

논문 2004-41SD-10-3

다결정 실리콘 박막 트랜지스터 Active Matrix OLED 디스플레이를 위한 이중 변조 구동

(Dual Modulation Driving for Poly-Si TFT Active Matrix OLED Displays)

김 재 근*, 정 주 영**

(Jae-Geun Kim and Ju Young Jeong)

요 약

본 논문에서는 진폭 변조와 펄스 폭 변조를 모두 사용하는 새로운 AMOLED 디스플레이 구동 방식을 개발하였다. 펄스 폭 변조를 위해서 다섯 개의 서브 프레임으로 화상 프레임을 나누었고 진폭 변조를 위해 TFT의 게이트 전압에 의해 제어되는 3가지의 OLED 휘도(전류) 레벨을 사용하였다. 이 두 종류의 변조를 조합하여 35(=243) 계조를 얻었다. 그리고 DAC를 사용하지 않고 2개의 쉬프트 레지스터를 갖는 새로운 데이터 전극 구동 회로를 설계하였다. 회로 동작은 6 μ m 채널 길이 다결정 TFT의 전류-전압 특성에서 추출된 TFT 파라미터를 이용한 HSpice 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 시뮬레이션 결과로부터 320X240, 이중 스캔, 243 계조 AMOLED 디스플레이를 구현할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

We developed a new AMOLED display driving method which used both amplitude and pulse width modulation. For pulse width modulation, we divided a picture frame time into 5 sub-frames. For amplitude modulation, we used three OLED luminance(or current) levels which were controlled by TFT's gate voltages. By combining these two modulation methods, we obtained 35(=243) grey levels. And we designed a new data electrode driving circuit block with two shift registers without using DAC's. To verify the feasibility, we simulated the key circuit components by HSpice with TFT parameters extracted from current-voltage characteristics of 6 μ m channel length polysilicon TFT's. From the simulation results, we found that 320X240, dual scan, 243 grey level AMOLED display can be designed with this method.

Keywords : AMOLED, TFT, Half-luminance, Full-luminance, Gray levels, Sub-frame

I. 서 론

유기 발광 다이오드 (OLED : Organic light emitting diode)는 가장 유망한 평판 디스플레이 장치 중 하나이다. 액정 디스플레이(LCD : Liquid crystal display)에 비해 OLED 디스플레이는 더 간단한 제작 공정, 넓은 시야각, 저 전압 구동, 고 휘도와 백라이트가 필요 없다는 장점을 가지고 있다.^[1]

OLED 디스플레이 개발 초기 단계에서는 수동 매트릭스 래스터 스캔 구동이 일반적이었다. 이 방식은 각 픽셀이 매우 짧은 빛 방출 시간을 가지며 마지막 화상 프레임까지 충분한 빛을 발생시키기 위해서 매우 높은 전류가 필요하므로 디스플레이 수명은 단축된다. 박막 트랜지스터(TFT : Thin Film Transistor)로 각 픽셀을 제어하는 능동 행렬 구동(Active Matrix Driving) 기술이 최근에 주목을 받고 있다. 그림 1은 능동 행렬 OLED (AMOLED)의 패널 구조를 보이고 있다. 이는 구조와 공정이 복잡하여 비싸지만 계조 수가 많고 전체 화면 프레임동안 일정한 빛을 방출할 수 있다는 장점을 가진다.

TFT는 비정질과 다결정 실리콘으로 만들 수 있다. 하지만 디스플레이 패널에 제어 회로와 구동 회로를 집

* 학생회원, ** 정회원, 수원대학교 전자공학과
(Department of Electronics Engineering Suwon University)

※ 본 논문은 과학기술부 21세기 프론티어 연구개발사업인 "차세대정보디스플레이기술개발사업단"의 연구비에 의해 지원됨.

접수일자: 2004년3월9일, 수정완료일: 2004년9월20일

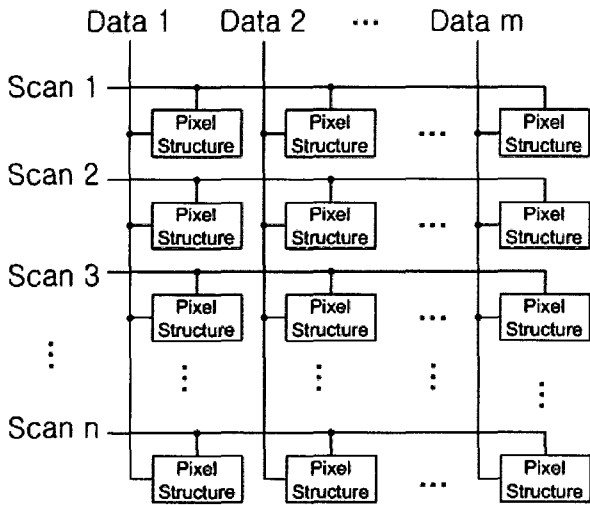


그림 1. AMOLED 디스플레이의 구조
Fig. 1. Structure of AMOLED display.

적한 고성능 AMOLED 디스플레이는 비교적 높은 캐리어 이동도를 가지는 다결정 실리콘 TFT를 사용하는 것이 필수적이다.

OLED의 휘도는 전류에 비례하므로 픽셀 구동 TFT는 전류 공급원처럼 동작하며 이 전류는 게이트 전압에 의해 조절된다. 그림 2는 2개의 TFT로 구성된 OLED 픽셀 구동 회로를 보여주고 있다.^[2] P-type TFT M2는 픽셀 구동 트랜지스터이고 P-type TFT M1은 데이터 전송 트랜지스터이다. 스캔 신호가 'high'에서 'low'로 변할 때 M1은 켜지게 되고 데이터 전극(데이터 신호)의 전압이 저장 커패시터 Cs에 저장된다. 스캔 신호가 'high'로 돌아갈 때 M1은 꺼지지만 M2의 게이트 전압은 저장 커패시터 Cs에 의해 유지되고 스캔 신호가 'low'로 변하는 다음 시간까지 OLED를 구동한다. 인가되는 데이터 신호는 디지털 계조 정보를 아날로그 전압으로 변환하는 DAC(Digital-to-Analog Converter)의 출력이다.

하지만 TFT의 문턱 전압 변화가 크기 때문에 그림 2의 픽셀 구조는 휘도 제어가 부정확한 단점을 갖는다. 이런 문제를 극복하기 위해 데이터가 전송되기 전에 문턱 전압을 자동적으로 제거 할 수 있는 4개의 TFT로 구성된 픽셀 구조가 개발 되었다.^[3] 그러나 이와 같은 것은 회로 구조가 복잡해지고 제어 라인이 추가되는 단점을 고려하지 않을 수 없다.

Inukai et al.은 펄스 폭 변조 방식(Pulse Width Modulation Method)을 발표하였다.^[4] 이 방식은 DAC가 필요 없지만 종래 기술에 비해 회로가 많이 간단해지는 장점을 갖는 반면 2n 계조를 나타내기 위해서는 화상

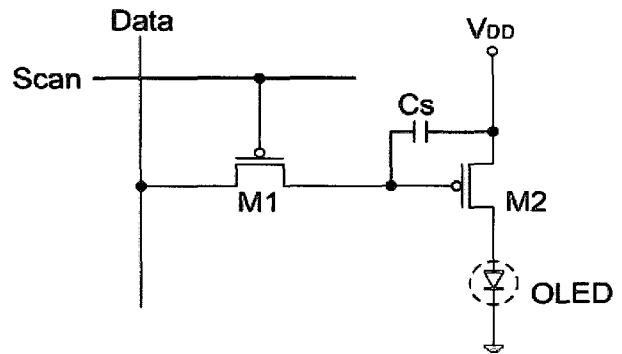


그림 2. 2개의 TFT로 구성된 능동 행렬 OLED 픽셀 구조
Fig. 2. Active matrix OLED pixel structure with two TFT's.

프레임당 n번을 어드레스해야 되므로 구동이 복잡해지는 단점이 있다.

본 논문에서는 진폭 변조와 펄스 폭 변조 개념을 사용하여 새로운 능동 행렬 OLED 구동 방식을 소개한다.

II. 본 론

1. 이중 변조 AMOLED 구동

이 구동 방식은 243 계조를 구현하기 위해 화상 프레임 임을 그림 3과 같이 5개의 서브 프레임으로 나눈다. SF1(서브 프레임 1)에서 SF5(서브 프레임 5)까지 각 서브 프레임의 길이는 각각 화상 프레임의 2/242, 6/242, 18/242, 54/242, 162/242이다. 화상 프레임이 5개의 서브 프레임으로 이루어지므로 각 픽셀은 프레임당 5번씩 선택되게 된다. 각 화상 프레임이 시작할 때 그림 1의 첫 번째 스캔 라인(Scan 1)이 선택되고 이 행에 연결된 모든 픽셀에 데이터 신호가 인가되어 그림 2에 보인 저장 커패시터 Cs에 저장된다. 데이터 신호 전압은 화상 프레임의 2/242동안 적용되는데 이는 초당 30 프레임인 경우에 275 μ s에 해당한다. 데이터 전압이 저장된 후 스캔 2 전극이 선택되어 켜지게 되고 마지막 스캔 전극까지 이 과정이 반복된 후 다시 Scan 1이 선택되어 SF2에 해당하는 시간동안 데이터 전압을 적용하게 된다. SF2는 화상 프레임의 6/242로 초당 30 프레임인 경우에 825 μ s가 된다. 고계조를 구현을 위해 길이가 다른 5개의 서브 프레임들의 조합을 사용하였다. 이 방식은 펄스 폭 변조 방식과 동일하다.

전류 AMOLED 디스플레이는 데이터 전압 레벨 수가 계조 수를 나타내므로 고계조 구현을 위해서는 구동 회로에 많은 제어 라인과 신호 라인을 갖는 비싸고 복잡

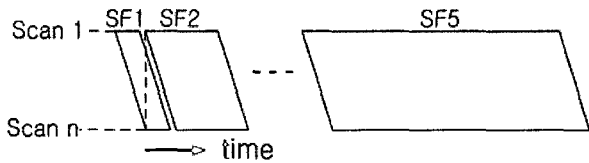


그림 3. 5개의 서브 프레임이 갖는 화상 프레임의 구성
Fig. 3. Composition of a picture frame with five sub-frames.

한 DAC가 포함된다. 또한 DAC 출력의 한 스텝의 크기가 픽셀을 구동하는 TFT의 문턱 전압 변화에 비해 상대적으로 매우 작다. 예를 들면 AMOLED가 10V의 VDD와 128 계조를 가진다면 DAC 한 스텝의 크기는 78mV가 되는데 같은 패널에서 TFT의 문턱 전압은 대략 1V 정도 변하게 되어 정확한 계조 표현이 불가능하다.

본 논문에서는 한 스텝의 전압차를 더 크게 만들기 위해 DAC를 제거하고 0, $V_{half-luminance}$, $V_{full-luminance}$ 로 이루어진 세 가지의 데이터 전압 레벨을 갖는 진폭 변조를 사용하여 이전에 야기되었던 문제를 개선하였다. 즉, 각 서브 프레임동안 off, half-luminance와 full-luminance로 3가지의 OLED 전류 레벨만을 사용하며, 결과적으로 픽셀의 휘도 레벨은 아래의 수식 (1)처럼 데이터 신호와 전체 서브 프레임 길이의 조합으로 표현될 수 있다.

$$L = \sum_{i=1}^m \alpha_{vi} \gamma_{SF_i} \quad (1)$$

여기서 m은 서브 프레임의 수, α_{vi} 은 데이터 신호에 의해 결정된 휘도 레벨, γ_{SF_i} 은 서브 프레임의 가중치이다. α_{vi} 은 0, $V_{half-luminance}$, $V_{full-luminance}$ 를 각각 0, 0.5, 1로 나타내고 γ_{SF_i} 은 SF1, SF2, SF3, SF4, SF5에 대해 각각 2, 6, 18, 54, 162의 값을 갖는다.

이 시스템이 표현할 수 있는 총 계조수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$N_{GL} = n^m \quad (2)$$

수식 (2)에서 N_{GL} 는 계조수이고, n은 전압 레벨 수이다. 본 논문에서는 3가지 전압 레벨과 5개의 서브 프레임을 가지므로 243 계조를 얻을 수 있고 자세한 서브 프레임 조합은 표 1에 나타내었다.

이중 변조 구동 방식은 진폭 변조 방식에 비해 그림 4처럼 간단한 데이터 구동 회로를 사용하고, 각 데이터

표 1. 243 계조를 위한 서브 프레임 조합

Table 1. Sub-frame combinations for 243 grey levels.

가중치 계조	SF1	SF2	SF3	SF4	SF5	가중치 계조	SF1	SF2	SF3	SF4	SF5
0	0	0	0	0	0	81	0	0	0	0	81
1	1	0	0	0	0	82	1	0	0	0	81
2	2	0	0	0	0	83	2	0	0	0	81
3	0	3	0	0	0	:	:	:	:	:	:
4	1	3	0	0	0	132	0	6	18	27	81
5	2	3	0	0	0	133	1	6	18	27	81
6	0	6	0	0	0	134	2	6	18	27	81
7	1	6	0	0	0	135	0	0	0	54	81
8	2	6	0	0	0	136	1	0	0	54	81
9	0	0	9	0	0	137	2	0	0	54	81
10	1	0	9	0	0	:	:	:	:	:	:
11	2	0	9	0	0	159	0	6	18	54	81
12	0	3	9	0	0	160	1	6	18	54	81
13	1	3	9	0	0	161	2	6	18	54	81
14	2	3	9	0	0	162	0	0	0	0	162
15	0	6	9	0	0	163	1	0	0	0	162
16	1	6	9	0	0	164	2	0	0	0	162
17	2	6	9	0	0	:	:	:	:	:	:
18	0	0	18	0	0	186	0	6	18	0	162
19	1	0	18	0	0	187	1	6	18	0	162
20	2	0	18	0	0	188	2	6	18	0	162
21	0	3	18	0	0	189	0	0	0	27	162
22	1	3	18	0	0	190	1	0	0	27	162
23	2	3	18	0	0	191	2	0	0	27	162
24	0	6	18	0	0	:	:	:	:	:	:
25	1	6	18	0	0	227	2	0	9	54	162
26	2	6	18	0	0	228	0	3	9	54	162
27	0	0	0	27	0	229	1	3	9	54	162
28	1	0	0	27	0	230	2	3	9	54	162
29	2	0	0	27	0	231	0	6	9	54	162
:	:	:	:	:	:	232	1	6	9	54	162
51	0	6	18	27	0	233	2	6	9	54	162
52	1	6	18	27	0	234	0	0	18	54	162
53	2	6	18	27	0	235	1	0	18	54	162
54	0	0	0	54	0	236	2	0	18	54	162
55	1	0	0	54	0	237	0	3	18	54	162
56	2	0	0	54	0	238	1	3	18	54	162
:	:	:	:	:	:	239	2	3	18	54	162
78	0	6	18	54	0	240	0	6	18	54	162
79	1	6	18	54	0	241	1	6	18	54	162
80	2	6	18	54	0	242	2	6	18	54	162

전극에서 DAC를 2개의 쉬프트 레지스터로 대체하므로 진폭 변조 방식과 펄스 폭 변조 방식의 장점을 모두 가진다. 쉬프트 레지스터 A의 출력이 'low'일 때 $V_{full-luminance}$ 가 선택되고 쉬프트 레지스터 B의 출력이 'low'일 때는 $V_{half-luminance}$ 를 선택한다. 쉬프트 레지스터의 출력은 래치에 인가되고 래치의 출력은 아날로그 스위치 블록에 연결된다.

그림 5는 적절한 데이터 라인 전압을 선택하기 위하여 3개의 TFT로 구성된 아날로그 스위치 블록을 보여주고 있다. 여기에는 2개의 전압 공급원인 $V_{half-luminance}$ 와 $V_{full-luminance}$ 가 사용된다. 쉬프트 레지스터 출력은 'high' 상태를 유지하다가 필요에 따라 'low'로 변한다. 쉬프트 레지스터 A의 출력이 'high'에서 'low'로 변할 때 p-type TFT M1은 켜지게 되고 $V_{full-luminance}$ 가 데이터 라인에 연결되게 된다. 한편 n-type TFT M3는 꺼지므로 M2가 켜져서 전류가 흐른다 할지라도 M3가 전

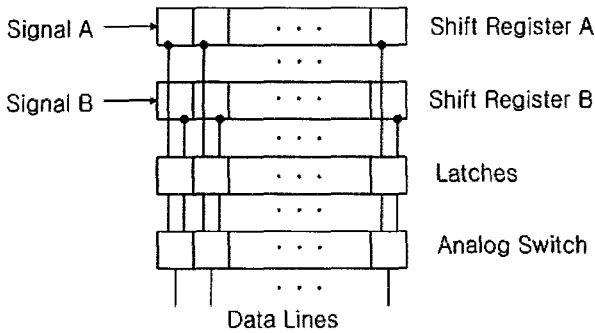


그림 4. 이중 변조 AMOLED 구동 방식을 위한 데이터 구동 회로
 Fig. 4. Data driver circuit for the dual modulation AMOLED driving method.

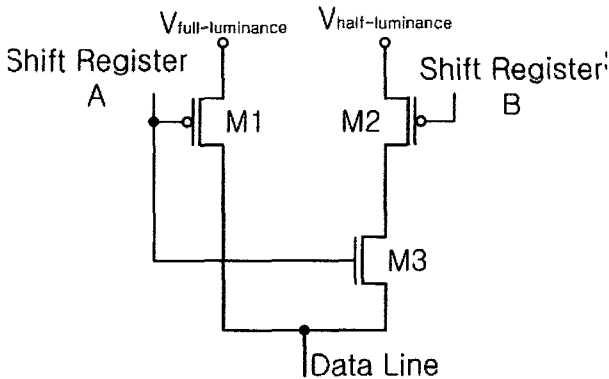


그림 5. 아날로그 스위치 회로의 구성도
 Fig. 5. Schematic of an analog switch circuit.

류를 차단하는 역할을 한다. M3는 벌크 실리콘 회로에서 블로킹 다이오드로 대체가 가능하다.

유사하게 쉬프트 레지스터 A의 출력이 'high'로 유지되고 쉬프트 레지스터 B 출력이 'high'에서 'low'로 변할 때 M2와 M3가 켜지게 되어 데이터 라인에 연결된다.

이와 같이 새로운 구동 방식은 그림 2와 같이 간단한 2개의 TFT로 구성된 픽셀 구조의 사용이 가능하고, 전압 레벨 간격이 큰 것을 사용하기 때문에 문턱 전압이 변해도 계조 표현이 보다 정확해진다.

앞에서 언급했듯이 픽셀 구조가 간단하므로 다른 경우보다 더 큰 면적의 OLED 구동 TFT를 사용할 수 있고, TFT의 사이즈가 클수록 문턱 전압 변화량이 상대적으로 적은 특성을 나타내므로^[5] 문턱 전압 변화량을 최소화할 수 있다.

이중 변조 방식은 펄스 폭 변조 구동 방식에 비해 구동 전력 소비를 감소시킬 수 있는 장점을 가진다. 256 계조(2m 계조)를 얻기 위해 펄스 폭 변조 방식은 8개의 서브 프레임이 필요하다. 하지만 243 계조(3n 계조)를 얻기 위해 이중 변조 방식은 5개의 서브 프레임만을 필

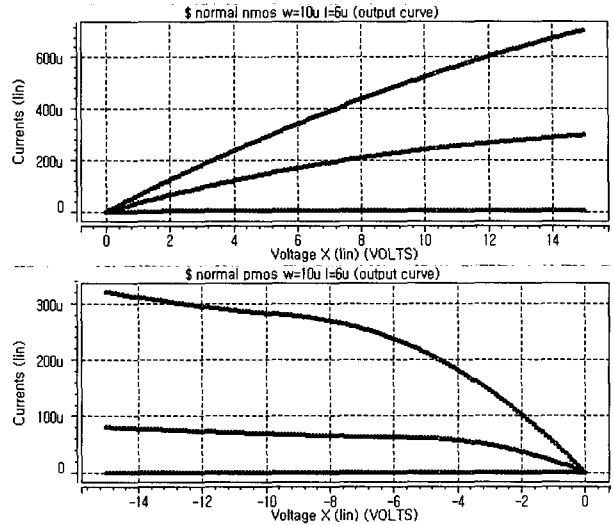


그림 6. $W/L=10\mu\text{m}/6\mu\text{m}$ 인 nTFT와 pTFT의 I-V 특성
 Fig. 6. I-V characteristics of nTFT and pTFT of $W/L = 10\mu\text{m}/6\mu\text{m}$.

요로 한다. 서브 프레임의 감소로 인해 화상 프레임의 총 스캐닝 횟수가 그만큼 감소될 수 있다. 따라서 데이터 전압이 일정한 비율로 인가된다고 가정할 경우, 본 논문의 새로운 구동 방식은 저장 커패시터 C_s 에 데이터 전압을 충·방전하는 전력의 29%를 절약할 수 있음을 의미한다.

2. TFT 회로 시뮬레이션 결과

HSpice에서 TFT 회로 시뮬레이션을 실행하고, 회로의 검증에 위해 $6\mu\text{m}$ TFT 특성으로부터 추출한 RPI TFT 모델을 이용하여 HSpice로 시뮬레이션 하였다. 소자의 전류-전압 특성은 그림 6에서 보여준다. 사용된 TFT의 폭과 길이는 각각 $10\mu\text{m}$ 와 $6\mu\text{m}$ 이다.

디스플레이 성능은 쉬프트 레지스터 성능에 의해 좌우된다. 고해상도의 AMOLED 디스플레이를 만들기 위한 방법 중 하나는 단결정 실리콘 MOSFET으로 이루어진 우수한 성능의 외부 쉬프트 레지스터를 사용하는 것이다. 하지만 이것은 내부연결 수의 증가로 인해 신뢰성이 감소한다. 다른 방법은 TFT의 캐리어 이동도를 개선하여 쉬프트 레지스터 성능을 증가시키는 것이다. 이미 100MHz 쉬프트 레지스터는 발표되었고,^[6] 이를 이용할 경우 XGA 혹은 더 높은 해상도의 디스플레이를 구현할 수 있다.

소자 파라미터로 그림 7과 같이 클럭 입력을 갖는 인버터 쉬프트 레지스터를 시뮬레이션 하였다. 이 쉬프트 레지스터는 이중 변조 구동 방식 회로에서 속도가 가장 빠른 장치이다. 본 논문의 쉬프트 레지스터는 그림 8의

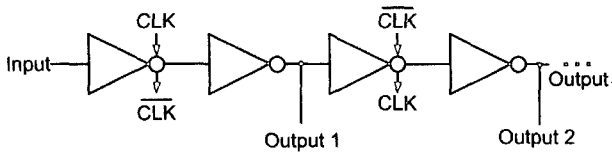


그림 7. 쉬프트 레지스터 구조
Fig. 7. Shift register structure.

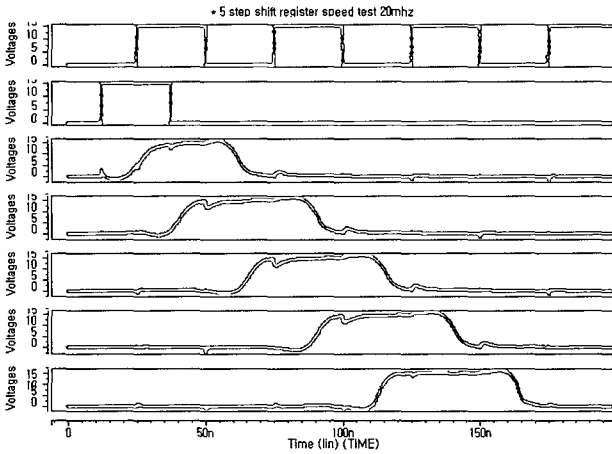


그림 8. 20MHz에서 동작하는 TFT 쉬프트 레지스터의 HSPICE 시뮬레이션 결과
Fig. 8. HSPICE simulation result of TFT shift registers operating at 20MHz.

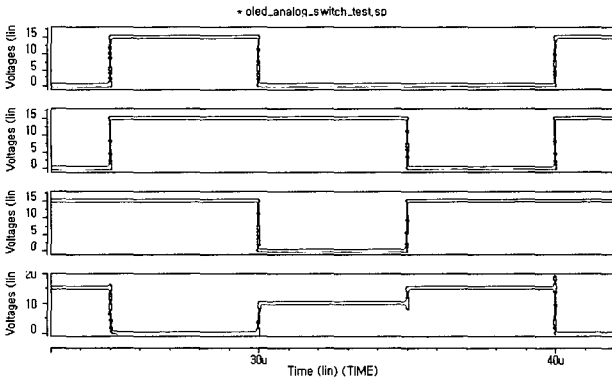


그림 9. 아날로그 스위치 회로의 HSPICE 시뮬레이션 결과
Fig. 9. HSPICE simulation result of analog switch circuit.

시뮬레이션 결과에서 보인 것과 같이 20MHz의 클럭에서 무리 없이 동작함을 확인할 수 있다. 따라서 320X240 해상도, 243 계조, 초당 30 프레임인 32채널의 데이터 구동 쉬프트 레지스터를 갖는 이중 스캔 AMOLED 디스플레이를 만들 수 있다.

그림 9는 쉬프트 레지스터의 출력을 입력으로 갖는 아날로그 스위치 회로의 동작을 보이고 있다. OLED를 구동시키는 모든 TFT의 게이트 전압을 초기화시키기 위해 리셋 부분을 그림 5의 데이터 라인에 n-type

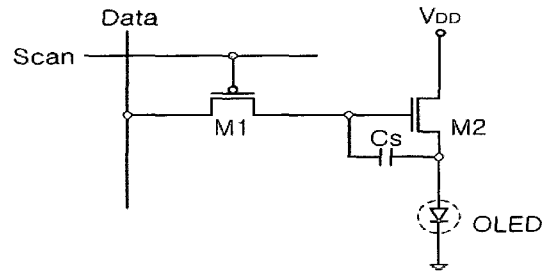


그림 10. 수정된 픽셀 구조
Fig. 10. Modified pixel structure for simulation.

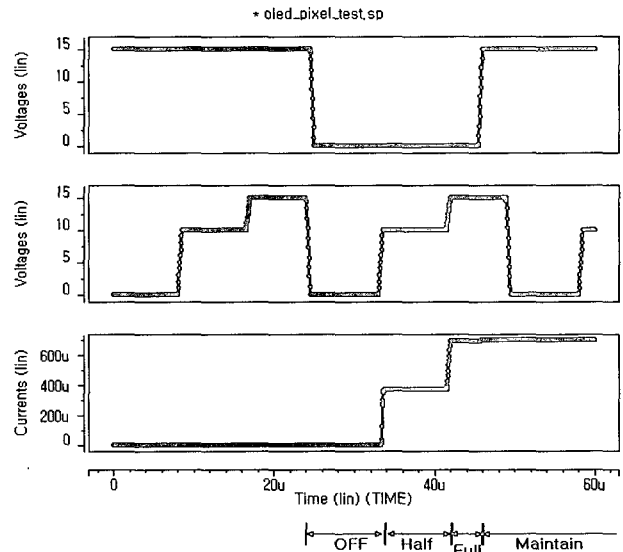


그림 11. 수정된 픽셀 회로의 HSPICE 시뮬레이션 결과
Fig. 11. HSPICE simulation result of modified pixel circuit.

TFT(리셋 TFT)를 추가하였다. 이 리셋 TFT의 드레인 인은 데이터 라인에 연결되고 소우스는 그라운드에 연결하였다. 게이트는 리셋 신호에 의해 제어되는데, 이 신호가 'high'에서 'low'로 변할 때 쉬프트 레지스터 A와 B가 모두 'high'를 유지해야 한다. $V_{half-luminance}$ 와 $V_{full-luminance}$ 를 각각 10V와 15V로 설정하였을 경우 데이터 출력이 설정된 전압을 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

본 논문에서 제시한 구동 방식 및 데이터 구동 회로를 시뮬레이션 하기 위해 그림 2를 그림 10과 같이 수정하였다. 즉 구동 TFT M2 게이트에 인가되는 데이터 전압이 증가하면 OLED의 전류가 증가되도록 하였으며, 저장 커패시터 Cs는 데이터 전압을 유지할 수 있도록 M2의 게이트와 소우스 사이에 위치한다. 시뮬레이션 결과 그림 11에서 출력 전류는 일반 다이오드로 대체된 OLED의 전류로서 데이터 전압에 따라 3단계의 전류 레벨을 나타내고 있다. 또한 스캔 신호가 'low'에서 'high'로 변해도 전류 레벨이 변하지 않고 오랜 시간동안

안 일정하게 유지됨을 확인할 수 있다.

III. 결 론

새로운 AMOLED 디스플레이 구동 방식은 진폭 변조와 펄스 폭 변조를 모두 사용하여 243 계조를 3개의 다른 데이터 전압 레벨과 5개의 서브 프레임으로 얻을 수 있음을 보였다. 또한 진폭 변조 방식에 비해 데이터 전극 구동 회로가 간소화되고, 펄스 폭 변조 방식에 비해 저장 커패시터 C_s 를 충·방전하는 전력의 29%를 절약할 수 있음을 확인하였다.

데이터 구동 회로 부분의 시뮬레이션 결과를 통해 새로운 AMOLED 디스플레이 구동 방식의 장점을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] C. W. Tang, "An overview of organic electrolu-minescent materials and devices," SID 96 Digest, pp.181-184(1996)
- [2] M. Stewart et al., "Polysilicon VGA active matrix OLED displays-technology and performance," 1998 IEDM Tech. Digest, pp.871-874(1998)
- [3] R.M.A. Dawson et al., "Design of an improved pixel for a polysilicon active-matrix Organic LED display," SID'98 Digest, pp.11-14 (1998)
- [4] K. Inukai et al., "4.0-in TFT-OLED displays and a novel digital driving method," SID 00 Digest, pp.924-927 (2000)
- [5] R.M.A. Dawson et al., U.S. Pat. 6,307,322 (2001)
- [6] "5V 100MHz low-temperature poly-Si TFT shift register," NEC Res. & Develop., vol. 42, no. 1, pp. 84 (2001)

저 자 소 개

정 주 영(정회원)
제36권 제11호 참조



김 재 근(학생회원)
2003년 수원대학교 전자공학과
학사 졸업.
2003년~현재 수원대학교 대학원
전자공학과 석사 과정.
<주관심분야: LCD 구동회로, VL
SI, 반도체>