

인듐틴옥사이드와 몰리브데늄을 이용한 외부 기준 저항이 필요 없는 온도센서

전호식 · 배병성[†]

Temperature sensor without reference resistor by indium tin oxide and molybdenum

Jeon, Ho Sik and Bae, Byung Seong[†]

Abstract

Display quality depends on panel temperatures. To compensate it, temperature sensor was integrated on the panel. The conventional temperature sensor integrated on the panel needs external reference resistor. Since the resistance of external resistor can vary according to the variation of the environment temperature, the conventional temperature sensor can make error in temperature sensing. The environmental temperatures can change by the back light unit, driving circuits or chips. In this paper, we proposed a integrated temperature sensor on display panel which does not need external reference resistor. Instead of external reference resistor, we used two materials which have different temperature coefficient in resistivity. They are connected serially and the output voltage was measured at the point of connection with the applied voltage to both ends. The proposed sensor was fabricated with indium tin oxide(ITO), and Mo metal electrode temperature sensor which were connected serially. We verified the temperature sensor by the measurements of sensitivity, linearity, hysteresis, repeatability, stability, and accuracy.

Key Words : temperature sensor, indium tin oxide(ITO), molybdenum(Mo), flat panel display

1. 서 론

박막 트랜지스터(thin film transistor ; TFT) 를 사용하는 liquid crystal display(LCD)나 organic light emitting diode(OLED) 등의 디스플레이 화질은 패널의 구성요소인 배선저항, 그 외에 사용되는 여러 재료들이 온도에 따라서 특성의 변동이 생기고, 온도의 변화에 따라 디스플레이 화질이 변하게 된다. LCD의 경우 온도가 변하면 액정의 유전 이방성, 스위칭 소자로 사용이 되는 TFT의 전압 전류 특성, 기생용량 등의 특성들이 변하고 화질의 변동이 생기며 대표적으로는 온도의 변화에 따라서 플리커가 증가한다¹⁻⁴. 플리커는 매 화면 마다의 밝기 차이가 사람 눈에 감지되는 것으로 주

기적인 밝기의 변화가 화면을 보는 사람의 피로를 증가시키고 불편함을 증가 시키므로 감소 시켜야 한다. 플리커를 줄이기 위하여 패널에 온도센서를 집적하여 패널의 온도를 모니터링 하고 화면의 피드백을 제어하여 온도 변화에 따른 화질의 변화를 보상한 보고가 있다^{4,5}.

OLED는 전류구동형의 디스플레이 장치로서 소자에 흐르는 전류값이 클수록 밝기도 증가한다. 주변 온도가 증가하면 소자에 흐르는 전류가 증가하게 되고 휘도가 증가 하여 온도에 따라 밝기가 변하게 되므로 패널 표면에 온도센서를 구성하여 패널의 온도변화를 측정하고 피드백 시스템으로 화상 신호를 제어하여 온도 변화에 따른 밝기 변화가 없는 좋은 화질을 얻을 수 있다⁶.

그러나 패널의 온도를 측정하기 위해 외부 소자를 이용하여 온도센서를 구현 할 경우에는 패널에 이러한 센서를 별도로 부착해야 하며 또한 별도의 센서용 회로 칩을 부착해야 하는 등 실장이 복잡해지며 패널에 온도센서를 밀착시키기 어려워 기판의 정확한 온도를

호서대학교 반도체 디스플레이학과(Department of Semiconductor & Display Engineering, Hoseo University)

[†]Corresponding author : bsbae3@hoseo.edu
(Received : September 26, 2010, Revised : November 4, 2010
Accepted : November 23, 2010)

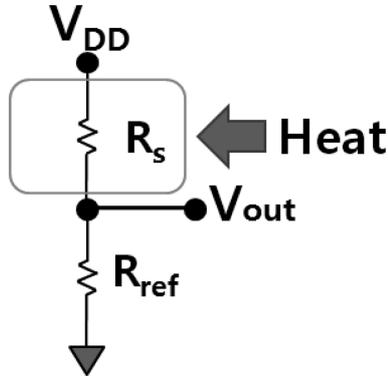


Fig. 1. Conventional temperature sensor with reference resistor^[4,5].

측정하기 어렵다. 따라서 패널을 제작하는 공정이 진행이 될 때 기판 위에 온도센서를 동시에 집적하여 구현하면 이런 어려움을 해결할 수 있다.

온도 센서를 구현 하는 방법으로는 저온 공정 폴리실리콘(low temperature poly-crystalline silicon: LTPS) TFT를 게이트와 드레인인을 연결한 다이오드구성을 이용하는 방법^[7], complementary metal oxide semiconductor(CMOS) 공정을 이용하여 온도센서를 구성하는 방법^[8], 온도에 따라 저항이 변하는 저항체를 이용하는 방법^[9] 광섬유를 이용하는 방법^[10,11] 등 다양한 방법들이 있다.

TFT를 온도센서로 사용하는 경우에는 바이어스 전압이나 빛이 조사 될 때 광전류에 의한 전기적 특성의 변화가 생겨 이런 특성들을 보상해야 하는 불편이 있다. 따라서 TFT를 이용하여 온도센서를 구현하는 방법보다는 금속의 온도변화에 따른 저항변화를 이용하는 온도센서가 적합하고 이러한 온도센서를 패널에 집적한 연구가 발표된 바가 있다^[4,5]. 발표된 온도센서의 구성은 Fig. 1과 같다. R_s 가 센서용 저항체이고, R_{ref} 는 기준 저항이다.

외부에서 가한 직류 전압 V_{DD} 와 센서용 저항체의 온도에 따른 저항 변화에 따라서 출력 전압이 정해지며 기준 저항은 온도가 변하더라도 일정한 저항값을 유지해야 한다. 그러나 디스플레이 표시 장치에는 백라이트 유닛이나 각종 회로 부품 등 발열 소자들이 있으며 이 소자들 때문에 기준 저항의 온도가 변동이 생길 수 있으며 이러한 온도 변화는 기준 저항의 저항을 변화시켜 온도 측정의 오차를 유발 할 수 있다.

본 연구에서는 외부에 기준 저항을 두지 않고 온도를 감지 할 수 있도록 하는 방법을 제안하였다. 외부

온도의 변화에 따른 온도 감지의 오차를 제거 하였으며, 기준 저항을 사용하지 않아도 되어 센서의 집적과 측정을 보다 간편하게 할 수 있도록 하였다. 제안된 온도 센서를 제작하고 온도 센서의 특성을 측정 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1. ITO와 Mo를 직렬로 연결한 온도센서

기존의 온도 센서에서는^[4,5] 패널 공정과 동시에 온도 센서를 구성하기 위하여 금속을 온도 센서로 사용하였으며 패널표면의 온도 변화범위에 따라서 온도 T에서 금속의 저항 R은 다음 식 (1)로 정해진다.

$$R = \rho \frac{L}{WD} = \rho M \quad (1)$$

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)] \quad (2)$$

$$M = \frac{L}{WD} \quad (3)$$

식에서 ρ 는 온도 감지선의 비저항을 나타내고, ρ_0 는 기준온도 T_0 에서의 비저항, α 는 온도계수이다. L 은 온도 감지선의 길이, W 는 온도 감지선의 폭, D 는 온도 감지선의 두께이다. 온도 감지선의 두께 D 는 패널의 공정 설계에서 일정한 값으로 정해지므로 패널 상에 필요한 저항 값을 얻기 위해서 L 과 W 값을 조절하게 된다.

LCD나 OLED 등의 공정에서는 금속 재료와 아모포스나 폴리 실리콘 박막, 투명 전극 재료가 사용이 되며 투명 전극으로는 ITO(indium tin oxide)가 사용이 되고 있다. 별도의 외부 기준 저항이 필요 없는 온도센서를 패널 상에 구현하기 위해서는 온도계수가 다른 두 종류의 재료가 필요하다. ITO와 금속은 온도계수가 다르기 때문에 ITO와 금속을 이용하여 기준저항이 필요 없는 온도센서를 구현하였고 온도센서의 구성은 Fig. 2에 나와 있다. 본 실험에서는 ITO와 Mo(molybdenum)를 사용하였다. ITO와 Mo 저항선을 서로 직렬로 연결한 구조로 온도센서가 구성된다. Fig. 2의 구성에서 보는 바와 같이 금속선 저항 R_M 과 ITO 저항 R_{ITO} 의 두 저항이 모두 같은 기판에 집적되어 온도에 따라서 R_M 과 R_{ITO} 의 두 저항값이 모두 변화하도록 구성이 되어 있다.

Fig. 2의 구성에서 출력전압은 입력전압과 온도에 따

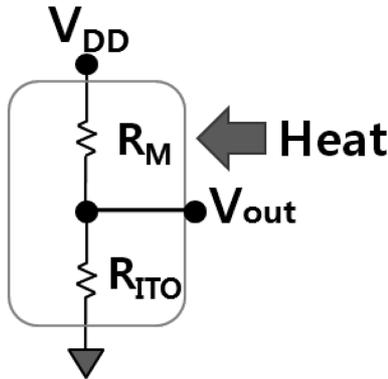


Fig. 2. The proposed temperature sensor with ITO and Molybdenum.

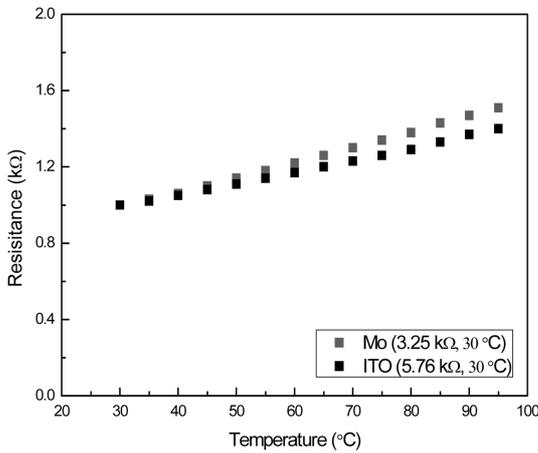


Fig. 3. The temperature dependence of resistance of ITO and Mo.

큰 저항값의 변화에 따라 결정이 되며 R_M 과 R_{ITO} 의 온도에 따른 저항 변화율이 서로 다른 것을 이용하므로 외부 기준 저항이 필요 없이 온도 측정이 가능하다.

Fig. 3은 ITO와 Mo의 온도에 따른 저항의 변화를 측정된 것으로 패널의 사용 온도 범위 정도 내에서 측정을 한 결과이다. ITO와 Mo의 상온에서의 초기 저항값이 차이가 커 비교하기 쉽게 규격화 하여 나타냈다. 30°C에서 ITO 저항 5.76 kΩ, Mo 저항은 3.25 kΩ이었다.

ITO의 저항을 R' , 저항률을 ρ' 이라고 하고 ITO 저항선의 길이와 폭을 각각 L' , W' 이라고 하면 온도 T 에서의 ITO 저항 R' 은 다음 식과 같다.

$$R' = \rho' \frac{L'}{W'D} \quad (3)$$

$$\rho = \rho_o'[1 + \alpha'(T - T_o)] \quad (4)$$

$$M = kM \quad (5)$$

k 는 두 저항선 사이의 기하학적인 비로 설계에 따라 정해지는 상수이다.

Fig. 2에서와 같이 구성을 하고 전압을 측정하면 출력 전압은 두 저항의 비로서 주어지므로 V_{out} 은 다음 식과 같다.

$$V_{out} = \frac{\rho' k M}{\rho M + \rho' k M} V_{DD}$$

$$= \frac{k \rho_o' [1 + \alpha' \Delta T]}{\rho_o [1 + \alpha \Delta T] + k \rho_o' [1 + \alpha' \Delta T]} V_{DD} \quad (6)$$

식 (6)은 다음 식 (7)과 같이 정리가 된다.

$$V_{out} = \left[\frac{k \alpha' \rho_o' + k \rho_o \rho' (\alpha - \alpha')}{P} \frac{1}{1 + \frac{P}{Q} \Delta T} \right] V_{DD}$$

$$P = \alpha \rho_o + k \alpha' \rho_o', Q = \rho_o + k \rho_o' \quad (7)$$

측정하는 온도 변화 범위가 크지 않고 온도 계수는 작은 값이므로 식 (7)에서 온도변화 ΔT 가 들어있는 항을 다음 식 (8)과 같이 근사시킬 수 있다.

$$\frac{1}{1 + \frac{P}{Q} \Delta T} = \left(1 + \frac{P}{Q} \Delta T \right)^{-1} \approx 1 - \frac{P}{Q} \Delta T \quad (8)$$

따라서 식 (7)은 식 (9)와 같이 근사가 된다.

$$V_{out} = \left[\frac{k \alpha' \rho_o' + k \rho_o \rho' (\alpha - \alpha')}{P Q} \left(1 - \frac{P}{Q} \Delta T \right) \right] V_{DD} \quad (9)$$

식 (8)에서 온도 외에는 일정한 값을 가지므로 출력 전압은 기준 전압과의 온도 차이에 비례하는 값이 된다. 따라서 온도에 차를 출력 전압은 선형적으로 변하는 값이 되고 출력 전압으로부터 온도를 측정하게 된다.

2.2. 온도센서 제작 및 측정

본 연구에서 제안된 온도센서는 LCD나 OLED의 박막 트랜지스터 제작 공정에 별도의 추가 공정 없이 제작이 가능하다. 온도센서 제작 방법은 Mo를 스퍼터를 이용하여 증착한 후 사진식각 공정을 이용하여 Mo 저항선을 패턴 형성 한다. 그 후 ITO를 스퍼터를 이용하여 전면 증착한 후 Mo 저항선과 직렬로 연결이 되는

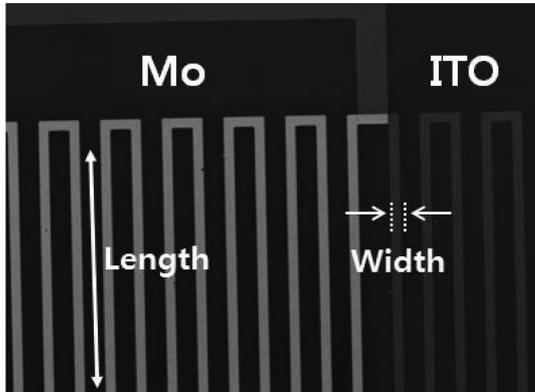


Fig. 4. 제작된 온도 센서의 현미경 사진.

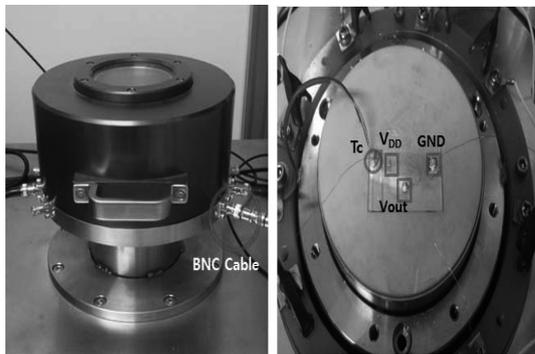


Fig. 5. Vacuum chamber for the measurement of the temperature sensor.

ITO 선을 사진 식각 공정을 이용하여 패턴 형성한다. 제작된 온도 센서의 현미경 사진은 Fig. 4 와 같으며 5 배율의 현미경 렌즈로 촬영된 사진이다. ITO와 Mo의 증착 두께는 각각 1500 Å이고, W는 30 μm, L는 ITO 6700 μm, Mo 210250 μm 이다.

온도 센서는 온도 변화에 따른 정확한 측정을 필요로 하기 때문에 온도 조절이 가능하고 주변 환경의 영향을 받지 않도록 Fig. 5와 같은 진공 챔버 내에서 측정을 진행 하였다. 샘플은 온도를 조절 할 수 있는 히터가 들어 있는 stage 위에 올려서 온도를 조절 할 수 있도록 하였으며 샘플 표면의 온도는 thermocouple로 연결하여 온도를 정확히 측정 할 수 있도록 하였다. 각 전극은 외부와 진공 BNC로 연결이 되었다.

측정 온도 범위는 30°C부터 100°C 까지 5°C 간격으로 측정 하였고, 온도 센서에 사용한 직류 전압은 5 V 였다. 출력전압은 고입력저항 Electrometer를 사용 하였다. 온도 변화에 따른 온도 센서의 출력 전압을 측

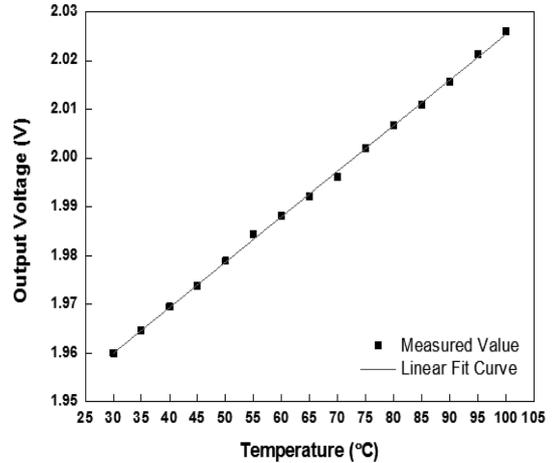


Fig. 6. Measured output voltage and linear fit curve.

정하였고 온도에 따른 출력 전압으로부터 온도 센서의 sensitivity, linearity, hysteresis, repeatability, accuracy, stability 등을 측정 분석 하였다.

3. 결과 및 고찰

제작된 여러 온도 센서 중 한 센서를 선택하여 측정 한 온도에 따른 출력전압의 측정값은 Fig. 6 과 같다. 검은 사각형은 측정값이고 직선은 linear fit 을 한 결과 이다. 유리 기판 위에 집적된 ITO와 Mo의 직렬 연결된 온도 센서로부터 외부 기준 저항 없이 온도가 잘 측정이 되었으며 이들의 각 특성은 다음에 나와 있다. 각 1회씩 측정 한 결과이며 4회 측정 한 repeatability와 시간에 따라 반복 측정 한 stability 결과도 제시하였다.

3.1. Sensitivity

Sensitivity는 입력의 변화량(ΔX)에 대한, 출력의 변화량(ΔY)으로 Fig. 6의 온도에 따른 측정값에서 기울기라고(ΔY/ΔX) 할 수 있다^[10,11]. Fig. 6의 측정값으로부터 계산된 sensitivity는 0.9 mV/°C 이다.

3.2. Linearity

Fig 6의 측정값과 Linear fit 직선에서 linearity를 평가 하였다. 센서의 특성 중 linearity는 주로 nonlinearity로 정의 되며 식 (9)와 같다^[12,13].

Nonlinearity(%)

$$\frac{\text{출력전압의 최대편차}}{\text{최대출력전압}} \times 100 \%FSO \quad (9)$$

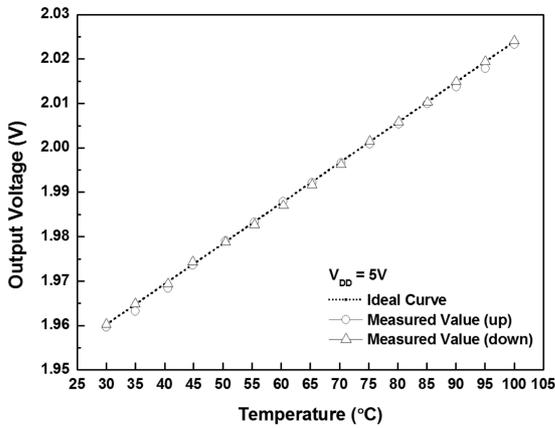


Fig. 7. Hysteresis of the proposed temperature sensor.

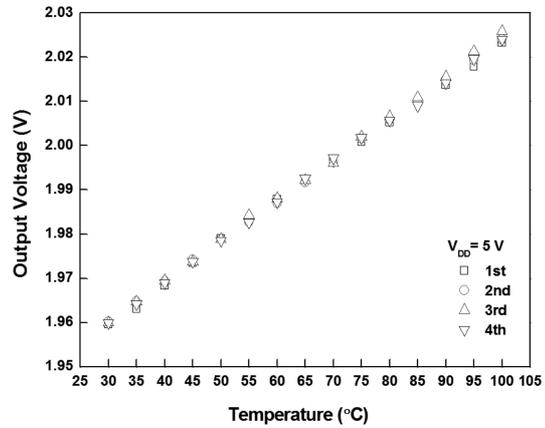


Fig. 8. Repeatability of the proposed temperature sensor.

식 (9)의 FSO는 full scale output을 나타낸다. 제안한 구조의 온도센서의 nonlinearity는 2.39 %FSO로 계산되었다.

3.3. Hysteresis

Fig. 7은 히스테리시스를 측정 한 것으로 온도를 증가시키며 측정 한 값과 반대로 다시 온도를 내리면서 측정 한 값을 비교 하였다. 온도를 증가시키면서 측정 한 값과 온도를 내리면서 측정 한 값의 차이를 나타내는 값으로 이상적으로 이 두 측정값은 완전히 일치하여 hysteresis가 0 이 되어야 한다. ideal curve에서 위와 아래로 가장 많이 벗어난 값을 y_1, y_2 라고 하면 식 (10)으로 표현 할 수 있다.

$$Hysteresis(\%) = \frac{y_2 - y_1}{FSO} \times 100 \%FSO \quad (10)$$

본 논문에서 제안한 구조의 온도센서의 hysteresis는 2.2 %FSO 이다.

3.4. Repeatability

Repeatability는 비교적 짧은 측정 시간 동안 동일 장소, 동일 관찰자, 동일한 환경과 조건에서 측정 할 때의 측정값의 일치도를 나타내는 것으로 반복적인 센서의 동작 오차가 작아야 좋다. Fig. 8 은 repeatability를 측정 한 것으로 4회 반복하여 측정 하였다. 제안한 구조의 온도센서의 repeatability는 0.03 %FSO로 계산 되었다.

3.5. Accuracy

센서는 출력의 범위 및 출력 값을 예상하고 계산 할 수 있어야 하지만 실제 제작된 센서에서는 출력 값의

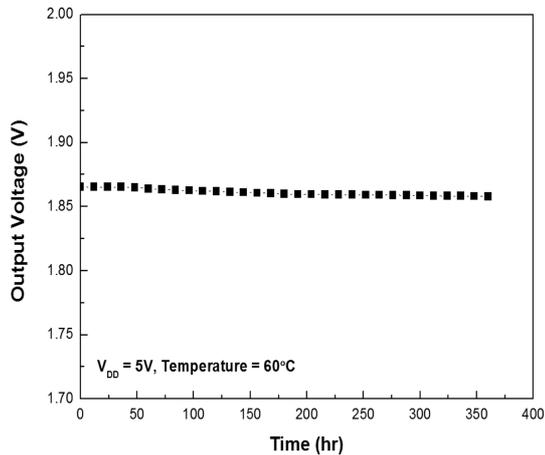


Fig. 9. Stability of the proposed temperature sensor.

오차가 발생하게 된다. 따라서 정확한 센서의 특성을 확인하기 위해서는 계산된 참값과 실제 측정 한 값의 정확도를 확인 할 수 있어야 한다. accuracy는 실제 측정 값이 참값에 얼마나 가까운지를 나타내는 것으로 식 (11)과 같다.

$$Accuracy(\%) = \frac{y_{\text{측정값}} - y_{\text{참값}}}{FSO} \times (100 \%FSO) \quad (11)$$

식 (11)에 의해 계산된 accuracy는 0.9 %FSO 였다.

3.6. Stability

Stability는 장기간에 걸친 센서의 안정성을 보는 것으로 장시간 동작하여도 출력값의 변화가 작아야 좋다. 센서에 전압을 인가하고 60 °C의 온도로 360시간 동안

Table 1. Characteristics of the proposed temperature sensor

Parameters	Value
Input Voltage	5 V
Sensitivity	0.9[mV/°C]
Hysteresis	2.2[%FSO]
Repeatability	0.03[%FSO]
Stability	0.4[%FSO]@360 hr
Linearity	2.39[%FSO]
Accuracy	0.93[%FSO]
Test Range	30 °C ~ 100 °C

12시간 간격으로 반복 측정 하였다. 그 결과 360 시간 까지의 stability는 0.4 %FSO로 계산 되었다.

본 연구에서 제안한 구조의 ITO와 Mo를 직렬로 연결한 온도센서는 별도의 추가 공정 없이 박막 트랜지스터 재료와 공정을 이용하여 패널에 집적이 가능하기 때문에 공정의 추가 비용이 발생하지 않는다. 따라서 디스플레이 제품에 쉽게 적용이 가능하다. 기존의 디스플레이에 적용된 온도센서의 경우에는 패널 내부에 내부 저항을 집적하고 패널 외부에 기준 저항을 연결하여 온도를 측정한다. 기준 저항은 저항변화가 없이 일정해야 정확한 온도 측정이 가능하다. 그러나 외부 저항은 back light unit(BLU)나 구동 회로의 발열의 영향을 받아 온도가 변할 수 있으므로 정확한 측정이 어렵게 된다. 본 연구에서 제안한 온도센서는 Mo와 ITO의 직렬 구조이며 별도로 외부에 저항을 연결할 필요 없이 패널 상에 집적되는 온도센서이다. 별도의 외부 저항이 필요 없으므로 기존 온도 센서에서 나타나는 기준 저항의 변화에 의한 오차를 없앨 수 있다. 본 연구에서 제안한 구조의 온도센서의 특성을 Table 1에 정리하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 디스플레이 패널이 온도변화에 따라 화질이 변화 하는 것을 줄이기 위한 온도 보상 회로용 온도센서를 새로이 제안하고 그 특성을 측정하여 온도 센서로서의 유용성을 검증하였다.

기존의 패널에 집적한 온도센서는 한 종류의 금속재료로 기판 상에 집적된 저항선을 형성하였다. 별도로 외부에 기준 저항을 연결하여 전압을 인가한 후 온도를 검출하며 기준저항은 일정한 값을 유지하여야 한다. 그러나 외부 온도의 변화에 따른 기준 저항의 변화로 측정오차가 유발 될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 ITO와 Mo 금속을 직렬로 연결이 된 형태로 기판 상에

같이 집적 된 것으로 두 재료의 온도계수가 다음을 이용하여 외부 기준 저항이 필요 없이 온도를 측정 한 것이다.

박막 트랜지스터 제조 공정 중 별도의 추가 공정 없이 동시에 제작이 가능한 장점이 있다. 또한 박막 트랜지스터를 사용하는 LCD나 OLED 제품에 모두 집적이 가능하고 박막 트랜지스터를 사용하는 디스플레이 혹은 다른 제품에 적용이 가능하다.

제안 된 온도센서를 제작하고 특성을 측정하여 유용성을 검증하였으며 그 특성은 Table 1에 나타나 있다.

감사의 글

이 논문은 지식경제부의 지식경제 프론티어기술 개발사업인 차세대정보디스플레이기술개발사업단의 연구비(F0004061-2010-33)지원으로 수행 되었습니다.

참고 문헌

- [1] S. G. Park, J. H. Lee, W. K. Lee, and M. K. Han, "Investigation of the hysteresis phenomenon of an a-Si:H TFT at an elevated temperature for AMOLED displays," *Journal of the Society for Information Display*, vol. 15, issue 12, pp. 1145-1149, 2007.
- [2] J. Jeon, W. K. Lee, J. H. Song, and H. G. Kim, "Amorphous silicon gate driver circuit technology for mobile TFT LCD panel," *Journal of Information Display*, vol. 5, no. 2, pp. 1-5, 2004.
- [3] E. J. Jeon, A.K. Srivastava, M. Kim, K. U. Jeong, J. Choi, G. D. Lee, and S. H. Lee, "Temperature dependence of the electro-optic characteristics in the liquid crystal display switching modes," *Journal of Information Display*, vol. 10, no. 4, pp. 175-179, 2009.
- [4] K. C. Lee, Y. J. Park, H. W. Park, T. Kim, S. H. Moon, B. H. Berkeley, and S. S. Kim, "Integrated thermal sensor on LCD for temperature compensation system," *Society for Information Display '06 Digest of Technical Papers*, pp. 1418-1421, 2006.
- [5] K. C. Lee, S. H. Moon, N. D. Kim, B. H. Berkeley, and S. S. Kim, "Thermally adaptive response time compensation for LCDs," *Journal of the Society for Information Display*, vol. 16, issue 3, pp. 421-428, 2008.
- [6] C. H. Kang, J. H. Kim, H. H. Lee, W. K. Ha, and H. S. Kim, "Real time brightness compensation for a-Si:H TFT backplane AMOLED," *Society for*

Information Display '09 Digest of Technical Papers, pp. 9-11, 2009.

[7] T. C. Lu, H. W. Zan, M. S. Ker, W. M. Huang, K. C. Lin, C. C. Shin, C. C. Chiu, and C. T. Liu, "Temperature coefficient of diode-connected LTPS Poly-Si TFTs and its application on the bandgap reference circuit," *Society for Information Display '08 Digest of Technical Papers*, pp. 1410-1413, 2008.

[8] A. Bakker and J. H. Huijsing, "Micropower CMOS temperature sensor with digital output," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 31, no. 7, pp. 933-937, 1996.

[9] 김용규, 감기술, 양인석, "산업용 백금 저항 온도센서의 결선 방식에 따른 측정 불확도 평가 방법," *센서학회지*, 제18권, 제4호, pp. 322-326, 2009.

[10] 이봉수, 허혜영, 조동현, 김신, 조효성, "TSCM을 이용한 플라스틱 광섬유 온도센서의 제작 및 특성 평가," *센서학회지*, 제14권, 제3호, pp. 180-185, 2005.

[11] 유육재, 조동현, 정순철, 탁계래, 전재훈, 이봉수, 손상희, 조승현, "적외선 투과 광섬유를 이용한 비접촉식 온도 센서 개발을 위한 기초 연구," *센서학회지*, 제15권, 제3호, pp. 179-185, 2006.

[12] J. J. Carr, *Sensors and Circuits*, PTR Prentice Hall, New Jersey, pp. 9-19, 1993.

[13] J. Fraden, *Handbook of Modern Sensors*, 3rd edition, Springer, New York, pp. 13-36, 2000.



전 호 식

- 2008년 호서대학교 디지털디스플레이학과 졸업 학사
- 2010년 호서대학교 디지털디스플레이학과 졸업 석사
- 현재 호서대학교 반도체디스플레이학과 박사과정



배 병 성

- 1984년 서울대학교 원자핵공학과 졸업 학사
- 1986년 한국과학기술원 물리학과 졸업 석사
- 1991년 한국과학기술원 물리학과 졸업 박사
- 1991년~1998년 삼성전자 AMLCD 연구소
- 1999년~2003년 일진 디스플레이 연구소장
- 현재 호서대학교 반도체디스플레이학과 교수