

3전극형 반사형 디스플레이에서 패키징 방법에 의한 광특성 개선에 관한 연구

박상현, 김영조^a

청운대학교 전자공학과

A Study on Improvement of Optical Characteristics by Packaging Methods in Three Electrode-Type Reflective Display

Sang-Hyun Park and Young-Cho Kim^a

Department of Electronic Engineering, Chungwoon University, Incheon 22100, Korea

(Received November 9, 2016; Revised January 26, 2017; Accepted January 31, 2017)

Abstract: In 3 electrode reflective displays using a plastic substrate, unstable packaging induces particle clumping and optical degradation due to external air inflow and electronic ink evaporation. In this work, we fabricate 3 electrode electronic paper using glass wafer, ITO/plastic film, and ITO/glass/gas barrier film as an upper substrate after injecting electronic ink onto the lower substrate. Then, we studied its properties. After operating under stress conditions for 336 hours at 85°C and 75% humidity, the reflectivity of driven e-paper panels with white color was 25.5% for the panels using glass wafer, 22.5% for plastic film including a gas barrier layer, and 16% for plastic film only. From these optical properties, we conclude that gas barrier film improves upper film isolation as a desirable packaging method.

Keywords: Electronic ink, Reflective display, Packaging, Electronic paper, Three electrode-type

1. 서론

전자종이는 플렉시블 디스플레이 중 반사형 디스플레이의 구조로 백라이트가 필요 없으므로 전력소비가 적으며 형태와 크기를 자유롭게 제작할 수 있다는 장점과 높은 대조비 그리고 쌍안정성(bistability)을 장점으로 전자상표, 전자간판, 전자시계, 전자명함 등 많은 곳에 응용되고 있다 [1]. 이와 같이 많은 분야에 전자종이가 적용되고 있거나 적용가능성이 높아짐에 따라 전자종이를 구성하는 소재는 기존의 glass 소재로부터

플라스틱 소재로 다양화되고 있으며 이에 따른 공정개발의 필요성이 증대되고 있다 [2]. 전기영동 방식으로 구동되는 전자종이는 서로 상반된 컬러와 전기적 극성을 가지는 두 종류의 입자를 중성유체와 함께 주입하여 제작한 패널에 전계를 인가하여 구동하는 방식으로 외부 공기유입과 유체증발에 대한 약점을 가지기 때문에 패키징 공정의 중요성이 강조되어왔다 [3,4].

기존에 전자종이로 사용된 2전극형 반사형 디스플레이 위에 컬러필터를 사용한 컬러표현방식은 1개의 픽셀(pixel)이 3개의 서브픽셀(sub-pixel)로 이루어진 구조로, 기존의 자발광형이나 패널 내부에 광원이 있는 디스플레이 소자의 컬러구현방식을 응용한 것으로, 구조적으로 단일컬러 구현이 불가능하고 상부기판 위에 컬러필터를 도포한 구조이기 때문에 필연적으로 광손실이 발생하는 구조이므로, 최근 3종류의 컬러입자를

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

Copyright ©2017 KIEEME. All rights reserved.
 This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

주입하거나 하부기판에 2개의 전극과 상부기판에 위치한 1개의 전극으로 구성된 셀 구조인 3전극형 전자종이 패널로 컬러화를 이루고자 하는 연구가 보고된 바 있다 [5,6]. 본 논문은 전자종이의 컬러화를 위한 3전극형 전자종이에서 광특성의 성능저하를 유기하는 입자 뭉침과 유체증발을 개선하기 위한 패키징 기술에 관한 것이다.

선행연구에 의하면, 일정한 범위의 전하량을 띠도록 설계된 하전입자가 외부로부터 산소가 유입되거나 유체의 증발에 의해 하전입자 전하량의 증가나 감소로 인한 입자 뭉침으로 운동하지 않는 입자가 증가하며 전체 하전입자의 전하량 대비 입자질량(q/m)이 감소하게 되는데 이는 구동전압의 증가를 가져오며 증가된 구동전압은 입자 뭉침을 가속화하여 반사를 감소 및 응답시간 증가를 포함한 광특성 저하를 거쳐 패널 수명의 단축을 가져온다 [7]. 이와 같은 패널 특성을 개선하기 위해 패키징 공정의 중요성은 강조되어 왔으며 접착제(bonder) 개발 뿐 아니라 외부가스의 유입을 차단하고자 하는 연구의 필요성이 대두되고 있다 [8]. 따라서 본 연구에서는 이러한 외부가스의 유입 또는 내부 유체의 증발로 인한 입자의 뭉침현상을 개선하기 위한 패키징 방법에 관한 것으로, 3전극형 전자종이 패널의 상부기판을 gas barrier film으로 대체하여 광특성 및 수명을 기존 패키징 방법과 비교평가하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 패널 제작

본 연구를 위한 3전극형 반사형 디스플레이 제작의 전체공정 개략도를 보인 그림 1에서 보는 바와 같이 하부기판에 사용되는 두 개의 전극과 격벽 패턴을 사진식각 공정으로 형성하였다 [9]. 상부기판의 종류에 따른 패키징 특성을 평가하기 위하여 sample 1은 플라스틱 기판으로 상부기판을 제작하였고, sample 2는 gas barrier film이 도포된 플라스틱 기판으로, 그리고 sample 3은 일반적으로 사용하는 glass 기판으로 제작하였으며, 각 상부기판은 ITO가 코팅된 기판을 사용하였다. 상부 및 하부기판 사이에 위치하게 되는 전자잉크는 비중이 동일한 (-) 전기를 띤 흑색 및 (+) 전기를 띤 백색입자를 포함한 중성컬러유체로 이루어진다 [10,11]. 흑색 및 백색입자의 양을 정의하기 위하여 고농도 흑색잉크 0.2 g, 고농도 백색잉크 1 g, 컬러유체를 1.8 g의 혼합비로 전자잉크를 제작하였다. 제작된

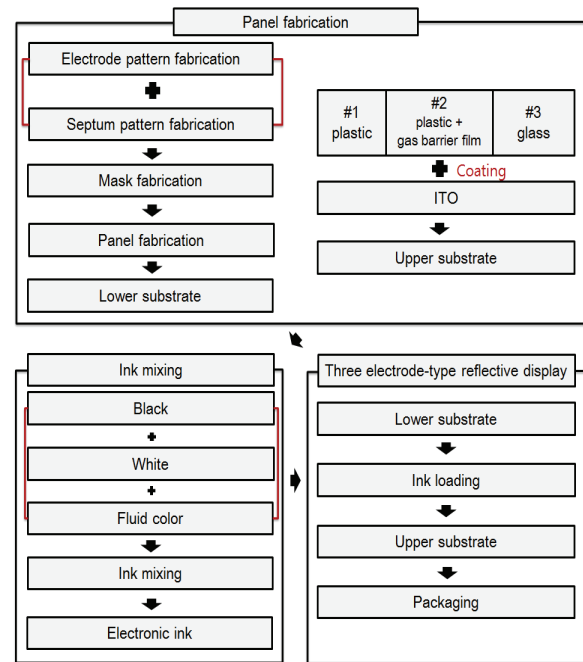


Fig. 1. Fabrication process of three electrode-type reflective display.

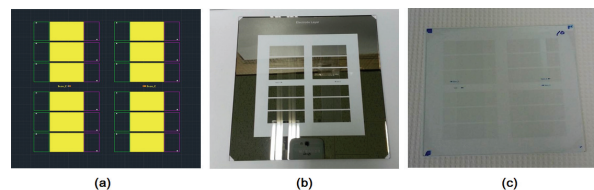


Fig. 2. Photographs of fabrication process. (a) Designed pattern, (b) photo mask, and (c) fabricated lower substrate.

전자잉크는 사진식각공정으로 제작된 하부기판 위에 loading 후 상부기판을 정합하여 패키징을 완성하였다.

그림 2는 전자종이 패널의 전체제작공정을 보인 것으로 그림 2(a)는 전극과 격벽 패턴을 설계한 도면을 보인 것이다. Layout은 AutoCAD를 이용하였고, 하부기판에 위치하게 되는 두 전극간격은 $25\ \mu\text{m}$, 셀 크기는 $150 \times 150\ \mu\text{m}$, 격벽 높이를 $25\ \mu\text{m}$ 로 설계하였다. 그림 2(b)는 설계된 전극과 격벽패턴으로 제작한 포토 마스크를 보인 것이며, 그림 2(c)는 제작된 사진식각공정을 마친 하부기판을 보인 사진이다. 이때 포토레지스트로 사용한 SU-8은 패널에서 격벽으로 사용된다. 3전극형 전자종이를 비롯한 전자종이 디스플레이는 외부 공기유입과 습도에 민감하기 때문에 일반적으로

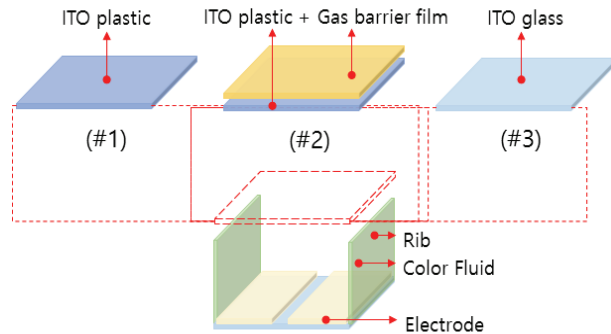


Fig. 3. Organization of three sample panel.

ITO가 코팅된 glass를 사용하나 기판의 다변화를 위한 플라스틱 기판 적용을 위하여 외부환경과의 차단을 고려한 보호층으로 상부기판에 gas barrier film을 사용하였다. 실험에 사용된 gas barrier film의 제조 공정은 비진공 기반의 LBL (layer-by-layer) 제조 공정에 MMT (montmorillonite)와 GO (graphene oxide)를 사용하였고 MMT를 구성하는 gas barrier film의 투습률(WVTRs)은 $<0.05\text{g m}^{-2}\text{day}^{-1}$ 이다 [12,13].

그림 3은 전극과 격벽이 형성된 하부기판과 3종류의 상부기판을 사용한 실험패널의 정합방법을 모식도로 보인 것이다. 그림에서 보인 바와 같이 하부기판 및 전자잉크, 제조공정은 3종류 실험패널이 동일하나 상부기판은 각각 ITO/glass, ITO/gas barrier film/plastic, 그리고 ITO/plastic film으로 구성되어 있다.

2.2 광특성 측정방법

운동하지 않는 입자에 의한 패널의 광특성 저하는 패널 각각의 셀에 구동되는 이미지와 반대되는 컬러의 입자가 부착되거나 하전된 컬러입자의 뭉침 현상으로 인하여 입자운동에 기여하지 않게 되기 때문에 발생하는 것으로, 이를 정량적으로 표현하기 위해서 광특성을 측정하였다. 입자의 운동특성을 평가하는 방법으로 반사율, 응답시간, 수명, 색좌표, 시야각, 투과율 등이 있으나 본 연구에서는 반사율 및 수명을 측정하여 분석하였다 [14].

그림 4는 광특성 측정 장비인 RT-200S의 모습이다. 광특성 측정은 암실에서 이루어졌으며, 측정방법은 RT-200S의 중앙에 sample을 장착하고 360° 회전이 가능한 발광부와 수광부의 각도를 발광부는 90°, 수광부는 82°로 하여 측정하였고, 상부기판에 백색이미지를 구현하였을 때 발광부에서 방출한 광원이 패널에 반사

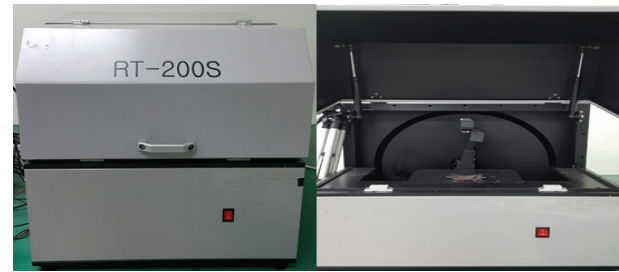


Fig. 4. Optical property measurement equipment.

되어 포토다이오드로 구성된 수광부에 입사된 광량을 측정하게 되는 원리이다. 본 연구의 목적인 패키징에 의한 광특성 효과를 짧은 시간에 확인하기 위하여 수명을 인위적으로 단축시키는 가속조건 실험을 진행하였다. 가속조건은 온도 85°C, 습도 75% 분위기에서 336시간 동안 지속적으로 노출시켜 스트레스를 유발하였으며 이후 구동조건은 펄스파로 +2 V와 -2 V를 인가하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 입자의 뭉침현상

실험에 사용된 입자의 지름이 50~300 nm로 뭉침 현상은 천천히 대형화하는 특성을 가지기 때문에 뭉침 과정은 광학현미경으로 쉽게 관찰된다. 육안으로 상부기판에 구현된 이미지를 확인할 경우 구분하기 어렵기 때문에 광학현미경으로 뭉침 현상을 관찰하였다. 서론에서 다른 입자 뭉침 과정의 선행연구에 의하면 입자가 뭉치면서 전하량 대 질량비(q/m)가 작아지는 과정에서 응답시간이 길어지고 응답시간 그래프가 불규칙해지는 특징을 가진다. 이는 상부 및 하부전극 사이에 하전입자가 운동을 하는 것이기 때문에 일종의 드리프트 전류로 해석하여 그 전류값을 측정하여 확인할 수 있으나 과정이 복잡하기 때문에 응답시간 또는 간단히 광학현미경으로 측정할 수 있다. 응답시간은 데이터의 양이 매우 많고 흑색 및 백색입자의 뭉침 현상을 구분하여 설명하는데 불리한 면이 있기 때문에 본 연구에서는 광학현미경 사진을 제시하여 설명하고자 한다.

그림 5는 30,000회 구동 후 뭉침 현상을 보이는 현미경 사진을 보인 것으로 (a)는 sample 1의 상부기판에 (+) 전압을 2개의 하부기판에 (-)와 (-) 전압을 각각 인가하여 상부기판에 흑색 이미지를 구현한 것이고,

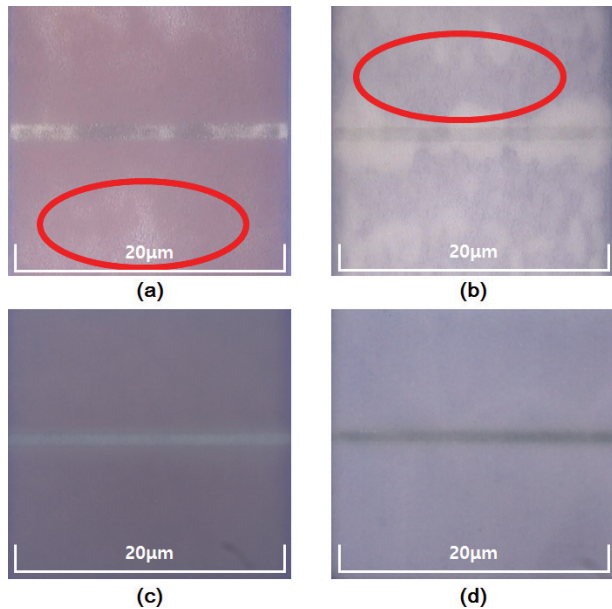


Fig. 5. Photographs of plastic film driven for (a) black image and (b) white image without gas barrier film and for (c) black image, and (d) white image with gas barrier film.

그림 5(b)는 sample 1의 상부기판에 (-) 전압을 하부기판에 (+)와 (+) 전압을 각각 인가하여 상부기판에 백색 이미지를 구현한 것으로 보인 것이다. 그림 5(c)는 sample 2의 상부기판에 (+) 전압을 하부기판에 (-)와 (-) 전압을 각각 인가하여 상부기판에 흑색 이미지를 구현한 것이고, 그림 5(d)는 sample 2의 상부기판에 (-) 전압을 하부기판에 (+)와 (+) 전압을 각각 인가하여 상부기판에 백색 이미지를 구현한 것을 보인 것이다. sample 3에 대한 실험은 sample 2와 유사하여 본 논문에서는 다루지 않았다.

기존의 플라스틱 기판을 적용한 sample 1을 이용한 그림 5의 (a)와 (b)는 외부 온도와 습도에 의해 흑색입자와 백색입자의 뭉침 현상이 발생하는 것을 확인하였다. 반면에 외부 산소 및 수증기를 차단하는 gas barrier film을 적용한 sample 2의 패널의 광학현미경 사진을 보인 (c)와 (d)는 30,000회 구동 이후에도 입자의 뭉침 현상이 거의 발생되지 않았으며, 외부 온도와 습도에 영향을 가장 적게 받는 유리 기판을 적용한 패널인 sample 3과 거의 유사한 이미지가 관찰되었다. 즉 현미경사진을 통한 뭉침 현상 확인에서 gas barrier film을 코팅한 플라스틱 기판은 유리 기판을 적용한 패널과 거의 유사한 것으로 판단되며 입자 뭉침 현상을 개선하는 것을 확인하였다.

3.2 광특성 비교

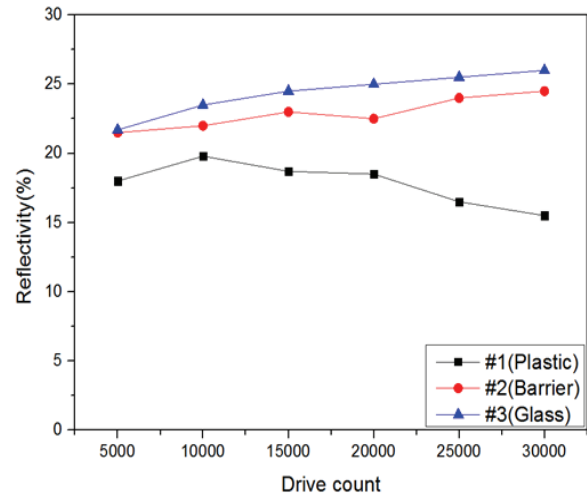


Fig. 6. Reflectivity of three sample panels according to driving count after intended degradation.

앞에서 논의한 현미경 사진에서 gas barrier film을 적용한 패널의 경우 유리 기판을 적용한 패널에 유사한 뭉침 현상의 개선효과를 확인하였는 바, 광특성 중 반사율의 개선효과는 그림 6에 보였다. 그림 6은 실험방법에서 설명한 3종의 전자종이 패널에 대한 반사율을 측정하는 결과를 보인 것으로 sample 1은 기존의 플라스틱 필름, sample 2는 플라스틱 필름에 gas barrier film을 코팅한 것이며, sample 3은 유리기판 위에 ITO 전극을 코팅한 상부기판으로 패키징을 완성한 것이다. 실험방법에서 설명한 바와 같은 가혹조건을 거친 후 +2 V, -2 V의 펄스를 인가하여 구동하면서 5,000회 단위로 반사율을 측정하였다. 단, 초기 가혹조건 직후 구동된 반사율은 5,000회 구동 후 측정결과와 유사하였으며 100회에서 구동된 반사율을 보였다.

흑색입자는 백색입자에 비해 상대적으로 낮은 q/m 값을 가지기 때문에 입자 뭉침의 속도가 현저히 낮으며 따라서 반사율의 변화가 크게 변하지 않는다. 따라서 그림 6에서는 흑색의 반사율은 생략하고 백색의 반사율만을 도시하였다. 그림 6에서 보는 바와 같이 sample 1은 5,000회 구동하였을 때 18% 반사율을 보였고 10,000회 구동하였을 때까지 반사율이 증가하여 19.8%를 보였으나, 입자의 뭉침 현상이 증가하여 지속적으로 반사율이 저하되는 것을 확인할 수 있다. 여기

에서 초기 5,000회까지 반사율이 증가하는 것은 하전 입자가 구동을 하면서 활성화되는 단계로 이해되며 전자종이 디스플레이에서 일관되게 관찰되는 현상이다 [15]. Sample 2는 5,000회부터 30,000회까지 반사율이 21.5~24.5%까지 증가하였고 이를 통해 입자의 뭉침 현상이 발생되지 않고 오히려 하전입자 활성화가 증가하는 것으로 이해된다. Sample 3은 5,000회에서 30,000회까지 반사율이 21.7~26%까지 증가하였고 실험 sample 중 가장 우수한 반사율을 보이고 있다. 이상의 결과에서 보는 바와 같이 gas barrier film을 적용하는 경우 기존의 가장 우수한 외부가스 차단 효과가 있는 것으로 알려진 유리 기판의 효과에 근접하여 대체할 수 있을 것으로 판단하며 유연한 플라스틱 기판에 적용가능하기 때문에 다양한 분야에 응용할 수 있는 장점을 가질 수 있다.

4. 결론

본 연구는 3전극형 디스플레이에서 패키징 방법에 의한 광특성 개선에 관한 비교연구 실험을 진행하였다. 3전극형 디스플레이의 제작을 위해 하부기판의 전극과 격벽패턴을 설계하여 포토마스크를 제작하였고 사진식각공정을 이용하여 하부기판을 제작하였다. 플라스틱 기판을 상부기판으로 패키징할 경우 패널이 외부가스에 노출되어 입자 뭉침 현상이 발생되고 유체가 증발하며 입자 뭉침 현상이 발생하는 것을 광학현미경과 반사율측정을 통해 확인할 수 있었다. 따라서 플라스틱 기판을 사용하였을 때 수명에 치명적인 문제가 발생되며, 이를 개선할 방법으로 플라스틱 기판에 gas barrier film을 도포하여 패키징을 진행하였고 비교실험을 위해 플라스틱 기판을 사용하여 패키징한 패널과 glass 기판을 사용하여 패키징한 실험패널 총 3개의 패널을 준비하여 실험하였다. 그 결과 플라스틱 기판을 사용한 패널보다 gas barrier film을 플라스틱 기판에 도포하여 패키징한 패널이 유리기판을 사용한 패널과 유사한 입자뭉침 현상과 수명을 보이는 것을 광학현미경과 반사율측정을 통해 확인할 수 있었다. 이를 통해 기존의 플라스틱기판을 gas barrier film을 도포한 패널로 대체할 경우 입자 뭉침 현상이 개선되며, 패널의 수명이 증가하면서 광특성이 개선된 플렉시블 기능을 가진 전자종이를 이룰 수 있다.

향후 다양한 gas barrier film의 두께에 대한 비교 실험을 진행하여 3전극형 디스플레이의 이상적인 gas barrier film의 두께에 대한 연구를 진행할 예정이다.

REFERENCES

- [1] J. S. Kim and Y. C. Kim, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **25**, 48 (2012). [DOI: <http://dx.doi.org/10.4313/JKEM.2012.25.1.48>]
- [2] IRS Global, *Comprehensive analysis for exploring flexible display related new business strategy*. (IRS Global, Printed in Korea, 2016) p. 342.
- [3] A. A Terry, *Library Hi Tech*, **4**, 376 (2001). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/07378830110411925>]
- [4] S. S. Lee, M. Park, S. H. Lim, and J. K. Kim, *J. of Industrial&Engineering Chemistry*, **13**, 1 (2010).
- [5] C. H. Chen, F. C. Lin, Y. T. Hsu, Y. P. Huang, and H.P.D. Shieh, *J. Display Technology*, **5**, 34 (2009).
- [6] S. I. Lee and Y. C. Kim, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **28**, 2 (2015). [DOI: <http://dx.doi.org/10.4313/JKEM.2015.28.2.109>]
- [7] D. J. Lee, Y. M. Oh, S. W. Park, B. E. Park, and Y. C. Kim, *J. Disp. Technol.*, **8**, 361 (2012) [DOI: <https://doi.org/10.1109/JDT.2012.2190135>]
- [8] E. H. Song, B. H. Kang, T. Y. Kim, H. J. Lee, Y. W. Park, and Y. C. Kim, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **7**, 8 4778 (2015). [DOI: <https://doi.org/10.1021/am508641g>]
- [9] K. Y. Kwon, S. W. Kim, I. S. Hwang, and Y. C. Kim, *Journal of Academia-industrial Technology*, **9**, 35 (2008).
- [10] J. H. Choi, Y. W. Park, T. H. Park, E. H. Song, H. J. Lee, and H. K. Kim, *Langmuir.*, **28**, 6826 (2012).
- [11] M. K. Kim, Y. J. Lim, S. S. Bhattacharyya, M. H. Lee, and S. H. Lee, *Current Appl. Phys.*, **11**, 7 (2011).
- [12] D. J. Lee, B. E. Park, and Y. C. Kim, *J. Disp. Technol.*, **8**, 534 (2012).
- [13] M. A. Priolo, D. Gamboa, K. M. Holder, and J. C. Grunlan, *Nano. Lett.*, **10**, 4970 (2010).
- [14] D. J. Lee and Y. C. Kim, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **21**, 63 (2008).
- [15] D. J. Lee and Y. C. Kim, *J. Disp. Technol.*, **9**, 972 (2013). [DOI: <https://doi.org/10.1109/JDT.2013.2273125>]