

3전극형 반사형 디스플레이의 단일컬러 구현 및 구동방법

이상일¹, 김영조^{1,a}

¹ 청운대학교 전자공학과

Single Color Realization and Driving Method of Three-Electrode Type Reflective Display

Sang-Il Lee¹ and Young-Cho Kim^{1,a}

¹ Department of Electronic Engineering, Chungwoon University, Incheon 402-060, Korea

(Received October 7, 2014; Revised November 3, 2014; Accepted December 19, 2014)

Abstract: We realize a color reflective display without any color filter and sub-pixelation concept, by which the full or single color realization is basically impossible. In this study, we use a 3-electrode on the lower substrate with indium tin oxide (ITO) glass. The width of a rib is 30 μm , a cell size is 150 $\mu\text{m} \times 150 \mu\text{m}$, and the space of lower electrodes is 10 μm . To get the single color, we drive this panel by a identical algorithm based on the movement of charged particle in color fluid within a cell with hermetic seal. According to the driving method, the lifetime of panel is different.

Keywords: Electronic ink, Pixelation, Three-electrode, Single color, Reflective display

1. 서론

디스플레이 산업이 발달함에 따라서 휴대성이 용이한 플렉서블 디스플레이의 필요성이 대두되고 있다. 플렉서블 디스플레이는 종이처럼 얇고 유연한 기판을 통해 손상 없이 휘거나 구부리거나 말 수 있는 디스플레이로, 언제 어디서든 원하는 정보를 검색하고 얻을 수 있는 소비자 지향적인 미래 디스플레이 기술이다 [1-3].

플렉서블 디스플레이의 종류에는 크게 LCD, OLED 등 기존 디스플레이를 활용하는 방식과 전자종이(e-paper) 방식으로 나뉜다. 플렉서블 디스플레이는 노트북, TV, 스마트폰, 전자책, 전자시계 등 전자제품 다방

면에 접목 가능하다. 반사형 디스플레이는 플렉서블 기판에 접목하기 용이하며 발광형이 아닌 외부의 광원을 이용하기 때문에 눈의 피로가 적어 가독성이 우수하고 쌍안정성이 높으며, 낮은 소비전력을 가지고 있어 별도의 충전 없이도 장시간 이미지 유지가 가능하다 [4-7].

반사형 디스플레이는 상부 및 하부기판 표면에 부착된 전극을 수직하게 두고 형성한 격벽으로 셀을 형성하고 상반되는 전하와 컬러를 띠는 대전입자를 충전하여 전극에 인가되는 전계의 힘에 의해 운동을 하는 입자들의 스위칭을 통하여 이미지를 표현한다 [8-10]. 반사형 디스플레이의 컬러 표현은 서로 대비되는 색을 띤 컬러입자가 공기 중 혹은 유체 내에서 반대편 전극 방향으로 전계에 의해 운동하면서 컬러를 표현하기 때문에 단일파장의 강한 pitch를 가진 서브픽셀의 조합에 의해 컬러를 구현하는 자발광 디스플레이와는 원리적으로 전혀 다르다. 즉, 서브 픽셀화 개념으로 컬러전자종을 구현하는 것은 근본적인 한계를 가지고 있다 [11,12].

a. Corresponding author; yckim@chungwoon.ac.kr

지금까지의 반사형 디스플레이의 컬러화 기술은 컬러 필터를 사용하여 컬러 구현을 하는 이른 바 서브픽셀 개념의 컬러 기술이 대부분을 이루었으나, 이는 반사를 감소뿐 아니라 컬러의 합성이 이루어지지 않기 때문에 단일컬러 표현이 원리적으로 불가능하다 [13-15]. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 동일 셀에 다수 개의 컬러를 직접 구현하는 픽셀화 구조에 기초한 컬러 구현 방식이 요구된다.

본 연구에서 다루고자 하는 3전극을 이용한 픽셀화 구조에 의한 전자종이의 컬러 구현은 어떤 연구기관에서도 시도된 바 없으며 이를 이용한 단일컬러 구현 방법을 제안하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 구동원리

전자종이의 컬러화를 위해 많은 연구자들이 기존의 자발광 디스플레이의 개념인 sub pixel화 방식을 적용하였으며 그림 1(a)에 그 예를 보였다. 컬러필터를 사용한 반사형 디스플레이는 그림 1(a)와 같이 cyan, yellow, magenta로 이루어진 서브픽셀을 black 기반으로 사용하기 때문에 1(c)와 같이 특정 이미지의 전면을 red로 구현하고자 하는 예에서 전체 이미지의 1/3만이 red가 되며 나머지 2/3는 검정색으로 채워지게 되어 단일컬러를 표현하는데 있어서 원리적인 한계를 가진다. 3전극형 반사형 디스플레이는 그림 1(b)와 같이 한 개의 셀에 3가지 color 요소를 가지는 입자와 유체를 주입하여 컬러를 구현하는 픽셀화 방식으로 서로 다른 컬러를 가지는 두 종류의 입자와 컬러유체를 혼합하여 컬러 전자잉크를 제조하고 패널에 주입하여 그림 1(d)와 같이 단일컬러를 구현한다.

단일컬러를 구현하기 위해서는 셀 내부에 있는 상부 전극과 2개의 하부전극에 각기 다른 전압을 인가하여 전계를 형성해야 한다. 3전극형 반사형 디스플레이의 동작 원리는 전기 영동방식에 기초하는 것으로 하부기판에 전극을 2개를 두는 전극구조와 셀 내에 제 1 및 제 2컬러를 띠는 입자와 제 3컬러를 띠는 유체를 동시에 주입한 3전극형 구조이다. 그림 1(b)는 red 컬러의 입자 및 green 컬러의 입자와 blue 컬러를 띠는 유체를 동일 셀에 주입한 셀 구조를 보였다. 이 구조의 셀은 (+) 전하를 띤 red 입자가 이미지를 보이는 상부전극

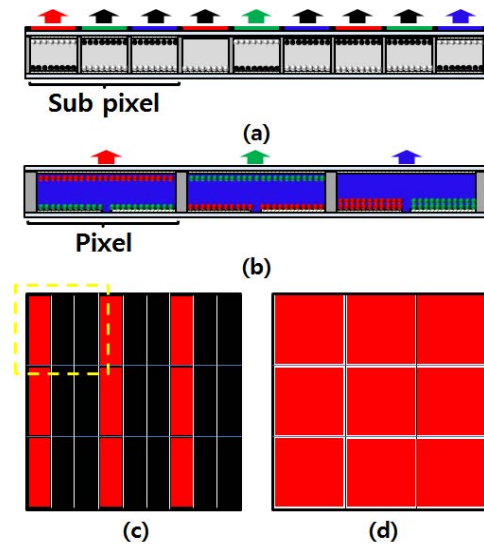


Fig. 1. Color realization method. (a) sub-pixelation method by color filters, (b) pixelation method a three-electrode structure, (c) expectational color image by sub-pixelation concept, and (d) expectational color by pixelation concept.

에 부착되고 (-) 전하를 띤 green 입자가 하부전극으로 부착되도록 전계를 가하여 이미지가 전체적으로 red가 되도록 한다. 전계를 반대로 할 경우 green 입자가 이미지를 형성하게 된다. 그리고 2개의 하부전극의 (+) 및 (-) 전계를 각각 다르게 인가할 경우는 red 및 green 입자가 모두 하부에 위치하여 이미지는 유체의 컬러인 blue를 표현하는 구조이다. 이러한 구조를 이용하면 3종류의 컬러를 단일컬러로 구현할 수 있으며 본 연구는 이를 구현할 수 있음을 보이고자 한다.

본 연구를 위한 반사형 디스플레이 패널의 셀은 $150\ \mu\text{m} \times 150\ \mu\text{m}$ 이고, 셀 높이는 $30\ \mu\text{m}$, 하부전극 폭은 $75\ \mu\text{m}$, 두 하부전극간의 간격 $10\ \mu\text{m}$ 으로 제작하였다. 하부기판 전극을 제작하기 위하여 2개의 전극이 독립적으로 존재하는 전극패턴을 설계하였으며 전극 패턴과 격벽 형성을 위하여 포토공정을 수행하였으며 포토마스크는 크롬 코팅된 glass를 사용하였다.

그림 2는 그림 4의 AA'의 단면도를 보인 공정도이다. 포토공정은 그림 2(a)에서 보이는 바와 같이 포토레지스트 물질을 ITO가 코팅되어 있는 유리기판 표면에 spin-coat-노출-현상-bake-etching-aching 등 일반적인 공정을 따랐으며, 포토레지스트와 ITO 간의 부착(adhesion) 문제는 발생하지 않았다.

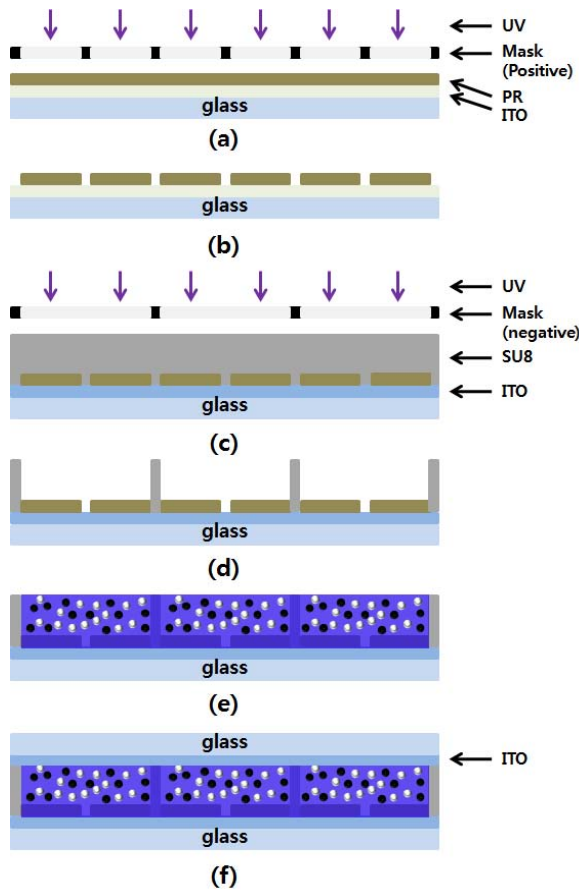


Fig. 2. Fabrication process of reflective display. (a) photolithographic process for lower electrodes, (b) finished electrodes, (c) photolithographic process for barrier rib, (d) finished barrier rib, (e) E-ink loading on lower substrate, and (f) packaging process.

그림 2 (b)는 ITO 전극이 형성된 패널의 단면도를 보인 것이다. 그림 2(c)에서 보인 바와 같이 격벽을 형성하기 위한 포토레지스트는 양호한 부착을 위하여 positive type을 사용하였으며 그림 2(d)에 보인 바와 같이 15 μm 폭 및 30 μm 높이의 격벽을 형성하였다.

이와 같이 제작된 하부기판에 전자잉크를 주입하여 패널을 제작하였으며 실험에 사용된 전자잉크는 PMMA로 제작하였고 (+), (-)의 극성을 띤 대전입자인 white, black 입자와 blue 유체를 혼합하였다. Blue 유체의 점도는 3 cP이고, 혼합된 전자잉크의 점도는 10 cP이다. 혼합 방법은 파우더 형태로 되어있는 대전입자에 화학적으로 전하를 띠게 하고 컬러유체와 혼합하여 제조한다.

제조한 전자잉크는 그림 2(e)와 같이 격벽으로 둘러싸인 하부기판에 loading 한 후 그림 2(f)에서 보이는 바와 같이 ITO가 코팅되어 있는 상부기판을 덮어 전자잉크를 하부기판 격벽들에 고루 퍼지게 해준 후 테두리 부분에 bonding 공정을 마지막으로 패널 제작이 완료된다. 완성된 패널은 상부전극과 두 개의 하부전극 총 세 개의 전극이 독립적으로 구동된다. 전계에 따른 입자의 움직임은 광학 현미경을 통해 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 단일컬러 구현을 위한 구동 알고리즘

단일컬러 구현의 개념을 설명하기 위하여 그림 1에서는 red와 green입자, 그리고 blue 유체로 그림을 그려 설명하였으나 실제 실험에서는 구분을 쉽게 하기 위하여 white와 black입자, blue 유체를 사용하여 실험을 진행하였다. 단일컬러 구현을 실험을 통해 확인하기 위하여 그림 3(a)에서 보이는 바와 같이 두개의 하부전극에 (+), (-) 전압을 각각 인가하였다. 그리고 white 및 black 입자를 분리시켜 하부기판 양쪽에 위치하게 한 후 그림 4(a)와 같이 상부기판에서는 유체의 색인 blue image를 표현할 수 있다. 그림 3(b)는 white 입자가 붙어있던 하부기판에 전압을 접지시키고 상부기판에 (+)전압을 인가하여 상부기판에 white image를 표현할 수 있다. 이 때 두 개의 하부기판 중 하나의 기판에 black 입자가 몰려있기 때문에 그림 4(b)와 같이 상부기판에서 완전한 white image를 볼 수 없게 된다. 완벽한 white image를 구현하기 위해 그림 4(c)와 같이 두 개의 하부전극에 (-)전압을 인가한다. 그 결과 하부기판에 black 입자가 전체적으로 펼쳐지게 되어 그림 4(c)와 같이 완전한 white image가 구현된다. 그 후 그림 4(d)에서 보이는 바와 같이 상부전극에 (-)전압, 두 개의 하부전극에 (+)전압을 인가하게 되면 그림 5(d)와 같이 상부기판에 black image가 구현된다.

Black image 구현 후 다시 상부기판에 blue image를 표시하기 위해 그림 3(e)와 같이 하부전극 한 쪽에만 (-)전압을 인가하여 white 입자를 모아놓게 되면 그림 5(e)에서 보이는 바와 같이 표시되며, 그림 3(a)와 같이 접지시켰던 하부전극에 (+)전압을 인가하여 상부전극에 위치하던 black 입자를 하부전극으로 위치하게 하면 그림 4(a) 상태로 다시 돌아가게 된다.

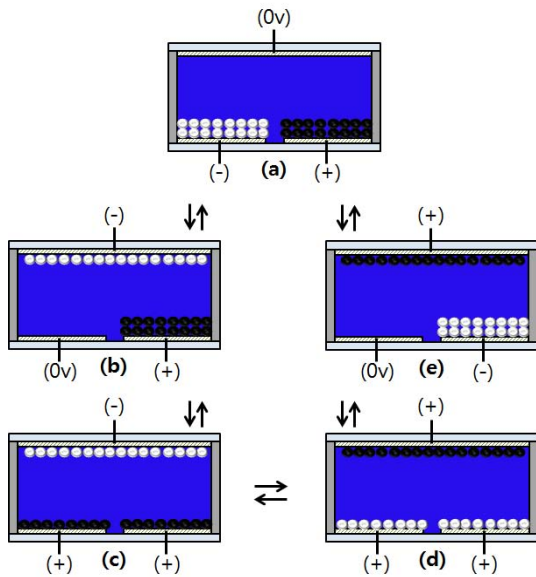


Fig. 3. Single color implementation by a driving algorithm of three-electrode type reflective type display (a) blue, (b) imperfect white, (c) white, (d) black, and (e) imperfect black image.

패널의 구동을 위와 같은 순서대로 하지 않고 무작위로 할 경우에 상판에 잔상이 남는 현상을 확인하였다. 그리고 순서대로 구동하였을 경우 볼 수 없었던 반전현상이 발견되었다. 반전현상은 하판의 두 전극에서 서로 다른 극성의 전압을 인가하여 구동할 경우 상판에는 입자가 없어야 하는데 하판에 인가된 바이어스와 같은 전하를 띤 입자들이 상판에 부착되는 현상이다.

3.2 단일 컬러가 구현된 패널 및 그 특성

그림 4(a)는 상부기판에 blue image를 표시한 패널의 반사형 광학 현미경 사진이다. 이 때 상부기판에는 유체의 색인 blue image를 표시하기 위해 0 V를 인가하였고 두 개의 하부기판에 각각 1 V, -1 V를 인가하여 white와 black 입자를 하부기판으로 위치시켰다. 단일컬러 구현에 이 전압 이상인 경우 컬러 특성이 개선되지 않는다. 그림 4(b), (c)는 white image를 표시한 사진이다. 그림 4(b)에서 보이는 바와 같이 white image가 불완전하게 표시되었고 그림 4(c)는 white가 비교적 완전하게 표시되었다. 이는 앞서 3.1에서 언급했듯이 하부기판에 위치한 입자의 위치가 상부기판에 보이는 image에 영향을 미친 것으로 판단된다.

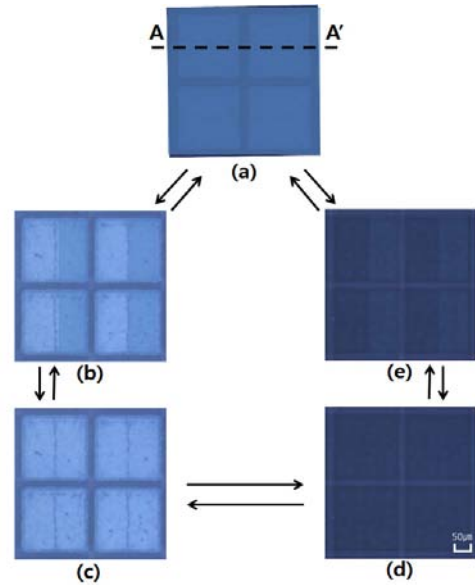


Fig. 4. Realization of single color image. (a) blue, (b) imperfect white, (c) white, (d) black, and (e) imperfect black image.

마찬가지로 그림 4(d)는 black image가 비교적 완전하게 표시되었지만 그림 4(e)의 경우에는 black image가 불완전하게 표시되었다. 이 역시 하부전극에 위치한 white 입자들의 영향으로 판단된다. 두 개의 하부전극 중 하나의 전극에만 입자가 모이게 되면 상부기판에 보이는 image의 색이 불완전하게 표현된다. 따라서 두 개의 하부전극에 독립적으로 전압을 인가할 경우 상부전극과는 상관없이 둘 사이의 전계에 영향을 알아보기 위해 그림 5와 같이 패널을 구동하였다.

그림 5(a)는 blue image를 구현한 패널의 상부기판의 모습이고, 그림 5(b)는 white와 black이 각각 나뉘어져 있는 두 개의 하부전극을 같이 보인 현미경 사진이다. 이 때 상부전극에는 0 V를 인가하고, 하부전극 한 쪽에는 1 V, 한쪽에는 -1 V를 인가하였다(차등전압). 이 상태에서 하부전극간 전계의 영향을 확인하기 위해 구동 방법을 다르게 하여 실험을 진행하였다.

실험은 동일전압 구동과 차등전압 구동을 하여 패널의 수명을 측정하였다. 그 결과 차등전압으로 구동할 경우 수명은 동일전압으로 구동할 경우에 비해 약 1/2 수준이다. 패널 내부의 입자는 입자간의 인력과 충돌로 인해 서로 다른 전하량을 가진 입자들이 뭉치게 된다.

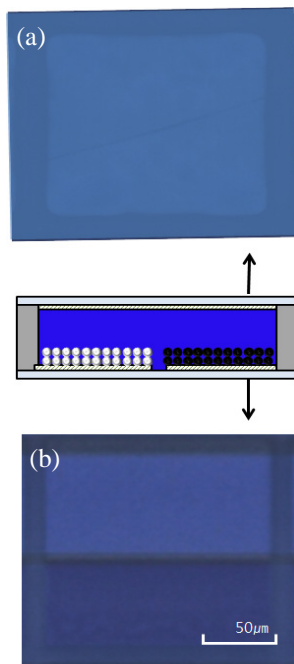


Fig. 5. Photographs of (a) upper substrate and (b) lower substrate.

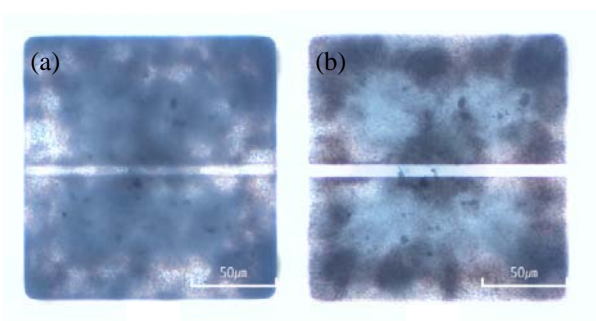


Fig. 6. Particle clumping phenomena taken by a transmission optical microscope for (a) white particles and (b) black particles.

그림 6은 투과형 광학현미경을 통하여 패널 내부에 입자운동이 더 이상 관찰되지 않는 상태를 촬영한 사진이다. 그림 6(a)는 white image 상태로 입자들이 응고된 면의 모습이고 그림 6(b)는 black image 상태로 입자들이 응고된 안쪽면의 모습이다. 이처럼 입자들이 뭉친 이유는 구동 횟수가 증가함에 따라 black 혹은 white 입자가 격벽 부분으로 이동하여 패널이 구동됨에 따라 격벽에 입자들이 뭉쳐 쌓이기 때문이다. 이는

전극구조 개선에 의해 개선될 수 있으며 이의 개선을 위한 연구가 진행 중이다.

지금까지 살펴본 바와 같이 본 연구에서는 반사형 디스플레이의 단일컬러 표현을 위해 3전극형 반사형 디스플레이라는 새로운 패널구조를 제안하고 구동원리와 구동 알고리즘을 증명하기 위해 실험을 진행하였으며, 기존의 서브픽셀 개념에서 벗어나 픽셀화 패널구조에 의해 단일컬러가 가능함을 보였으며 제안된 알고리즘에 의한 구동에서 단일컬러가 우수하나 향후 수명 및 반사율 향상을 위한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 반사형 디스플레이의 단일컬러 표현을 위해 3전극형 반사형 디스플레이라는 새로운 패널구조를 제안하고 구동원리와 구동 알고리즘을 증명하기 위해 실험을 진행하였다. 3전극형 반사형 디스플레이는 두 개의 하부전극에 각각 독립적으로 전압을 인가할 경우 입자가 기존과 다른 방법으로 각각 독립적으로 운동함을 확인하였다. 또한, 컬러필터 방법 등 기존의 반사형 디스플레이의 컬러 표현과는 달리 단일컬러 표현이 가능하다는 것을 확인하였다. 하지만 같은 두 개의 하부전극에 각각 상반되는 전압을 인가하였을 경우에도 입자의 움직임을 고려한 구동 순서에 따라서 구동하지 않으면 완전한 컬러 구현이 되지 않는 것을 확인하였다.

기존에 2전극형 디스플레이와 달리 독립된 세 개의 전극에서 상하 좌우로 운동을 하기 때문에 수명이 저하되는 현상을 발견하였다. 이는 구동 순서에 따르지 않고 패널을 무작위로 구동할 경우 패널 내부의 입자들이 서로 충돌하면서 입자뭉침 현상이 일어난 것으로 판단된다. 그러나 단일컬러를 구현할 수 있는 구조이기 때문에 향후 연구를 통해 전극구조, cell gap, 전자잉크 개선 등을 통하여 수명을 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2012R1A1A2044210).

REFERENCES

- [1] D. J. Lee, I. S. Hwang, and Y. C. Kim, *J. KIEEME*, **21**, 62 (2008).
- [2] J. S. Kim and Y. C. Kim, *J. KIEEME*, **48**, 52 (2012).
- [3] C. Annis and J. H. Choi, *Flexible Displays Technology and Market Forecast Report, Display Search* (2009).
- [4] D. J. Lee and Y. C. Kim, *J. KIEEME*, **25**, 129 (2012).
- [5] C. W. Kim and Y. C. Kim, *J. KIEEME*, **23**, 691 (2010).
- [6] D. J. Lee, R. E. Sloper, Y. H. Jeon, S. K. Han, S. Lee, K. H. Choi, W. S. Huh, and Y. C. Kim, *SID Symposium Digest Tech. Papers*, **11**, 1523 (2011).
- [7] D. J. Lee and Y. C. Kim, *J. KIEEME*, **22**, 169 (2009).
- [8] R. Sakurai, S. G. Lee, W. K. Cho, B. G. Ryu, and M. B. Song, *IMID Digest*, **5**, 423 (2005).
- [9] R. Hattori, S. Yamada, Y. Masuda, and N. Nihei, *Journal of the SID*, **12**, 175 (2004).
- [10] T. Kitamura, *International Display Workshops*, **6**, 587 (2006).
- [11] D. J. Lee, R. E. Sloper, Y. H. Jeon, S. K. Han, S. Lee, K. H. Choi, W. H. and Y. C. Kim, *SID Digest*, **11**, 1523 (2011).
- [12] D. J. Lee, B. E. Park, and Y. C. Kim, *J. Display Technology (IEEE)*, **8**, 534 (2012).
- [13] D. J. Lee and Y. C. Kim, *J. Display Technology (IEEE)*, **9**, 972 (2013).
- [14] D. J. Lee, Y. M. Oh, S. W. Park, B. E. Park, and Y. C. Kim, *J. Display Technology (IEEE)*, **8**, 361 (2012).
- [15] H. You and A. J. Steckla, *Appl. Phys. Lett.*, **97**, 023514 (2010).