

논문 2009-46SD-8-1

저전압에서 다결정 실리콘 TFT의 불균일한 특성을 보상한 새로운 AMOLED 구동회로

(A Novel Poly-Si TFT Pixel circuit for AMOLED to Compensate Threshold Voltage Variation of TFT at Low Voltage)

김 나 영*, 이 문 석**

(Nayoung Kim and Moonsuk Yi)

요 약

본 논문에서는 저전압에서 다결정 실리콘(Polycrystalline Silicon: Poly-Si) 박막 트랜지스터(Thin Film Transistors: TFTs)의 문턱전압(threshold voltage)의 불균일성을 보상한 새로운 AMOLEDs(Active Matrix Organic Light Diodes) 구동회로를 제안한다. 제안한 회로는 6개의 스위칭, 1개의 드라이빙 TFT와 1개의 저장 콘덴서로 구성되어 있으며, SPICE 시뮬레이션을 통해 구동회로의 동작을 검증하였다. 시뮬레이션 결과 5V 정도의 낮은 구동 전압(V_{DD})에서 제안한 화소 구동회로의 OLED 출력 전류는 0.8% 정도의 오차를 갖는 반면, 기본적인 구동회로의 경우 약 20% 정도의 오차를 갖는 것을 확인할 수 있었다. 본 논문에서 제안한 화소 구동회로는 OLED의 전류를 결정하는 driving TFT의 threshold voltage 변화에 따른 전류의 변화를 성공적으로 보상하였고, 안정화된 전류를 OLED를 흘려주어 기본적인 화소 회로가 가지고 있던 불균일화의 문제를 해결함을 알 수 있다.

Abstract

A new pixel circuit for Active Matrix Organic Light Emitting Diodes (AMOLEDs), based on the polycrystalline silicon thin film transistors (Poly-Si TFTs), was proposed and verified by SMART SPICE simulation. One driving and six switching TFTs and one storage capacitor were used to improve display image uniformity without any additional control signal line. The proposed pixel circuit compensates an inevitable threshold voltage variation of Poly-Si TFTs and also compensates the degradation of OLED at low power supply voltage(V_{DD}). The simulation results show that the proposed pixel circuit successfully compensates the variation of OLED driving current within 0.8% compared with 20% of the conventional pixel circuit.

Keywords: AMOLED pixel circuit, Poly-Si TFT, threshold voltage variation, low power supply voltage

I. 서 론

AMOLED(Active Matrix Organic Light Emitting Diode) 화소의 구동을 위한 백플레인(backplane)의 구성 소자로 저온 다결정 실리콘(Low Temperature Poly-Si: LTPS) 박막 트랜지스터(Thin Film

Transistor: TFT), 비정질(amorphous) Si TFT, 미세결정질(Microcrystalline) Si TFT, 유기(Organic) TFT, 산화물(Oxide) TFT가 있다^[1].

다결정 Si TFT로 설계되어진 구동회로를 가지는 AMOLED 디스플레이는 평판 디스플레이로서의 우수한 특성을 가지고 있기 때문에 널리 연구개발 되고 있다. 특히 저온 다결정 Si TFT는 이동도(mobility)가 높아 OLED 구동을 위한 충분한 전류를 공급할 수 있으며 신뢰성이 우수하여 AMOLED 백플레인의 구성소자로 가장 일반적으로 이용되고 있다^[1~2]. 저온 다결정

* 학생회원, ** 정회원, 부산대학교 전자전기공학부
(School of Electrical Engineering, Pusan National University)

접수일자: 2008년12월9일, 수정완료일: 2009년8월1일

Si을 제조하는 방식으로 레이저를 이용하는 방식과 열에 의한 방식이 주로 사용되고 있는데, 레이저를 이용하여 다결정 Si을 제조하는 방식(Excimer Laser Annealing: ELA)은 비정질 Si TFT에 비해서 높은 이동도를 가지며, 문턱전압변화 현상이 적다는 장점을 가지고 있으나, 레이저 열처리에 의한 폴리 구조를 형성함에 있어서 그레인 경계가 불규칙하게 분포되어 문턱전압과 이동도를 변화시켜 균일도(uniformity)가 떨어진다는 단점이 있다.

OLED는 LCD와 달리 전류에 의해 휘도를 조절하는 전류구동방식을 사용하기 때문에 OLED 디스플레이의 휘도(brightness) 균일도는 화소를 구성하고 있는 TFT 특성 균일도에 의해 크게 영향을 받는다^[1]. 저온 다결정 Si TFT 특성 불균일에 의한 디스플레이 휘도의 불균일성을 보상하기 위해 하나의 화소에 여러 개의 TFT를 두어 각각의 화소에 공급되는 전류의 편차를 없애는 방식인 보상회로가 설계되고 있다^[2~5].

본 논문의 목적은 저전압(5V)에서 다결정 Si TFT의 문턱전압변화를 보상한 새로운 AMOLED 화소 구동회로 구조를 제안하는 것이다. 제안한 화소 회로의 동작은 SPICE 시뮬레이션을 통해 검증하였고, 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 화소 회로가 성공적으로 문턱전압변화에 의한 휘도의 불균일을 보상하는 것을 확인할 수 있었다.

II. 본 론

1. AMOLED 기본 구동 회로

그림 1은 균일도 보상회로를 사용하지 않은 가장 간

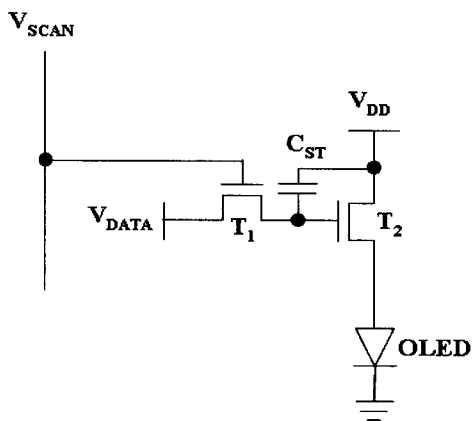


그림 1. 기본 화소 회로도
Fig. 1. Schematic of conventional pixel circuit.

단한 AMOLED 화소 구동회로인 2TFT/1Cap 구조이다.

스캔 라인이 선택되어 스위칭 TFT인 T₁이 켜지게 (turn on)되었을 때, data값이 회로로 인가되어 T₂ (driving TFT)의 게이트에 V_{DATA}을 전달해준다. 이 값은 C_{ST}(storage capacitor)에 저장되고 그 값에 의해 T₂가 OLED에 일정한 전류를 흘려준다.

이 기본 화소 구동 회로에서는 문턱전압변화에 대한 아무런 보상이 이루어 지지 않고 있기 때문에 드라이빙 TFT의 문턱전압이 OLED의 출력 전류값에 직접적인 영향을 미치게 된다. 다결정 Si의 단점인 문턱전압변화 현상이 각각 화소에 그대로 노출이 되게 되고, 그 결과 같은 data값에 대해서도 서로 다른 OLED 출력 전류값이 흐르게 되어 화소마다 다른 디스플레이 휘도를 얻게 된다.

2.1 제안된 화소 구동회로 구조

제안한 화소 회로도에는 그림 2에 나타내었다.

제안한 회로는 1개의 드라이빙 TFT(T₇)와 6개의 스위

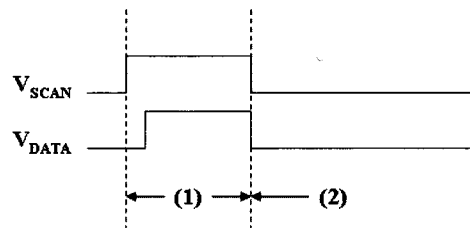
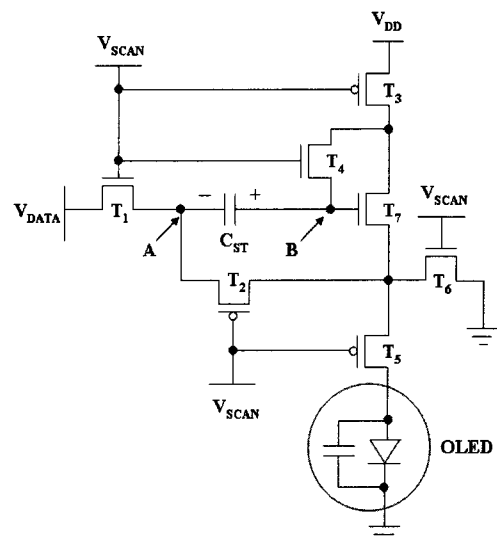


그림 2. 제안된 화소 회로도 및 타이밍 다이어그램
Fig. 2. Schematic of proposed pixel circuit and timing diagram.

칭 TFT(T_1 - T_6), 그리고 1개의 저장 콘덴서(C_{ST})로 구성 되어 있다. T_4 는 T_7 의 다이오드 연결(diode connection)을 위해 사용되었고, T_5 는 period (1)동안 OLED에 누설 전류가 흘러들어 가는 것을 막아주는 역할을 한다. T_7 은 주어진 데이터값에 따라 OLED에 보내줄 전류 값을 결정한다. 나머지 TFT는 단순한 스위칭 기능을 한다.

2.2 제안된 화소 구동회로 동작원리

제안된 회로의 동작과 문턱전압변화 보상원리는 다음과 같다.

Period (1): 이 단계는 프로그래밍 단계로써 데이터값과 드라이빙 TFT의 문턱전압값을 감지해서 저장 콘덴서에 저장하는 과정으로 등가회로를 그림 3에 나타내었다. 이 구간에서는 스캔 라인이 high가 되어, T_1 , T_4 , T_6 은 켜지게(turn on) 되고, T_2 , T_3 , T_5 는 차단상태(turn off)가 된다. 이때 데이터 라인이 스위칭 소자인 $T1$ 을 통해 회로에 인가되고, 이때 노드A의 전압 값은 V_{DATA} 가 된다. 드라이빙 TFT인 T_7 은 T_4 에 의해 다이오드 연결이 되고, 다이오드 연결이 된 T_7 의 드레인과 소스 사이의 전압 강하가 문턱전압만큼 되어 $V_{gs,T7}$ 의 값이 $V_{TH,T7}$ 이 되게 된다. 노드B의 전압 값이 $V_{TH,T7}$ 이 되므로 C_{ST} 에 $V_{TH,T7} - V_{DATA}$ 이 저장된다.

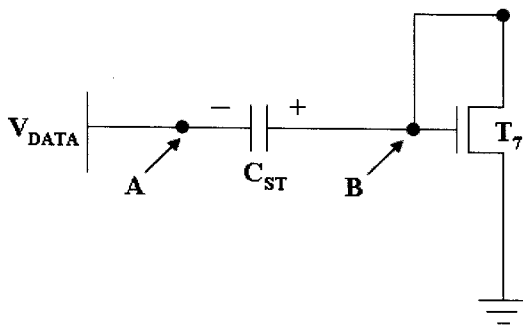


그림 3. period (1)에서의 등가회로
Fig. 3. Equivalent circuit at period (1) in operation.

Period (2): 이 단계는 디스플레이를 하는 단계로, 저장 콘덴서에 저장되어 있는 값으로 드라이빙 TFT를 구동하여 OLED에 전류를 흘려 원하는 휘도를 디스플레이 하는 과정이다. 이 단계에서는 스캔 라인이 low가 되어, T_2 , T_3 , T_5 는 켜지게 되고, T_1 , T_4 , T_6 은 차단상태가 되어 그림 4와 같은 상태가 된다. OLED에 흐르는 전류는 T_7 에 의해서 결정되고, 그 전류 값은 다음과 같다.

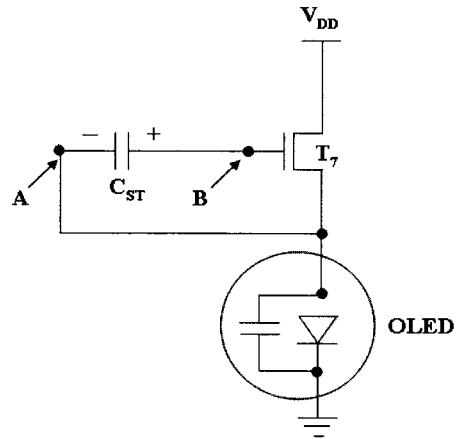


그림 4. period (2)에서의 등가회로
Fig. 4. Equivalent circuit at period (2) in operation.

$$\begin{aligned}
 I_{OLED} &= I_{D,T7} = \frac{1}{2}k(V_{gs,T7} - V_{TH,T7})^2 \\
 &= \frac{1}{2}k(V_{TH,T7} - V_{DATA} - V_{TH,T7})^2 \\
 &= \frac{1}{2}k(V_{DATA})^2
 \end{aligned}$$

여기서 $k = \mu C_{ox} \frac{W}{L}$ 이다.

여기서 우리는 OLED에 직접적으로 전류를 전달하는 소자인 T_7 의 문턱 전압값이 OLED의 출력 전류값에 아무런 영향을 미치지 않고 단지 data값만이 영향을 미칠 수 있다. 이 제안된 구동 회로를 사용하여 화소마다 균일한 디스플레이 휘도를 얻을 수 있다.

III. 시뮬레이션

3.1 기본 화소 회로 시뮬레이션

화소 구동회로의 동작은 SMART SPICE 시뮬레이션

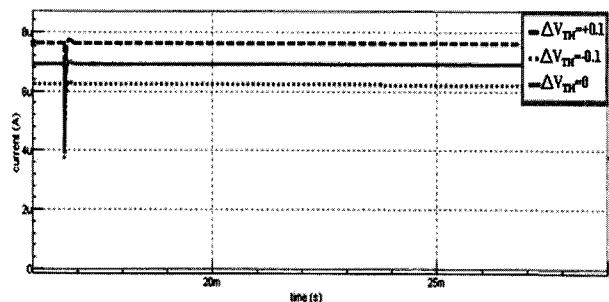


그림 5. 기본회로의 시뮬레이션 결과 (문턱전압 변화= ±20%)
Fig. 5. The simulation result of conventional pixel circuit. (threshold voltage variation= ±20%)

을 통해 검증하였고, RPI 다결정 Si TFT 모델 (level=36)이 사용되었다.

그림 5는 AMOLED의 기본 화소 회로의 시뮬레이션 결과이다. 드라이빙 TFT의 원래 문턱전압값($V_{TH}=0.5V$)의 $\pm 0.1V(\pm 20\%)$ 를 변화시켰을 때의 OLED 전류의 변화를 나타낸다.

그림 5의 시뮬레이션 결과를 통해 문턱 전압값에 대한 아무런 보상이 없는 기본 화소 회로는 약 20%가 넘는 전류편차를 보임을 확인할 수 있었다.

3.2 제안된 화소 회로 시뮬레이션

그림 6은 본 논문에서 제안된 회로의 시뮬레이션 결과이다. 이 역시 문턱전압값을 $\pm 0.1V(\pm 20\%)$ 를 변화시켰을 때 OLED에 흐르는 전류 값을 시뮬레이션 하였다.

이 제안된 회로에서는 위의 과정을 통해 문턱전압에 대한 보상이 이루어지기 때문에 1%미만의 전류편차를 가짐을 알 수 있다.

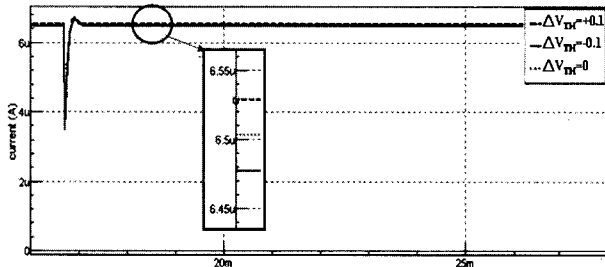


그림 6. 제안된 회로의 시뮬레이션 결과 (문턱전압 변화 = $\pm 20\%$)

Fig. 6. The simulation result of proposed pixel circuit (threshold voltage variation= $\pm 20\%$).

3.3 시뮬레이션 결과 및 토의

표 1에 기본 화소 구동회로와 본 논문에서 제안한 화소 구동회로의 시뮬레이션 결과 값을 비교하여 나타내었다.

기본 화소회로에서는 문턱전압값 변화를 $+0.1V(+20\%)$ 을 주었을 때, 전류 값이 약 $0.678\mu A$ 정도 감소함을 알 수 있다. 반면 제안된 화소회로에서는 문턱 전압값 변화를 동일하게 $+0.1V(+20\%)$ 을 주었을 때, 전류 값이 단지 $0.024\mu A$ 만 감소함을 알 수 있다. 기본 화소회로에서는 제안된 화소 회로보다 약 28배보다 큰 전류가 변화함을 알 수 있다. 문턱 전압값 변화를 $-0.1V(-20\%)$ 주었을 때 문턱 전압값 변화가 $0V$ 때와 비교하여, 기본회로에서는 전류 값이 $0.715\mu A$ 이 증가하고, 제안된 회로에

표 1. 기본 화소 회로와 제안한 화소 회로의 시뮬레이션 결과 값 비교

Table 1. The comparison of simulation results of conventional pixel circuit and proposed pixel circuit.

	conventional pixel circuit	proposed pixel circuit
$\Delta V_{TH} = -0.1$	$7.617\mu A$	$6.525\mu A$
$\Delta V_{TH} = 0$	$6.902\mu A$	$6.473\mu A$
$\Delta V_{TH} = +0.1$	$6.224\mu A$	$6.449\mu A$
OLED current variation (%)	20.183%	0.806%

서는 $0.076\mu A$ 이 증가함을 알 수 있었다. 이때에도 제안된 화소 회로에서는 약 10배 정도 작은 전류만이 변화함을 알 수 있었다.

그림 7은 OLED에 흘려보낼 전류를 결정하는 드라이빙 TFT의 문턱 전압값 변화에 따른 OLED 전류의 변화와 불균일도(non-uniformity)를 나타낸다. 2개의 TFT와 1개의 Cap.으로 이루어진 기본 회로에서는 문턱전압이 변화함에 따라 OLED 출력 전류값의 편차 ($0.344\mu A$ to $1.464\mu A$)가 크게 생김을 확인할 수 있다. 반면 새로이 제안된 회로의 OLED 출력 전류값의 편차 ($0.0128\mu A$ to $0.0606\mu A$)가 매우 작아 문턱 전압값의 영향을 거의 받지 않음을 알 수 있다.

OLED 기본 구동회로의 불균일도(5% to 22%)와 비교했을 때 제안된 회로의 불균일도($<0.9\%$)는 성공적으로 보상이 되었음을 확인할 수 있다.

시뮬레이션 결과를 통해 제안된 화소 회로가 성공적

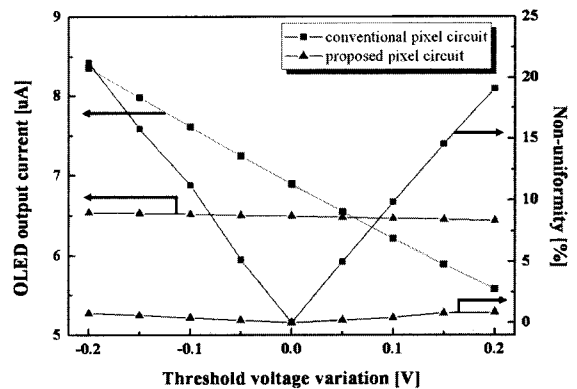


그림 7. 문턱전압의 변화에 따른 OLED 전류의 변화와 불균일도

Fig. 7. OLED current variation and non-uniformity due to threshold voltage variation.

으로 문턱전압의 변화를 보상하여 디스플레이 휘도의 불균일성을 보상함을 보여준다.

IV. 결 론

본 논문에서는 저전압(5V)에서 다결정 Si TFT의 불균일 특성을 보상을 위한 새로운 화소 구동회로를 제안하였다. 제안된 회로는 SPICE 시뮬레이션을 통해 검증이 되었다. 본 논문에서 제안된 화소 구동회로는 5V의 낮은 구동 전압에서 OLED의 전류를 결정하는 드라이빙 TFT의 문턱전압의 변화에 따른 전류의 변화를 성공적으로 보상하였고, 안정화(stable)된 전류를 OLED로 흘려주어, 기본적인 화소 회로가 가지고 있던 불균일화의 문제를 해결함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 문대규, "OLED Display and Lightings", 전자공학회지, 제35권 8호, pp.873-883, (2008)
- [2] B. T. Chen, Y. H. Tai, Y. J. Kuo, C. C. Tsai, and H. C. Cheng, "New pixel circuits for driving active matrix organic light emitting diodes", Solid-State Electronics 50, pp.272-275, (2006)
- [3] C. L. Lin and Y. C. Chen, "A Novel LTPS-TFT Pixel circuit compensating for TFT Threshold-voltage shift and OLED degradation for AMOLED", IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS, vol.28, no.2, pp.129-131, Feb.(2007)
- [4] T. Kohno, M. Miyamoto and H. Kageyama, "3.0-inch High-resolution Low-Voltage LTPS AMOLED Display with Novel voltage-programmed Driving Architecture", SID'07, 1382, (2007)
- [5] C. L. Lin and T. T. Tsai, "A Novel Voltage Driving Method Using 3-TFT Pixel Circuit for AMOLED", IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS, vol.28, no.6, June(2007)

저 자 소 개



김 나 영(학생회원)
2007년 부산대학교 전자전기
공학부 학사 졸업
2007년~현재 부산대학교 전자
전기공학부 석사 과정
<주관심분야 : OLED 구동회로>



이 문 석(정회원)
1991년 포항공과대학교 전자전기
공학과 학사 졸업.
1995년 포항공과대학교 전자전기
공학과 석사 졸업.
1999년 포항공과대학교 전자전기
공학과 박사졸업.

1999년 7월~2002년10월 미국 LBNL. Post
Doc./Staff Scientist

2002년 12월~2004년8월 삼성전자 반도체총괄
책임연구원

2004년 9월~현재 부산대학교 전자전기공학부
부교수.

<주관심분야 : 반도체 소자, 공정, OTFT>