
대전입자를 이용한 고성능 Guest-Host 액정 디스플레이 모드

문병준* · 윤성호* · 이기동**

High performance guest-host liquid crystal display mode using the charged particles

Byung-June Mun* · Sung-Ho Youn* · Gi-Dong Lee**

이 논문은 LG연암문화재단의 교수해외연구지원에 의하여 수행되었음

요 약

본 논문에서는 Guest-Host 디스플레이의 문제점인 낮은 명암대비비를 해결하기 위해서 음전하로 대전된 흑색입자를 이용한 고성능 하이브리드 Guest-Host 디스플레이를 제안하였다. 우리는 패턴된 전극구조의 설계로 전압에 따른 입자의 스위칭을 고려하였으며, 염료 및 입자의 혼합비를 최적화하여 전기광학특성을 향상시켰다. 따라서 기존 Heilmeyer Guest-Host 디스플레이에 비교하여 dark 특성을 80% 이상 향상시켰으며, 명암대비비를 비교분석함으로써 제안된 모드의 성능 우수성을 검증하였다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed the novel hybrid guest-host liquid crystal display using the negative charged black particles in order to improve the low contrast ratio. We designed patterned electrode in order to switch the charged particle to the opposite electrode and improved the electro-optical characteristics by optimize the mixture of guest materials. In Comparison with the Heilmeyer Guest-Host mode, proposed hybrid guest-host structure showed 80% reduction of transmittance in dark state, and the performance was examined by comparing contrast ratio.

키워드

Guest-Host 디스플레이, 액정, 입자, 염료, 명암대비비

Key word

Guest-host display, Liquid crystal, Particle, Dichroic dye, Contrast ratio

* 준회원 : 동아대학교
** 정회원 : 동아대학교 (교신저자, gdlee@dau.ac.kr)

접수일자 : 2012. 05. 14
심사완료일자 : 2012. 06. 05

I. 서 론

Guest-Host (G-H) 액정 디스플레이 모드는 액정(Host) 셀 내에 특정한 파장의 빛을 흡수하는 이색성 염료(Guest)를 혼합하여 빛의 흡수를 조절하는 액정표시장치이다. 혼합된 염료는 액정분자와 마찬가지로 비등방성을 갖기 때문에 빛의 흡수율이 편광 방향에 따라 달라진다.

일반적으로 구동원리를 살펴보면 전압을 걸지 않았을 때는 염료의 장축이 편광판을 투과한 빛의 진동방향과 일치하여 빛을 흡수하게 되고, 전압을 인가하여 액정 분자가 기판에 수직인 방향으로 정렬되면 빛은 염료의 단축방향으로 진동함으로써 흡수가 적어 투과된다 [1-2].

G-H 모드는 편광판의 역할을 염료가 대신함으로써 높은 휘도, 저비용 및 쉬운 공정과정을 갖추었으며, 적층을 이용한 감법칼라 혼합(subtractive color mixing) 방식으로 칼라를 구현할 수 있어 칼라필터가 필요하지 않는 장점을 가진다. 그리하여 Heilmeyer 모드, double cell 모드, White-taylor 모드, reflective black and white phase change(PC) 모드와 같은 다양한 G-H 모드들이 개발되어 왔다 [3-7]. 하지만 염료가 가지는 이색비는 일정하여 우수한 dark 특성을 구현하기가 어렵고 또한 Bright 구현 시 염료의 단축으로 흡수되는 빛의 양이 존재하여 특성을 향상시키는 부분이 있어서 한계가 있다. 따라서 낮은 명암대비비와 함께 고화질 구현이 어려운 문제점을 갖는다.

본 논문에서는 G-H 액정 디스플레이 모드의 문제점인 낮은 명암대비비를 해결하고자 음전하로 대전된 흑색입자를 액정 셀 내에 염료와 함께 혼합하여 dark 상태를 개선함으로써, 우수한 명암대비비를 갖는 고성능 하이브리드 G-H 액정 디스플레이 모드를 제안하고자 한다.

II. 고성능 하이브리드 Guest-Host 모드 디스플레이 셀 구조 및 구동원리

제안된 고성능 G-H 디스플레이 모드는 Heilmeyer G-H 디스플레이 모드와 입자형 전자종이 디스플레이 모드의 특성을 가지는 하이브리드 형태를 띠고 있으며, 액정 셀 내 혼합된 염료/흑색입자를 이용하여 투과된

빛을 흡수함으로써 우수한 dark 특성 및 높은 명암대비비 구현이 가능하다.

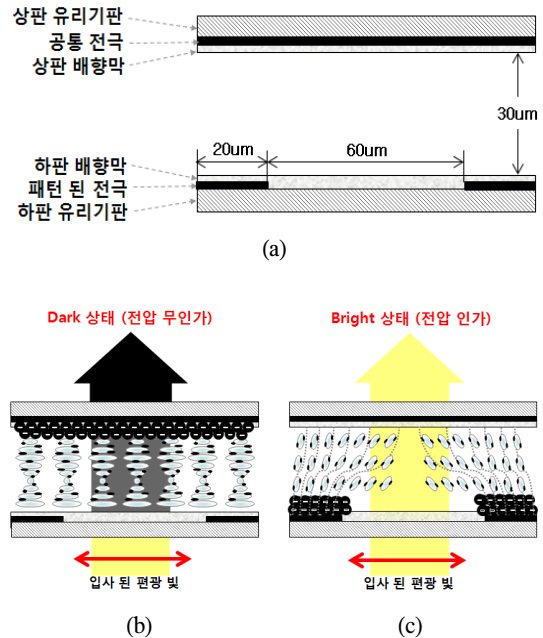


그림 1. 하이브리드 Guest-Host 모드
(a) 셀 구조 (b) 전압 무인가 상태 (c) 전압 인가 상태
Fig. 1 The hybrid Guest-Host mode (a) The cell structure (b) Voltage off state (c) Voltage on state

그림 1(a)는 제안된 G-H 디스플레이 모드의 셀 구조이다. 셀의 상, 하판에 존재하는 전극은 투명 전극인 ITO(indium tin oxide)로 만들어져 있다. 셀 갭은 30um이고, 상판전극의 폭은 100um이다. 하판 전극의 경우 리소그래피(lithography) 공정을 통하여 패턴된 전극구조를 적용함으로써 셀 내 존재하는 흑색입자의 스위칭을 통한 디스플레이 구현을 고려하였다. 따라서, 하판전극의 폭과 전극사이 간격을 각각 20um와 60um로 적용하였다.

그림 1(b)와 같이 전압 무인가 상태의 G-H 셀은 액정과 염료의 혼합물이 같은 방향성 가지며 배향되어 있고, 혼합물 내에 존재하는 입자의 초기상태는 상측 ITO 전극 위에 위치되어있다. 편광판의 투과축 방향과 액정셀의 러빙 방향을 평행하게 배열시키고 빛을 입사하면, 빛의 진동방향이 염료의 장축과 일치하여 빛을 흡수하게 되고 뿐만 아니라 상측에 존재하는 흑색입자를 통해 빛은 차단되면서, 우수한 dark 특성 구현이 가능하다. 반면

에 전압을 가한 상태에서는 음전하를 띄는 입자들이 스위칭과정을 통하여 하측 ITO 전극으로 분리되어 위치하게 되고, 액정/염료 분자들은 수직진계 방향으로 재배열된다. 따라서 편광 된 빛은 염료의 단축방향으로 진동함으로써 낮은 흡수와 함께 **bright** 특성을 갖는다.

III. 실험 및 결과

제안 된 하이브리드 G-H 디스플레이의 전기광학특성을 비교 확인하기 위해서 그림1(a)의 동일한 셀 구조를 바탕으로 Heilmeyer G-H 모드 디스플레이 셀과 수직스위칭 입자형 전자종이 셀을 제작하였다.

우선 상, 하부 ITO 유리 기판에 수평 배향막(7492K)을 도포하고, polyimidization을 위한 베이킹(200°C) 과정을 거친다. 240도 꼬인 액정 셀 제작을 위하여 러빙 공정을 거치고, 셀 내 양의 액정(ML-7037, Merck)과 카이럴 도펀트 (S811, Merck)를 혼합하여 염료 및 입자와 함께 주입한다. 액정의 꼬임각을 높이는 것은 염료의 밀도를 증가시켜서 빛의 흡수율을 개선하고 우수한 **dark** 상태를 구현하기 위함이다.

3.1. Heilmeyer Guest-Host 디스플레이 셀

그림 2는 Heilmeyer G-H 셀 구동모드이다. 2wt%를 가지는 액정/염료 혼합물은 전압 무인가 시 러빙 방향으로 배열되어 있으며, 러빙 방향과 평행한 편광판으로 투과 된 빛은 염료의 장축으로 흡수되어 **dark** 특성을 가진다.

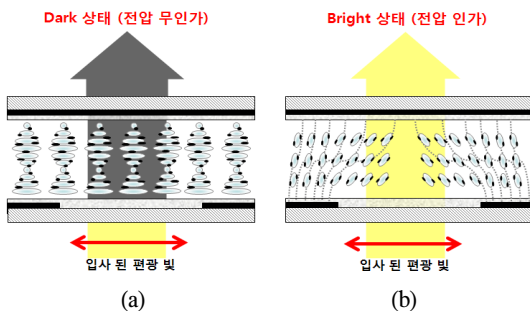


그림 2. Heilmeyer Guest-Host 모드
(a) 전압 무인가 상태 (b) 전압 인가 상태
Fig. 2 Heilmeyer Guest-Host mode
(a) voltage off state (b) voltage on state

반면에 전압을 인가하였을 경우 혼합물은 진계방향으로 재배열되며 편광 된 빛은 염료의 단축방향으로 흡수되어 투과율이 높아지게 된다.

그림 3은 제작 된 단위 셀의 투과특성을 나타내고 있으며, 붉은색 화살선은 편광판의 투과축 방향이고, 파란색 화살선은 액정 셀 러빙 방향을 표시한다. 그림 3(a)는 두 화살선이 서로 평행함으로써 편광 빛이 염료의 장축에 흡수되어 **dark** 특성을 갖게 되며, 그림 3(b)와 같이 편광 축과 러빙 방향이 수직일 경우 편광 빛이 염료의 단축에 흡수되어 **bright** 특성을 갖는다. 마찬가지로 전압을 인가하면 액정/염료 혼합물의 재배열로 인하여 **bright** 특성이 나타나는 것을 그림 3(c)를 통하여 확인할 수 있다.

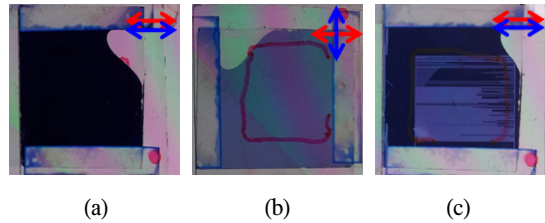


그림 3. 제작 된 셀의 투과도. 편광축과 셀 러빙방향
(a) 평행 (전압 무인가) (b) 수직 (c) 평행(전압 인가)
Fig. 3 Transmittance of the fabricated LC cell. The polarization axis and rubbing direction are
(a) parallel (no voltage) (b) orthogonal (c) parallel (applied voltage)

Heilmeyer G-H 셀은 **bright** 상태라고는 하나 염료의 단축에 흡수되는 빛이 항상 존재하기 때문에 **bright** 특성 개선이 불가능하고, 또한 일정한 이색비를 가진 염료는 우수한 **dark**상태 구현에 한계가 있기 때문에 낮은 명암 대비비를 갖게 된다.

3.2. 수직스위칭 형태의 입자형 전자종이 디스플레이 셀

본 논문에서는 패턴 된 전극구조를 가지는 셀 내에 음전하로 대전된 입자(C_{60})를 이용하여 디스플레이를 구현하였다. 특히 Dielectrophoretic force에 의한 입자의 동적특성이 이방성 매질에서 우수한 결과가 나온다는 것을 확인하였고[8], 액정/입자 혼합물은 8wt%를 가질 때, 동적특성이 최적화되는 것을 확인하였다.

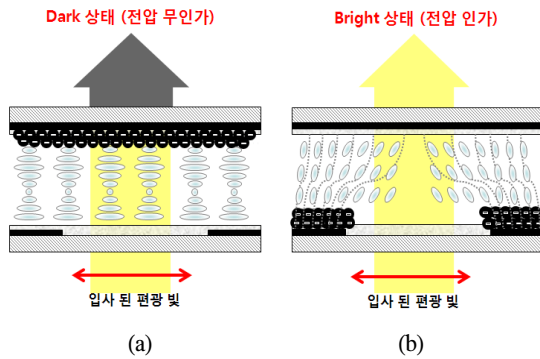


그림 4. 수직스위칭 입자형 전자종이 모드
 (a) 전압 무인가 상태 (b) 전압 인가 상태
 Fig. 4 Vertical switching electronic paper mode using negative charged black particle (a) Voltage off state (b) Voltage on state

그림 4는 입자형 전자종이 디스플레이 셀의 구동모드를 나타낸다. 전압을 인가하지 않은 초기상태의 입자는 상측 ITO 전극위에 위치하여 dark 상태를 구현하다가 하판에 (+)전압을 인가하면 전계에 의한 입자의 deposition 과정을 통하여 패턴 된 하측 ITO 전극으로 나뉘어 위치하게 됨으로써 bright 상태로 바뀐다.

그림 5는 제작된 전자종이 셀의 유동특성을 100배율 현미경으로 촬영하였다. 전압의 유무에 따라 대전된 입자의 deposition 현상을 통하여 dark 및 bright 상태 구현을 확인할 수 있다.

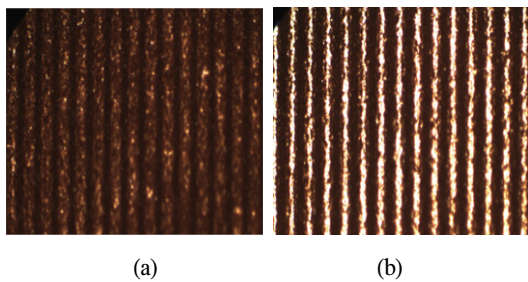


그림 5. 제작된 입자형 전자종이 셀 (×100배)
 (a) 전압 무인가 상태 (b) 전압 인가 상태
 Fig. 5 The fabricated electronic paper cell using negative charged black particle (a) voltage off state (b) voltage on state

3.3. 하이브리드 Guest-Host 디스플레이 셀

제작된 Heilmeier G-H 모드와 입자형 전자종이 특성을 결합한 하이브리드 G-H 디스플레이 셀을 제작함으로써 우수한 dark 특성을 가지는 고성능 디스플레이 구현을 가능케 하였다. 입자와 염료를 각각 8w%, 2w%의 비율로 제조하였으며, 혼합물을 셀 내에 주입시켜 그림 6에서와 같은 투과특성을 확인하였다.

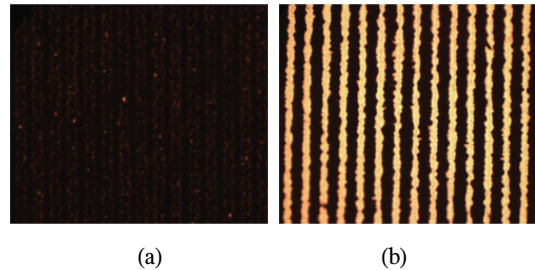


그림 6. 제작된 하이브리드 Guest-Host 셀 (×100배)
 (a) 전압 무인가 상태 (b) 전압 인가 상태
 Fig. 6 The fabricated hybrid guest-host cell (a) voltage off state (b) voltage on state

그림 6(b)에서 보듯, 전압 인가 시 전계에 의해 염료는 재배열되고, 입자는 스위칭 함으로써 bright 특성을 갖게 된다. 전압이 off 상태에서는 편광된 빛은 염료의 장축에 흡수되고 입자에 차단됨으로써 입자형 전자종이 셀에 비교해 우수한 dark 특성을 갖게 되는 것을 그림 6(a)를 통해 확인하였다.

3.4. 제안된 하이브리드 Guest-Host 모드 디스플레이의 전기광학특성 비교

제작된 셀의 전기광학특성을 비교하기 위해서 셀 구동에 따른 투과율을 측정하였다. 아래 그림 7은 bright 상태와 dark 상태에서의 측정된 투과율을 정규화 과정을 거친 수치이다.

기존의 Heilmeier G-H 셀의 경우 이색성 염료의 흡수율에 대한 한계로 인하여 dark 상태에서 약 8%가량의 빛샘 현상을 확인하였다. 반면에 제안된 하이브리드 G-H 셀은 염료 및 흑색입자에 의하여 빛을 차단하였고, 그 결과 약 1.6%의 투과율을 보이며 우수성을 입증하였다.

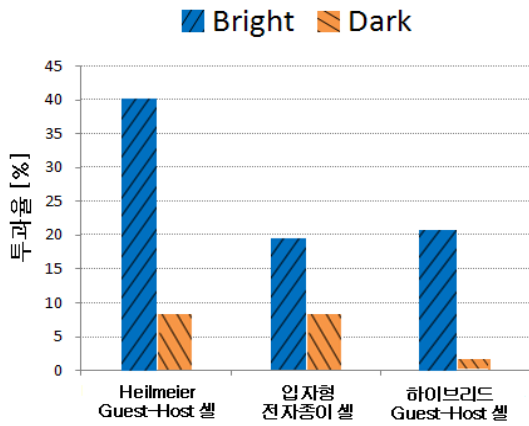


그림 7. 제작 된 각 단위 셀의 Bright 및 Dark 상태 비교
Fig. 7 The comparison of bright and dark state for fabricated unit cells

표 1은 측정 된 투과율 수치를 바탕으로 명암대비비를 비교하였다. 제안 된 하이브리드 G-H 셀은 기존의 Heilmeier G-H 셀에 비하여 약 80% 이상 빛샘 현상이 감소하였다. 따라서 명암대비비가 약 3배가량 증가함으로써 고성능 G-H 디스플레이 모드 구현을 가능케 하였다.

표 1. 제작 된 각 단위 셀의 명암대비비 비교
Table. 1 The comparison of the contrast ratio for fabricated unit cells

	Bright 상태	Dark 상태	명암 대비비
Heilmeier G-H 셀	38.4%	8%	4.8:1
입자형 전자종이 셀	18.8%	8%	2.35:1
하이브리드 G-H 셀	20%	1.6%	12.5:1

IV. 결론

흡수형 액정 모드인 G-H 디스플레이 모드는 일정한 이색비를 가지는 염료의 특성상 우수한 dark 상태를 구현하기 힘들 뿐 아니라, 전압 인가 시 염료의 단축으로

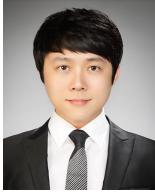
흡수 되는 빛으로 인하여 bright 특성 개선에 한계를 가지고 있다.

본 논문에서는 음전하로 대전된 흑색입자를 액정 셀 내 염료와 혼합하였다. 편광된 빛은 염료의 장축으로 흡수되고, 상층 ITO 유리기판에 위치한 흑색입자를 통하여 재 차단됨으로써 기존 Heilmeier G-H 디스플레이에 비교하여 약 80% 이상 빛샘 현상이 제거되었음을 확인하였다. 또한 명암대비비의 비교분석으로 제안된 고성능 하이브리드 G-H 디스플레이 모드의 성능 우수성을 검증하였다.

참고문헌

- [1] H. Kawamoto, "The History of Liquid-Crystal Displays", PROCEEDINGS of THE IEEE, 90, No.4 (2002)
- [2] E. Lueder, Liquid crystal display: Addressing schemes and electro-optical effects (Wiley, 2001)
- [3] G. H. heilmeier, and L. A. Zaroni, "GUEST-HOST INTERACTIONS IN NEMATIC LIQUID CRYSTALS. A NEW ELECTRO-OPTIC EFFECT", Appl. Phys. Lett., 12, 91(1968).
- [4] H. S. Cole, and R. A. Kashnow, "A new reflective dichroic liquid crystal display device", Appl. Phys. Lett., 30, 619-621(1977).
- [5] D. L. White, and G. N. Taylor, "New absorptive mode reflective liquid-crystal display device", J. Appl. Phys., 45, 4718(1974).
- [6] F. Zhang and D.-K. Yang, "Polymer Stabilized Cholesteric Dichroic Dye Displays", SID digest, 33, 469-471(2002)
- [7] T. Katoh, and H. Okamura, "New Dichroic Dyes for Guest-Host Liquid Crystal Mode", IDW/AD '05, EPp-2, 891-894.
- [8] M.-K. Kim, Y. J. Lim, S. S. Bhattacharyya, M.-Hoon. Lee, and S. H. Lee, "Control of motion of fullerene colloids by dielectrophoretic force for electronic paper-like display", Curr. Appl. Phys., 11, 1192-1196 (2011).

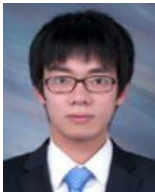
저자소개



문병준(Byung-June Mun)

2010년 2월 동아대학교
전자공학과(공학사)
2010년 3월~현재 동아대학교
전자공학과 석사박사
통합과정

※ 관심분야 : LCD, 3D display, Lens



윤성호(Sung-Ho Youn)

2011년 2월 동아대학교
전자공학과(공학사)
2011년 3월~현재 동아대학교
전자공학과 석사과정

※ 관심분야 : LCD, 3D display, Lens



이기동(Gi-Dong Lee)

1989년 부산대학교 전자공학과
(공학사)
1991년 부산대학교 전자공학과
(공학석사)

2001년 부산대학교 전자공학과(공학박사)
1991년~1997년 삼성SDI LCD R&D 연구원
2001년~2003년 Kent State University Research Fellow
2003년~2004년 LG Display 사외 위촉 교수
2004년~현재 동아대학교 전자공학과 부교수

※ 관심분야 : 디스플레이 소자