1 (a)에 나타난 바와 같이 화소 피치 (pitch)가 약 300 μ m로 크고 2장의 편광판을 사용하여 반사판은 유리 기판의 바깥쪽에 설치되어 있다. 1 화소를 RGB로 3분할하는 칼라 LCD 방식에서는 화소 피치를 동일하게 하면 RGB가 각각 피치는 100 μ m정도가 되므로 반사판을 유리 기판 (약 0.7~1mm) 바깥쪽에 설치하면 시차가 발생하고, 색순도 저하 등 표시품질이 현저히 저하된다. 때문에 반사형 칼라 LCD에서는 반사판 기능을 갖는 막을 액정 셀 내부에 형성할 필요가 있고, 이를 고려한 1장

표 1. 반사형 LCD의 각종 표시 방식

표시방식	칼라필터 사용	편광판 사용	액티브 소자사용	gray scale 표시
STN	○	○(1장)	×	○
TN	○	○(1장)	○	○
R-OCB	○	○(1장)	○	○
PCGH	○	×	○	○
a-N*-GH	○	×	○	○
λ/4-GH	○	×	○	○
GH-PDLC	○	×	○	○
IRIS	○	×	○	○
적층 GH	×	×	○	○
적층H-PDLC	×	×	○	○
적층ChLC	×	×	×	×
PSCT	×	×	×	×

- STN : Super twisted nematic
- TN : Twisted nematic
- R-OCB : Reflective optically compensated bend cell
- PCGH : Cholesteric-nematic phase type guest-host
- a-N*-GH : Amorphous chiral nematic guest-host
- GH-PLDC : Guest-host type polymer dispersed liquid crystal
- IRIS : Internal-reflection inverted-scattering
- H-PDLC : Holographic polymer dispersed liquid crystal
- ChLC : Cholesteric liquid crystal
- PSCT : Polymer stabilized cholesteric texture

의 편광판, 위상차 판을 갖는 STN-LCD 반사형 구조의 최적화 연구가 이루어지고 있다. 최근 그림 1(b)에 나타난 바와 같이 거울면 반사전극을 액정 셀의 안쪽에 형성하고, STN 액정, 위상차 판의 광축 등의 최적화에 의해 무채색화를 도모하고, 칼라필터를 적용한 4096색 표시의 10.4" 반사형 칼라 LCD가 개발되었다²⁾. 이 구조는 전극이 거울면 때문에 액정 셀의 전면에서 산란 필름을 설치할 필요가 있다. STN 방식은 응답속도(200~400msec), 표시의 밝기 등의 과제가 있지만 TFT(thin-film-transistor)와 같은 액티브 구동을 필요로 하지 않기 때문에 가격 면에서 유리한 특징이 있다.

따라서, D, S, SH 기능이 절묘하게 balance된 조합에 의하여 유용한 기능 재료들이 설계, 개발되고 있다. (표 3) D, S, DH에 기초한, 새로운 기능 재료를 개발하고, 소재의 새로운 기능화 등을 창조하는 등의 적극적인 연구가 필요하다고 생각된다.

(2) TN-LCD 방식

TFT 구동에 의한 1장의 편광판을 이용한 TN방식의 반사형 칼라 LCD의 개발도 활발하게 이루어지고 있다. 거울면 반사판을 액정셀에 형성하고 칼라필터의 최적화, 액정 retardation, 산란 필름의 최적화 등에 의해 VGA(video graphic array) 레벨의 반

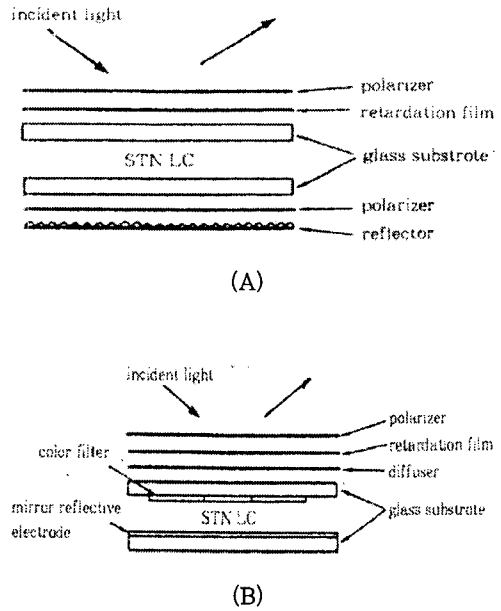


그림 1. 반사형 STN-LCD 방식의 구조 (A) 흑백, (B) 칼라

사형 칼라 LCD가 발표되고 있다. 또 편광판의 편광축, λ/4 판의 광축, 러빙 (rubbing) 방위 등의 최적화에 의해 그림 2에 나타난 구조인 10.4" 반사형 칼라 LCD의 발표도 이루어지고 있다³⁾. 밝기와 contrast 특성은 비틀림 (twist) 각으로서 90도와 80도에서는 trade off의 관계이며, 반사형에서는 특히 밝기를 중시하는 필요로 인해 80도 비틀림을 이용한 발표이다. 이 TN-LCD방식은 시야각이 비교적 넓고 응답속도(15msec)가 빠른 특징이 있다.

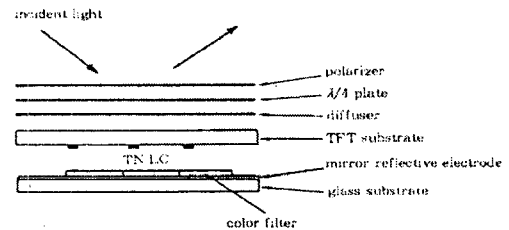


그림 2. 반사형 TN-LCD 방식의 구조

(3) R-OCB 방식

투과형 칼라 LCD의 광시야각화 표시 모드인 OCB (optically compensated bend) 방식은 앞에서 기술한 것처럼, 광시야각화 뿐만 아니라 TN-LCD 방식의 10배의 고속 응답성을 갖는 방식이다⁴⁾ R(reflective)-OCB방식의 기본 구조는 그림 3에

나타낸 바와 같이 OCB 방식을 반사형으로 한 것이며 칼라필터의 도입과 TFT구동에 의해 광시야각, 고속 응답성, 수많은 gray-scale등을 실현하는 반사형 칼라 LCD로서 주목되고 있다.

2-2. 편광판을 사용하지 않는 칼라필터 방식

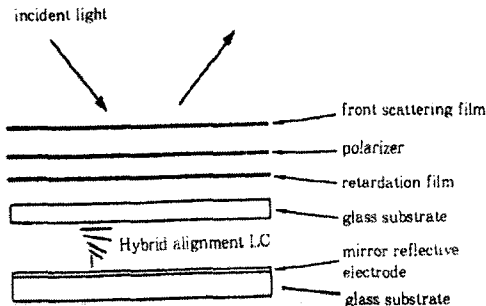


그림 3. R-OCB 방식의 구조

반사형 정보표시소자의 대표로는 신문, 잡지 등의 인쇄물을 들 수 있다. 이 인쇄물과 비교한 경우, 전자 디스플레이소자로서 반사형 칼라 LCD의 표시 성능은 밝기(반사율), contrast에서 열등하며 특히 중요한 요소인 밝기가 1/3~1/4로 어두운 것이 큰 과제이다. 표시를 보다 밝게 하기 위해서는 편광판(원리적으로 자연광의 1/2의 광이용효율)을 사용하지 않는 각종 표시방식이 발표되고 있다.

(1) 단층 액정 구조 GH 표시방식

2색성 색조(흑색)에 의한 GH (guest-host) 액정을 이용한 반사형 칼라 LCD의 연구·발표되고 있다. 첫 번째는 카이럴 네마틱 상전이 모드(White & Taylor 표시 모드)를 적용한 PCGH (phase change type guest host) 방식이다. 전압 off시 입사광은 색소에 의한 흡수에서 어두운 상태, 전압 on시 흡수가 없어져 투명 상태가 되고, 반사판의 반사광에 의해 밝은 상태가 되는 것을 이용한다. 칼라필터의 도입에 의해 반사형 칼라 LCD를 실현하는 것으로, 편광판이 불필요해서 보다 밝은 표시를 얻을 수 있다. 그림 4에 나타낸 바와 같이凹凸반사판, TFT구동하는 경우 개구를 향상책을 적용하여 4색, 8색의 멀티 칼라 반사형 LCD가 개발되었다. 이 표시 방식에서는 히스테리시스 현상이 있으므로 gray-scale 표시가 곤란하지만, 액정의 비틀림각을 230도 정도로 함에 따라 그 현상은 없애 gray-scale 표시가 가능한 512색, 4096색의 반사형 칼라 LCD가 개발되었다⁹⁾. 또 편광판이 불필요한 반사형 표시방식으로서 광시야각이며, gray-scale 표시가 가능한 300도의 비틀림각을 갖는 a-N*-GH 방식도 발표되고 있다¹⁰⁾.

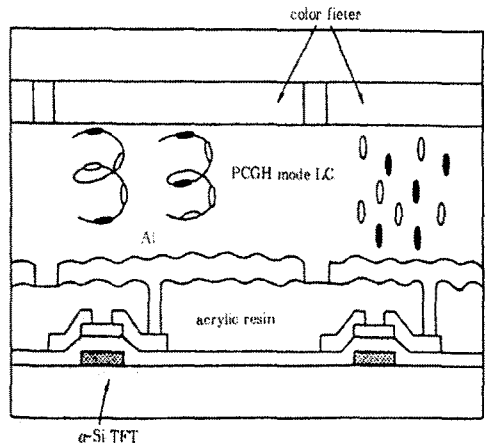


그림 4. PCGH 방식의 구조

backlight 문제를 해결하기 위해 그림 5에 나타낸 기본구조와 같이 액정셀 내에 1/4판, 반사판을 형성한 GH 표시 모드가 제안되고 있다. GH액정으로 수직 (homeotropic) 배향을 적용하여 액티브 매트릭스 구동에 의해 밝은 반사형 칼라 LCD를 실현하는 표시방식의 제안이다. Homeotropic 또는 반사형 LCD에서는 반사판의 반사 특성이 표시 특성으로서 밝기에 매우 중요하다. 이 때문에 이 방식에서는 표면의凹凸를 전자선 beam lithography법에 의해 미세 가공하고, 어느 각도 이내로 높은 반사율을 갖는 반사막을 설계, 개발하고, λ/4 GH 표시방식에 적용하여 밝은 칼라 표시를 실현하고 있다.

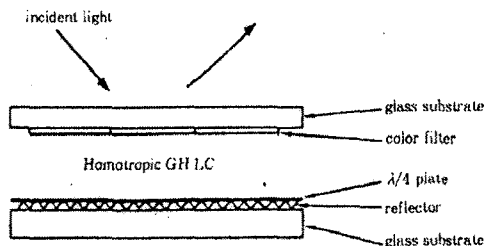


그림 5. λ/4-GH방식의 구조

더욱이 GH형 LCD로서 polymer 가운데 액정의 droplet를 분산시킨 GH-PDLC 표시 방식도 제안되고 있다. 그림 6에 나타낸 바와 같이 전압의 무인가 전압 시에는 polymer 중의 액정 및 색소 흡수에 의해 어두운 상태, 전압을 인가하면 전계에 의해 액정 및 색소 분자가 기판면에 대해서 수직 방향을 향해 밝은 상태가 되는 것을 이용한다. 칼라필터의 도

입과 액티브매트릭스 구동에 의해 편광판을 사용하지 않는 밝은 칼라 표시를 할 수 있는 방식이다.

이상과 같이 GH 액정 시스템 표시 방식이 많이 제안 개발되고 있지만 밝기, contrast 모두 반사형 칼라 LCD로서의 표시 성능은 아직 충분하지 않다. 고성능화를 위해서는 표시 방식의 계속된 개량과 함께 사용하는 액정 및 2색성 색소의 2색성비, order parameter 등의 개선이 필요하며, 소자면만이 아니라 재료 면에서의 연구 개발도 활발하게 이루어 질 것이다.

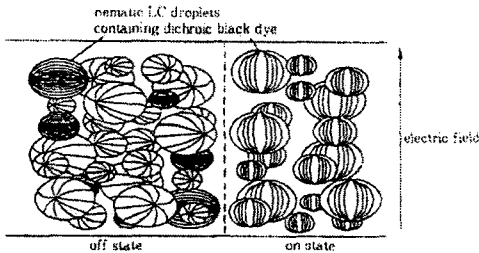


그림 6. GH-PDLC의 액정 droplet의 구조

(2) 단층 액정구조 PDLC 방식

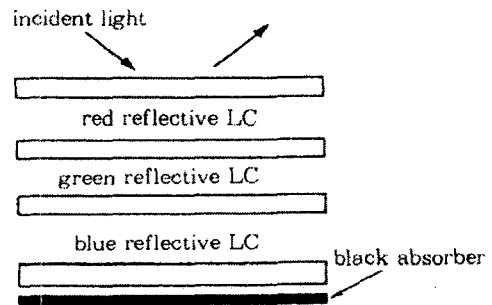
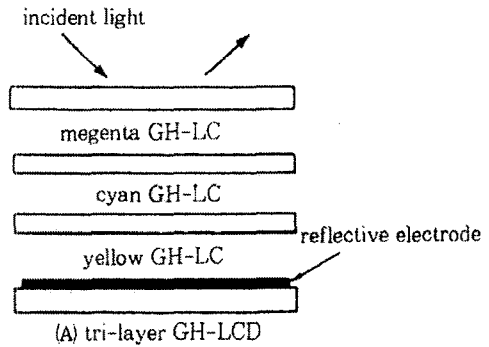
지금까지 기술해 온 편광판 이용방식, GH 액정방식과는 다른 고분자 분산형 액정 (PDLC : polymer dispersed liquid crystal)의 산란 현상을 이용한 IRIS 모드에 의한 반사형 칼라 LCD가 발표되었다⁷⁾. PLDC를 비틀림 배향 시켜서, 전압 무인가시는 투명 상태, 인가시는 복굴절의 미스 matching에 의한 산란 현상을 이용하는 것으로 반사형 TN-LCD와 비교하여 2.5배정도의 밝은 특성을 가지고, MIM (metal-insulator-metal) 구동, 거울면 셀내 반사전극, 칼라필터등 적용에 의해 매우 밝은 반사형 칼라 LCD를 실현한 발표이다.

2-3. 액정층 적층형 방식

위에서 칼라화 방식은 모든 1화소를 RGB 칼라필터로 3분할하는 가법 혼합법으로 불리는 방식이며, 광이용 효율은 원리적으로 자연광의 1/3이다. 화소 분할을 하지 않고 1화소로 풀 칼라를 표시할 수 있다면 광이용 효율은 3배가되고 보다 밝은 반사형 칼라 LCD를 실현 할 수 있으므로 그림 7에 나타난 두 가지 방법의 연구 발표가 이루어지고 있다.

첫 번째는 그림 7 (a)에 나타난 바와 같이 가법 혼합법에 의한 magenta, cyan, yellow의 GH 액정 적층 방식이다. 파라라스에 의한 색순도 열화를 막기 위해 3층의 액정 패널 중간의 유리 기판 두께는 0.4mm로 하고, 각 층, 액정은 각각 독립적으로 TFT 구동하는 밝은 반사형 칼라 LCD가 보고되고 있다.

두 번째 방법은 그림 7 (b)에 나타난 바와 같이



(B) tri-layer selective reflection LCD

그림 7. 적층방식 반사형 칼라 LCD의 구조

표 2. 반사형 LCD의 표시방식에 따른 표시특성

표시모드	PC (GH)	PDLC	PSCT	ECB	TN
광학적 특징	광흡수	광산란/광 흡수/회절	선택반사	복굴절	선풍
반사 휘도 (흑백표시)	◎	△~○	△	△~○	△
다색화	○	○	○	○	×
저전압화	○	×	×	◎	◎
고속화	△~○	◎	△~○	○	○
구동법	액티브	액티브	액티브/단순 매트릭스	액티브/단순 매트릭스	액티브

(◎ : 매우 좋음, ○ : 좋음, △ : 보통, × : 나쁨)

적, 녹색, 청색을 선택 반사하는 액정 적층 방식이며, 이를 실현하는 방법으로서 PDLC를 이용하고 있다. 홀로그래픽 기술을 이용하여 액정 polymer의 다층 구조를 형성하는 H-PDLC가 제안되고 있으며⁸⁾, 어느 특정 파장만 선택적으로 반사하도록 설계할 수 있고, 광이용 효율의 관점에서는 가장 유리한 풀 칼라화 방식으로 주목되고 있다. 또 콜레스테릭(choles-

teric) 액정을 polymer로 안정화 시켜, 플레이너 배향 상태에서 액정의 나선 피치에 대응하는 파장 광을 선택 반사시키는 PSCT(polymer stabilized cholesteric texture) 방식⁹⁾의 제안도 있다. 이 기술을 이용한 적, 녹, 청을 반사하는 액정 층을 각각 필름 기판으로 삽입하고, 3층 적층한 반사형 칼라 LCD가 최근 발표되고 있다. PSCT 방식은 cholesteric 액정의 선택 반사 때문에 높은 반사율(50%)로 메모리성을 가지고 있지만, gray-scale 표시를 할 수 없으며 2치 표시이며, 단순 매트릭스 구동이 가능하다는 등으로 인해 정지화면의 고정세 멀티칼라 LCD로서 유망하다. 표 2에 반사형 LCD의 표시특성에 따른 표시특성을 나타내었다.

3. 결 론

오늘날 멀티미디어 사회가 진전되는 가운데 노트북 컴퓨터, 모니터, 대화면 TV, 컴퓨터 휴대정보단말기, 옥외용 대화면 디스플레이, 3차원 디스플레이 등의 각종 다양한 디스플레이가 요구되고 있다. LCD는 비발광형의 단점인 화면이 어둡다는 것을 이미 극복하고 대면적 및 고화질LCD를 실현시키고 있다. 향후 기존의 CRT보다 화질이 좋은 LCD의 실현은 물론 새로운 방식의 LCD의 개발에도 기대가 크다.

참고문헌

- 1) 서대식, "정보디스플레이소자의 기초 및 응용", 숭실대학교 출판부, 1998.
- 2) H. Yamaguchi, S. Fujita, N. Naito, H. Mizuno, T. Otani, T. Sekime, T. Ogawa and N. Wakita, "A Reflective Color STN-LCD with a Single Polarizer and Double Retardation Films", *SID 97 Digest*, 647(1997).
- 3) C.-L. Kuo, C.-L. Chen, D.-L. Ting, C.-K. Wei, C.-K. Hsu, B.-J. Liao, B.-D. Liu, C.-W. Hao and S.-T. Wu, "Reflective MTN-Mode TFT-LCD with Video-Rate and Full-Color Capabilities", *SID 97 Digest*, 79(1997).
- 4) T. Ushida, T. Ishinabe and M. Suzuki, "A Bright Reflective LCD Using Optically Compensated Bend Cell with Gray-Scale Capability and Fast Response", *SID 96 Digest*, 618(1996).
- 5) Y. Ishii, N. Kimura, F. Funada and K. Awane : *Proc. Euro Display '96*, 115(1996).
- 6) T. Sugiyama, T. Hashimoto, K. Katoh, H. Suzuki, Y. Iwamoto, Y. Iimura and S. Kobayashi, "A Reflective a-N*GH-LCD and its Ergonomic Characterization and Optimization", *SID 96 Digest*, 35(1996).
- 7) T. Sonehara, M. Yazaki, H. Iisaka, Y. Tsuchiya, H. Sakata, J. Amako and T. Takeuchi, "Full-Color Reflective LCD Using Internal-Reflection Inverted-Scattering(IRIS) Mode", *SID 97 Digest*, 1023(1997).
- 8) G. P. Crawford, T. G. Fiske and L. D. Silverstein, "Reflective Color LCDs Based on GH-PDLC and PSCT Technologies", *SID 96 Digest*, 99(1996).
- 9) D.-K. Yang and J. W. Doane : *SID 92 Digest*, 759(1992).