

## 단일 a-InGaZnO 박막 트랜지스터를 이용한 정전용량 터치 화소 센서 회로

강인혜<sup>1</sup> · 황상호<sup>1</sup> · 백영조<sup>1</sup> · 문승재<sup>1,2</sup> · 배병성<sup>1,+</sup>

### Capacitive Touch Sensor Pixel Circuit with Single a-InGaZnO Thin Film Transistor

In Hye Kang<sup>1</sup>, Sang Ho Hwang<sup>1</sup>, Yeong Jo Baek<sup>1</sup>, Seung Jae Moon<sup>1,2</sup>, and Byung Seong Bae<sup>1,+</sup>

#### Abstract

The a-InGaZnO (a-IGZO) thin film transistor (TFT) has the advantages of larger mobility than that of amorphous silicon TFTs, acceptable reliability and uniformity over a large area, and low process cost. A capacitive-type touch sensor was studied with an a-IGZO TFT that can be used on the front side of a display due to its transparency. A capacitive sensor detects changes of capacitance between the surface of the finger and the sensor electrode. The capacitance varies according to the distance between the sensor plate and the touching or non-touching of the sensing electrode. A capacitive touch sensor using only one a-IGZO TFT was developed with the reduction of two bus lines, which made it easy to reduce the pixel pitch. The proposed sensor circuit maintained the amplification performance, which was investigated for various drive conditions.

**Keywords:** Capacitive sensor, Touch sensor, a-IGZO Thin Film, Transistor (TFT), Pixel circuit

#### 1. 서 론

디스플레이 기관의 소자로서 비정질 실리콘 박막 트랜지스터가 널리 사용이 되고 있으며 최근 산화물 박막 트랜지스터가 디스플레이 기관에 적용이 되고 있다. 산화물 반도체는 비정질 실리콘 소자와 같이 공정비용이 낮으면서도 비정질 실리콘에 비해 높은 이동도를 가지기 때문에 AM OLED (Active Matrix Organic Light Emitting Diode) 화소 회로, 게이트 드라이버 및 기타 집적 회로 등에 적용되었을 때 비정질 실리콘 TFT (Thin-Film Transistor)에 비해 우수한 특성을 확보할 수 있다. 최근의 디스플레이에는 전면 터치 기능이 중요해지고 있고 이의 내재화 연구개발도 진행되어 제품에 적용되고 있다. 그리고 전자 기기의 터치 기능에 대한 요구가 급격히 증가됨에 따라 TFT를 응용한 다양한 터치 센서 개발 또한 연구가 되어야 한다[1-4].

스마트폰과 태블릿 PC 등의 보급은 기존 모바일 기기에서 주로 사용되던 입력 장치 대신 터치 센서라는 새로운 입력 장치의 대중화를 불러왔다. 터치 센서의 방식은 크게 저항막, 적외선, 초음파, 정전용량 방식으로 나뉜다. 정전용량 방식은 잡음에 민감하고 제조 단가가 비싸지만 고스트 효과(ghost effect) 없이 멀티 터치를 할 수 있고 광학적 특성과 내구성이 우수한 특징 때문에 현재 가장 널리 사용되고 있다[5-7].

정전용량 방식의 터치 센서의 작동 원리는 그림 1과 같이 상호 정전용량 방식(mutual capacitance)과 자기 정전용량 방식(self-capacitance)으로 분류된다. 그림 1(a)인 상호 정전용량 방식은 손가락 접촉 시 전극과 전극 사이의 정전용량이 감소하는 것을 감지하는 방식이다. 상호 정전용량 방식을 적용할 경우 멀티 터치를 구현할 수 있다. 하지만 좁은 공간 내에 많은 전극을 형성하기 때문에 구현이 복잡하고 제조 비용이 많이 들어 저가 제품에는 적용하기 어렵다. 그림 1(b)인 자기 정전용량 방식은 손가락 접촉 시 전극과 인체를 통한 그라운드 사이에 발생하는 전기용량의 변화를 감지하는 방식이다. 자기 정전용량 방식은 동작 원리가 간단하고 저가형으로 구현 가능한 장점이 있다[8,9].

수동 전극 매트릭스를 이용한 정전용량 방식의 터치 센서는 구동 노이즈 및 저항 등의 문제점들이 있어 높은 정밀도와 터치 감도를 위해서는 TFT를 사용하는 정전용량 방식의 터치 센서가 필요하다. TFT를 사용하는 터치센서는 높은 정밀도와 감도로 정밀 전자 장치에 적합하다. 수동 전극 매트릭스 터치 센서의 단점을 극복하기 위해 pseudo-CMOS 구조와 bulk-

<sup>1</sup> 호서대학교 전자디스플레이공학부(School of Electronics & Display Engineering, Hoseo University)

20, Hoseo-ro 79beon-gil, Baebang-eup, Asan-si, Chungcheongnam-do, Korea

<sup>2</sup> Dept. of microelectronics & Microsensors IETR, University Rennes 1, Rennes 35042, France

<sup>+</sup>Corresponding author: bsbae3@hoseo.edu

(Received: Dec. 27, 2018, Revised: Mar. 27, 2019, Accepted: Mar. 29, 2019)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

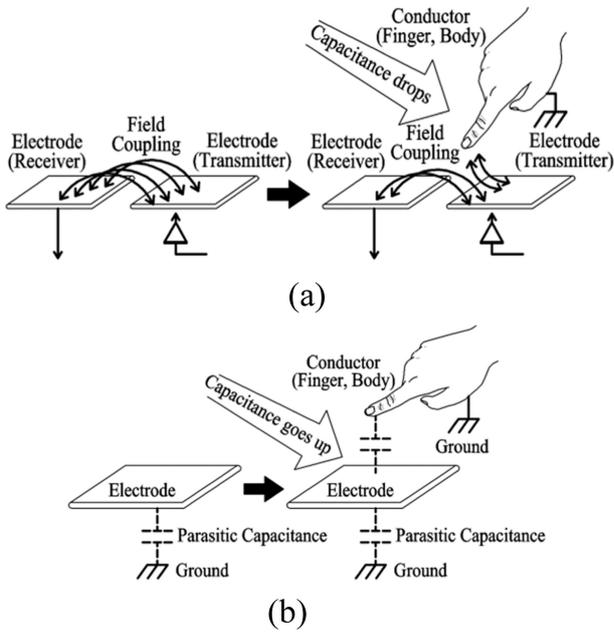


Fig. 1. Capacitive-type touch sensor ; (a) Mutual capacitance type, (b) Self-capacitance type [10].

accumulation a-IGZO TFT를 이용한 고속 정전 용량 터치 센서 회로가 발표되었다[11]. 이 회로는 터치 감지를 위한 고속 출력을 달성했지만 비교적 복잡한 구동 클럭을 필요로 한다. 센서의 신호 라인의 수를 최소화하는 것이 내구성 뿐만 아니라 고해상도 터치센서 구성에 필수적이다.

논문에서는 signal line의 수를 최소화하여 면적이 작으며 간단하게 구동할 수 있고 성능이 우수한 a-IGZO (amorphous indium-gallium-zinc-oxide) TFT 기반의 정전용량 방식 터치 센서 회로를 개발하고 입출력 특성을 분석하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 a-IGZO TFT

A-IGZO TFT 기반의 정전용량 방식의 터치 센서를 구현하기 위해 그림 2의 A-A', B-B' 단면도와 같은 a-IGZO TFT 화소 센서를 제작했다. TFT의 기생용량은 회로의 동작 속도를 느리게 하기 때문에 게이트와 소스/드레인 사이의 기생용량을 감소시켜 소자의 동작 속도를 더 높일 수 있는 자기 정렬(self-alignment) 방식의 top gate 구조를 채택했다.

#### 2.1.1 a-IGZO TFT의 제작

기판은 유리를 사용하여 세정 후 active layer를 형성하였다. RF 스퍼터링으로 a-IGZO를 50 nm의 두께로 증착 후 습식 에칭으로 패턴 형성하고, 250°C, O<sub>2</sub> 분위기에서 1시간 동안 열처리했다. 게이트 절연막은 SOG (spin on glass) 로 형성되었으며

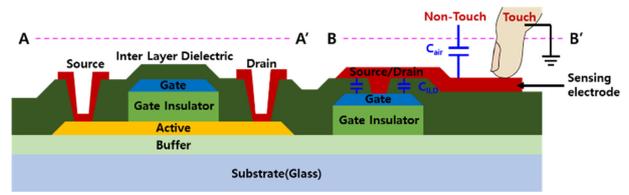


Fig. 2. Cross section of top gate a-IGZO TFT pixel sensor.

methyl siloxane 용액 재료를 스핀 coating하고 180°C에서 3분 동안 hard bake 후 450°C, N<sub>2</sub> 분위기에서 1시간 동안 열처리를 통해 300 nm 두께의 절연막을 형성했다. 게이트 층은 DC 스퍼터링으로 Cr을 150 nm 두께로 증착 후 습식 에칭으로 패턴 형성하였고, 자기 정렬 구조이기 때문에 게이트 패턴을 마스크 삼아 게이트 패턴 이외 부분의 절연막을 건식 에칭 하였다. 소스/드레인 전극 영역의 도핑을 위해 산소 플라즈마 처리를 하였다. 이후 층간 절연막은 게이트 절연막과 같이 SOG를 이용하였으며 methyl siloxane 용액을 스핀 코팅 후 180°C에서 3분 동안 hard bake 하고 300°C, N<sub>2</sub> 분위기에서 1시간 동안 열처리하였다. 소스/드레인 층과 active layer의 접점을 위해 층간 절연막을 건식 에칭하여 contact hole을 형성하였다. 마지막으로 소스/드레인 전극은 DC 스퍼터링으로 Al을 150 nm 두께로 증착 후 습식 에칭으로 형성하였다.

#### 2.1.2 a-IGZO TFT의 전기적 특성

그림 3은 위와 같은 공정을 통해 제작된 80 μm의 폭과 20 μm의 길이를 가지는 a-IGZO TFT의 transfer curve를 보여준다. 빛에 의한 특성 변화를 방지하기 위하여 암실에서 측정하였다. 드레인에 0.1, 1, 5, 10 V의 전압을 인가하고, 게이트 전압을 0.5 V 간격으로 -15~15 V까지 가변하면서 전류를 측정했다. 측정 결과는 V<sub>DS</sub>가 10 V일 때, 문턱전압이 0.37 V, 이동도는 2.88 cm<sup>2</sup>/V·s, S.S. (sub-threshold slope)은 0.40 V/dec, on/off 전류비는 9.64 × 10<sup>6</sup>였다. 제작된 TFT를 바탕으로 회로를 시뮬레이션하기 위

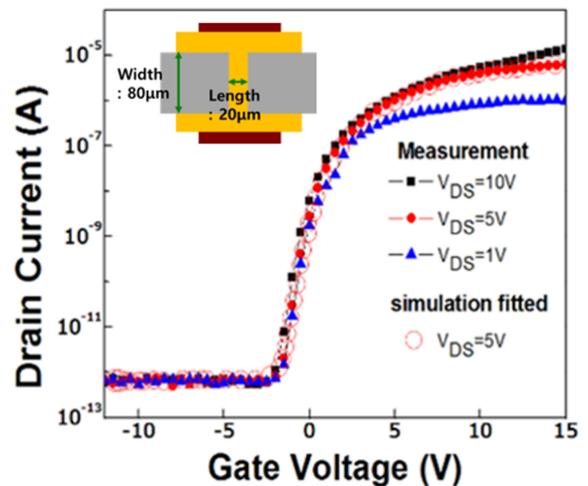


Fig. 3. Transfer characteristics of a-IGZO TFT.

해 TFT 파라미터를 구하였다.

## 2.2 정전용량 터치 센서 회로 시뮬레이션

### 2.2.1 정전용량 터치 센서의 원리

정전용량의 손가락은 상부 전극이 되고 센싱 전극은 하부 전극이 된다. 이 두 전극사이에는 층간 절연막과 공기 층이 있다. 자기 정전용량 방식의 터치 센서는 각각의 정전용량 차이로 동작을 하기 때문에 유전체의 두께와 유전상수를 알면 터치했을 때와 터치하지 않았을 때의 정전용량 값을 알 수 있다. 본 연구에서는 SOG를 사용한 층간 절연막의 두께와 유전 상수가 각각 300 nm과 3.0이었다. 손가락이 닿았을 때의 정전용량  $C_{touch}$ 와 닿지 않았을 때의 정전용량  $C_{non-touch}$ 는 다음 식으로 표현된다.  $C_{ILD}$ 는 층간 절연막의 정전용량,  $C_{air}$ 는 공기층의 정전용량이다.

$$C_{touch} = \frac{1}{C_{ILD}} \quad (1)$$

$$C_{non-touch} = \frac{1}{C_{ILD}} + \frac{1}{C_{air}} \quad (2)$$

### 2.2.2 제안한 정전용량 터치 센서 회로의 동작 원리

그림 4는 정전용량 터치 센서 회로도이다. 그림 4(a)는 charge sharing type의 기존 정전용량 터치 센서 회로도이고, 그림 4(b)는 제안한 정전용량 터치 센서 회로도이다.

기존 회로 동작에는 4개의 신호선(Scan n, Scan n+1, Data, Readout)과 2개의 TFT가 필요하다. 하지만 제안한 정전용량 터

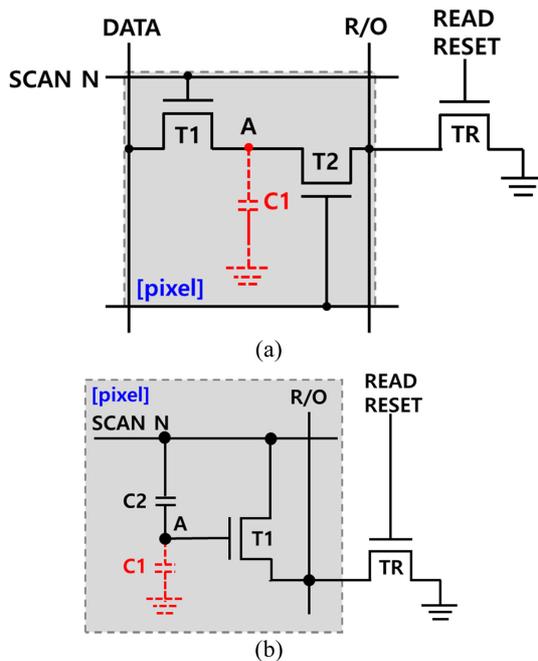


Fig. 4. (a) Reference circuit for the capacitive touch sensor, (b) Proposed circuit for the capacitive touch sensor.

치 센서 회로도에는 화소 내 TFT를 한 개만 사용하여 TFT의 게이트 전극과 스캔라인 사이에 정전용량을 구성하여 감도를 높인 회로이다. 이 회로는 2개의 신호선(Scan n, Readout)과 1개의 TFT, 2개의 정전용량( $C1$ ,  $C2$ )으로 구성되어 있다. 회로도에  $C1$ 이 표시되어 있지만,  $C1$ 은 센싱 전극에 손가락이 닿았을 때 생성되는 접촉 기생용량이다. TR은 화소 외부에 존재하여 reset 시켜주는 역할을 한다.

제안한 회로는 구성이 간단한 만큼 동작 원리도 간단하다. 센싱 전극에 손가락이 닿았을 경우, 정전용량( $C1$ )의 크기가 증가함에 따라 scan n 라인이 high 전압이 되도 node A의 전압은 상승하지 못하여 T1의 게이트 전압의 증가가 미미하게 되고, 소스/드레인 전극 사이에 흐르는 전류도 증가하지 않게 된다. 손가락이 닿지 않았을 경우에는 센싱 전극과 손가락 사이의 정전용량은 상대적으로 작으며, scan n 라인이 high 전압이 되면 node A의 전압도 상승하여 T1의 게이트 전압이 증가하고, 전류도 증가한다.

Scan n 라인의 전압이 low 전압이 되면 node A의 전압은 같이 낮아지게 된다. Scan n 라인과 T1의 게이트 전압의 연결 부분은 저항 성분에 의해 연결되어 있는 상태가 될 수 있지만, 둘 사이의 정전용량은 매우 작아서 서로 전위가 같아지려고 하므로 안정된 동작을 할 수 있다.

정전용량 터치 센서 회로를 시뮬레이션 하여 그림 5와 같이

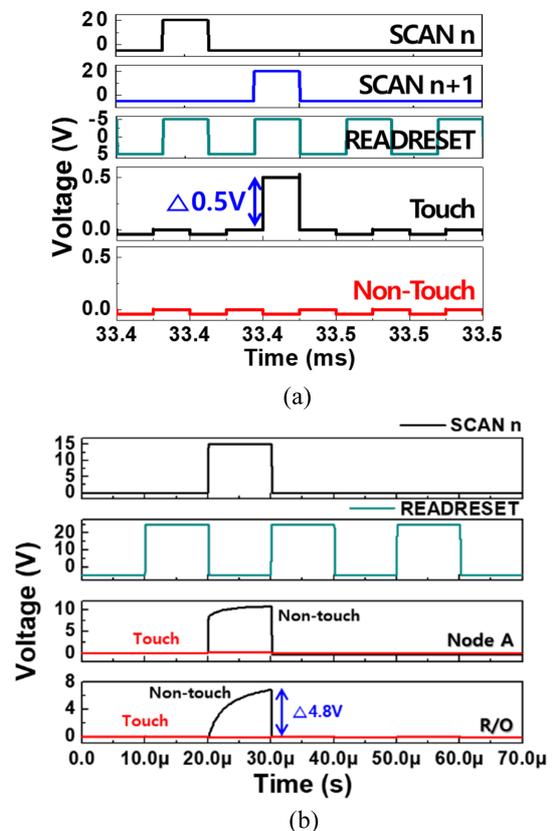


Fig. 5. Simulation results; (a) the reference circuit, (b) the proposed circuit.

입력 전압과 파형에 따라 출력 파형을 나타냈다. 시뮬레이션 결과, 기존 회로는 손가락이 닿았을 때와 닿지 않았을 때의 전압 차이는 약 0.5 V이다. 그리고 제안한 회로는 손가락 접촉 시에 센싱 전극의 정전용량이 증가하여 전압의 증가가 줄어들어 출력 전압은 거의 0이 되며, 손가락이 닿았을 때와 닿지 않았을 때의 전압 차이가 약 4.8 V임을 보였다. 기존 회로는 charge sharing type의 회로이기 때문에 트랜지스터에 의한 증폭으로 출력 전압이 약 4.8 V인 제안한 회로에 비해 매우 낮은 출력을 갖는다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 정전용량 터치 센서 제작 및 평가

##### 3.1.1 제안한 정전용량 터치 센서 제작

그림 6(a)는 제작된 정전용량 터치 센서 픽셀의 현미경 사진이다. 그림 6(a)의 마스크 설계도와 비교했을 때 contact hole 공정에서 misalignment가 발생했지만 오차범위 안에서 제작되어 정상 동작함을 확인했다. 그림 6(a)에서 A-A', B-B'의 단면도는 그림 2에 나타나 있다. 제안한 정전용량 터치 센서 회로를 W/

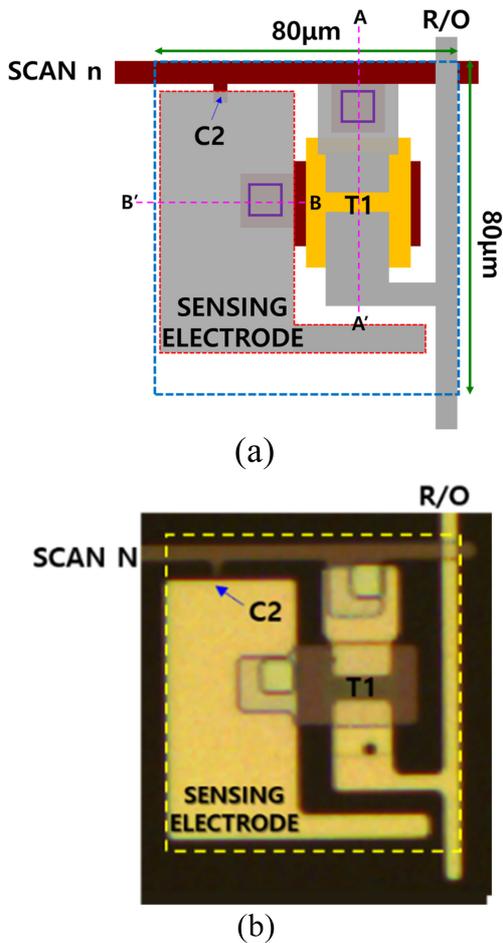


Fig. 6. (a) Mask design, (b) Microscope image.

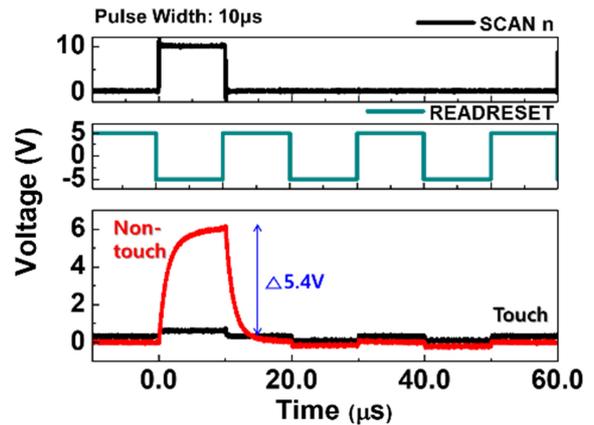


Fig. 7. The measurement result of the proposed circuit.

L가 10/11인 a-IGZO TFT기반에  $80 \times 80 \mu\text{m}^2$  크기 안에 설계를 했고, 센싱 전극의 면적은  $2449 \mu\text{m}^2$ 이다.

##### 3.1.2 제안한 정전용량 터치 센서 측정

그림 7은 제안한 정전용량 터치 센서의 측정 결과이다. Scan n 라인에는 0~15 V, readreset 라인에는 -5~25 V 전압을 인가하였으며, 펄스 폭은 10  $\mu\text{s}$ 이다. 이때 손가락이 닿았을 때와 닿지 않았을 때의 전압 차는 약 5.4 V이다.

##### 3.1.3 제안한 정전용량 터치 센서의 특성 분석

그림 8~11은 제안된 정전용량 터치 센서의 구동 조건을 변화시켜 출력 특성 분석을 수행했다.

먼저 그림 8은 readreset line의 전압을 25 V로 고정시키고, 스캔라인의 전압을 1, 5, 10, 15, 20, 25 V로 변화시켜 출력 전압의 특성을 측정하였다. 이 때, rise time과 fall time의 큰 변화 없이 스캔라인의 전압 변화에 따라 출력 전압이 변한다.

그림 9는 스캔라인의 전압을 20 V로 고정시키고, readreset line의 전압을 0, 1, 5, 10, 15, 20, 25 V로 변화시켰다. 스캔라인의 전압만큼 출력 전압을 출력하려면 readreset 전압이 1 V

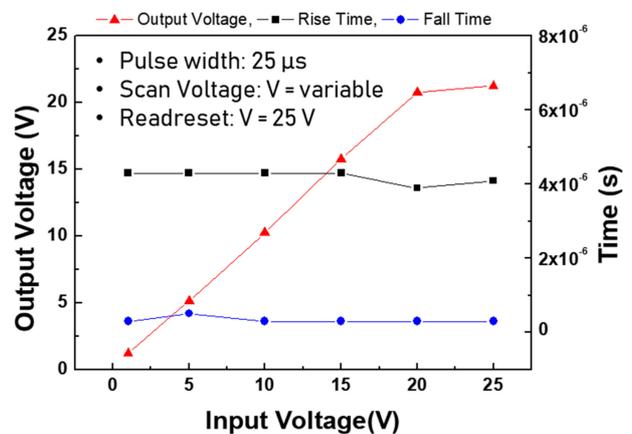


Fig. 8. Output characteristics according to the voltages of a scan line.

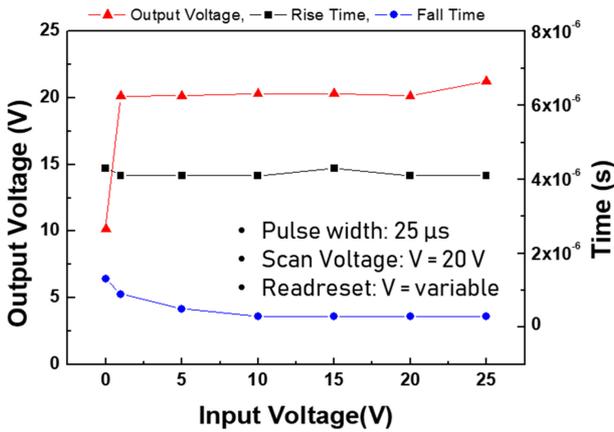


Fig. 9. Output characteristics according to the voltages of a readreset line.

이상이어야 한다.

그림 8과 9의 결과로 스캔라인의 전압만큼 전압이 출력되려면 readreset 전압이 필요하며, 그 전압은 TFT를 on시킬 수 있는 정도의 전압 정도면 충분하다는 것을 알 수 있다. 그리고

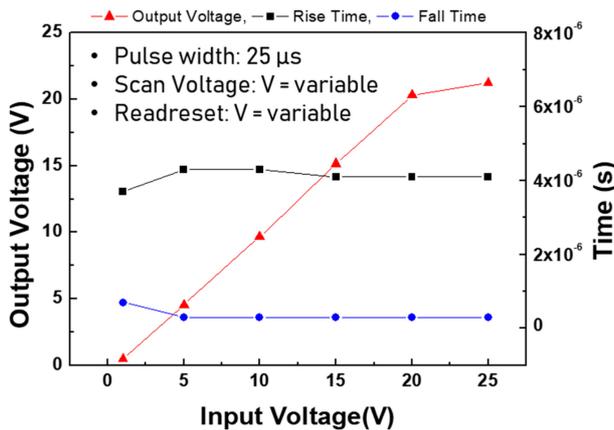


Fig. 10. Output characteristics according to the voltages of scan line and readreset line.

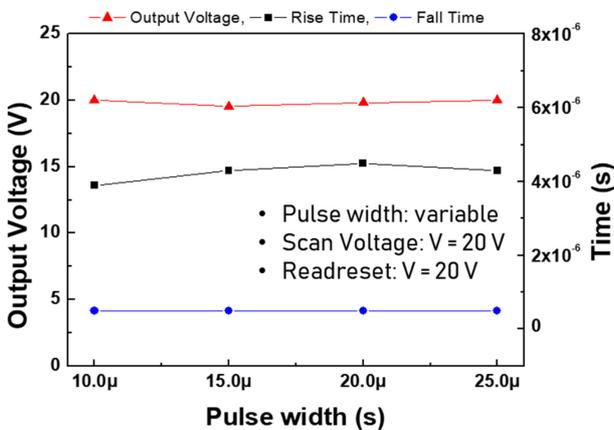


Fig. 11. Output characteristics according to the pulse widths of scan and readreset line.

Readreset 전압이 높아질수록 rise time과 fall time이 감소하는 경향이 있지만 그 변화는 미미하다.

그림 10은 스캔라인과 readreset line의 전압을 모두 1, 5, 10, 15, 20, 25 V로 변화시켰다. 회로 내 T1의 문턱전압은 1 V 이상으로 입력 전압을 1 V 이상을 인가해야 정상 출력이 된다. 스캔라인의 전압만큼 정상 작동 상태로 출력되려면 스캔라인의 전압은 5 V 이상이어야 한다.

그림 11은 스캔과 readreset line의 펄스폭을 10, 15, 20, 25 μs 로 변화시켰다. 정상 출력되기 위해서는 펄스폭이 10 μs 이상이 어야 함을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 사용 소자의 수를 줄이고 간단하게 구동할 수 있는 a-IGZO TFT 기반의 정전용량 방식의 터치 센서 회로를 개발하여 특성 분석을 하였다. 제안된 회로는 화소 면적이  $80 \times 80 \mu\text{m}^2$  크기이고 센싱 전극의 면적이  $2449 \mu\text{m}^2$ 이었으며 a-IGZO TFT의 채널 폭과 길이의 비는 10/11이었다. 손가락이 닿았을 때와 닿지 않았을 때의 전압 차이가 5.4 V로 기존의 회로보다 매우 우수한 성능을 보였다. 이러한 우수한 성능은 회로에 구성된 bootstrap 전기용량에 의한 것으로 간단한 회로로 우수한 특성을 얻을 수 있었으며 작은 화소 안에 쉽게 터치 센서를 구성할 수 있는 장점이 있다.

#### 감사의 글

이 연구는 2018년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원 (KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(10079974, 스트레처블 디스플레이를 위한 20% 이상 신축성을 갖는 백플레인, 발광화소용 소재·소자·공정 원천 기술 개발).

#### REFERENCES

- [1] Y. H. Tai, H. L. Chiu, and L. S. Chou, "Active matrix touch sensor detecting time-constant change implemented by dual-gate IGZO TFTs", *Solid-State Electron.*, Vol. 72, pp. 67-72, 2012.
- [2] D. Geng, Y. F. Chen, and M. Mativenga, "Touch sensor array with integrated drivers and comparator using a-IGZO TFTs", *IEEE Electron Device Lett.*, Vol. 38, No. 3, pp. 391-394, 2017.
- [3] Y. Chen, D. Geng, and J. Jang, "32-2: High-speed capacitive touch sensor with pseudo-CMOS buffer using a-IGZO TFTs on plastic", *SID Symp. Dig. Tech. Pap.*, Vol. 47, No. 1, pp. 408-411, 2016.
- [4] Y. Chen, D. Geng, and J. Jang, "63-3: Capacitive touch sen-

- tor using a-IGZO TFTs for flexible AMOLED”, *SID Symp. Dig. Tech. Pap.*, Vol. 48, No. 1, pp. 934-937, 2017.
- [5] Y. Chen, D. Geng, and J. Jang, “Integrated active-matrix capacitive sensor using a-IGZO TFTs for AMOLED”, *IEEE J. Electron Devices Soc.*, Vol. 6, pp. 214-218, 2018.
- [6] T. Osada, K. Akimoto, T. Sato, M. Ikeda, M. Tsubuku, J. Sakata, J. Koyama, T. Serikawa, and S. Yamazaki, “Development of liquid crystal display panel integrated with drivers using amorphous In–Ga–Zn–Oxide thin film transistors”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 49, No. 3, pp. 03CC02(1)-03CC02(4), 2010.
- [7] Y. J. Tak, S. P. Park, T. S. Jung, H. Lee, W. G. Kim, J. W. Park, and H. J. Kim, “Reduction of activation temperature at 150°C for IGZO films with improved electrical performance via UV-thermal treatment”, *J. Inf. Disp.*, Vol. 17, No. 2, pp. 73-78, 2016.
- [8] P. Coni, J. N. Perbet, Y. Sontag, and J. C. Abadie, “31.2: Eliminating ghost touches on a self-capacitive touchscreen”, *SID Symp. Dig. Tech. Pap.*, Vol. 43, No. 1, pp. 441-414, 2012.
- [9] C. Luo, “A low power self-capacitive touch sensing analog front end with sparse multi-touch detection”, *2014 IEEE Int. Conf. on Acoust. Speech Signal Process. (ICASSP)*, pp. 3007-3011, Florence, Italy, 2014.
- [10] Imagis technology, “A calibration method for increasing the touch of a capacitive touch sensor sensitivity of the self capacitance”, KR Patent 101620830B1, 10 Nov., 2015.
- [11] Y. Chen, D. Geng, and J. Jang, “High-speed pseudo-CMOS circuits using bulk accumulation a-IGZO TFTs”, *IEEE Electron Device Lett.*, Vol. 36, No. 2, pp. 153-155, 2015.