

논문 2009-46SD-8-2

Full-HD LCOS Panel의 Cell Gap의 변화에 따른 전기광학적 특성에 대한 연구

(A Study of Electro-optical Characteristics of Full-HD LCOS Panel Depending on Various Cell Gaps)

손홍배*, 김민석**, 강정원*

(Hongbae Son, Min Seok Kim, and Jungwon Kang)

요약

VA Mode LC를 사용하는 Full-HD급 LCOS 마이크로디스플레이에서 셀 상하 간격의 변화에 따른 전기광학적 특성의 변화에 관하여 3차원 LC code를 이용하여 연구하였다. 5가지의 다른 셀 상하 간격 (1.4 μm , 1.8 μm , 2.1 μm , 2.4 μm 그리고 2.8 μm)의 변화에 따라 Reflectance-Voltage 특성, 반사광 및 반사율 분포, Optical Fill Factor 그리고 명암비를 비교하였다. Surface Anchoring 효과에 의해 상하 간격이 증가하면서 반사율은 증가하였으나 Optical Fill Factor와 명암비를 고려할 경우, 중간 수준의 간격인 2.1 μm 의 특성이 가장 우수함을 확인할 수 있었다. 동일한 구조를 갖고 있는 0.7 인치 LCOS 패널을 제작하여 광학적 측정을 해 본 결과 시뮬레이션 결과와 동일함을 확인할 수 있었다.

Abstract

The electro-optical characteristics of the Liquid Crystal on Silicon (hereinafter "LCOS") micro-display on vertically alignment (VA) mode were studied with 3-dimensional LC code. 5 different cell gaps, such as 1.4 μm , 1.8 μm , 2.1 μm , 2.4 μm and 2.8 μm , were selected. The reflectance-voltage (R-V) characteristics, distribution of reflected light, reflectance, optical fill factor and contrast ratio were calculated and investigated depending on various cell gaps. Due to the surface anchoring effect, higher cell gap showed higher reflectance. However, considering the optical fill factor and contrast ratio, middle-height 2.1 μm showed the best electro-optical characteristic. 0.7 inch Full-HD LCOS panels having same geometry and material property were fabricated. The reflected light intensity and contrast ratio were measured and the measured results were well-matched to the calculated results.

Keywords : LCOS, Cell Gap, Microdisplay, VA Mode

I. 서론

최근 디지털 방송의 시작으로 고화질, 대화면 디스플레이에 대한 관심이 높아지면서 평판디스플레이의 수요가 증가되고 있다. 40인치 이상의 대화면 평판디스플레이는 LCD, PDP와 프로젝션 (Projection) 디스플레이가 있으며, 이 중 프로젝션 디스플레이는 1 인치 이하의

소형 디스플레이 영상을 광학계를 이용하여 40 인치 이상으로 확대하는 방법을 사용하고 있다. 이때 사용되는 소형 디스플레이인 마이크로디스플레이 (Microdisplay)는 픽셀 (Pixel)의 밀도가 일반 디스플레이보다 최소 5배에서 200 배까지 높기에 많은 정보량을 작은 영역 내에 구현할 수 있다는 특징을 갖고 있으며, 프로젝션 디스플레이외에도 소형의 Near to Eye와 같은 직시형 디스플레이에 적용된다.

대화면 프로젝션 디스플레이에 적용되는 마이크로디스플레이는 투과형과 반사형으로 구분할 수 있다. 투과형은 고온 폴리 TFT-LCD를 사용하여 적/녹/청 3색을

* 정회원, ** 학생회원, 단국대학교 전자전기공학부
(Dept. of Electronics and Electrical Engineering,
Dankook University)
접수일자: 2009년2월9일, 수정완료일: 2009년8월1일

LC의 픽셀을 통해 투과/분광시키고, 렌즈로 분광된 빛을 모아 영상을 만들게 된다. 반사형인 DLP (Digital Light Processing) 는 픽셀에 해당하는 미세한 거울 수천 개를 DMD (Digital Mirror Device) 에 집적하여, 이 거울들에 경사를 주어 빛을 반사하는 방법으로 화상을 구현하게 된다^[1].

또 하나의 반사형인 LCOS (Liquid Crystal on Silicon) 는 실리콘 웨이퍼에 LCD를 집적한 것으로, 픽셀의 수가 LCD나 DLP 방식에 비해 제한이 적기에 고해상도의 디스플레이를 구현하기 용이한 장점이 있으나, 1 인치 이하의 패널에서 고해상도를 구현하기에 휘도가 감소하는 단점을 보이고 있다.

본 논문에서는 고해상도 LCOS 패널의 단점인 휘도를 개선하기 위하여 픽셀 내 셀 상하 간격 (Cell Gap) 의 변화에 따른 반사율, 반사광의 분포 및 명암비와 같은 광학적 특성의 변화를 3차원 LC 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 분석된 내용을 기반으로 두 개의 다른 셀 상하 간격을 갖고 있는 LCOS 테스트 패널을 제작한 후 광학적 특성의 측정과 시뮬레이션 결과와의 비교를 통해서 최적의 셀 상하 간격 조건을 도출하였다.

II. 시뮬레이션 조건

Fig. 1은 Full-HD (1920×1080) 급 0.7 인치 LCOS 패널을 3차원 LC 시뮬레이션 (TechWiz LCD[®]) 으로 구현한 구조이다^[2-3]. 상판은 유리기판, ITO (Indium Tin Oxide) 로 구성된 공통전극 (Common Electrode) 과 배향막 (Alignment Layer) 로 구성되어 있고, 하판은 실리콘 기판, 중간유전층 (Interlayer), 알루미늄인 픽셀 전극 (Pixel Electrode) 과 그 위를 덮는 SiO₂ 와 SiN_x 유전층 그리고 배향막으로 구성된다. 픽셀 크기는 7.7 μm 이며, 이웃한 픽셀 사이의 간격은 0.4 μm 이다. 픽셀 전극과 공통 전극 사이는 액정 (Liquid Crystal) 이 채워지며, 두 전극 간의 셀 상하 간격은 시뮬레이션

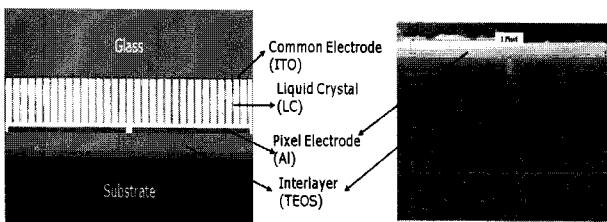


그림 1. LCOS 패널 구조
Fig. 1. Structure of LCOS Panel.

표 1. 액정 (MLC-6609) 속성
Table 1. LC (MLC-6609) Properties.

K11 (Splay Elastic Constant, pN)	17.2
K22 (Twist Elastic Constant, pN)	7.3
K33 (Band Elastic Constant, pN)	17.9
Extraordinary Refractive Index (n _e)	1.5514
Ordinary Refractive Index (n _o)	1.4748
Dielectric Anisotropy (Δε)	-3.7

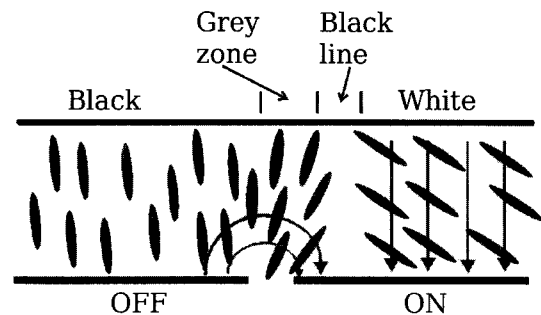


그림 2. Fringe Field에 의한 광학적 특성의 저하
Fig. 2. Degradation of Optical Property due to the Fringe Field.

에서 변수로 채택하였다^[4-6].

셀 상하 간격 내에 채워지는 LC의 Pretilt Angle을 87°로 수직 배양되고 Azimuthal Angle은 45°로 하였다. Table 1은 시뮬레이션에서 사용된 LC의 속성으로 Merck사에서 공급되는 MLC-6609와 동일하다^[7].

모든 시뮬레이션은 Fig. 2 에서 보이는 것처럼 ON 픽셀과 OFF 픽셀이 이웃할 경우, Fringe Field 효과에 의하여 광학적 특성이 저해되는 것을 고려한 2 by 1 픽셀 모델을 사용하였다. 상판의 공통 전극은 + 6 V를 적용하고, 좌측의 OFF 픽셀의 픽셀 전극에는 0 V를 적용하고, 우측의 ON 픽셀의 픽셀 전극에는 0 V 에서 + 6 V 까지 데이터 전압 (Data Voltage) 을 인가하면서 광학적 특성의 변화를 분석하였다.

III. 시뮬레이션 결과

Fig. 3은 셀 상하 간격이 1.4 μm, 1.8 μm, 2.1 μm, 2.4 μm 그리고 2.8 μm 인 경우, ON 픽셀을 기준으로 데이터 전압

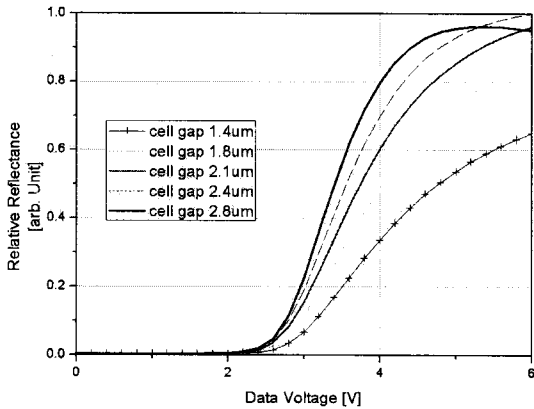


그림 3. 셀 상하 간격 변화에 따른 반사율-전압 곡선
Fig. 3. Reflectance-Voltage Curve depending on Various Cell Gaps.

의 변화에 따른 반사율의 변화를 나타내는 곡선이다. Fig. 3에서 보는 것과 같이 동일한 데이터 전압에서 셀 상하 간격이 증가할수록 반사율은 상승하고 반사율이 포화되는 문턱 전압 (= V_{th}) 은 감소하는 경향을 보이고 있다. 셀 상하 간격과 V_{th} 는 반비례 관계를 보이며, 이것은 셀 상하 간격이 작아질수록 LC 기판에서 Surface Anchoring 효과에 의하여 LC 가 Twist하기 어려워지는 데에 기인한다. 셀 상하 간격이 2.4 μm 인 경우, 인가된 데이터 전압이 + 6 V 에서 가장 높은 반사율을 보이며, 이 값 (1.0) 을 기준으로 다른 상하 간격에서 연산된 값을 환산하여서 Fig. 3에 도식하였다. 2.1 μm 인 경우에도 동일한 데이터 전압에서 유사한 반사율을 보임을 알 수 있다.

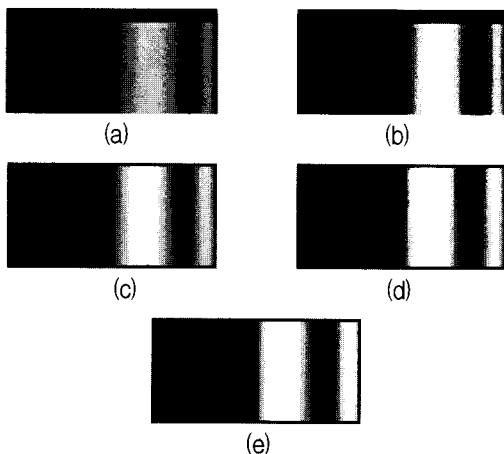


그림 4. 셀 상하 간격 변화에 따른 반사광의 분포 ; (a) 1.4 μm , (b) 1.8 μm , (c) 2.1 μm , (d) 2.4 μm 그리고 (e) 2.8 μm

Fig. 4. Reflected Light Distribution depending on Various Cell Gaps; (a) 1.4 μm , (b) 1.8 μm , (c) 2.1 μm , (d) 2.4 μm and (e) 2.8 μm .

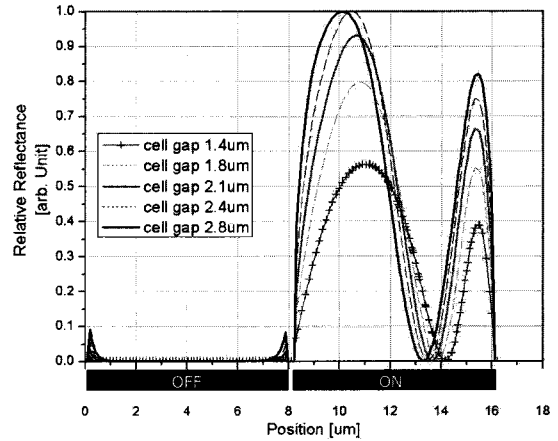


그림 5. 셀 상하 간격 변화에 따른 픽셀 중앙에서의 반사율 변화 ; (a) 1.4 μm , (b) 1.8 μm , (c) 2.1 μm , (d) 2.4 μm and (e) 2.8 μm

Fig. 5. Reflectance at the Center of Pixel depending on Various Cell Gaps; (a) 1.4 μm , (b) 1.8 μm , (c) 2.1 μm , (d) 2.4 μm and (e) 2.8 μm .

Fig. 4에서는 위에서 언급한 셀 상하 간격 별로 OFF 픽셀에는 0 V, ON 픽셀에는 + 5 V를 인가할 경우 픽셀에서 반사되어 나오는 550 nm 가시광의 분포를 보여 주고 있다. 셀 상하 간격이 감소할수록 픽셀내의 반사율 감소에 따라서 반사되어 나오는 광량이 감소하고, 셀 상하 간격이 커질수록 반사율 증가에 따라서 반사되어 나오는 광량이 증가함을 알 수 있다. 셀 상하 간격이 2.8 μm 에서는 ON 픽셀내의 LC가 Over-twist가 되어서 OFF 픽셀에 영향을 미쳐 픽셀의 경계부근에서 빛이 새는 현상이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 5는 Fig. 4 (a)에 실선으로 표시한 바와 같이 OFF 그리고 ON 픽셀의 중앙을 기준으로 반사율의 수평 분포를 보여주고 있다. 1.4 μm 셀 상하 간격에서 낮은 반사율을 나타내며, 2.8 μm 셀 상하 간격에서는 가장 높은 반사율을 나타낸다. 앞에서 언급한 것과 같이 상하 간격이 증가하는 경우, OFF 픽셀의 가장자리 근처에서 빛이 새는 양이 증가함을 확인할 수 있다.

Fig. 6은 셀 상하 간격의 변화에 따른 광학적 Fill Factor의 변화를 보여 주고 있다. 광학적 Fill Factor는 $A_{\text{bright}} / A_{\text{pixel}}$ 로 정의되며, A_{bright} 는 ON 픽셀 내에서 가시광이 발생하는 영역을 A_{pixel} 은 ON 픽셀의 전체 면적을 의미한다. 데이터 전압을 + 5 V 로 하였을 때는 2.1 μm 상하 간격에서 픽셀내의 반사 면적이 가장 커짐을 알 수 있다. 앞서 도식한 Fig. 5 에서 살펴보면 셀 중앙을 기준으로 2.8 μm 의 경우 가장 높은 반사율을 보이지만, Fig. 6 에서 나타난 바와 같이 셀 전체로 보면 2.1 μm 에서 가

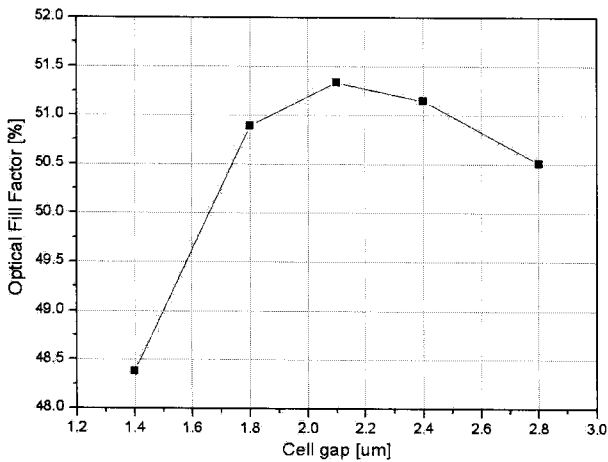


그림 6. 셀 상하 간격 변화에 따른 Optical Fill Factor
Fig. 6. Optical Fill Factor depending on Various Cell Gaps.

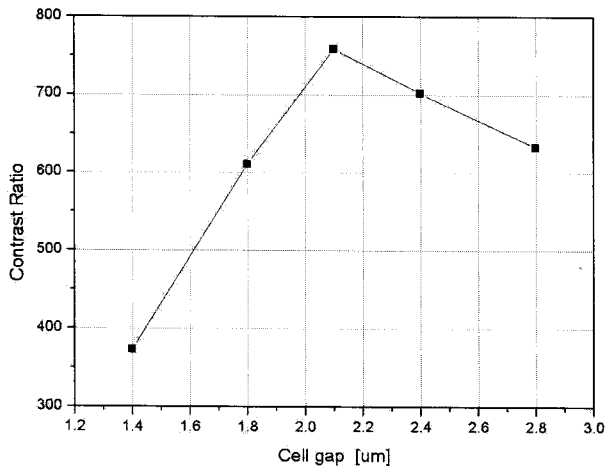


그림 7. 셀 상하 간격 변화에 따른 명암비
Fig. 7. Contrast Ratio depending on Various Cell Gaps.

장 큰 반사 면적을 가짐을 알 수 있다.

Fig. 7은 데이터 전압이 +5 V에서 셀 상하 간격의 변화에 따른 실제적인 명암비의 변화를 보여주고 있다. 실제적인 명암비는 $\int R_{\text{bright}} / \int R_{\text{dark}}$ 로 정의되며, ON과 OFF 픽셀이 이웃할 경우, $\int R_{\text{bright}}$ 는 ON 픽셀 전체의 반사율을 더한 값이고 $\int R_{\text{dark}}$ 는 OFF 픽셀 전체의 반사율을 더한 값이다. 상하 간격이 1.4 μm 에서는 ON 픽셀의 반사율이 낮은 관계로 충분한 밝기를 얻지 못하기에 낮은 명암비가 나타났다. Optical Fill Factor가 가장 큰 2.1 μm 가 상대적으로 높은 명암비를 나타내었다. Fig. 4와 Fig. 5를 살펴보면 셀 상하 간격이 2.4 μm 와 2.8 μm 의 경우, 셀 중앙에서 높은 반사율을 보이지만, LC가 Over-twist 되어 OFF 픽셀에서 빛이 새는 현상이 발생하여 명암비를 감소시키는 원인이 됨을 알 수 있다.

시뮬레이션에서 얻어진 결과를 종합하면 2.1 μm 가 반

사율, Optical Fill Factor와 명암비를 고려하였을 때 주어진 조건에서 가장 적절한 셀 상하 간격을 알 수 있다.

IV. 실험과 시뮬레이션 결과 비교

시뮬레이션에서 얻어진 결과를 기반으로 Fig. 8에 보이는 바와 같이 0.7 인치 Full-HD 해상도의 LCOS 패널을 제작하여서 광학적 특성을 측정하였다. 제작된 패널은 시뮬레이션에서 사용된 구조와 동일한 구조로 제작되었으며, LC 역시 동일한 MLC-6609를 채택하였다. 셀 상하 간격은 시뮬레이션 결과와 LC의 응답속도를 고려하여서 1.8 μm 와 2.1 μm 두 가지를 선택하였다.

Fig. 9는 패널의 광학적 특성을 측정하기 위한 실험 장치로 Fig. 9 (a)에는 550 nm의 광원과 패널 구동을 위한 Function Generator를 보여주고 있으며, Fig. 9 (b)에는 패널을 고정시키는 X-Y축 동작이 가능한 스테이지 (Stage)와 광원을 패널에 입사시키고 반사광을 통과시키는 PBS (Polarized Beam Splitter)를 포함한 광학계가 나타나 있다. PBS를 통해 입사된 광은 패널에 반사되어서 나온 후 광학계 끝단의 Photo Detector를 통해 광량이 측정되어진다. Fig. 9 (c)에서 보이는 바와 같이 패널에 인가된 전압과 반사된 광량은 측정되어서 자동적으로 컴퓨터에 저장하게 된다.

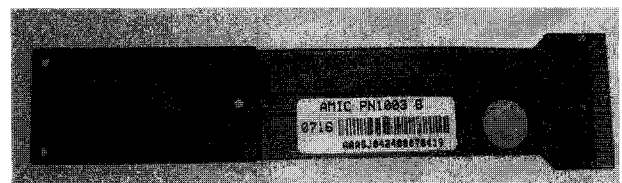


그림 8. 제작된 LCOS 패널
Fig. 8. Fabricated LCOS Panel.

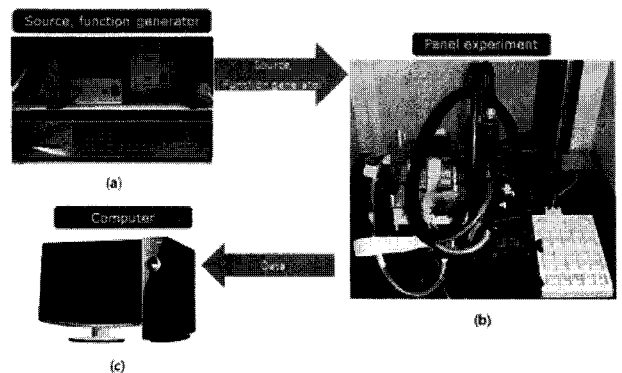


그림 9. 전기광학특성 측정 실험 장비
Fig. 9. Experiment Set-up for Electro-optical Characteristic measurement.

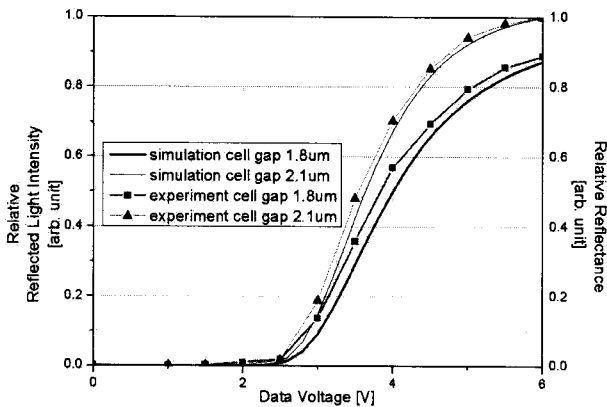


그림 10. 실험과 시뮬레이션 반사율 비교
Fig. 10. Comparative Reflectances between Experiment and Simulation.

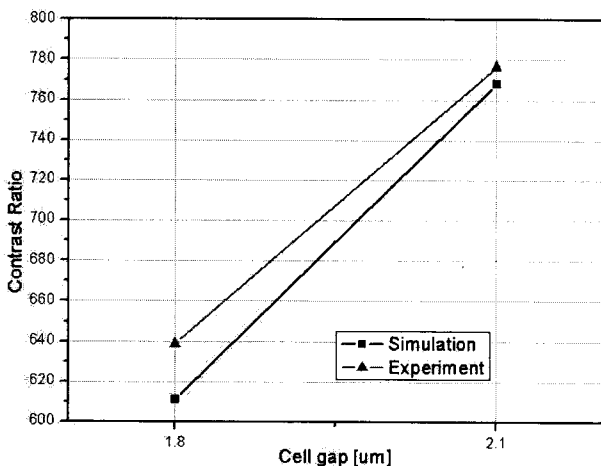


그림 11. 실험과 시뮬레이션 명암비 비교
Fig. 11. Comparative Contrast Ratios between Experiment and Simulation.

Fig. 10은 두 가지 셀 상하 간격 (1.8 μm 와 2.1 μm) 을 기준으로 측정된 반사광량 (좌측) 과 계산된 반사율 (우측) 의 비교를 위하여 도식한 그래프이다. 측정/시뮬레이션 결과 모두 데이터 전압이 + 6 V를 기준으로 1.0 으로 환산하여서 도식하였다. 측정된 결과의 경향과 시뮬레이션을 통해 계산된 결과의 경향이 매우 유사함을 알 수 있으며, 2.1 μm 에서 패널의 반사율과 패널에서 반사된 광량이 1.8 μm 보다 증가함을 알 수 있다.

Fig. 11은 데이터 전압이 + 5 V를 기준으로 두 가지 상하 간격 (1.8 μm 와 2.1 μm) 의 패널에서 측정된 명암비와 계산된 명암비를 보여주고 있다. 측정된 결과 역시 시뮬레이션을 통해 살펴본 바와 같이 2.1 μm 에서 좀 더 높은 명암비를 나타내었다.

시뮬레이션 결과와 실험 결과 비교 분석한 결과 유사한 경향을 보여 시뮬레이션의 신뢰도를 확인 할 수 있었

으며, 셀 상하 간격을 2.1 μm 로 선택할 경우 가장 좋은 광학적 특성을 나타내었다.

V. 결론

본 연구에서는 Full-HD 해상도의 LCOS 패널에서 셀 상하 간격 변화에 따른 전기광학적 특성의 변화에 관하여 3차원 LC 시뮬레이션을 활용하여 조사하였다. 셀 상하 간격은 1.4 μm , 1.8 μm , 2.1 μm , 2.4 μm , 와 2.8 μm 인 경우를 선택하였다. 셀 상하 간격이 감소하는 경우 셀 표면의 Surface Anchoring 이 증가하면서 동일한 전압에서 LC 의 Twist 가 충분이 일어나지 않기에 낮은 반사율이 나타나게 된다. 셀 상하 간격이 2.4 μm 와 2.8 μm 인 경우, 셀 중앙에서 최고의 반사율을 나타내지만 ON 된 픽셀의 LC 가 Over-twist 됨에 따라서 이웃한 OFF 픽셀에서 빛이 새는 현상이 발생함을 알 수 있었다. 시뮬레이션 결과에서 셀 상하 간격 2.1 μm 인 경우, 전체 셀 내에서 반사면적, 반사율-전압 곡선 및 명암비를 고려할 때 주어진 조건 내에서 가장 적절한 셀 상하 간격임을 알 수 있었다. 0.7 인치 Full-HD LCOS 패널을 제작하여 실험한 결과, 반사율과 명암비 측면에서 시뮬레이션 결과와 매우 유사한 경향을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] 권재홍, 주병권, “미래 디스플레이 기술”, 주간기술동향 IT기획시리즈 (정보통신연구진흥원), 통권 1376호, pp.24-35, Dec. 2008.
- [2] S. H. Jung, H. Y. Kim, J. M. Rhee and S. H. Lee, “Cell Gap Dependent Electro-Optic characteristics of Fring-Field Switching Mode using a Liquid Crystal with Negative Dielectric Anisotropy,” J. of The KIEEME, Vol. 16, No. 10, pp. 914-922, Oct. 2003.
- [3] 강희진, 황정연, 이휘원, 김종환, 서대식, “셀갭 변화에 따른 Flexible 기판 TN-LCD의 전기광학특성,” 한국전기전자재료학회 2005년도 추계학술대회 논문집. pp. 289-290, 2005.
- [4] Zhibing Ge, Xinyu Zhu, Thomas X. Wu, Shin-Tson Wu, “A Single Cell-gap Transflective VA LCD using Positive Liquid Crystal Materials,” SID, pp. 802-805, 2006.
- [5] 김강우, 김종환, 황정연, 남기형, 서대식, “Flexible 액정디스플레이의 셀갭 변화에 따른 응답 특성,” 한국전기전자재료학회 2003년도 추계학술대회 논문집, pp. 477-480, 2003.

- [6] 강정원, 손홍배, "VA Mode의 LCOS에서 Cell Gap의 변화에 따른 전기광학적 특성," 반도체및디스플레이장비학회지, Vol. 7, No. 3(24), pp. 41-43, Sept. 2008.
- [7] Wan Cheol Kim, Myung Hwan An and Seung Hee Lee, "Influence of Rubbing Direction on the Electro-Optic Characteristics of Fringe Field Driven Hybrid Aligned Nematic Liquid Crystal Cell," J. of The KIEEME, Vol. 17, No. 1, pp. 75-82, Jan. 2004.

저 자 소 개



손 홍 배(정회원)
 2003년 원광대학교
 수리과학부 학사 졸업.
 2009년 단국대학교 전자컴퓨터
 공학과 석사 졸업.
 <주관심분야 : LCOS, LC
 Simulation>



강 정 원(정회원)
 1990년 고려대학교
 전자공학과 학사 졸업.
 1994년 Univ. of Arizona
 전기공학과 석사 졸업.
 1997년 Univ. of Arizona
 전기공학과 박사 졸업.
 1997년~1998년 LG반도체 중앙연구소
 선임연구원
 1998년~2004년 LG전자 디스플레이연구소
 책임연구원
 2004년~현재 단국대학교 전자전기공학부 부교수
 <주관심분야 : Plasma Display, Plasma 응용 and
 Display Modeling>



김 민 석(학생회원)
 1990년 고려대학교
 전자공학과 학사 졸업
 1992년 고려대학교
 전자공학과 석사 졸업.
 2009년 단국대학교 전자컴퓨터
 공학 박사과정
 1992년~2000년 삼성SDI 종합연구소 선임연구원
 2000년~2001년 (주)태인시스템 책임연구원
 2002년~2004년 일진 디스플레이 차장
 2006년~현재 유니 디스플레이 연구소장
 <주관심분야 : LCOS, 화소 구조 및 구동법, 화질
 개선 알고리즘 >