

전기습윤셀 구조를 갖는 플렉서블 디스플레이와 소스 드라이버 설계에 관한 연구

김 훈 학*

A Study on the Design of the Source Driver and the Flexible Display with an Electrowetting Cell Structure

Hoon-Hak Kim*

요 약

본 논문에서는 전기습윤(Electrowetting) 디스플레이의 효율적인 생산을 위해 섬유형식의 전극들을 제안하고, 이러한 방법을 이용한 전기습윤 셀 구조형 플렉서블 디스플레이의 소스 드라이버 설계방법을 제안하였다. 전기습윤 셀 매트릭스는 임프린팅 방법에 의하여 PET 등의 Substrate 위에 구성하고 셀 매트릭스 사이의 간격에는 드라이버섬유, 습윤 전극섬유와 전도성 섬유를 가로와 세로로 배치하고, 교차점에는 전기적 접점을 구성하여 전기습윤 셀 매트릭스가 구동되도록 하였다. 기존의 소스 드라이버에서는 각 채널당 R/2R방식의 DAC을 사용하므로 사용되는 소자의 수가 증가하여 집적도가 저하되는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 채널당 소자의 수를 감소시켜 집적도를 높이고 비용을 절감할 수 있는 저 전력 소스 드라이버 설계방법을 제안하고 VHDL 프로그램을 이용한 시뮬레이션으로 타당성을 검증하였다.

▶ Keywords : 전기습윤, 드라이버섬유, 유기TFT, 플렉서블 디스플레이, 소스 드라이버

Abstract

The Fabric Electrode was proposed for the effective production of the display based on electrowetting in this paper and designed the source driver of flexible display which could be driven by the electrowetting cell. The electrowetting cell matrix was implemented on the substrate(PET)

be driven by the cross-point as electric connection. The integration density of driver module is decreased because using the R/2R DAC module per channel in the conventional method. The proposed method could utilize the effective production process and reduce the production price of a display panel. The source driver which consume lower power and can increase the integration density because of reducing the number of driver device per channel was designed and evaluate the driver operation by the simulation using the VHDL programming in this paper.

▶ Keywords : Electrowetting, Driver Fabric, Flexible Display, Source Driver

I. 서론

플렉서블 디스플레이는 기존의 고정형 평판 디스플레이의 기본 개념을 깨는 차세대 기술로서 드라이버 섬유의 직조방법으로 구성된 전기습윤방식의 셀 매트릭스[1] 구조로 이루어졌으며 각 셀을 구동하기 위한 드라이버 섬유의 구성과 생산 방법과 전기습윤전극 섬유와 전도성 섬유를 결합하여 디스플레이 패널을 생산하는 다양한 방법에 대한 연구가 진행되고 있는 추세이다. 최근에는 발광 효율을 높이고 소비전력은 줄이며 패널의 두께를 극단적으로 줄이기 위한 연구뿐만 아니라 생산 효율을 높이기 위한 다양한 연구도 진행되고 있다. 이러한 연구의 궁극적인 목표는 고성능의 대형디스플레이를 저렴하게 제조하기 위한 것이다. 또한 대형 디스플레이를 생산하기 위하여 7세대, 10세대 등 생산라인을 확장하는 등 생산설비에 막대한 투자를 하고 있으나 디스플레이의 크기가 증가할수록 균일한 생산 환경을 만들기 위한 추가적인 생산설비 비용이 증가되고 있는 추세이다. 기술적으로는 평판에 균일한 두께의 박막을 구현하기 어려운 점이 생산원가 증가의 원인이 되고 있으며 제품 수율을 저하시키는 문제점이 되고 있다. 최근에는 이러한 문제점을 완화하고, 대형 디스플레이를 효과적으로 생산하기 위하여 인쇄전자방법과 직조형 디스플레이에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 직조형 디스플레이는 화소에 해당하는 디스플레이 섬유와 드라이버 섬유(TFT)의 유기적 배치와 이들을 구동하기 위한 셀의 시프트라인과 드라이버라인의 유기적 결합이 기술의 핵심이다.

II. 섬유 디스플레이와 전기습윤 기술

1. 섬유 디스플레이

디스플레이 제품 생산을 위한 섬유 형태의 전자회로를 구성하는 기술은 차세대 선도 기술로 국가 간 개발경쟁이 치열해지고 있는 분야중 하나이다. 대표적으로 미국의 사르노프사는 전자 방직물, 방적사 및 물품이란 특허에서 기능성 방적사에 다수의 전기전도체와 다수의 전자소자(LED)를 배치시킨 그림1과 같은 직물형 디스플레이를 제작하였으며[1][2] 최근에는 나노기술의 발달로 석영섬유에 TFT와 OLED를 적용한 섬유형 디스플레이 개발 결과도 꾸준히 발표되고 있다.[3]

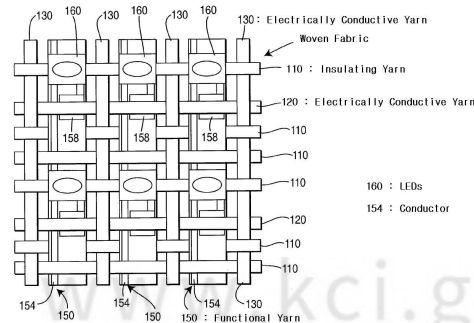


그림 1. Samoff 의 직물형 디스플레이
Fig.1 textile structured display of Samoff

AIST&Furukawa Electric Co. Ltd.에서는 IDW2007에서 발표한 섬유형 디스플레이로 석영섬유(quartz fiber)에

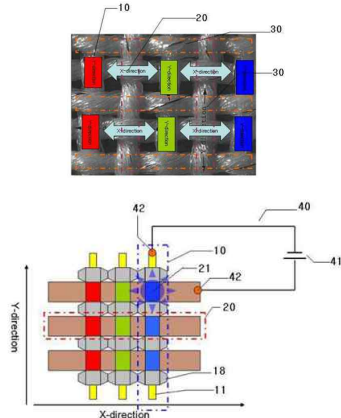


그림 2. 섬유조직구조를 갖는 직조형 플렉서블 디스플레이 Fig. 2 Flexible Display on Structure of textiles

2. 전기습윤 기술과 디스플레이의 구성

전기습윤 현상은 Young에 의해 발견된 이후 최근까지 다양한 응용분야에 적용되고 있는 기술로서 기본 원리는 그림 3에 나타난 것처럼 습윤 상태에 따라 γ 의 편각이 변화하는데 이것은 습윤의 정도를 나타내는 Young-Lippmann의 방정식인 식 1을 따르고 있다.

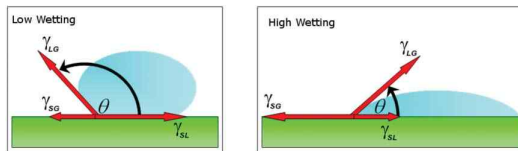


그림 3. 전기 습윤의 동작 Fig.3 Action of Electrowetting

$$\gamma_{LG} \cos\theta = \gamma_{SG} - \gamma_{SL} + \frac{1}{2} CV^2 \quad (식.1)$$

윗 식에서 V는 인가된 전압이고, C는 접촉면에서의 단위 면적당 전기용량이다. 오일과 물을 이용한 전기습윤 디스플레이는 최근에 연구되고 있는 기술로서 원리는 가해진 전위와 접촉각의 크기에 대한 정량화 된 값을 이용하는 기술이다. 식 2에서처럼 오일의 접촉각 $\theta(V)$ 는 전극에 가해진 전위와 표면 장력에 의하여 결정된다

계이고[5] 오일 액적의 속도는 오일의 두께, 픽셀사이즈, 오일의 점도등으로 이루어진 함수이다.[6] 발광형 전기습윤방식의 전자종이는 Steckl과 Heikenfeld에 의해 제안된 기술[7]로서 이 경우 비극성 오일은 광 스위치 역할을 하여 기존의 LCD의 휘도보다 10~40배 정도의 이론적 효율 값을 갖는다. 이러한 방식은 그림 4에 나타나 있는 것처럼 도파관에는 굴절율이 ~1.5 정도로서 자외선영역의 빛은 도파관을 통해 전파되고, 오일에 포함되어 있는 형광체를 자극해 가시광선을 방출하는 방식이다. 이때 클래딩 층은 굴절율이 1.3보다 작은 값을 갖기 때문에 자외선 빛은 반사시켜 차단한다. 그리고 전압이 인가되는 경우에 오일은 한쪽으로 응집하게 되고 이때 발생한 물과 접촉면에서는 물의 굴절율(1.3)로 인하여 자외선 빛은 Waveguide를 이탈하지 못하고 안쪽으로 회절하게 된다.

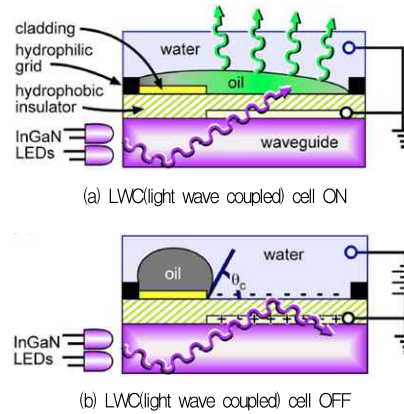


그림 4. 발광형 전기습윤방식의 셀구조 Fig.4 structure of LWC Electrowetting cell

대만 공업기술 연구원에서는 잉크젯프린팅을 이용하여 전기습윤 디스플레이를 제작하였는데 이 경우 잉크젯에 의해 분사된 오일방울의 균일성은 90%를 넘어섰다. a-SI 백플레인을 사용하여 6인치크기의 모노와 칼라의 AM구동 디스플레이를 만들어서 이러한 내용을 입증해 보였다. 잉크젯 프린팅은 공기 중에서 수행하였고 인쇄기술을 사용하였다고는 하였으나 오일 액적을 친수성 리브로 싸여진 셀 내부에 사용한 정도에 지나지 않았다.[9]

III. 드라이버 섬유를 이용한 전기습윤 셀 플렉서블 디스플레이 구성

매트릭스 구조의 전기습윤 셀을 구동하기 위해서 TFT들이 필요하다. 그림 5는 전기습윤 셀 매트릭스의 구동을 위하여 세로선은 게이트전극에 함께 연결하고, 가로선은 공통 선으로 연결하여 각각의 셀에는 독자적인 전압을 인가하는 구조이다.

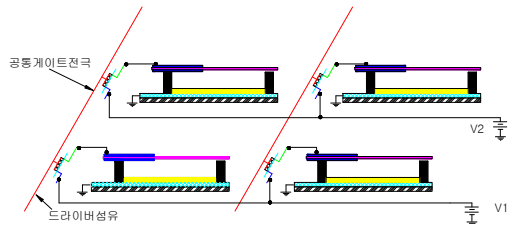


그림 5. 전기 습윤 셀 매트릭스의 구동
Fig.5 Driving of Electrowetting cell matrix

세로배열 구조에서 TFT가 공통의 게이트 선위에 순서대로 배열하게 되면 생산 공정을 단순화할 수 있고, 이는 별개의 공정이 되어 품질 안정화를 기할 수 있다. 이 경우 플렉서블 디스플레이를 제작하기 위해서는 Substrate에 투명한 PET필름과 같은 소재를 사용해야 하지만 TFT를 선으로 구성하는 경우에는 PET필름 위에 TFT를 구성하지 않아도 된다. 따라서 PET필름 위에는 전기습윤 셀 매트릭스만 구성하면 되기 때문에 ROLL-to-ROLL 공정을 사용하여 생산이 가능하다.

1. 드라이버 섬유의 구성

데이터 신호 선으로 사용하게 될 전도성 섬유는 그림 5와 같이 공통게이트 전극위에 연결된 TFT를 하나의 섬유로 만들고, 공통 선은 유연한 코어에 전도성 피막을 코팅하는 방식으로 구성한다. 또한 전도성 피막 위에는 게이트 절연층을 입히고 다시 게이트 절연층위에 유기반도체를 일정한 간격으로 배열하고 다시 유기반도체 위에는 드레인과 소스전극 층을 만드는 방식으로 그림 6과 같이 드라이버 섬유를 구성한다.

안정된 디스플레이를 구성하기 위해서는 드라이버섬유에 구성된 OTFT들의 문턱전압은 동일해야 하며, 또한 각 소자의 환경에 대한 스트레스에 대해 열화 되지 않아야 좋은 디스플레이를 구성할 수 있다. 본 연구에서는 드라이버섬유를 개선하고, 효율적인 섬유 코팅의 공정을 사용하도록하여 섬유단위로 품질을 체크할 수 있는 안정된 공정 방안을 제시하였다.

게이트 절연층의 재료는 PMMA(polymethacrylate), PVA(polyvinylalcohol), PVP (polyvinylpyrrolidone), PVPh(polyvinylphenol)나 혹은 copolymer등을 사용하도록 하였으며[10] 유기 반도체층은 전계이동도 1.2cm²/V.sec를 보장받는[11] TIPS(triisopropylsily lethynyl) 펜타센 유기반도체를 게이트 절연층 위에 코팅하는 방식으로 드라이버 섬유를 제조하는 것으로 하였다.

드라이버 섬유는 수분이 문턱전압 열화의 한 원인이 될 수 있으나 OTFT의 성능과 신뢰도가 급속히 개선되고 있고, 재료의 순도가 향상되면서, 섬유의 성능이 a-Si TFT의 수준에 근접할[12][13] 정도로 개선되고 있다.

2. 전기습윤 셀 어레이 시트의 구성

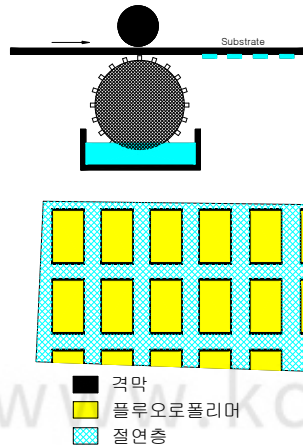


그림 7. ROLL-to-ROLL에 의한 전기 습윤 셀 매트릭스 시트
Fig.7 Electrowetting Cell Matrix using ROLL-to-ROLL train

이곳에 전기습윤 셀을 생성한다.

즉, 전극 위가 경화되지 않은 친수성 재료를 도포하고, 임프린팅 용 패턴이 새겨진 ROLL에 소수성 절연 층을 코팅하는 방식으로 롤러가 지나면서 나타난 패턴이 경화되지 않은 친수성 층에 각인되고, 생성된 셀 내부에는 소수성 절연 층이 나타나도록 한 것이 그림 7과 같은 전기습윤 셀 매트릭스 시트이다. 이 경우 셀과 셀 사이에는 기능성 섬유를 매립하지만 셀의 간격이 매우 작기 때문에 디스플레이 미치는 영향은 거의 없다.

3. 디스플레이 패널의 결합

디스플레이 패널은 전기습윤 셀 매트릭스 시트와 드라이버 섬유, 전도성 섬유를 결합하여 구성되며 전기습윤 셀을 구동하기 위해서는 드라이버섬유의 드레인 전극이 전기습윤 셀 내부에 채워진 물에 접촉되도록 해야 한다. 이러한 과정은 공정 절차가 편리하도록 유연한 비전도성 섬유에 일정한 간격으로 전도성 피막을 만들어 습윤 전극섬유로 사용하면 된다. 그림 8은 이와 같은 방법으로 구성된 디스플레이 패널의 단면과 평면구조를 나타낸다.

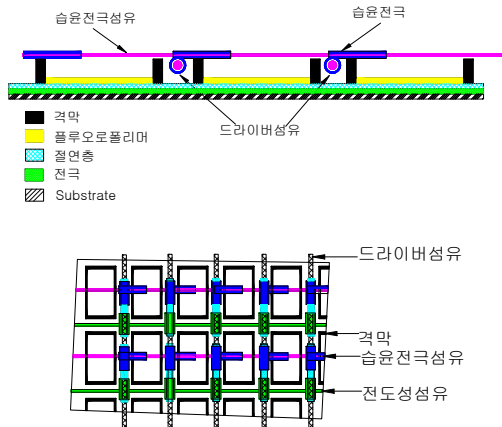


그림 8. 드라이버 섬유의 단면과 전기습윤 셀 매트릭스 평면 구조
Fig.8 cross-section of driver fabric and plane structure of electrowetting cell matrix

유기반도체는 습도에 민감하기 때문에 셀에 물을 채우는 과정에서 물이 도전성 섬유의 유기반도체에 접촉되지 않도록 한다. 유기반도체는 습기 접촉 시 성능의 열화가 발생할 수

IV. 소스 드라이버 설계

매트릭스 구조의 전기습윤 셀을 구동하기 위한 기존의 소스 드라이버 방식은 각 채널에 R/2R방식의 DAC가 한 개씩 부착되어 구성됨으로서 소자의 수가 증가하여 집적도가 저하되며 이로 인한 전력소모가 많아지는 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 시간제어 타임 클럭과 전압을 연동시키는 구동방법을 도입하여 채널당 소요되는 소자의 수를 감소시키고 집적도를 낮춤으로서 낮은 소비 전력과 비용효과가 높은 소스 드라이버를 구현하고자 하였다.

1. 스캔라인 회로 구성

디스플레이의 효율적인 구동을 위하여 인쇄방법을 이용하여 스캔라인을 구성하였는데 OTFT의 동작속도가 a-Si TFT와 유사하므로 인쇄에 의한 제조가 가능하다. 그림 9에 이러한 방식의 스캔라인 모듈 구성도를 나타냈다. 노출된 접점에는 드라이버 섬유의 공통 접지 전극이 연결되어 드라이버 섬유에 분포하는 OTFT 전체를 ON/OFF 하는 기능을 수행하도록 하였다.

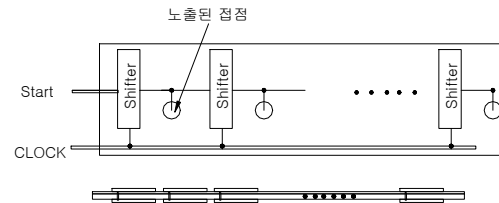


그림 9. 스캔라인 모듈의 구성
Fig.9 Structure of scan-line module

2. 픽셀 제어 방식

전기습윤 셀 구동형 플렉서블 디스플레이의 구동방법은 그림 10에 나타냈다. 구동회로는 1비트 FIFO와 FIFO의 데이터에 의해 구동되는 픽셀 데이터의 라인 구동 드라이버와 시프트라인 모듈을 구동하기 위한 타이밍 제어부로 구성하였다.

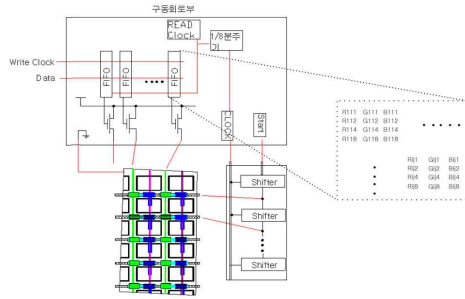


그림 10. 제어부가 결합된 전기습윤 셀 플렉서블 디스플레이
Fig.10 electrowetting cell flexible display combined with controller

시프트라인의 신호는 하나의 드라이버 섬유를 구동하며 ON신호에 의해 게이트 전극이 작동되어 드라이버섬유에 있는 모든 OTFT를 ON상태로 전환한다. 이때 1비트 FIFO의 데이터에 의하여 전도성 섬유에 있는 각각의 전위 신호들이 드라이버섬유의 OTFT의 소스 전극과 유기반도체 그리고 드레인 전극을 통과한 후 습윤 전극을 경유하여 전기습윤 셀의 물에 전달된다. 또한 클럭 신호의 변화로 시프트신호가 OFF가 되면 드라이버섬유의 모든 OTFT가 OFF되지만 물에 가해졌던 전위는 유지되어 디스플레이의 상태는 변하지 않게 된다.

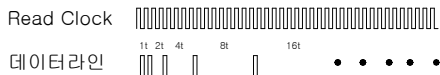


그림 11. 시간 제어 시퀀스
Fig.11 time control sequence

본 연구에서 사용된 디스플레이 구동을 위한 타이밍 관계는 그림 11과 같으며 이 경우 기준전압과 적분시간 폭의 조합에 의한 소스 구동 데이터를 생성하는 방법을 제시하고 픽셀 데이터의 각 비트가 적분을 위한 스위치 역할을 하도록 하여 1비트 FIFO에 의한 구성이 가능하도록 하였다. 제안된 소스 드라이버는 게이트의 스위칭 횟수와 게이트의 수가 적기 때문에 소비전력을 낮출 수 있으며 발열의 문제를 개선할 수 있는 장점이 있다.

3. 소스 드라이버 모형 설계

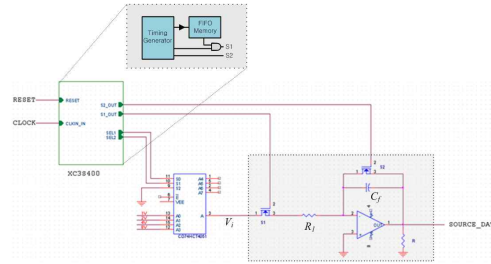


그림 12. 시간제어 신호와 FIFO데이터로 조합된 적분회로
Fig.12 Integrator was combined time control signal with FIFO data

적분기 회로에서 6비트를 이용한 DAC를 구성하려면 “기준전압 x (1+2+4+8+16+32)”의 구조를 갖도록 하고 그림 12의 적분기의 동작 수식인 식 3에 맞추어 정리하면 식 4와 같은 시간과 입력전압의 조합 출력 식으로 정리할 수 있다. 따라서 DAC의 출력 값은 픽셀 데이터에 맞추어 V_i 의 연결 스위치를 On/Off함으로써 얻어지게 된다. 하나의 데이터 주기가 종료되면 S_2 스위치를 이용하여 적분기는 초기화시키고, 계속되는 다음 데이터 비트에 따라 DAC의 출력 값은 이러한 방법으로 조합된 결과를 반복하여 얻게 된다.

$$\frac{-1}{R_1 C_f} \int_0^t V_i dt \tag{식3}$$

$t_r, 2t_r, 4t_r, 8t_r$: FIFO read clock
 $V_r, 2V_r, 4V_r, 8V_r$: Integrator voltage

$$V = \frac{-1}{R_1 C_f} (t_r V_r + t_r \cdot 2V_r + 2t_r \cdot 2V_r + 2t_r \cdot 4V_r + 4t_r \cdot 4V_r + 4t_r \cdot 8V_r) \tag{식4}$$

$$V = \frac{-t_r \cdot V_r}{R_f \cdot C_f} (1 + 2 + 4 + 8 + 16 + 32)$$

예를 들어 픽셀 데이터가 16H(01 0110B)라고 하면 표.1의 순차적인 과정에 따라서 출력 데이터를 얻을 수 있다. 이 경우 출력전압 $V = \frac{-t_r V_r}{R_1 C_f} (2 + 4 + 16)$ 는 t_{hold} 기간

하기 위한 소스 드라이버를 충분히 구성할 수 있다.

표 1 픽셀 데이터(16H)를 이용한 출력 데이터
Table 1. Output Data using pixel data(16H)

	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8
픽셀 16H	0 LSB	1	1	0	1	0 MSB		
V_i	V_r	$2V_r$	$2V_r$	$4V_r$	$4V_r$	$8V_r$		
t	t_r	t_r	$2t_r$	$2t_r$	$4t_r$	$4t_r$	t_{hold}	t_{dec}
S1	OFF	ON	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
S2	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON

4. 소스 드라이버 모형 시뮬레이션

지금까지의 과정을 시뮬레이션하기 위하여 FIFO에 저장된 픽셀 데이터는 FIFO Read 클럭에 의하여 1비트씩 출력되도록 하고 hold시간과 clear시간에 스위치를 제어하기 위하여 AND게이트로 조합하는 것으로 하였다. 또한 FIFO의 Read클럭(time_clk)은 기준 클럭을 사용하여 $t_t, 2t_t, 2t_t, 4t_t$ 를 생성하고 $v_r, 2v_r, 2v_r, 4v_r, 4v_r, 8v_r$ 의 적분전압을 제공하기 위해서는 아날로그 MUX(STATE2)에서 선택 신호가 발생되도록 구성하였다. S1_out과 S2_out은 hold와 clear를 포함하는 스위치이고, 6비트의 shift 회로 1단을 구성한 것으로 하였다. 픽셀 데이터(SHT_DATA)는 3절에서 예로 사용된 16H의 2진수 값 '01 0110B'로 하여 Hsync의 주기에 맞추어 반복 실행한 프로그램 실행화면은 그림 13과 같다. 시뮬레이션을 위하여 Xilinx FPGA를 이용하여 소규모 구동부 로직을 구성하였으며 XC3S400의 내부에 논리 다이어그램을 구현하기 위하여 VHDL을 이용하여 하드웨어를 프로그램 함으로서 합성과정과 구현과정의 시뮬레이션 결과를 그림 14와 같이 얻을 수 있었다.

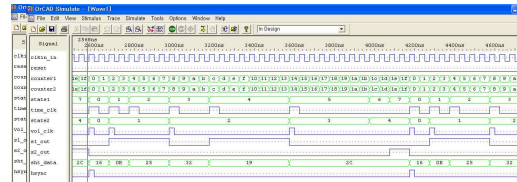


그림 14. 소스 드라이버의 시뮬레이션
Fig.14 Simulation of source driver

시간제어 구동은 기본 시간의 2배수에 의해 시간간격을 정하고 1개의 픽셀이 스캔라인에 의해 선택 되었을 때 $1t_t, 2t_t, 4t_t, 8t_t, 16t_t, 32t_t$ 시간으로 분리된 구간을 밝기에 따라 ON/OFF하여 64계조가 되도록 하였다. 픽셀은 스캔라인에서 선택하고 선택된 픽셀에 맞는 밝기로 각 시간 구간에서 ON/OFF를 반복하여 스캔한다. 또한 계속 이어지는 픽셀도 이와 같이 동일한 방법으로 스캔을 하는 방식이다.

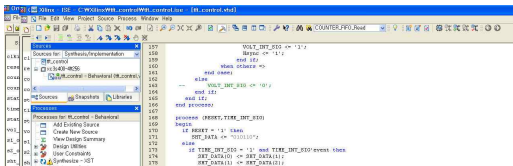
시간에 의한 누적으로 밝기를 제어할 경우에는 $64t_t$ 의 긴 시간이 필요하게 되고 전체의 구동에 있어서 스캔시간 부족 문제가 발생할 수 있으나 AM구동의 경우 구동회로부의 FIFO의 데이터에 의해 구동되는 픽셀 데이터라인의 구동 드라이버에서 기준 전위를 단계별로 제어함으로써 스캔 시간 부족 문제는 해결될 수 있다.

전압과 시간을 상호보완적으로 사용하면 정밀한 제어가 가능하기 때문에 시간 조정이 가능하며 메모리의 사용량을 줄이고, 카운터나 DAC의 사용량을 최소화하여 단순한 제어부의 설계가 가능하도록 하였다.

V. 결 론

본 연구는 “드라이버 섬유의 직조방법으로 구성된 전기습윤방식 디스플레이와 그 제조 방법”[4]의 기술 내용을 토대로 전기습윤 셀 매트릭스의 ROLL-to-ROLL 생산 방법과 각 셀을 AM방식으로 구동하기 위한 드라이버 섬유의 구성 및 소스 드라이버 설계방법을 제안하고자 하였다. 또한 전기습윤 전극 섬유와 전도성 섬유를 결합하여 디스플레이 패널을 생산하는 방법도 제시하였다.

제시된 방법에서 섬유에 구성된 전극사이 교차점에서의 접



FIFO를 사용하도록 하였으며, 기존의 소스 드라이버 설계 시 사용된 R/2R 방식의 DAC소자의 사용을 배제함으로써 저 전력, 저 발열 구동이 가능하도록 하였다. 또한 제안된 설계방법은 전압과 시간을 상호 보완적으로 사용하여 정밀한 제어가 가능하기 때문에 시간 조정이 가능하여 메모리의 사용 양을 줄이고 카운터나 DAC의 사용량을 최소화하여 단순한 제어부의 설계가 가능하다. 제안방법은 시간의 프레임단위 제어방식을 사용하여 고속의 반응속도가 요구되는 제품보다는 중저속 구동용 패널의 제어에 적합한 방법이다. 또한 제안된 방식은 저 전력, 저 발열, 고집적의 장점을 갖추고 있어서 제품의 가격대비 성능의 효용가치가 높은 제품의 생산이 가능하다.

참고문헌

[1] Surajit Sengupta, "Electrical resistance of jute fabrics", Indian Journal of Fibre & Textile Research, vol.37, pp.55-59, 2012.

(2) L.Buechley, "Fabric PCBs, electronic sequins, and socket buttons: techniques for e-textile craft", http://hlt.media.mit.edu/publications/buechley_PUC_07.pdf, 2007

(3) A. Mimura, "Fabrication of Poly-Si TFTs on Flexible Quartz Fibers," ECS Trans. vo.16, pp. 325-331, 2008.

(4) "Completely flexible display based on structure of textiles and electronic device using the flexible display", Korea Patent : 1009127240000, Aug, 2009.

(5) Frieder Mugele and Jean-Christophe Baret, "Electrowetting: from basics to applications," J. Phys.: Condens. Matter 17 R705, 2005.

(6) Roques-Carnes T, Hayes RA, Feenstra BJ, Schlangen LJM, "Liquid behavior inside a reflective display pixel based on electrowetting." Journal of Applied Physics , pp.4389-4396, 1995.

(7) Johan Feenstra & Rob Hayes, "Electrowetting

layer and Organic Thin Film Transistor using the same", US Patent : US2009/0152537 A1, Jun.18, 2009

(11) J.E.Anthony, "Funtionalized Acenes and Hetetoacenes for Organic Electronics," Chem.Rev., Vol.106, No.12, pp.5028-5048, 2006.

(12) Jong-Wook Kwak, Ju-Hwan Kim, "Dynamic Voltage and Frequency Scaling based on Buffer Memory Access Information," Journal of KSCI, Vol.15, No.3, pp.1-10, 2010.

(13) Chungkun Song, "Technology Status and Prospects of Organic Thin Film Transistor", The Korean Information Display Society, Vol.11, No.2, 2010.

저자소개



김 훈 학

1985 : 성균관대학교 전자공학과 학사
 1987 : 성균관대학교 전자공학과 석사
 1992 : 성균관대학교 전자공학과 박사
 1997 : Information Technology Course at the Eurasian Faculty of Sofia Antipolis, Nice, France
 1989~현재 : 인덕대학교 컴퓨터전자과 교수
 관심분야 : 마이크로컨트롤러 응용, 임베디드 시스템, 디지털신호처리, IT융합기술
 Email : sanghoon@induk.ac.kr