

## ◆ 특집 ◆ FPD(Flat Panel Display) 제조 및 검사 공정 기술

## 디스플레이 패널에 집적이 가능한 적외선 포토센서

## Integrated IR Photo Sensor for Display Application

전호식<sup>1</sup>, 허양욱<sup>2</sup>, 이재표<sup>2</sup>, 한상윤<sup>3</sup>, 배병성<sup>1,✉</sup>Ho Sik Jeon<sup>1</sup>, Yang Wook Heo<sup>2</sup>, Jae Pyo Lee<sup>2</sup>, Sang Youn Han<sup>3</sup>, and Byung Seong Bae<sup>1,✉</sup><sup>1</sup> 호서대학교 반도체 디스플레이학과 (Department of Semiconductor and Display Engineering, Hoseo Univ.)<sup>2</sup> 호서대학교 디지털 디스플레이학과 (Department of Digital Display Engineering, Hoseo Univ.)<sup>3</sup> 삼성 디스플레이 LCD 연구소 (LCD Research and Development Center, Samsung Display)

✉ Corresponding author: bsbae3@hoseo.edu, Tel: 041-540-5614

Manuscript received: 2011.12.30 / Accepted: 2012.10.4

*This paper presents a study of an integrated infrared (IR) photo sensor for display application. We fabricated hydrogenated amorphous silicon thin film transistor (a-Si:H TFT) and hydrogenated amorphous silicon germanium thin film transistor (a-SiGe:H TFT) which were bottom gate structure. We investigated the dependence of a-SiGe:H TFT characteristics on incident wavelengths. We proposed photo sensor which responded to wavelengths of IR region. Proposed pixel circuit of photo sensor consists of switch TFT and photo TFT, and one capacitor. We developed integrated photo sensor circuit and investigated the performance of the proposed sensor circuit according to the input wavelengths. The developed photo sensor circuit with a-SiGe:H TFT was suitable for IR.*

Key Words: Liquid Crystal Display (액정표시장치), Photo Sensor (광 센서), a-SiGe:H TFT (비정질실리콘 저머늄 박막 트랜지스터), Integrated Circuit (집적회로)

## 1. 서론

Flat panel display (FPD) 시장이 점차 확대 되면서 애플과 삼성, LG 등 모바일기기를 중심으로 touch 기술이 발달하였다. 기존의 터치 기술은 일반적으로 LCD 패널 이나 혹은 다른 display panel 위에 touch screen panel (TSP)을 부착하는 방식으로 내장형에 비해 투과율이 감소되고, 명암비 감소로 인해 시인성 저하, 두꺼운 베젤폭 등의 화질적인 단점과 내구성의 문제가 있다. 내장형 TSP 기술은 in-cell 방식과 on-cell 방식으로 기술을 구분할 수 있다. 이는 TSP 를 부착하는 방식이 가지고 있는 문제점을 극복하고 두께와 무게 등을 절감할 수

있는 이상적인 기술이다.

TSP 를 내장하는 방식으로는 일반적으로 저항막 방식과 정전용량 방식을 사용하는데 저항막 방식은 내구성 문제로 모바일 시장에서는 일부만 사용하고 대부분 정전용량을 사용한다. 정전용량 방식은 높은 분해능을 가지고 있으나, 사람의 손이나 정전용량 펜을 이용해야만 입력이 가능한 단점과 전극간의 일정한 간격이 필요하기 때문에 패널의 두께가 두꺼워지는 문제점을 가지고 있다.<sup>1</sup> 하지만 적외선 방식의 TSP 방식은 디스플레이 패널의 크기에 제약이 적고 빛을 차단 할 수만 있으면 되기 때문에 입력방법이 다양하고 멀티 터치가 가능하기 때문에 많은 주목을 받고 있다. 하지만 이

방법 역시 별도의 IR LED 와 디텍터를 사용해야 하기 때문에 패널의 두께 및 제조가격이 상승하는 문제점을 가지고 있다.<sup>2</sup> 그래서 최근에는 TFT backplane 공정을 이용하여 photo sensor 를 패널에 집적하는 방법이 연구되고 있다.<sup>3-8</sup>

기존의 photo sensor 는 디스플레이 제품을 검사 는 용도로 사용되기도 하였으나 복잡한 측정원리와 온도를 고려해야 하기 때문에 TSP 집적회로 기술에는 적합하지 않다.<sup>9,10</sup> 그래서 최근 TFT backplane 공정을 이용하여 패널내의 집적하는 방법으로는 p-i-n 구조의 다이오드를 이용하여 신호를 검출하는 방법<sup>11</sup> 과 직렬로 연결한 여러 개의 포토센서를 이용해 인가된 바이어스 전압이 포토센서의 최대 신호대 잡음비를 갖는 지점에서 전류를 측정하는 방법 등이 이용된다.<sup>12</sup>

본 연구에서는 포토센서로 적용 가능한 a-SiGe:H TFT 와 a-Si:H TFT 를 제작하고 화소회로 구현을 통해 빛의 파장에 따른 전기적인 특성의 변화와 디스플레이 패널에 대한 적용가능성을 확인 하였다. 또한 화소회로에 집적가능한 회로를 구성하여 패널에 집적했을 때, 빛에 의한 전기적 특성의 변화를 검출하여 회로의 동작을 검증하였다.

## 2. TFT 소자 제작 및 광 특성 분석

### 2.1 a-SiGe:H TFT 제작

Thin film transistor (TFT) 소자는 bottom gate (BG) 게이트 구조를 사용하였고, TFT 소자의 단면도는 그림 1 에 나타내었다.

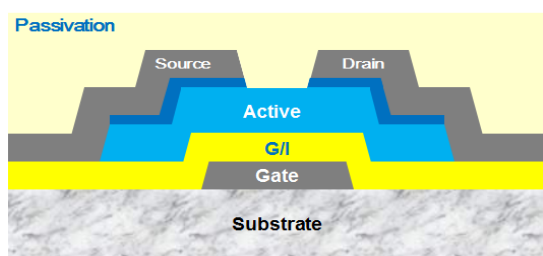


Fig. 1 Cross section of bottom gate (BG) structure TFT

공정 순서는 aluminum (Al)과 molybdenum (Mo)를 스퍼터를 이용하여 연속 증착한 후 photolithography 를 이용하여 게이트 전극을 패터닝 하였다. 이때 Al 과 Mo 를 사용하여 다층구조를 설계한 목적은 컨택저항을 줄이기 위한 것이다. 게이트 인슐레이

터로 사용되는 silicon nitride ( $\text{SiN}_x$ )를 plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD)을 사용하여 350°C에서 증착한다. 그 후  $\text{SiH}_4$  가스를 이용하여 액티브영역으로 사용되는 a-Si:H 을 증착하였으며,  $\text{GeH}_4$ 와  $\text{SiH}_4$ 를 사용하여 a-SiGe:H 을 증착하였다. 이때 Ge 의 구성비는 20%이다. 그리고 P 가 도핑된  $\text{N}^+$  층을 증착하였다. Photolithography 공정을 이용하여 액티브 층을 패터닝 한 후, 스퍼터를 이용하여 source/drain 전극용 Mo 막을 증착하고 패터닝 하였다.  $\text{N}^+$  층을 reactive ion etching (RIE)를 이용하여 드라이 에칭한 후, 마지막으로 소자의 보호를 위해  $\text{SiN}_x$  를 280°C에서 PECVD 를 사용하여 증착 하였다. 제작된 TFT 소자 채널의 폭 (W) 와 길이 (L)는 각각 50  $\mu\text{m}$  와 8  $\mu\text{m}$  이다. 그림 2 는 제작된 TFT 소자의 현미경 사진이고 채널영역은 width 는 25  $\mu\text{m}$ 이고 length 는 8  $\mu\text{m}$ 이다.

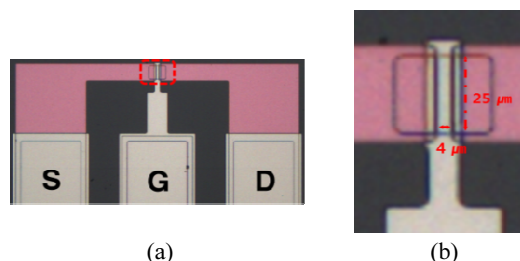


Fig. 2 (a) Microscope image of a-SiGe:H TFT (b) Chanel width and length of a-SiGe:H TFT

그림 2 (a)는 제작된 TFT 소자로 전기적 특성을 평가하기 위해 source, drain, gate 패드를 크게 설계하여 micro positioner 에 probe tip 을 연결하여 전기 신호를 인가할 수 있도록 설계하였다. 그림 2 (a) 점선으로 된 부분은 액티브 영역이고 그림 2 (b)는 TFT 채널영역을 확대한 것으로 TFT 채널영역의 W/L 를 표시하였다.

### 2.2 광 특성 분석 방법

TFT 소자의 채널 영역인 비정질 실리콘은 빛이 입사되면 valence band 의 전자는 빛 에너지에 의하여 conduction band 로 여기가 되고 전자와 정공이 각각 생성이 되어 전기전도도가 증가하게 된다. 광전류는 입사 포톤의 양이 증가하면 증가하게 되는데 이것은 여기되는 전자의 수가 증가하기 때문이다. 비정질 실리콘은 광전도도가 높으며 이러한 성질은 소자의 누설전류를 증가시키므로 응

용면에서는 바람직하지 않다. 따라서 이러한 광전도도를 감소시킬 필요가 있으며 이러한 방법중의 하나가 실리콘 층의 두께를 줄이는 것이다. 실리콘 층의 두께를 줄이게 되면 빛에 의해 생성된 전자와 정공 쌍이 표면에서 다시 재결합하는 비율이 증가하여 전류의 흐름에 기여하지 못하게 되는 것이 원리이다. 광전류의 생성을 억제하기 위하여 TFT 소자의 전기적 특성을 확인할 때에는 빛이 들어오지 않는 상태에서 측정을 진행해야 정확한 데이터를 추출할 수 있으므로 다크박스에서 측정을 하게된다.

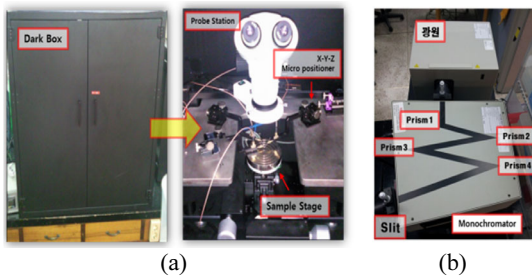


Fig. 3 Measurement system of TFTs, (a) Dark box and probe station, (b) Monochromator

그림 3 (a)는 다크박스로 외부의 빛으로부터 소자를 보호하며 probe station 이 안에 위치하고 있다. Probe station 은 TFT 의 전기적 특성을 측정하기 위한 장비로 현미경과 micro positioner, TFT 소자를 올려놓을 수 있는 sample stage 로 구성되어 있다. Sample stage 는 소자를 고정할 수 있도록 vacuum pump 로 연결되어 있고 상온부터 140℃까지 온도 조절이 가능하다. 또한 stage 를 X 축, Y 축, Z 축으로 이동할 수 있다. 그림 3 (b)은 모노크로미터로 좁은 파장 범위의 빛의 빔을 공급하기 위해 사용하는 장치로, prism 과 slit 을 적당히 조합시켜 백색광에서 원하는 단색광으로 표시해주는 장치이다. 이 장치는 600 nm부터 950 nm의 단색광을 제공한다.

본 연구에 사용된 TFT 의 채널영역은 W/L 각각 50 μm 와 8 μm 이고, a-Si:H TFT 와 a-SiGe:H TFT 를 사용했다. TFT 소자의 측정에 사용된 빛의 광원은 13,300 lx 의 백색광원이고 파장변화에 따른 측정에서는 600 nm부터 950 nm까지 50 nm씩 증가시키며 측정하였다. 또한 화소측정에는 컴퓨터 프로그램을 이용한 구동칩으로 펄스 전압을 인가하고, function generator 를 이용하여 850 nm의 infrared light emitting diode (IR LED)의 빛을 제어하여 소자

의 전기적 특성을 오실로스코프를 사용하여 확인했다.

### 3. 측정 결과

#### 3.1 a-SiGe:H TFT 의 광 특성

그림 4 는 제작된 TFT 의 빛의 조사에 유무에 따른 TFT 들의 I-V 특성을 측정한 것으로 drain 전압은 각각 0.1 V, 1 V, 5 V 를 인가하고 gate 전압은 -20 V 부터 20 V 까지 0.5 V 씩 변화시키며 측정하였다. 이때 TFT 소자에 조사된 빛의 광원은 13,300 lx 의 백색광원을 조사하였다.

그림 4 (b)의 a-SiGe:H TFT 의 off 영역에서 그림 4 (a)의 a-Si:H TFT off 영역에서 보다 hole 전류가 작게 나타나는데 이는 Ge 함량에 따라 defect 이 형성되어 페르미레벨 아래쪽에 다수의 hole trap 이 생기기 때문으로 이해 할 수 있다.

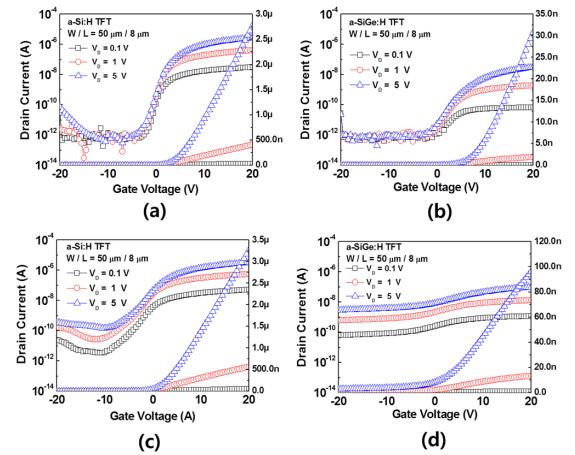


Fig. 4 (a) a-Si:H TFT without light illumination, (b) a-SiGe:H TFT without light illumination, (c) a-Si:H TFT with light illumination, (d) a-SiGe:H TFT with light illumination

그림 5 (a), (b)는 모노크로미터를 사용하여 a-Si:H TFT 와 a-SiGe:H TFT 에 입사되는 빛을 600 nm 부터 950 nm 까지 50 nm 씩 증가 시키며 I-V 특성을 측정한 것이다. 이 때 드레인 전압은 5 V 로 고정, 게이트 전압은 -20 V 부터 20 V 까지 0.5 V 씩 변화시켰다. 모노크로미터 파장의 파워를 일정하게 유지하기 위해 optical 파워미터 킷을 사용하여 0.074 mW/cm<sup>2</sup> 값으로 모노크로미터 파장의 파워를 고정시켜 측정했다. 그림 5 (c), (d)는 암실상태에서

I-V 특성을 측정한 값 (Dark)과 각 파장 별로 측정 한 값 (Photo)을 비교하여 나타낸 것으로 -10 V 의 에 대한 값이다. a-Si:H TFT 는 단과장 영역에서 전류의 변화가 크게 나타나지만, a-SiGe:H TFT 는 장과장 영역에서 상대적으로 전류의 변화가 큰 것을 확인 하였다. Ge 함량에 따라 밴드갭이 감소하게 되고 Si 에 비해 밴드갭이 작기 때문에 Si 으로 그 특성을 얻을 수 없는 1.3 ~ 1.6  $\mu\text{m}$  파장대의 빛을 받아들이는 Si 기반의 광수신 소자에도 사용이 가능하다. 또한 광전류를 생성시키는 적외선 영역의 빛을 추가적으로 흡수함으로써 a-Si:H 보다 상대적으로 광전류가 크다.<sup>13</sup>

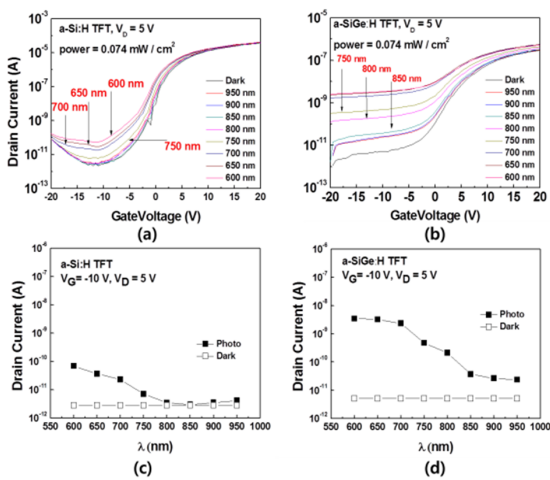


Fig. 5 (a) Dependence of a-Si:H TFT I-V characteristic on light wavelengths, (b) Dependence of a-SiGe:H TFT I-V characteristic on light wavelengths, (c) Dark state and photo state drain current of a-Si:H TFT for various wavelengths, (d) Dark state and photo state drain current of a-SiGe:H TFT for various wavelengths

### 3.2 제작된 photo sensor 측정 방법 및 특성 평가

그림 6 은 function generator 를 사용하여 a-SiGe:H TFT 에 850 nm 의 IR LED 빛을 펄스형태로 주며 drain 으로 흐르는 전류를 picoammeter 로 확인한 것이다. 이 picoammeter 의 출력단자에서 오실로스코프를 사용하여 picoammeter 에 흐르는 전류에 비례하는 전압을 모니터하였다. 그림 6 (a)는 드레인 전압을 5 V 로 고정하고, 게이트 전압을 -5 V, 2 V, 10 V 로 변화시키며 측정한 것이다. 이때

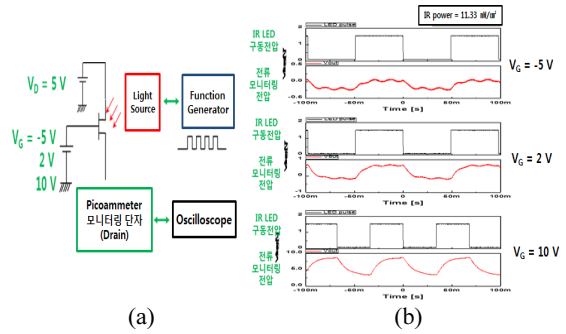


Fig. 6 (a) IR LED measurement system, (b) Photo response of the TFT

function generator 를 사용하여 IR LED 를 구동하고 TFT 소자에 IR 을 조사한 시간은 모두 동일하였다. 그림 6 (b)는 IR 조사에 따른 오실로스코프 전압의 변화로 전류를 측정한 것이다. 흐르는 전류가 클수록 비례하여 오실로스코프의 전압이 커지고, IR 이 조사되는 구간에서 TFT 의 전류가 증가하다 IR 이 조사되지 않으면 전압이 감소하는 것을 확인하였다. TFT 소자에 조사된 IR 의 파워는  $11.33\text{ mW/cm}^2$  이다. 이 실험은 TFT 의 빛의 변화에 따른 광전류 반응 정도를 확인하기 위한 것으로 빛의 변화에 따라 TFT 소자가 반응하는 시간을 보고자 한 것이다. 게이트 전압이 -5 V 로 작은 전류가 흐를 때는 빛의 변화에 따라 전류가 천천히 증가하고 천천히 감소하는 반면 게이트 전압이 10 V 로 큰 전류가 흐를 때는 빛의 변화에 따라 전류가 빨리 증가하고 빨리 감소한다. 이 실험을 통해 TFT 가 빛에 의해 반응하는 시간을 확인 할 수 있고 센서의 감지에 필요한 구동 펄스를 설계하는데 참고할 수 있다.

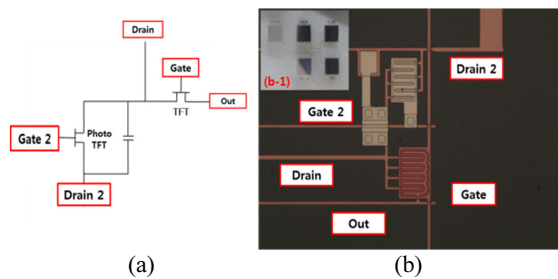


Fig. 7 (a) The equivalent sensor circuit, (b) Photomicrography of fabricated sensor circuit

그림 7 은 제작된 회로회로로 그림 7 (a)는 등가 회로이며 1 개의 switching (SW) TFT 와 photo TFT

로 구성되어 있다. 그리고 SW TFT 와 photo TFT 각각의 TFT 동작 유무를 확인할 수 있도록 회로 중간에 drain 전압을 인가할 수 있는 패드를 별도로 설계하였다. 그림 7 (b)는 제작된 화소회로의 현미경 사진이고 그림 7 (b-1)은 실제 제작된 화소회로 소자이다.

그림 8 (a)는 제작된 화소회로의 측정 시스템으로 포토센서 TFT 에는 게이트 전압을 -10 V 인가하고 드레인 전압에는 5 V 를 인가하였다. 그리고 함수 발생기를 이용 IR LED 의 빛을 제어하여 photo TFT 에 조사하였고, SW TFT 에는 게이트 전압 -5 V 에서 25 V 로 펄스 전압을 인가하였고, 출력 전압을 확인하기 위해 out 패드에는 게이트 전압과 동일한 펄스를 인가하였다. 동작순서는 SW TFT 게이트에 게이트 전압이 25 V 로 높게 인가되면 SW TFT 가 온이 되고, out 단자쪽으로 들어오는 전압이 25 V 로 높게 될 때 Q 점은 초기화된다.

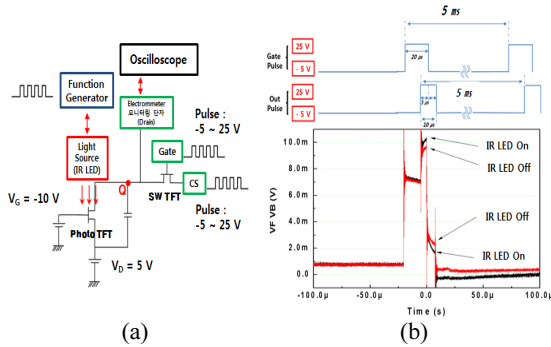


Fig. 8 (a) Measurement system of fabricated sensor circuit, (b) Timing diagram of fabricated sensor circuit and measurement results

게이트 전압이 -5 V 로 낮아지면 Q 의 전압은 photo TFT 의 포토전류에 의해 감소하게 되며 SW TFT 의 게이트 전압이 25 V 로 높게 되면 out 단자로 Q 점의 전압이 나타나게 된다. 이때 포토센서에 IR LED 빛의 조사 유무에 따라 포토 TFT 의 누설 전류가 변하게 되고 출력 전압이 변하게 된다. Q 점이 처음 초기전압상태에서 photo TFT 의 누설전류에 의해 Q 점의 전압이 감소하게 되는데 Q 점의 전압 변화를 관찰하는 것이 어려운데 electrometer 를 활용하여 Q 점의 전압변화를 관찰하였다. 그림 8 (b) 가 Q 점의 전압 변화를 보여주고 있다. IR 가 LED on 의 경우, 포토 전류가 증가하며 게이트 펄스와 out 펄스 신호와 함께 Q 점의 전압이 높은 전압으

로 빠르게 충전이 된다. 게이트 전압이 off 전압일 때 Q 점의 전압은 포토센서 TFT 의 포토전류에 의해 천천히 전압이 낮아지게 된다. 광전류가 줄어들고 Q 점의 전압은 많이 감소하지 않고 초기전압을 거의 유지하게 된다. 그러나, dark 상태 누설전류가 증가하면 Q 점의 전압이 많이 감소할 수 있고 회로의 최적화가 필요하다. 그림 8 에서는 LED off 의 경우 상대적으로 LED on 보다는 방전이 적으나 많은 전압 저하를 보여 주고 있으며, 포토 TFT 의 최적화가 좀 더 필요하며 누설전류를 더욱 줄이는 설계가 필요하다.

#### 4. 결론

일반적인 터치패널은 두께, 내구성, 가격, 투과율 등의 문제점을 가지고 있는 반면에 TFT backplane 공정을 이용한 내장형 터치패널은 기존의 TFT 공정을 이용하여 공정비용을 절감할 수 있고 backplane 에 집적되기 때문에 투과율 또한 향상되는 등 다수의 문제들을 해결할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 TFT backplane 공정을 이용하여 터치기능을 내제할 수 있는 포토센서를 제작하고 그 특성을 평가하였다. 현재 FPD 에서 넓은 범위에서 사용되고 있는 a-Si:H TFT 와 적외선 영역에서 전기적 특성이 변하는 a-SiGe:H TFT 소자를 제작하고 적외선 포토센서 회로를 구현하여 디스플레이 패널에 적용가능한지 검증하였다.

Ge 을 이용하여 제작된 TFT 소자는 Ge 함량이 증가할수록 결함밀도가 증가하게 되고 band gap 의 크기가 감소하게 되어, a-SiGe:H TFT 가 장파장 영역에서 a-Si:H TFT 에 비해 전자-전공 쌍의 생성이 증가하여 photo 전류가 상승하게 된다. 이 두 TFT 소자의 다른 전기적 특성을 이용하여 photo TFT 와 SW TFT 로 구성된 IR 포토센서 화소회로를 제작했다.

제작된 포토센서 화소회로는 10<sup>-12</sup>~10<sup>-13</sup> 영역의 작은 전류를 신호로 사용하기 때문에 이 신호를 검출하기 위해서는 아주 작은 전류까지 측정할 수 있는 정밀한 측정장비가 필요하다. 본 연구에서 a-SiGe:H 광전류 측정결과 a-Si:H 에 비해 IR 영역 파장에서 전기적 특성의 변화가 상대적으로 큰 것을 확인했고, 개발된 센서 회로에서도 850 nm의 빛에서 전기적 특성이 변화가 큰 것을 측정된 결과를 통해서 확인할 수 있었다.

본 연구를 통해 내장형 터치패널에 적용이 가

능한 포토센서 소자 및 회로를 개발하고 디스플레이 제품에 대한 적용가능성을 검증하고 평가하였다. A-SiGe:H TFT의 IR 감도가 a-Si:H TFT 보다 우수함을 보였고, 이 두 TFT로 구성된 IR 센서회로의 동작을 확인하고 검증하였으며, IR 센서회로로 사용될 수 있는 가능성을 확인하였다.

## 후 기

본 과제(결과물)는 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 산학협력 선도대학(LINC)사업의 연구결과입니다.

## 참고문헌

- Kim, J. A., Kim, J. W., Eom, T. B., and Kang, C. S., "Development of Signal Conditioning Circuit for Capacitive Displacement Sensors and Performance Evaluation," J. of the KSPE, Vol. 24, No. 9, pp. 60-67, 2007.
- Choi, J. S., Jang, H. W., Lee, S. R., Bae, S. H., Yu, B. C., An, I. H., and Lim, D. S., "Liquid Crystal Display Device Using an Infrared Light Source and a Multi Touch System Using the Same, Capable of Displaying an Image by Using Light Incident from a Backlight," KR Patent, No. 1020070141967, 2007.
- den Boer, W., Abileah, A., Green, P., and Larsson, T., "Active Matrix LCD with Integrated Optical Touch Screen," SID'03 DIGEST, pp. 1494-1497, 2003.
- Brown, C., Kato, H., Tanaka, K., and Sugita, Y., "A System LCD with Integrated Infra-Red Sensing Optical Touch Panel," IDW'09, pp. 2139-2142, 2009.
- Lee, S. Y., Park, H. S., and Han, M. K., "A Touch-Sensitive Display with Embedded Hydrogenated Amorphous-Silicon Photodetector Arrays," The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 58, No. 11, pp. 2219-2222, 2009.
- Tanaka, K., Kato, H., Sugita, Y., Usukura, N., and Kawamori, H., "A System LCD with Optical Input Function using Infra-Red Backlight Subtraction Scheme," SID Symposium Digest of Technical Papers, Vol. 41, pp. 680-683, 2010.
- Kim, S. H., Kang, M. H., Hur, J. H., and Jang, J., "AM displays with imbedded photo-sensors," IDW'09, pp. 2135-2138, 2009.
- Woo, D. W., "Design of readout circuit with dual slope correction for photo sensor of LTPS TFT-LCD," Journal of the Institute of Electronic Engineers of Korea, Vol. 46, No. 6, pp. 31-38, 2009.
- Kang, D. J., Park, J. W., and Song, C. S., "A Study on the Non-contact Measurement for the Temperature of Shadow Mask of Cathode Ray Tube Using InSb Photo Sensor," J. of the KSPE, Vol. 14, No. 3, pp. 15-20, 1997.
- Seo, P. W., Ryu, Y. K., and Oh, C. S., "Development of an Optical Sensor for Inspection the Shape of the Transparent Flat Glass for Flat Panel Display," J. of the KSPE, Vol. 24, No. 4, pp. 36-43, 2007.
- Lee, M. J., Song, W. J., Lee, S. H., Lee, Y. H., Kim, M. H., and Kim, H. D., "Photosensor Device for Including the Optical Sensor Offering the Touch Panel Function Using the Optical Sensor, and Optical Sensor and Display Device Including the Same," KR Patent, No. 101022651, 2009.
- Hadwen, B. J. and Brown, C. J., "Photosensor and Ambient Light Sensor," KR Patent, No. 102009 7008155, 2009.
- Lee, S. Y., "SiGe Alloys for Electronic Device Applications," Journal of the Korean Vacuum Society, Vol. 20, No. 2, pp. 77-85, 2011.