

n-채널 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 문턱전압 변동 보상을 위한 전압 기입 AMOLED 화소회로

정훈주*

A Voltage Programming AMOLED Pixel Circuit Compensating Threshold Voltage Variation of n-channel Poly-Si TFTs

Hoon-Ju Chung*

요 약

본 논문에서는 n-채널 저온 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 문턱전압 변동을 보상할 수 있는 전압 기입 AMOLED 화소회로를 제안하였다. 제안한 6T1C 화소회로는 5개의 스위칭 박막 트랜지스터, 1개의 OLED 구동 박막 트랜지스터 및 1개의 정전용량으로 구성되어 있다. SmartSpice 시뮬레이션 결과, 구동 트랜지스터의 문턱전압이 ± 0.33 V 변동시 최대 OLED 전류의 오차율은 7.05 %이고 $V_{data} = 5.75$ V에서 OLED 양극 전압 오차율은 0.07 %로 제안한 6T1C 화소회로가 구동 트랜지스터의 문턱전압 변동에도 균일한 OLED 전류를 공급함을 확인하였다.

ABSTRACT

A novel pixel circuit that uses only n-type low-temperature polycrystalline silicon (poly-Si) thin-film transistors (LTPS-TFTs) to compensate the threshold voltage variation of a OLED driving TFT is proposed. The proposed 6T1C pixel circuit consists of 5 switching TFTs, 1 OLED driving TFT and 1 capacitor. When the threshold voltage of driving TFT varies by ± 0.33 V, Smartspice simulation results show that the maximum error rate of OLED current is 7.05 % and the error rate of anode voltage of OLED is 0.07 % at $V_{data} = 5.75$ V. Thus, the proposed 6T1C pixel circuit can realize uniform output current with high immunity to the threshold voltage variation of poly-Si TFT.

키워드

AMOLED, Voltage programming pixel circuit, n-channel Poly-Si TFT, Threshold voltage variation
AMOLED, 전압 기입 화소회로, n-채널 다결정 실리콘 박막 트랜지스터, 문턱전압 변동

1. 서 론

미디어, 통신, 인터넷 등 각 영역별로 구축한 네트워크, 단말기, 콘텐츠들을 수평적으로 융합하는 IT 컨버전스(IT convergence)가 이루어지고 있다[1]. 이에

따라 휴대전화, 디지털 TV, 휴대용 AV기기, 이동형 D-TV, 개인 정보단말기(PDA) 등의 디지털 컨버전스 상품들을 찾아 볼 수 있다[2, 3].

디지털 컨버전스 상품들에 대응하여 디스플레이 산업도 기존의 CRT 디스플레이에서 경량, 박형 및 저

* 금오공과대학교 전자공학부(hjchung@kumoh.ac.kr)

접수일자 : 2013. 01. 17

심사(수정)일자 : 2013. 01. 30

게재 확정일자 : 2013. 02. 20

전력 소모의 특징을 갖는 평판 디스플레이(Flat Panel Display, FPD)로 비중이 점차 옮겨가는 추세이다. 이런 평판 디스플레이 중에 수광형인 액정 디스플레이(LCD)가 현재 가장 많이 사용되고 있다. 최근에는 3차원 가상환경을 구현하여 사용자의 몰입감을 높일 수 있는 3D 디스플레이[4]와 소형 경량화가 용이한 유기물 재료를 활용한 유기발광다이오드(Organic Light Emitting Diode ; OLED)[5]를 사용한 OLED 디스플레이에 대한 관심이 점점 높아지고 있다.

OLED 디스플레이는 저전압 구동, 자발광, 경량, 박형, 광시야각 및 빠른 응답속도 등의 장점 때문에 최근 소형 디스플레이에서 상용화되었으며 대형 디스플레이 생산을 위해 연구가 활발히 진행 중이다[6, 7].

AMOLED 디스플레이는 화소에 OLED 전류를 제어하기 위해 화소 내에 구동 트랜지스터가 존재하며 비정질 실리콘 박막 트랜지스터[8], 저온 다결정 실리콘 박막 트랜지스터[9], 산화물 박막 트랜지스터[10] 등이 사용될 수 있다. 다른 박막 트랜지스터에 비해 다결정 실리콘 박막 트랜지스터는 전류 구동 능력이 좋고 신뢰성이 우수하여 현재 판매되고 있는 소형 AMOLED 제품에는 저온 다결정 실리콘 박막 트랜지스터가 사용되고 있다.

다결정 실리콘 박막 트랜지스터는 엑시머 레이저를 사용하여 비정질 실리콘 박막을 다결정 실리콘 박막으로 결정화하기 때문에 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 전기적 특성이 위치에 따라 다르다. 이로 인해 다결정 실리콘 박막 트랜지스터를 적용한 AMOLED 패널은 위치에 따라 휘도가 불균일한 고질적 불량 발생된다[6, 7]. 따라서 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 전기적 특성의 변동에 의한 휘도 불균일 문제를 해결하기 위해 구동 트랜지스터의 전기적 특성 변동을 보상하는 화소회로 개발에 많은 연구가 진행 중이다[6, 7].

화소의 OLED에 흐르는 전류를 공급하는 구동 트랜지스터의 전기적 특성 변동을 보상하는 화소회로는 크게 전압 기입 보상화소회로와 전류 기입 보상화소회로로 분류할 수 있다[6, 7]. 전류 기입 보상화소회로는 데이터 신호를 전류로 사용하며 구동 트랜지스터의 문턱전압 및 이동도의 변동을 모두 보상할 수 있는 장점이 있지만 저계조 표현이 어려운 단점이 있고 전압 기입 보상화소회로는 구동 트랜지스터의 문턱전

압 변동만을 보상할 수 있는 구조이기 때문에 보상 능력은 좀 떨어지는 단점이 있으나 저계조 표현 및 전류 D-IC(Driver Integrated Circuit)에 비해 전압 D-IC 개발이 용이하여 현재 제품화된 소형 AMOLED 디스플레이는 전압 기입 보상화소회로를 사용하고 있다.

다결정 실리콘 박막 트랜지스터를 사용한 AMOLED 화소회로는 n-채널 화소회로 및 p-채널 화소회로가 있지만, 오직 n-채널 소자만 존재하는 비정질 실리콘 박막 트랜지스터와 산화물 박막 트랜지스터에도 확대 적용할 수 있게 본 논문에서는 n-채널 저온 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 문턱전압 변동을 보상할 수 있는 새로운 전압 기입 AMOLED 화소회로를 제안하였고 Smartspice 시뮬레이션을 통해 그 성능을 평가하였다.

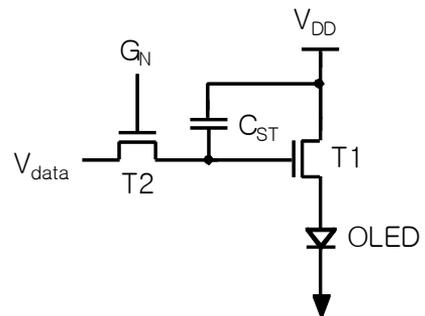


그림 1. 기존의 2T1C 화소회로
Fig. 1 Conventional 2T1C pixel circuit

II. 새로운 전압 기입 AMOLED 화소회로

기존의 n-채널 소자를 사용한 AMOLED 화소회로 중에 가장 간단한 화소회로를 그림 1에 나타내었다. 이 화소회로는 2개의 박막 트랜지스터와 1개의 정전용량으로 구성되어 2T1C 화소회로로 불려진다[5, 9]. 기존의 2T1C 화소회로의 동작은 다음과 같다. G_N 신호가 “HIGH”가 되면 스위치 T2가 “ON”되어 데이터 전압(V_{data})이 정전용량(C_{ST})에 저장된다. 정전용량에 저장된 전압은 구동 트랜지스터(T1)의 게이트에 인가되어 OLED 양극의 전압을 결정하며 이에 따라 OLED 전류가 흐른다. 만약 구동 박막 트랜지스터의

문턱전압이 변동하면 OLED 양극의 전압도 따라 변동하여 동일 데이터 전압을 인가했음에도 불구하고 다른 OLED 전류가 흐르게 되어 휘도 불균일이 발생하는 문제점을 가지고 있다[11]. 이런 문제점을 해결하기 위해 그림 2와 같은 새로운 전압 기입 AMOLED 화소회로를 제안하였다. 제안한 화소회로는 6개의 박막 트랜지스터와 1개의 정전용량으로 구성된 6T1C 화소 구조이다.

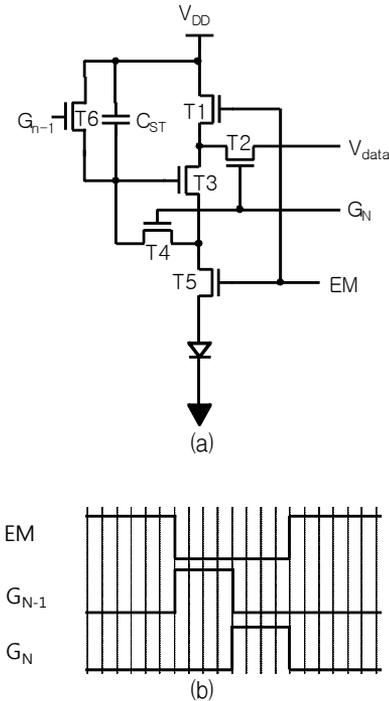


그림 2. 제안한 6T1C 화소회로 (a) 및 타이밍도 (b)
Fig. 2 Proposed 6T1C pixel circuit (a) and timing diagram (b)

제안한 6T1C 화소회로는 초기화 구간, 데이터 기입 구간 및 발광 구간으로 나누어 동작한다. 첫 번째 구간인 초기화 구간은 G_{N-1} 신호가 “HIGH”인 구간으로 스위치 T1, T2, T4 및 T5는 모두 “OFF”가 되고 스위치 T6만 “ON”이 되어 정전용량(C_{ST})을 초기화한다. 두 번째 구간인 데이터 기입 구간은 G_N 신호가 “HIGH”가 되는 구간으로 스위치 T1, T5 및 T6은 모두 “OFF”가 되고 스위치 T2와 T4만 “ON”이 되면 이 구간에서 제안한 6T1C 화소의 등가회로는 그림 3과 같다.

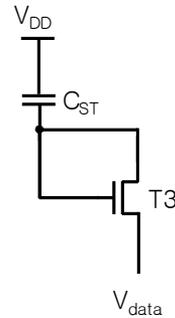


그림 3. 데이터 기입구간의 6T1C 화소회로의 등가 회로
Fig. 3 Equivalent circuit of 6T1C pixel circuit for data programming period

그림 3에서 OLED 구동 트랜지스터(T3)의 드레인 단자와 게이트 단자가 서로 연결되어 구동 트랜지스터(T3)는 다이오드로 동작하게 되어 정전용량(C_{ST})에는 V_{data} + V_{THN}의 전압이 저장되게 된다.

마지막 발광구간은 G_N 신호는 “LOW”가 되고 EM 신호는 “HIGH”가 되어 스위치 T2, T4 및 T6은 “OFF”가 되고 스위치 T1과 T5만 “ON”이 되어 정전용량(C_{ST})에 저장된 V_{data} + V_{THN}의 전압이 그대로 구동 트랜지스터의 게이트에 인가되고 제안한 6T1C 화소회로는 source follower 증폭기로 동작하게 된다. 따라서 구동 트랜지스터의 문턱전압이 위치에 따라 변동하더라도 구동 트랜지스터의 게이트에 인가되는 전압은 항상 V_{data} + V_{THN}가 되기 때문에 구동 트랜지스터의 소스 전압, 즉 OLED 양극 전압은 항상 일정하게 유지되며 이에 따라 OLED에 흐르는 전류도 위치에 따라 균일하게 된다. 그러므로 제안한 6T1C 화소구조는 구동 트랜지스터의 문턱전압 변동을 보상할 수 있어 위치에 따른 휘도 불균일 문제도 개선할 수 있다.

III. 시뮬레이션 평가

제안한 6T1C 화소회로의 동작 및 성능을 평가하기 위해 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 모델이 지원되는 실바코(SILVACO)사의 SmartSpice를 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. AMOLED 화소회로를 시뮬레이션하기 위해 먼저 그림 4와 같이 OLED 소자

를 n-채널 소자와 정전용량으로 모델링하여[8] n-채널 소자의 모델 파라미터를 정하였다. 그리고 n-채널 저온 다결정 박막 트랜지스터의 문턱전압은 2.0 V를 기준으로 ± 0.33 V 변동을 주었고[11] 게이트 ON 시간은 Full HD 해상도 구동이 가능한 12 μ s로 하여 화소회로의 성능을 평가하였다.

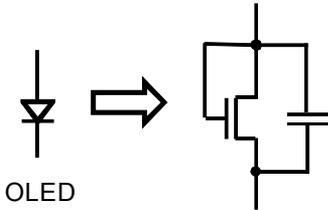


그림 4. OLED 모델링
Fig. 4 Modeling of OLED

그림 5는 기존 2T1C 화소회로를 시뮬레이션하여 OLED 양극에 인가되는 전압을 나타내었다. $V_{data} = 7.2$ V 일 때 구동 트랜지스터의 문턱전압이 ± 0.33 V 변동하면 OLED 양극에 인가되는 전압이 그대로 변동하는 것을 확인할 수 있었다. OLED 양극에 인가되는 전압이 변동하면 그 결과로 OLED 전류도 변동하게 된다. 구동 트랜지스터의 문턱전압 변동이 OLED 전류 변동에 미치는 영향을 평가하기 위해 그림 6과 같이 문턱전압 변동시 데이터 전압 대 OLED에 흐르는 전류를 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과 구동 트랜지스터의 문턱전압이 변화하면 OLED에 흐르는 전류도 많이 변동함을 확인할 수 있었다.

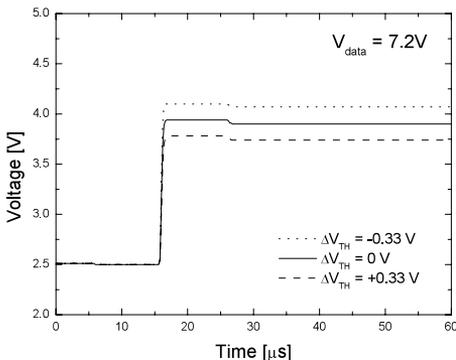


그림 5. 기존 2T1C 화소회로에서 OLED 양극 전압
Fig. 5 Anode voltage of OLED in conventional 2T1C pixel circuit

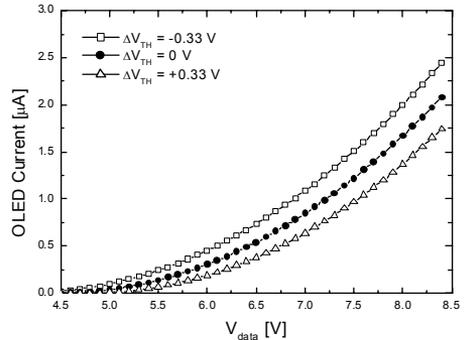


그림 6. 기존 2T1C 화소회로에서 V_{data} 대 OLED 전류
Fig. 6 OLED current as a function of V_{data} in conventional 2T1C pixel circuit

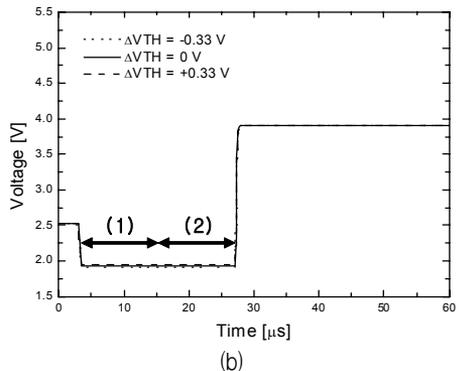
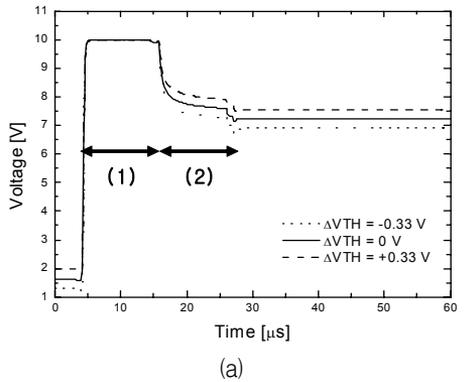


그림 7. 제안한 6T1C 화소회로에서 OLED 구동 TFT의 게이트 전압 (a) 및 OLED 양극 전압 (b)
Fig. 7 Gate voltage of OLED driving TFT (a) and anode voltage of OLED (b) in proposed 6T1C pixel circuit

그림 7은 제안한 6T1C 회로에서 문턱전압 변동시 OLED 구동 트랜지스터(T3)의 게이트 전압, OLED

양극의 전압을 나타내었다. 그림 7 (a)에서 (1) 구간은 초기화 구간으로 구동 트랜지스터의 게이트 전압이 V_{DD} 전압으로 초기화가 이루어지고 (2) 구간은 데이터 기입 구간으로 구동 트랜지스터의 게이트 전압은 $V_{data} + V_{THN}$ 으로 구동 트랜지스터의 문턱전압 변동이 반영되어 게이트 전압이 결정됨을 확인할 수 있었다. 그림 7 (b)에서 (1), (2) 구간에는 스위치 T1, T5가 OFF 되어 OLED 소자에 전류가 흐르지 않게 되어 OLED 양극 전압은 OLED 소자의 턴온 전압이 되고 (1), (2) 구간 이후인 발광 구간에는 구동 트랜지스터의 게이트 전압에 의해 OLED의 양극 전압이 결정된다. 구동 트랜지스터의 문턱전압이 1.67 V, 2.00 V, 2.33 V 로 ± 0.33 V로 변동할 때 OLED의 양극의 전압은 각각 3.908 V, 3.910 V, 3.913 V로 변동하여 OLED 양극 전압 오차율은 -0.06% 및 0.07%로 아주 작은 오차만 발생하였다.

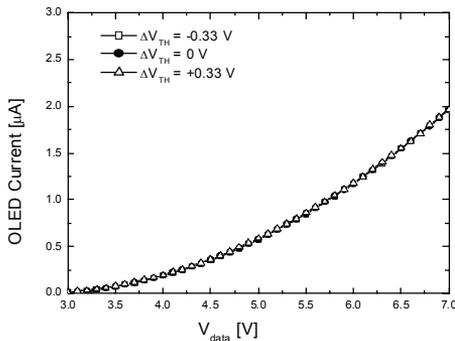


그림 8. 제안한 6T1C 화소회로에서 V_{data} 대 OLED 전류

Fig. 8 OLED current as a function of V_{data} for proposed 6T1C pixel circuit

그림 8은 제안한 6T1C 화소회로에서 문턱전압 변동시 데이터 전압 대 OLED에 흐르는 전류를 시뮬레이션하였다. 구동 트랜지스터의 문턱전압 변동에도 OLED 양극 전압 변동이 매우 적어 OLED에 흐르는 전류의 변동도 매우 적게 나타났다.

그림 9는 제안한 6T1C 화소회로에서 문턱전압 변동시 데이터 전압 대 OLED 전류 오차율의 절대치를 나타내었다. 구동 트랜지스터의 문턱전압이 ± 0.33 V로 변동할 때 $V_{data} = 3$ V에서 최대 오차율이 7.05%였으며 데이터 전압이 상승함에 따라 OLED 전류

오차율이 점점 감소함을 알 수 있다. 제안한 6T1C 화소회로에서는 구동 트랜지스터의 문턱전압이 ± 0.33 V로 변동하더라도 데이터 전압에 따른 OLED에 흐르는 전류가 매우 균일하여 구동 트랜지스터의 문턱전압 변동을 잘 보상함을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다.

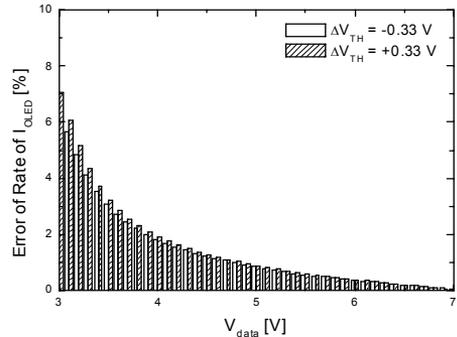


그림 9. 제안한 6T1C화소회로에서 문턱전압 변동에 따른 V_{data} 대 OLED 전류 오차율

Fig. 9 OLED current error rate as a function of V_{data} with the variation of the threshold voltage for 6T1C pixel circuit

IV. 결론

OLED 디스플레이에서 구동 트랜지스터의 문턱전압 변동에 따른 휘도 불균일 문제를 개선하기 위해 새로운 전압 기입 AMOLED 화소회로를 제안하였다. 제안한 화소회로는 6개의 n-채널 트랜지스터와 1개의 정전용량으로 구성되었으며 초기화 구간, 데이터 기입 구간, 발광 구간으로 동작이 이루어진다. SmartSpice 시뮬레이션을 통해 제안한 6T1C 화소회로의 성능을 평가한 결과, 구동 트랜지스터의 문턱전압이 ± 0.33 V 변동시 OLED 양극의 전압 변동은 3.910V에서 -0.06% 및 0.07%의 아주 작은 오차만 발생하였고 $V_{data} = 3$ V에서 최대 OLED 전류의 오차율이 7.05%였으며 데이터 전압이 상승함에 따라 OLED 전류의 오차율은 감소하였다. 제안한 6T1C 화소회로는 구동 트랜지스터의 문턱전압 변동을 잘 보상하고 화소회로가 모두 n-채널소자를 사용하였기 때문에 다결정 실리콘 박막 트랜지스터 기술뿐만 아니라 n-채널 소자만 제작 가능한 비정질 실리콘 박막 트랜지스터 혹은

산화물 박막 트랜지스터 기술에도 충분히 적용 가능한 화소회로이다.

감사의 글

본 논문은 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임(2010-104-046).
본 논문은 IDEC에서 지원 받음.

참고 문헌

[1] 김범준, "사용자 위주 IPTV 서비스 품질 측정 소프트웨어 개발", 한국전자통신학회논문지, 5권, 3호, pp. 269-274, 2010.

[2] 나성훈, 신현식, "고품질의 IPTV 서비스를 위한 주요기술에 대한 고찰", 한국전자통신학회논문지, 4권, 4호, pp. 253-258, 2009.

[3] 김인경, 박원준, "디지털 융합미디어에 대한 사용자 인지가 사용의도에 미치는 영향", 한국전자통신학회논문지, 6권, 3호, pp. 363-369, 2011.

[4] 조승일, 김중찬, 반경진, 김용곤, "깊이지도를 이용한 3D 파노라마 생성에 관한 연구", 한국전자통신학회논문지, 6권, 6호, pp. 831-838, 2011.

[5] 이봉주, "공정압력 및 기판바이어스 인가유무에 따른 PMMA 플라즈마중합박막의 전기적 특성", 한국전자통신학회논문지, 6권, 5호, pp. 697-702, 2011.

[6] Soon-Kwang Hong, Du-Hwan Oh, Seok-Hee Jeong, Young-Ju Park, Byeong-Koo Kim, Yong-Min Ha, and Jin Jang, "Source Driver Channel Reduction Schemes Employing Corresponding Pixel Alignments for Current Programming Active-Matrix Organic Light-Emitting Diode Displays", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 47, No. 3, pp. 1901-1905, 2008.

[7] James L. Sanford and Frank R. Libsch, "TFT AMOLED pixel circuits and driving methods", SID 03 Digest, pp. 10-13, 2003.

[8] Y. He, R. Hattori, and J. Kanicki, "Current-Source a-Si:H Thin-Film Transistor Circuit for Active-Matrix Organic Light-Emitting Displays", IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS, Vol. 21, No. 12, pp. 590-592, 2000.

[9] Tohru Saitoh, Tomohiko Oda, Arinobu Kanegae, Yoshiharu Hidaka and Kazunori

Komori, "Backplane Process Technology for AMOLEDs with Bottom-Gate TFTs and Laser Annealing", SID 2012 Digest, pp. 191-194, 2012.

[10] Toru Tanabe, Seiko Amano, Hiroyuki Miyake, Akio Suzuki, Ryu Komatsu, Jun Koyama, Shunpei Yamazaki, Kenichi Okazaki, Masahiro Katayama, Hiroshi Matsukizono, Yohsuke Kanhhzaki and Takuya Matsuo, "New Threshold Voltage Compensation Pixel Circuits in 13.5-inch Quad Full High Definition OLED Display of Crystalline In-Ga-Zn-Oxide FETs", SID 2012 Digest, pp. 88-91, 2012.

[11] C. L. Fan, Y. Y. Lin, B. S. Lin, J. Y. Chang, C. L. Fan and H. C. Chang, "New Pixel Circuit Compensating Poly-si TFT Threshold-voltage Shift for a Driving AMOLED", Journal of the Korean Physical Society, Vol. 56, No. 4, pp. 1185-1189, 2010.

저자 소개



정훈주(Hoon-Ju Chung)

1994년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1997년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(공학석사)
 2002년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 졸업(공학박사)
 2002년~2004년 LG.Philips LCD 선임연구원
 2004년~현재 금오공과대학교 전자공학부 부교수
 ※ 관심분야 : 디스플레이 구동, TFT 소자