

# 플렉시블 디스플레이와 집적회로에의 OTFT 응용

김강대<sup>†</sup>·허영현·이명원·류기성·송정근\*

## OTFT Application to Flexible Displays and Integrated Circuits

Kang dae Kim, Yong-Xian Xu, Myung Won Lee, Gi Seong Ryu and Chung Kun Song

**Key Words:** Organic thin film transistor(유기박막트랜지스터), Pentacene(펜타센)

### Abstract

In this paper we demonstrated the applications of OTFTs (organic thin film transistors) to flexible displays such as AM-EPD (active matrix electrophoretic display) and AM-OLED (active matrix organic light emitting diode), and also to integrated circuits. The OTFTs using pentacene semiconductor layer and PVP gate dielectric and Au S/D electrodes exhibited good performance for AM-EPD with the mobility of  $0.59 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ , and with also good uniformity over  $2.5''$  diagonal area. However, it is not enough for AM-OLED requiring the mobility larger than  $1 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$  for large area displays. The integrated circuits also worked, producing the operating frequency of 1MHz. We need to develop a fabrication process to reduce parasitic capacitance for high frequency operation.

### 기호설명

$\mu$  : 이동도( $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ )

전기를 띤 입자가 전기장에 의하여 움직일 때, 그 움직임이 쉬운 정도.

### 1. 서론

유기물이 반도체 성질을 가질 수 있다는 것이 밝혀지면서 지난 10년간 유기박막트랜지스터(Organic Thin Film Transistor : OTFT)의 성능이 급속히 향상되면서 플렉시블 디스플레이, 초저가 RFID tag, 태양전지 등 분야에서 OTFT를 이용한 유기전자 소자에 대한 연구가 활발히 진

행되고 있다[1-6]. 본 논문에서는 OTFT backplane을 제작하고 EPD 및 AMOLED 시험구동을 하였으며 OTFT 집적회로를 제작하여 RFID tag에의 적용 가능성에 대해 알아보았다.

### 2. OTFT를 이용한 AM-EPD

오늘날 정보통신의 발달로 인한 디스플레이의 수요가 급증을 하고 있으며, 다양한 형태(flexible)의 디스플레이 요구도 이와 더불어 증가되어가고 있다. 최근에 이러한 요구사항을 구현할 수 있는 재료로써 종이와 같은 질감을 보이는 Electrophoretic display(EPD)가 주목 받고 있다. EPD는 유연하면서도 매우낮은 소비전력으로 이미지를 구현할수 있는 장점이 있다. 하지만 EPD는 그 자체의 문턱전압을 가지지 않기 때문에 EPD의 구동을 조절할 수 있는 스위칭 소자를 필요로 한다.

본 논문에서는 plastic 기판을 이용하여 OTFT를 스위칭 소자로 이용하여 EPD를 구현 하였으며, 이를 구현하기 위한 소자의 구조 공정을 중심으

<sup>†</sup> 김강대, 한국기계연구원(정보장비연구센터)

E-mail : Kangdae@kimm.re.kr

TEL : (042)868-7609 FAX : (042)868-7176

\* 동아대학교 전자학과

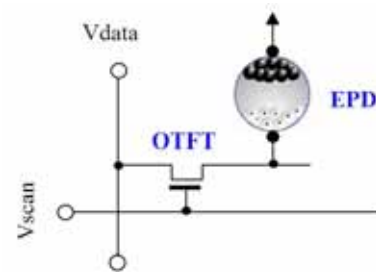
E-mail: cksong@dau.ac.kr

TEL: (051) 200-7711 FAX: (051) 200-7712

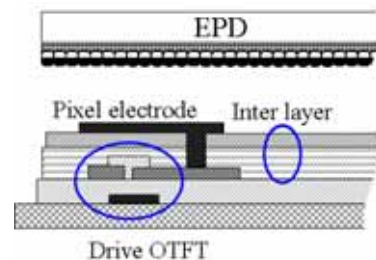
로 발표하고자 한다. AMEPD의 단위 화소는 하나의 OTFT와 EPD로 구성되어 있으며, DuPont Teijin에서 판매되는 PEN film위에 하부전극 구조로 제작을 하였다[Fig. 1]. plastic 기판은 오염원의 방지를 위해 class 1000의 클린룸에서 세정공정과 기판의 수축을 줄이기 위해 선 열공정을 진행 하였다. 게이트 절연막은 PVP를 스핀코팅 공정으로 성막을 하고 소스 드레인 전극은 채널 30um 폭 150um로 Au를 진공 증착하여 형성 하였다. 제작된 OTFT array는 128×96으로 10,000개 이상의 트랜지스터로 구성되어 있으며, 최종적으로 제작된 backplane 과 frontpanel(EPD)의 결합으로 디스플레이를 완성 하였다. EPD 동작에 있어서 필요한 스위칭 소자의 Ion/Ioff는 다음을 만족해야하고  $I_{on} > 4nV_d(C_{EPD})/T_f$ ,  $I_{off} < 10^{-1}V_d(C_{EPD})/T_f$  Ion/Ioff>40N 이므로  $10^4$  이상 되어야 한다. OTFT array상에서 각각의 성능은 언급된 조건을 만족하고 있으며 또한 성능편차도 20% 이내로 전체적으로 균일한 특성을 보였다[Table 1]. 그리고, EPD의 독립적 구동을 위해서는 OTFT 상층에 interlayer를 필요로 한다. Interlayer는 활성층이 유기물인 OTFT에 가능한 최소의 영향을 주어야 하고, EPD에 전압 전달을 차단하기 위해 절연특성을 가져야 한다. 이러한 조건을 충족시키기 위해 PVA, Photo Acryl를 interlayer로 구성하였고 OTFT의 성능을 조사하였다. PVA는 수용성 재료로 활성층인 유기물에 최소한의 영향을 주는 것으로 보고되고 있다[1]. 제작된 OTFT의 초기 이동도는  $0.59\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ 였으며, interlayer 공정을 진행한 후의 이동도는  $0.4\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ 로 측정이 되었다. 성능은 30%정도 감소되었지만 중요한 점은, interlayer 층이 도포된 이후에도 OTFT는 장시간 안정된 동작을 보이고 있으며, 이러한 성능은 EPD를 구동시키는 스위칭 소자로 충분한 역할을 수행한다는 것이다[Fig 2]. OTFT backplane을 이용한 EPD의 구동은 향후 요구되는 flexible display구현의 필수인 스위칭 소자로서의 가능성을 보여주고 있다. OTFT의 응용의 한 예라고 할 수 있겠다.

**Table 1** The Performance parameters of OTFTs in backplane before and after PVA/Acryl interlayer deposition.

	Mobilitys (cm <sup>2</sup> /V.s)	Ion/Ioff	VT(V)
Uniformity	0.213 ± 0.021	4.8±1.36 × 10 <sup>5</sup>	7.42 ± 0.59
After Interlayer	0.40(0.59)	3.66(14.5) × 10 <sup>7</sup>	-3.7(-0.5)



(a)

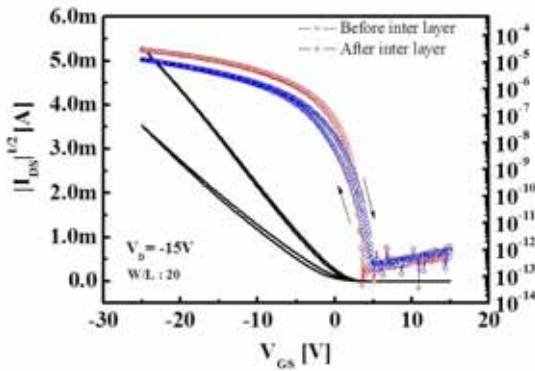


(b)

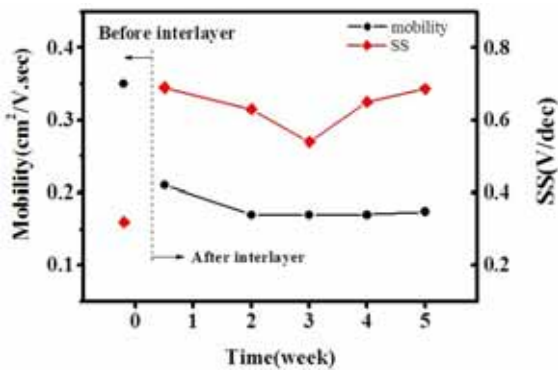


(c)

**Fig. 1** a) The circuit configuration of AMEPD pixel b) The cross-section of a pixel consisting of OTFT and EPD, and c) the letters displayed on OTFT-EPD panel.



(a)



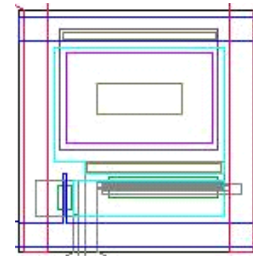
(b)

**Fig. 2** a) The transfer characteristics of OTFT before and after PVA/Acryl interlayer deposition, and b) the variation of mobility according to time.

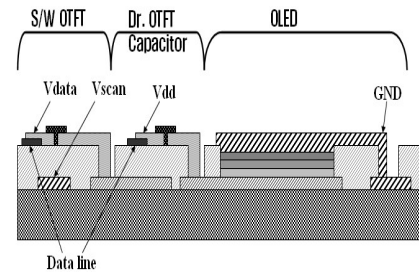
### 3. OTFT를 이용한 OLED

OTFT의 특성을 바탕으로 2OTFTs-1Cap-1OLED의 픽셀로 구성된 16x16 AMOLED을 설계하였다. 2개의 OTFT는 OLED에 제어된 전류를 공급해 주는 역할을 하는 Drive Tr.과, 외부 신호를 Drive Tr.에 선택적으로 전달하는 Switching Tr.로 구성된다. 1개의 캐패시터는 다음 신호 전압이 인가 될 때 까지 픽셀 상태를 유지하기 위한 전압이 충전된다. 이것은 AM(Active Matrix)의 가장 큰 장점인 소비 전력을 줄여주는 역할을 한다. 먼저 발광소자인 OLED의 전기적 특성을 바탕으로 Drive Tr.을 설계하였으며, 설계 면적과 RC delay, kick back 전압 등을 고려하여 캐패시터(Cst)를 설계하였다. 신호 인가 및 유지시간, 캐패시터의 충전과 방전을 고려하여 S/W Tr.을 설계하였다. 설계된 픽셀

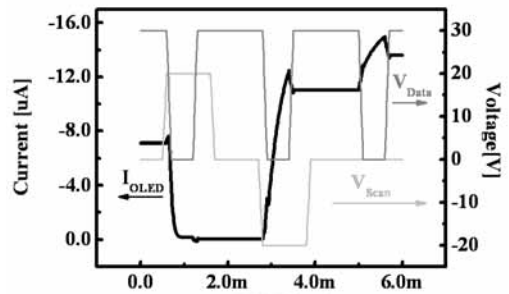
은 시뮬레이션을 통하여 동작을 확인하였으며, 모든 설계는 제작 공정에 기초하여 이루어 졌다 [Fig. 3].



(a)



(b)



(c)

**Fig. 3** (a) 2OTFTs-1Cap-1OLED pixel layout, (b) cross-section of pixel (c) result of pixel simulation.

OTFT-AMOLED는 외부에서 4개의 신호를 받아서 동작하게 된다. 먼저 스위칭 Tr.의 동작을 제어하는 Scan 신호, 픽셀을 제어하기 위한 data 신호, OLED를 동작시키기 위한 Vdd와 GND로 구성되어 있다. 제작은 먼저 OLED의 anode전극으로 기판에 증착 되어있는 투명전극(ITO)을 wet 에칭 공정을 이용하여 형상화 하였다. AI를 이용하여 S/W Tr.의 게이트 전극(scan)을 형성하였다. 게이트 절연체는 포토 리소그래피 공정이 가능한 CLA-PVP를 사용하였으며 솔벤트를 제거와 CLA의 활성화를 위하여 100°C, 200°C에서

각각 경화를 실시하였다. 다음으로 data 전극으로 Si을 한 번더 wet 에칭하여 형성하였으며, 경화된 PVP를 O2플라즈마를 이용하여 형상화 하였다. OTFT의 Source/Drain 전극으로 Au를 lift-off 공정으로 형성하였으며, Pentacene을 웨도우 마스크를 이용하여 증착 하여 OTFT와 캐패시터를 완성하였다. 이미 제작된 OLED anode 전극 위에 2-TNATA,NPD 그리고 Alq3를 웨도우 마스크를 이용하여 연속적으로 증착 하였으며, OLED cathode 전극으로 Si을 증착하였다. 제작된 소자는 픽셀은 Fig. 4와 같다. 스위칭 Tr.은 이동도  $0.027\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ , 전류 점멸비  $\sim 10^5$ , 문턱전압은  $6.39\text{V}$ 이며 스위칭 Tr.에서 요구되는 Drive Tr.은 이동도  $0.039\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$  전류 점멸비  $5 \times 10^4$ , 문턱전압  $7.23\text{V}$ 의 특성을 보였다. 스위칭 Tr.은 on과 off 2개의 조건에서 동작하게 되며 on일때는 전압 전달 및 캐패시터 충전에 위한 충분한 전류값을 가져야 하며, off 동작에서는 캐패시터의 충전 전압이 유지되도록 낮은 전류값을 가져야 한다. 또한 Drive Tr.은 OLED에 전류를 공급해야 하므로 높은 전류값이 요구된다. 제작된 소자의 특성을 분석한 결과 픽셀의 구동이 가능할 것으로 판단되었다.

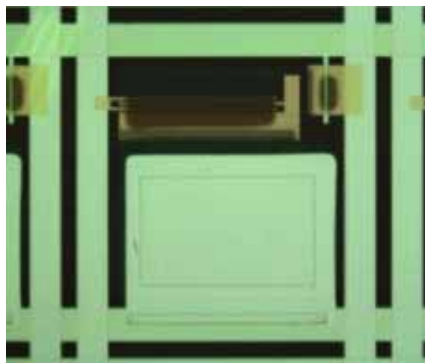


Fig. 4 photograph of fabricated pixel.

제작된 픽셀에 Scan, data 신호를 인가하였으며 신호 전압에 따라 전압 전달을 제어할 수 있었으며, 픽셀이 제어되는 것을 확인 할 수 있었다. 하지만 캐패시터에 의해 1프레임 동안 전압을 유지되어야 하나 전압이 방전되는 것이 관찰되었다[Fig. 5]. 원인은 누설 전류에 의한 것으로 판단되며 누설 전류 발생 원인에 대하여 현재

분석 실험을 수행하고 있다.

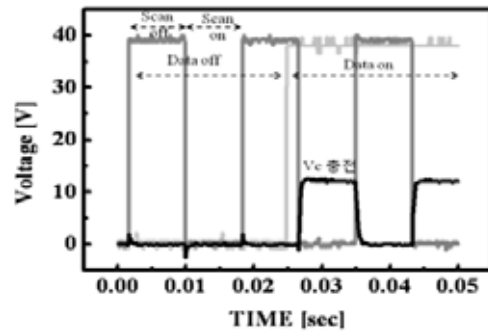


Fig. 5 voltage-curve of measured pixel.

#### 4. OTFT를 이용한 집적회로

본 논문에서는 초저가 Organic RFID 태그의 개발을 위하여 우선 OTFT를 이용하여 태그를 구성하는 핵심회로인 인버터, 링 발진기, 정류기 등 유기 집적 회로를 설계 제작하고 그 특성을 분석함으로써 Organic RFID 태그의 가능성에 대하여 연구하였다. 집적회로의 설계를 위하여 Spice tool을 이용하여 OTFT 모델링을 하였으며 모델링 한 소자를 이용하여 OTFT 기반 인버터, 링 발진기, 정류기 등 회로를 설계하고 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과를 바탕으로 집적회로 제작용 마스크를 설계하였고 플라스틱기판을 사용한 유기 집적회로 제작공정을 개발하였다. 플라스틱 기판에 제작된 OTFT의 전계 이동도는  $0.2 \sim 0.3 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ , 전류 점멸비는  $10^5 \sim 10^6$ , 문턱전압은  $-3 \sim 3\text{V}$ , 차단상태의 전류는  $0.1 \sim 0.2 \text{ pA}/\mu\text{m}$ 로 나타났다. Fig 6과 같이 인버터는 입력전압 대비 출력전압 이득은 14.4로 나타났다. 인버터에 트랜지스터를 직렬 또는 병렬하여 2단입력 NAND와 NOR 게이트를 구성하고 제작된 논리게이트의 논리동작특성을 확인하였으며 인버터 연결하여 제작된 5단 링 발진기는  $V_{DD} = -40\text{V}$ 에서  $1\text{MHz}$ 의 발진특성을 보였다. 4개의 OTFT로 구성된 전파정류기를 설계/제작하여

125Khz 사인파 입력신호에 대한 정류특성을 확인하였다. 이와 같이 OTFT를 이용한 집적회로를 설계 제작하고 그 동작특성을 확인하므로써 OTFT를 이용한 초저가 RFID 태그의 실현이 충분히 가능하다고 판단된다.

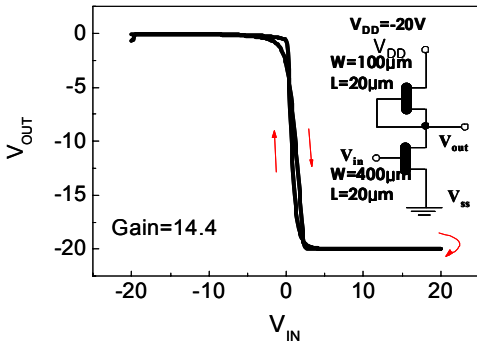


Fig. 6 characteristics of inverter.

## 5. 결 론

OTFT를 이용하여 AM-EPD와 AM-OLED 플렉시블 디스플레이를 제작하였다. OTFT의 성능은 EPD를 구동하기에 충분하지만 OLED에 적용하기에는 성능의 개선을 필요로 한다. 또한 OTFT를 이용한 회로들은 기본적인 동작은 성공적으로 수행하였다. 동작 주파수를 향상시키기 위해서는 기생성분의 감소와 이를 위한 공정의 개선이 필요하다.

## 감사의 글

본 논문의 연구는 산업자원부 지원 21세기 프론티어사업의 “차세대정보디스플레이기술개발사업단”의 지원으로 수행되었음.

## 참고문헌

- (1) C. D. Sheraw, L. Zhou, J. R. Huang, D. J. Gundlach, T. N. Jackson, M. G. Kane, I. G. Hill, M. S. Hammond, J. Campi and B. K. Greening, J. Francl and J. West, Appl. Phys. Lett. 80, 1088 (2002).
- (2) S.Ohta, T.Chuman, S Miyaguchi, D.Satoh, T.Tanabe, Y.Okuda and M.Tsuchida, JJAP vol.44, 3678 (2005).
- (3) L.Zhou, S.K.Park, B.Bai, J.Sun, S.C.Wu,

T.N.Jackson, S.Nelson, D.Freeman and Y.T.Hong, IEEE Electron Device Letters, vol. 26, 640(2005).

- (4) Y.Y.Choi, S.S.Yoon, J.H.Choi, H.J.Kim, J.H.Son, S.Y.Kim, Y.H.Lee, Y.H.Choi and S.T.Kim, SID Technical Digest, pp112-115(2006).

- (5) M.C.Suh, J.H.Jeong, T.Ahn, J.S.Park, S.Y.Kim, Y.J.Kim, T.J.Kim, H.J.Lee, S.M.Lee, Y.W.Park, Y.G.Mo, H.K.Chung, B.W.Koo, S.Y.Kim, S.Y.Lee, SID Technical Digest, pp116-118(2006).

- (6) S.Y.Lee, B.W.Koo, E.J.Jeong, E.K.Lee, S.Y.Kim, J.W.Kim, H.E.Lee, I.W.Ko, Y.G.Lee, Y.T.Chun, T.S.Oh, S.K.Kang, L.S.Pr, J.M.Kim SID Technical Digest, pp244-245(2006).