

잉크젯 프린팅 기술을 이용한 유기 발광 다이오드 제작

김명기, 신권용, 황준영, 강경태, 강희석, 이상호
한국생산기술연구원

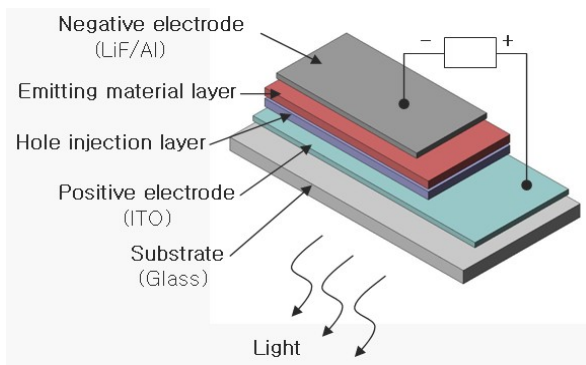
Fabrication of organic light emitting diode with inkjet printing technology

Myong Ki Kim, Kwon Yong Shin, Jun Young Hwang, Kyungsae Kang, Heuseok Kang, Sang-Ho Lee
Korea Institute of Industrial Technology

Abstract - Inkjet printing is commonly used in depositing the solution of functional materials on the specific locations of a substrate, and also it can provide easy and fast patterning of polymer films over a large area. Inkjet printing is applicable to fabricating an organic light emitting diode (OLED), since conducting materials used as emissive electroluminescent layers can be manufactured into inks for ink jetting. By using the inkjet technology, we have succeeded in patterning a poly(3,4-ethylenedioxythiophene)/poly(styrenesulfonate) (PEDOT/PSS) layer and a poly[2-Methoxy-5-(2-ethylhexyloxy)-1,4-phenylenevinylene] (MEH-PPV) layer on the Indium tin oxide (ITO) patterned substrates, and fabricating organic light emitting diodes.

1. 서 론

유기 발광 다이오드의 기본 구조는 <그림 1>과 같이 금속/유기 반도체/ 금속구조로 간단히 묘사될 수 있는데, 높은 일함수를 가진 투명전극인 ITO를 양극으로, 낮은 일함수를 갖는 aluminum (Al)이나 calcium (Ca)등을 음극 물질로 사용한다. 유기 반도체층은 일반적으로 정공 주입층과 유기 발광층으로 구성된다. 정공 주입층으로 사용되는 PEDOT/PSS는 매우 전도성이 높고, 투명성을 가지면서 구조적으로 안정한 우수한 박막을 만들 수 있는 장점을 가지고 있다. 이 전도성 고분자는 유기 용제와 물, 분산제 등에 의해 액상으로 제조되어 스핀 코팅, 롤 코팅, 스크린 프린팅, 잉크젯 프린팅을 통한 공정이 가능하다. 또한 발광층으로 사용되는 MEH-PPV는 오렌지색의 빛을 내는 고분자 물질로 유기 용제에 녹여 액상 공정에 적용될 수 있다. 폴리머를 이용한 발광소자, 태양전지, 수광소자의 제작에 액상 공정이 적용된바가 있으며 특히 유기 발광 다이오드의 경우 PEDOT/PSS층의 유무에 따른 성능향상에 대한 연구가 보고되었다[1]. 유기 발광 다이오드의 제작에 있어 잉크젯 프린팅 기술은 고해상도의 패턴을 위해 기판의 표면 처리를 필요로 한다. 본 연구에서는 PEDOT/PSS 패턴의 형성에 대해 프린팅방법과 기판의 표면처리를 통해 접근하였고, 발광층으로 MEH-PPV를 사용하여 유기 발광 다이오드를 제작하였다.



<그림 1> 유기 발광 다이오드 기본 구조

2. 실험재료 및 실험방법

<표 1>는 실험에 사용된 잉크의 물성을 보여준다. 정공 주입층에는 Batron P AI4083(H. C. Starck) 을 구입하여 Glycerol과 Deionized Water (DI water)를 추가로 혼합하였다[2]. 발광층에 사용된 고분자 재료는 오렌지색을 갖는 MEH-PPV로서 N-methyl pyrrolidone (NMP)에 1 wt%로 24시간 교반하여 제조하였다. 점도는 Brookfield사의 DV-II+

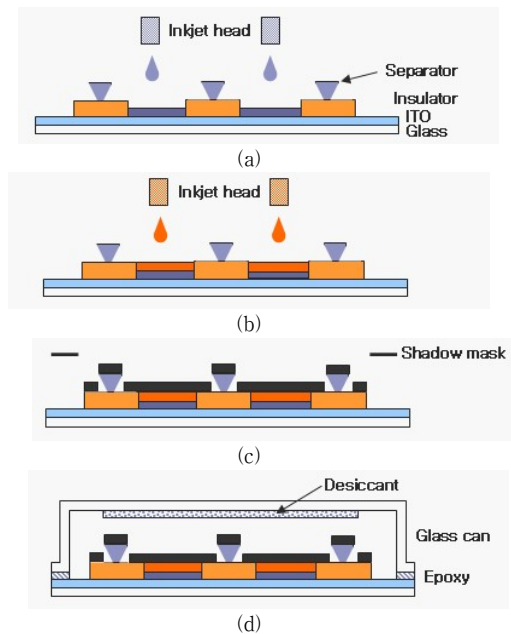
모델을 사용하였으며 밀도는 측정된 부피와 질량을 통해 계산하였고, 표면장력은 KRUSS사의 DSA100을 사용하여 측정하였다.

실험에 사용된 유기 발광 다이오드용 기판에는 50 μm x 200 μm 크기의 픽셀 18,432개가 15 x 23 mm²의 면적에 형성되어 있다. 그리고 각 단위픽셀을 구성하고 ITO 하부 전극과 상부전극의 절연을 위해 두께 1.2 μm의 Polyacrylate 뱅크가 직사각 우물 형태로 패턴 되어 있다.

실험에 사용된 잉크젯 프린트 장비는 Dimatix사의 DMP-2831모델이다. 잉크는 2축 스테이지의 이동과 이에 따른 트리거 신호에 의해 Drop-On-Demand(DOD) 방식으로 분사되어 기판에 패턴을 형성하게 된다[3]. 또한 다층 공정에서 요구되어지는 기판의 정렬을 위한 fiducial camera가 내장되어 있다. 카트리지형 분사헤드는 DMP-11610 모델을 사용하였으며 단일액적 분사시의 액적 부피는 약 10 pl 정도이다. 기판 위에 형성되는 액적의 크기보다 큰 형태의 패턴을 형성하기 위해서는 잉크의 분사간격을 액적직경보다 약간 작게 설정하는 것이 일반적이다. <그림 2>는 유기 발광 다이오드의 전체 제작 공정을 보여준다. 잉크젯 프린팅 방법으로 <그림 2>와 같이 (b)와 (c)의 단계에서 정공 주입층과 발광층의 패턴공정을 수행하였다.

<표 1> 실험에 사용된 잉크의 물성

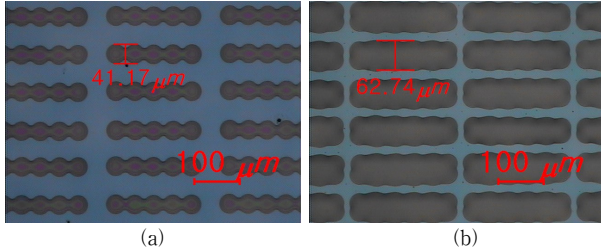
Material/Ink	Viscosity (cP)	Density (g/ml)	Surface tension (dyne/cm)
PEDOT/PSS+Glycerol+DI water (8:1:1 vol %)	9.4	1.0	79
MEH-PPV (1 wt% in NMP)	5.7	1.0	35



<그림 2> 유기 발광 다이오드 제작 공정: (a): PEDOT/PSS 잉크젯 프린팅; (b): MEH-PPV 잉크젯 프린팅; (c): LiF/Al 전극 증착; (d): 밀봉

3. 실험결과

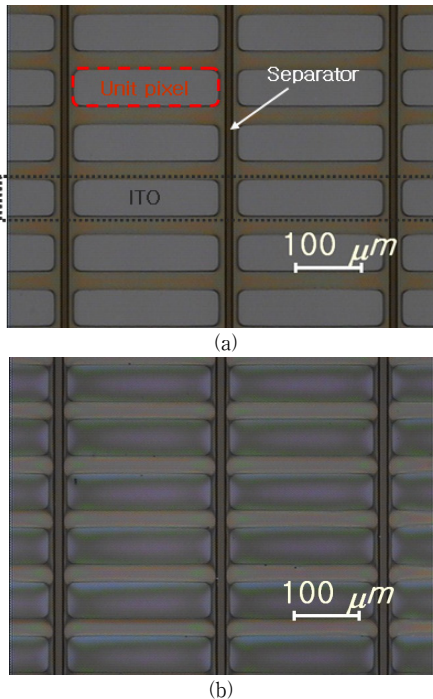
<그림 3>은 액적 간격에 따라 ITO 기판위에 잉크젯 프린팅 된 PEDOT/PSS의 패턴을 보여준다. <그림 3>의 (a)는 액적의 분사 간격을 40 μm 로 설정한 패턴으로 5방울의 액적이 한 줄로 분사되었다. 여기서 탄착된 액적들은 충분히 퍼지지 못해 하나의 픽셀 내부를 채울 수 없음을 확인되었다. 픽셀내부를 채울 수 있는 액적의 양을 확보하기 위해 분사 간격을 20 μm 로 설정한 후 <그림 3>의 (b)에서와 같이 20방울의 액적이 2줄로 프린팅 되었다. 잉크 분사 시 기판의 온도는 40 $^{\circ}\text{C}$ 로 동일하게 적용하였으며 패턴 형성 후 100 $^{\circ}\text{C}$ 의 오븐에서 30분의 열처리 하였다.



<그림 3> 액적간격에 따른 PEDOT/PSS 패턴의 변화: (a): 40 μm ; (b): 20 μm

일반적으로 유기 발광 다이오드나 기타 유기 반도체 소자에 정공 주입층으로 사용되는 PEDOT/PSS층의 두께는 50~100 nm 정도로 알려져 있다[2,4]. 픽셀 패턴 실험에서 보인 <그림 3>의 (b)의 PEDOT/PSS층의 두께는 약 170 nm 정도로 측정되었다.

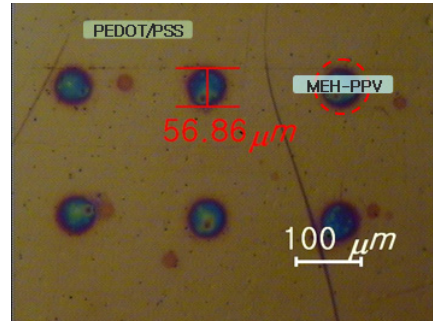
<그림 4>의 (a)는 뱅크가 형성되어 있는 유기 발광 다이오드용 기판을 보여준다. 뱅크 구조 아래로 ITO 전극이 패턴되어 있으며 음극을 패턴하기 위한 분리대가 있다. <그림 4>의 (b)는 각 픽셀에 PEDOT/PSS층이 패턴 된 모습을 보여준다. 기판과 잉크 분사위치의 정렬이 일치하여 모든 액적이 뱅크 구조 안에서 패턴을 형성했음을 확인할 수 있다. 기판의 온도는 40 $^{\circ}\text{C}$ 이며 액적간격은 20 μm 로 각 셀은 22방울의 액적으로 채워졌다.



<그림 4> 픽셀형 유기 발광 다이오드 기판: (a): Before PEDOT/PSS printing; (b): After PEDOT/PSS printing

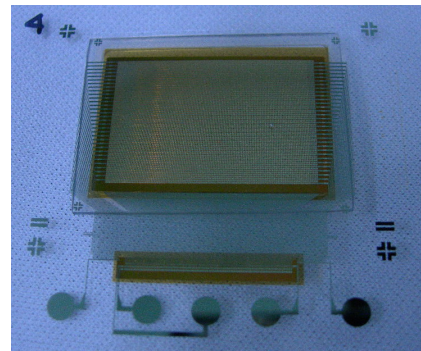
발광층 패턴을 하기 위해서는 PEDOT/PSS층 위에서 MEH-PPV 잉크 액적이 퍼지는 정도를 확인해야 한다. <그림 5>는 PEDOT/PSS가 코팅된 ITO 기판위에 탄착된 MEH-PPV 액적의 크기를 보여준다. 픽셀 내부의 폭이 50 μm 임에 비해 액적의 직경은 약 57 μm 이므로 픽셀내부

를 채울 수 있을 만큼 퍼짐을 확인할 수 있다. 이에 따라 액적의 분사 간격을 40 μm 로 설정하여 하나의 픽셀 내부에는 6방울의 액적을 한 줄로 분사하였다.



<그림 5> PEDOT/PSS가 코팅된 기판위에 탄착된 MEH-PPV 잉크 액적

<그림 6>은 잉크젯 프린팅 공정을 이용하여 제작된 유기 발광 다이오드의 모습을 보여준다. 음극층으로 LiF와 Al을 각각 10 nm와 100 nm의 두께로 진공증착한 후 에폭시와 유리 캔을 사용하여 밀봉하였다.



<그림 6> 제작된 유기 발광 다이오드의 사진

4. 결 론

본 연구에서는 유기 발광 다이오드를 제작하기 위한 공정으로 잉크젯 프린팅 기법을 채택하였다. 잉크젯 기술을 사용하여 정공 주입층의 PEDOT/PSS 잉크와 발광층의 MEH-PPV 잉크를 프린팅 하여 픽셀형 패턴을 갖는 유기 발광 다이오드를 제작하였다. 향후 연구에 있어서 정공 주입층과 발광층의 두께와 균일도가 발광 특성에 미치는 영향에 대한 연구가 진행될 예정이다.

후 기

본 연구는 지식경제부 지원의 "FPD(평판디스플레이)용 Ink-Jet Printing 장비기술개발"과제의 일환으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

[1] J. Bharathan and Y. Tang, "Polymer electroluminescent devices processed by inkjet printing: 1. Polymer light-emitting logo," Applied Physical Letters Vol. 72, No. 21, 2660, 1998.
 [2] W. Voit, H. Sjoblom, J. Birgersson, A. Fogden, and W. Zapka, "Inkjet printing of well-adapted PEDOT-PSS dispersions," IS&T's NIP20: International Conference on Digital Printing Technologies, Oct. 31, 2004, (Salt Lake City, UT), pp. 226~231.
 [3] B. -J. de Gans, P. C. Duineveld, U. S. Schubert, "Inkjet printing of polymers: state of the art and future developments," Advanced materials, Vol. 16, Issue 3, pp. 203~213, 2004.
 [4] J. M. Leger, S. A. Carter, B. Ruhstaller, H.-G. Nothofer, U. Scherf, H. Tillman and H.-H. Horhold, "Thickness-dependent changes in the optical properties of PPV- and PF-based polymer light emitting diodes," Physical review B 68, pp. 054209-1~054201-6, 2003.