

p-채널 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 문턱전압 변동을 보상할 수 있는 5-TFT OLED 화소회로

정훈주*

5-TFT OLED Pixel Circuit Compensating Threshold Voltage Variation of p-channel Poly-Si TFTs

Hoon-Ju Chung*

요 약

본 논문에서는 p-채널 저온 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 문턱전압 변동을 보상할 수 있는 새로운 OLED 화소회로를 제안하였다. 제안한 5-TFT OLED 화소회로는 4개의 스위칭 박막 트랜지스터, 1개의 OLED 구동 박막 트랜지스터 및 1개의 정전용량으로 구성되어 있다. 제안한 화소회로의 한 프레임은 초기화 구간, 문턱전압 감지 및 데이터 기입 구간, 데이터 유지 구간 및 발광 구간으로 나누어진다. SmartSpice 시뮬레이션 결과, 구동 트랜지스터의 문턱전압이 $\pm 0.25V$ 변동 시 최대 OLED 전류의 오차율은 -4.06% 이었고 구동 트랜지스터의 문턱전압이 $\pm 0.50V$ 변동 시 최대 OLED 전류의 오차율은 9.74% 였다. 따라서 제안한 5T1C 화소회로는 p-채널 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 문턱전압 변동에 둔감하여 균일한 OLED 전류를 공급함을 확인하였다.

ABSTRACT

This paper proposes a novel OLED pixel circuit to compensate the threshold voltage variation of p-channel low temperature polycrystalline silicon thin-film transistors (LTPS TFTs). The proposed 5-TFT OLED pixel circuit consists of 4 switching TFTs, 1 OLED driving TFT and 1 capacitor. One frame of the proposed pixel circuit is divided into initialization period, threshold voltage sensing and data programming period, data holding period and emission period. SmartSpice simulation results show that the maximum error rate of OLED current is -4.06% when the threshold voltage of driving TFT varies by $\pm 0.25V$ and that of OLED current is 9.74% when the threshold voltage of driving TFT varies by $\pm 0.50V$. Thus, the proposed 5T1C pixel circuit can realize uniform OLED current with high immunity to the threshold voltage variation of p-channel poly-Si TFT.

키워드

AMOLED Display, Voltage Programming Pixel Circuit, P-channel Poly-Si TFT, Threshold Voltage Variation
AMOLED 디스플레이, 전압 기입형 화소 회로, p-채널 다결정 실리콘 박막 트랜지스터, 문턱전압 변동

1. 서 론

오늘날 정보화 사회의 발전이 더욱 가속화됨에 따라 미디어, 통신, 인터넷 등의 각 영역별로 구축된 네

트워크, 단말기 및 콘텐츠 등이 서로 융합하는 IT 컨버전스(IT convergence)가 이루어지면서[1] 스마트폰, 디지털 TV, 휴대용 AV기기, 이동형 D-TV 등의 디지털 컨버전스 상품들이 출현하고 있다[2-3].

* 교신저자(corresponding author) : 금오공과대학교 전자공학부(hjchung@kumoh.ac.kr)

접수일자 : 2013. 12. 05

심사(수정)일자 : 2014. 02. 10

게재확정일자 : 2014. 03. 07

디지털 컨버전스 상품들의 등장으로 디스플레이 산업도 경량, 박형 및 저전력 소모의 특징을 갖는 평판 디스플레이(Flat Panel Display, FPD)로 재편되고 있다. 이런 평판 디스플레이 중에 박형, 경량화 및 플래서블 디스플레이가 용이한 OLED(Organic Light Emitting Diode) 디스플레이에 대한 관심이 점점 높아지고 있다.

OLED 디스플레이는 저소비 전력, 자발광, 경량, 박형, 광시야각 및 빠른 응답속도 등의 장점 때문에 최근 소형 디스플레이에서 상용화되었으며 대형 디스플레이 생산을 위해 연구가 활발히 진행 중이다[4-6].

AMOLED 디스플레이에서 OLED에 흐르는 전류를 공급하는 구동 트랜지스터로는 비정질 실리콘 박막 트랜지스터, 저온 다결정 실리콘 박막 트랜지스터, 산화물 박막 트랜지스터 등을 사용할 수 있지만 현재 상용화된 소형 AMOLED 디스플레이에서는 이동도가 상대적으로 높고 신뢰성이 좋은 저온 다결정 실리콘 박막 트랜지스터가 사용되고 있다[4].

저온 다결정 실리콘 박막은 ELA(Excimer Laser Annealing) 공정을 이용하여 얻기 때문에 결정립(grain)들이 위치에 따라 불규칙적으로 배열된다. 이런 불규칙적인 결정립을 갖는 다결정 실리콘 박막을 사용하여 제작된 박막 트랜지스터의 경우, 그 전기적 특성은 위치에 따라 다르게 된다[4]. 위치에 따라 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 전기적 특성이 변동됨으로 각 화소의 OLED에 흐르는 전류의 변동이 일어나고 이로 인해 휘도가 불균일한 문제점이 발생하게 된다[4-6]. 이런 화소 휘도의 불균일 문제점을 개선하기 위해 구동 트랜지스터의 전기적 특성 변동을 보상하기 위한 OLED 화소회로 개발에 많은 연구가 진행되고 있다[4-6].

위치에 따른 저온 다결정 박막 트랜지스터의 전기적 특성의 변동을 보상하기 위한 보상 OLED 화소회로는 전류 기입형 보상 화소회로(Current programming compensation pixel circuit)와 전압 기입형 보상 화소회로(Voltage programming compensation pixel circuit)로 분류할 수 있다[4-6]. 이 중 현재 양산되고 있는 소형 AMOLED 패널은 6개 TFT와 1개의 정전용량으로 구성된 6T1C 전압 기입형 보상 화소회로를 사용하고 있다.

OLED 디스플레이가 모바일 IT 기기에서 대형 TV

까지 양산화하기 위해서는 경쟁 상대인 액정 디스플레이 보다 더 좋은 화질 특성을 가져야 한다. 디스플레이에서 고화질 특성을 얻기 위해서는 고해상도 및 고계조 특성이 매우 중요하게 된다. 이를 위해 디스플레이의 해상도가 점점 올라가게 되면 화소 크기는 점점 작아져야 한다.

따라서 본 논문에서는 6T1C 전압 기입형 보상 화소회로 보다 더 간단하면서 구동 트랜지스터의 문턱전압 변동을 보상하는 새로운 전압 기입형 보상 화소회로를 제안하였고 SmartSpice 시뮬레이션을 통해 그 성능을 평가하였다.

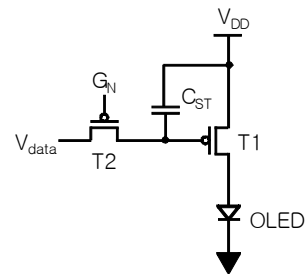


그림 1. 기존의 2T1C 화소회로
Fig. 1 Conventional 2T1C pixel circuit

II. 새로운 OLED 화소회로

그림 1은 기존에 발표된 가장 간단한 OLED 화소회로이다. 그림 1에서 보는 바와 같이 2개의 박막 트랜지스터와 1개의 정전용량으로 이루어져 2T1C OLED 화소회로이다[6]. 2T1C OLED 화소회로는 다음과 같이 동작한다. 먼저, 순차적으로 동작하는 G_N 신호가 "LOW"가 되면 트랜지스터 T2가 "ON"되면서 데이터 전압(V_{data})을 정전용량(C_{ST})에 저장한다. 정전용량에 저장된 전압은 OLED 구동 트랜지스터(T1)의 게이트에 인가됨에 따라 OLED 전류는 식 (1)과 같이 흐르게 된다.

$$I_{OLED} = \frac{1}{2} \frac{W}{L} C_{ox} \mu_p (V_{SG_T1} - |V_{THP_T1}|)^2 \quad (1)$$

여기서 C_{ox} 는 게이트 정전용량, μ_p 는 정공의 이동도, W , L , V_{SG_T1} 및 V_{THP_T1} 는 각각 p-채널 다결정

실리콘 박막 트랜지스터(T1)의 채널 폭, 채널 길이, 소스-게이트 전압 및 문턱전압이다. 식 (1)에서 구동 트랜지스터의 문턱전압이 변동하게 되면 이에 따라 OLED에 흐르는 전류가 변화하여 각 화소의 휘도가 불균일한 문제가 발생하게 된다. 이런 위치에 따른 휘도 불균일 문제점을 개선하기 위해 그림 2와 같은 전압 기입형 OLED 화소회로를 새로 제안하였다.

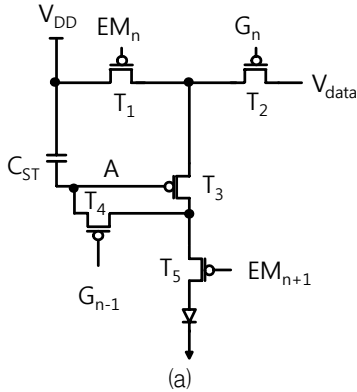


그림 2. 제안한 5T1C OLED 화소회로 (a) 및 타이밍도 (b)
Fig. 2 Proposed 5T1C OLED pixel circuit (a) and timing diagram (b)

그림 2 (a)에 새로 제안한 OLED 화소회로는 5개의 트랜지스터와 1개의 정전용량으로 구성된 5T1C OLED 화소회로이다. 그림 2 (b)는 제안한 5T1C OLED 화소회로에 인가되는 각종 신호들의 타이밍도이다. 문턱 전압 보상 및 발광이 이루어지는 구간에 대한 5T1C OLED 화소회로의 등가회로를 그림 3에 나타내었다.

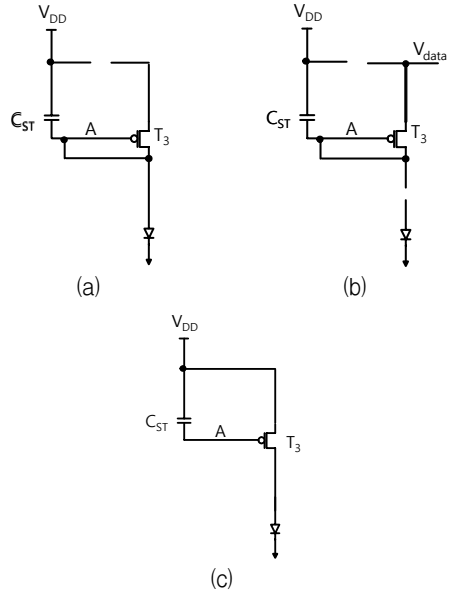


그림 3. i 구간 (a), ii 구간 (b) 및 v 구간 (c)에서 제안한 5T1C 화소회로의 등가 회로
Fig. 3 Equivalent circuits of proposed 5T1C pixel circuit at i period (a), ii period (b) and v period (c)

i 구간은 G_{n-1} 및 EM_{n+1} 신호가 "LOW"인 구간으로 트랜지스터 T₄ 및 T₅는 모두 "ON"이 되고 트랜지스터 T₁ 및 T₂는 모두 "OFF"가 되어 제안한 5T1C OLED 화소회로는 그림 3 (a)과 같은 등가회로가 된다. 이에 따라 노드 A의 전압은 트랜지스터 T₄, T₅ 및 OLED에 의해 $V_{data} - |V_{THP, T3}|$ 전압보다 충분히 낮은 전압으로 초기화된다.

ii 구간은 G_{n-1} 및 G_n 신호가 "LOW"인 구간으로 트랜지스터 T₂ 및 T₄는 모두 "ON"이 되고 트랜지스터 T₁ 및 T₅는 "OFF"가 되어 제안한 5T1C OLED 화소회로는 그림 3 (b)과 같은 등가회로가 된다. OLED 구동 트랜지스터(T₃)의 드레인 단자와 게이트 단자가 서로 연결되어 구동 트랜지스터(T₃)는 다이오드로 동작하게 되어 노드 A의 전압(구동 트랜지스터(T₃)의 게이트 전압)은 $V_{data} - |V_{THP, T3}|$ 로 정전용량(C_{ST})에 저장되어 문턱 전압 감지 및 데이터 기입이 행해진다.

iii 구간에서는 G_n 신호가 "LOW"인 구간으로 트랜지스터 T₂ 만 "ON"이 되고 iv 구간에서도 EM_n 신호가 "LOW"인 구간으로 트랜지스터 T₁ 만 "ON"이 되

어 iii, iv 구간에서는 이 전에 정전용량(C_{ST})에 저장된 전압은 그대로 유지된다.

마지막 v 구간에서는 EM_n 및 EM_{n+1} 신호가 "LOW"인 구간으로 트랜지스터 T₁과 T₅가 "ON"이 되어 제안한 5T1C OLED 화소회로는 그림 3 (c)과 같은 등가회로가 된다. 노드 A의 전압이 여전히 $V_{data} - |V_{THP_T3}|$ 이기 때문에 OLED 구동 트랜지스터(T₃)의 게이트 전압 및 소스-게이트 전압은 식 (2) 및 식 (3)과 같이 된다.

$$V_{G_T3} = V_{data} - |V_{THP_T3}| \quad (2)$$

$$V_{SG_T3} = V_{DD} - V_{data} + |V_{THP_T3}| \quad (3)$$

이 구간에서 OLED에 흐르고 있는 전류는 식 (4)과 같이 구동 트랜지스터의 문턱전압이 위치에 따라 변동하더라도 항상 일정하게 흐르게 때문에 각 화소는 균일하게 발광하게 된다. 그러므로 제안한 5T1C OLED 화소회로는 구동 트랜지스터의 문턱전압 변동을 보상할 수 있어 위치에 따른 휘도 불균일 문제도 개선할 수 있다.

$$I_{OLED} = \frac{1}{2} \frac{W}{L} C_{ox} \mu_p (V_{SG_T3} - |V_{THP_T3}|)^2 \quad (4)$$

$$= \frac{1}{2} \frac{W}{L} C_{ox} \mu_p (V_{DD} - V_{data})^2 \quad (4)$$

III. 시뮬레이션 평가

제안한 5T1C OLED 화소회로의 동작 검증과 성능 평가를 위해 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 모델이 지원되는 실바코(SILVACO)사의 SmartSpice를 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션을 하기 위해 OLED 소자를 다이오드 연결된 n-채널 소자와 정전용량으로 모델링하고[7] n-채널 소자의 모델 파라미터를 정하였다. 그리고 p-채널 저온 다결정 박막 트랜지스터의 문턱전압은 -2.0V를 기준으로 -1.5V ($\Delta V_{TH} = -0.5V$), -1.75V ($\Delta V_{TH} = -0.25V$), -2.25V ($\Delta V_{TH} = 0.25V$) 및 -2.50V ($\Delta V_{TH} = 0.5 V$) 로 변동하였고 데이터 인가 시간을 Full HD 해상도 구동이

충분히 가능한 12 μ s로 하여 화소회로의 보상성능을 평가하였다.

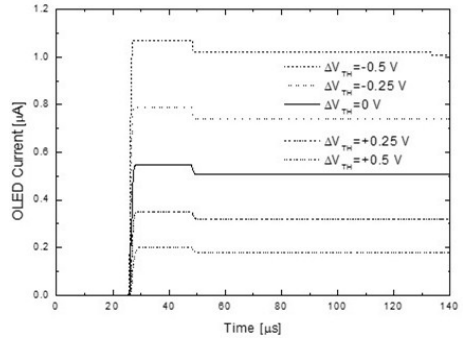


그림 4. 기존 2T1C OLED 화소회로에서 OLED 전류
Fig. 4 OLED current of conventional 2T1C OLED pixel circuit

그림 4는 기존 2T1C OLED 화소회로를 시뮬레이션하여 OLED에 흐르는 전류를 나타내었다. $V_{data} = 6.65V$ 일 때 구동 트랜지스터의 문턱전압이 $\pm 0.25V$ 및 $\pm 0.50V$ 변동할 때 OLED 전류도 크게 변동함을 확인할 수 있다. 기존 2T1C OLED 화소회로에서 구동 트랜지스터의 문턱전압 변동이 OLED 흐르는 전류에 미치는 영향을 평가하기 위해 그림 5와 같이 문턱전압 변동 시 데이터 전압에 따른 OLED에 흐르는 전류 변화를 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과 구동 트랜지스터의 문턱전압의 변동이 크면 클수록 OLED 전류 변동도 증가함을 확인할 수 있었다.

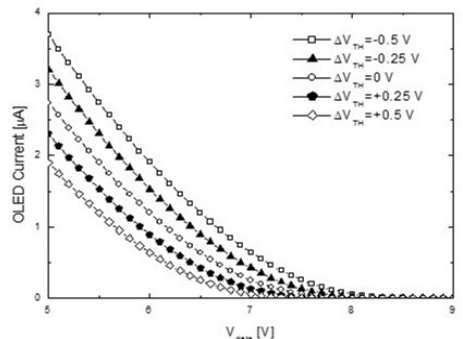


그림 5. 기존 2T1C OLED 화소회로에서 V_{data} 대 OLED 전류

Fig. 5 OLED current as a function of V_{data} in conventional 2T1C OLED pixel circuit

그림 6은 제안한 5T1C OLED 화소회로에서 문턱 전압 변동 시 노드 A의 전압(구동 트랜지스터(T_3)의 게이트 전압) 및 OLED 전류를 나타내었다. 그림 6 (a)에서 i 구간은 정전용량 C_{ST} 의 초기화 구간으로 노드 A의 전압은 $V_{data} - |V_{THP_T3}|$ 전압보다 충분히 낮은 전압으로 초기화된다. ii 구간에서는 노드 A의 전압은 데이터 전압에서 각 구동 트랜지스터의 문턱전압만큼 보상된 $V_{data} - |V_{THP_T3}|$ 으로 뒀을 시물레이션을 통해 검증할 수 있었다. 그리고 마지막 v 구간까지 각 구동 트랜지스터의 문턱전압이 보상된 $V_{data} - |V_{THP_T3}|$ 가 계속 구동트랜지스터의 게이트에 인가되어 그림 6 (b)에서 보는 것과 같이 $\pm 0.25V$ 및 $\pm 0.50V$ 문턱전압 변동에도 OLED 전류는 균일하게 흐름을 확인할 수 있었다.

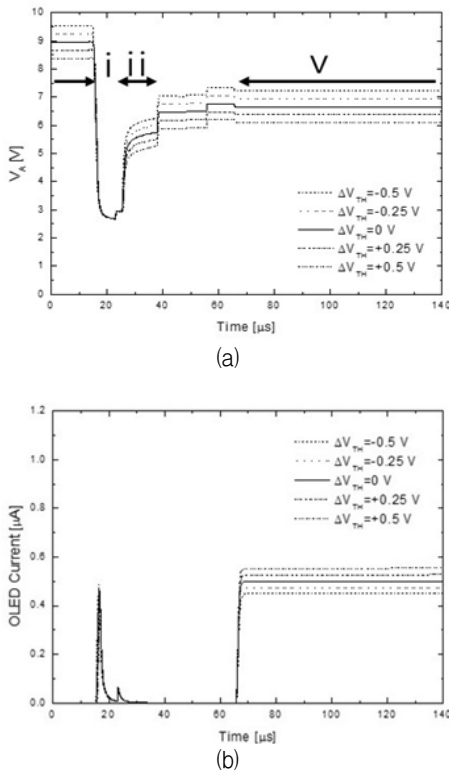


그림 6. 제안한 5T1C OLED 화소회로에서 OLED 구동 TFT의 게이트 전압 (a) 및 OLED 전류 (b)
 Fig. 6 Gate voltage of OLED driving TFT (a) and OLED current (b) in proposed 5T1C OLED pixel circuit

그림 7은 제안한 5T1C OLED 화소회로에서 문턱 전압 변동 시 데이터 전압 대 OLED에 흐르는 전류를 시물레이션 하였다. 구동 트랜지스터의 문턱전압이 $\pm 0.25V$ 및 $\pm 0.50V$ 변동하여도 OLED에 흐르는 전류의 변동은 매우 적게 나타남을 확인할 수 있었다.

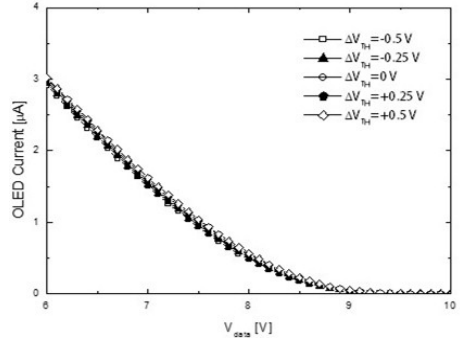


그림 7. 제안한 5T2C OLED 화소회로에서 V_{data} 대 OLED 전류
 Fig. 7 OLED current as a function of V_{data} for proposed 5T1C OLED pixel circuit

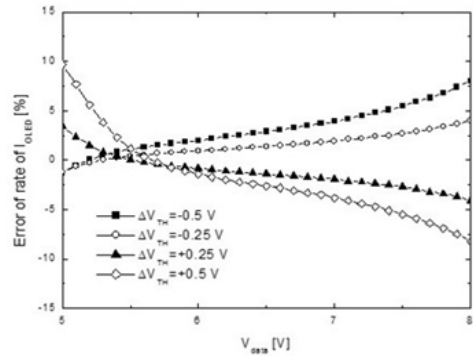


그림 8. 제안한 5T1C OLED 화소회로에서 문턱전압 변동에 따른 V_{data} 대 OLED 전류 오차율
 Fig. 8 OLED current error rate as a function of V_{data} with the variation of the threshold voltage for 5T1C OLED pixel circuit

그림 8은 제안한 5T1C OLED 화소회로에서 구동 트랜지스터의 문턱전압 변동 시 데이터 전압 대 OLED 전류 오차율을 나타내었다. 구동 트랜지스터의 문턱전압이 $\pm 0.25V$ 및 $\pm 0.50V$ 로 변동할 때 $V_{data} = 8V$ 에서 최대 오차율이 각각 -4.06% 및 9.74% 이다. 따라서 제안한 5T1C OLED 화소회로는 구동 트랜지스

터의 문턱전압이 변동하더라도 OLED에 흐르는 전류가 매우 균일하여 구동 트랜지스터의 문턱전압 변동을 잘 보상함을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다.

IV. 결론

고해상도 AMOLED 디스플레이에서 구동 트랜지스터의 문턱전압 변동에 따른 휘도 불균일 문제를 개선하기 위해 구조가 간단한 새로운 전압 기입형 보상 화소회로를 제안하였다. 제안한 5T1C OLED 화소회로는 5개의 트랜지스터와 1개의 정전용량으로 구성되어 있으며 초기화 구간, 문턱전압 감지 및 데이터 기입 구간, 데이터 유지 구간 및 발광 구간으로 동작이 이루어진다. 제안한 5T1C OLED 화소회로를 SmartSpice 시뮬레이션한 결과, 구동 트랜지스터의 문턱전압이 $\pm 0.25V$ 및 $\pm 0.50V$ 로 변동할 때 $V_{data} = 8V$ 에서 최대 OLED 전류의 오차율은 각각 -4.06% 및 9.74%이었다. 따라서 제안한 5T1C 화소회로는 구동 트랜지스터의 문턱전압 변동에도 OLED에 흐르는 전류가 균일하여 위치에 따른 휘도 불균일 문제를 개선할 수 있음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임

참고 문헌

- [1] B. Kim, "A Software for Subscriber-Oriented IPTV Service Quality Measurement," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 5, no. 3, 2010, pp. 269-274.
- [2] S.-H. Rha and H.-S. Shin, "A Study on the IPTV's Element and Core Techniques," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 4, no. 4, 2009, pp. 253-258.
- [3] I.-K. Kim and W.-J. Park, "The Influence of Users' Perception of Digital Convergence Media upon Use Intention," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*,

vol. 6, no. 3, 2011, pp. 363-369.

- [4] H.-J. Chung, "A Voltage Programming AM-OLED Pixel Circuit Compensating Threshold Voltage Variation of n-channel Poly-Si TFTs," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 2, 2013, pp. 207-212.
- [5] S.-K. Hong, D.-H. Oh, S.-H. Jeong, Y.-J. Park, B.-K. Kim, Y.-M. Ha, and J. Jang, "Source Driver Channel Reduction Schemes Employing Corresponding Pixel Alignments for Current Programming Active-Matrix Organic Light-Emitting Diode Displays," *Jpn. J. of Applied Physics*, vol. 47, no. 3, 2008, pp. 1901-1905.
- [6] J. L. Sanford and F. R. Libsch, "TFT AMOLED pixel circuits and driving methods," *SID Int. Symp. Digest*, Baltimore, USA, 2003, pp. 10-13.
- [7] 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, 2000, pp. 590-592.

저자 소개



정훈주(Hoon-Ju Chung)

1994년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1997년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)

2002년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 졸업(공학박사)

2002년~2004년 LG.Philips LCD 선임연구원

2004년~현재 금오공과대학교 전자공학부 부교수

※ 관심분야 : 디스플레이 구동, TFT 소자