

장기간 소자 모니터링이 용이한 소형 무선랜 무선송신 계측장치 개발

박소정* · 박일후** · 문영선*** · 이국진** · 김규태***†

*고려대학교 반도체기술연구소, **†고려대학교 전기전자공학부,
***고려대학교 마이크로/나노 시스템 협동과정

Development of Portable Measurement Unit with Wireless Transmission by Wireless LAN for Long-term Monitoring

So Jeong Park*, Il-Hoo Park**, Young-Sun Moon***, Kook Jin Lee** and Gyu-Tae Kim***†

*Semiconductor Research Institute, Korea University

**†School of Electrical Engineering, Korea University

***Department of Micro/Nano Systems, Korea University

ABSTRACT

Portable microcontroller based measurement unit is demonstrated using digital-to-analog convertor module, analog-to-digital convertor module and additional preamplifier circuit with low-budget but excellent performances. Using the designed measurement unit, the measurement of current below 1 nA with applying voltage up to 5 V is successfully carried out. With the WiFi module in microcontroller, measured data is transferred to the user's computer. To evaluate the performance of the measurement unit, the transfer curve of a commercial N-type field effect transistor was measured with the measurement unit and the results is well consistent with that measured using commercial characterization system.

Key Words : Measurement Unit, Microcontroller, Wireless Transmission, Long-term Monitoring, Semiconductor Devices

1. 서 론

비정질 금속 산화물이나 다결정 혹은 비정질 실리콘을 사용하는 박막 트랜지스터의 경우 유기발광다이오드소자나 능동액정디스플레이 소자의 구동 소자로 많은 관심을 받아 왔으나[1-3] 비정질 채널 내부와 채널-절연체 계면에 존재하는 트랩으로 인해 발생하는 열화 현상과 전기적인 신호, 열에 의한 스트레스에 따른 소자의 불안정성 문제가 발생하여 안정성을 개선하기 위한 연구가 활발하게 이루어 졌으며[4-8] 이를 전기적 방법을 이용하여 정량화하려는 연구가 진행되었다[9]. 소자의 성능 평가 실

험에서 상용 계측기기를 이용하는 경우, 정확한 계측 값과 뛰어난 해상도를 보장할 수 있지만 다수 소자의 측정을 동시에 하거나 긴 시간이 드는 반복 측정을 해야 할 때, 계측 시스템을 공유하는 경우 측정에 어려움이 있을 수 있다[10].

이러한 어려움을 고려할 때 제작 비용이 저렴하면서 크기가 작아 이동이 손쉬우며 다양한 측정 기능을 구현할 수 있는 측정 셋업으로 측정을 자동화 하는 작업은 열화 측정과 같이 측정시간이 길어지거나 반복해서 전기적인 스트레스를 인가하고 측정을 하는 안정성 실험의 경우 혹은 다수의 소자의 특성을 동시에 다수의 계측기기로 측정하여 성능의 분포를 보고자 할 경우 매우 필요해진다.

본 연구에서는 무선랜 송신 모듈을 갖춘 마이크로 컨트롤러

†E-mail: gtkim@korea.ac.kr

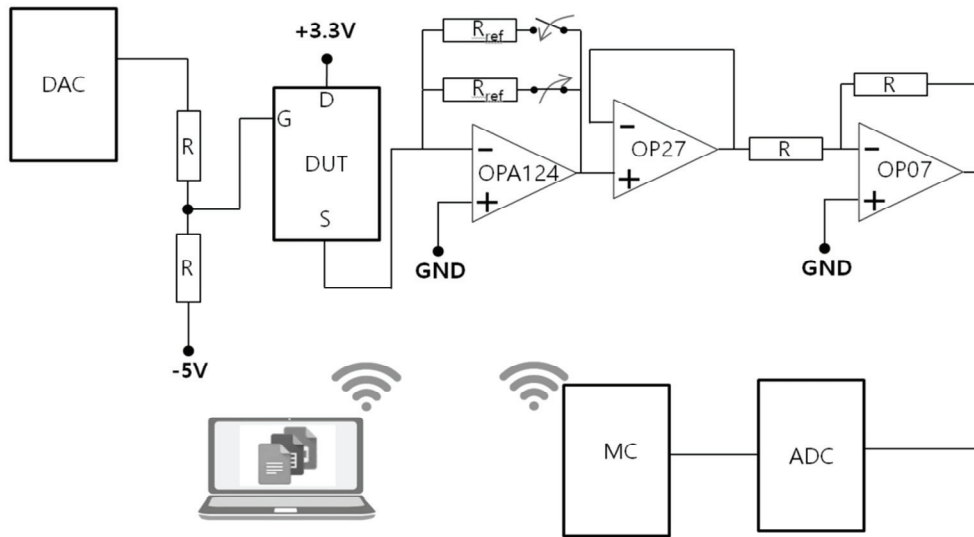


Fig. 1. Block diagram of measurement set-up for transfer characteristics of an N-type field effect transistor with microcontroller (MC) based measurement unit.

를러, digital-to-analog convertor (DAC) 모듈, analog-to-digital convertor (ADC) 모듈, 프리앰프 회로로 구성된 소형 계측 장치를 설계, 제작하여 성능을 평가해 보았다. 전계 효과 트랜지스터의 트랜스퍼 커브를 얻었을 때, 직류 전압 5 V 까지 인가할 수 있었고 1 nA 이하의 저전류를 측정할 수 있었다. 마이크로 컨트롤러 계측 장치의 성능의 우수함은 상용 계측기로 측정한 트랜스퍼 특성과 유사한 결과를 얻음으로써 확인하였다.

2. 실험

무선 송신 가능한 소형 마이크로컨트롤러 계측 셋업은 (1)트랜지스터에 게이트 전압과 드레인 전압을 인가하는 게이트, 드레인 전압 인가단, (2)트랜지스터에서 나오는 드레인-소스 전류를 측정하기 위한 드레인-소스 전류 측정단과 (3)측정된 값을 무선으로 송신하여 사용자가 원격에서 자신의 컴퓨터로 데이터를 읽을 수 있게 하는 무선 송신단으로 구성된다(Fig. 1). 구성한 회로는 printed circuit board (PCB) 형태로도 제작하였다(Fig. 2). 마이크로컨트롤러를 통한 제어 프로그래밍은 아두이노 스케치 프로그램을 이용하였다.

2.1 게이트와 드레인 전압 인가단

Fig 1과 같이 게이트와 드레인 전압 인가단은 마이크로컨트롤러(WeMos D1)와 DAC (Adafruit MCP4725) 부품, 2개의 저항을 이용한 전압 분배 회로를 이용하여 구성하였다.

마이크로컨트롤러 모듈과 12 bit DAC는 I2C (Inter-Integrated Circuit) 통신을 통하여 신호를 주고 받을 수 있다. 이를 통해 DAC로 $5\text{ V}/2^{12} \approx 1\text{ mV}$ 단위까지 전압 출력을 제어할 수 있다. 측정하고자 하는 전계 효과 트랜지스터(TOSHIBA Field Effect Transistor Silicon N Channel Junction Type, 2SK30ATM)의 동작을 위해서 (-)전압을 게이트 전압으로 인가해 주어야 하므로 마이크로 컨트롤러의 5 V 직류출력전압을 인버터로 반전하여 -5 V를 얻고 Fig 1의 전압 분배 회로 끝에 인가하였다. 전압 분배 회로의 다른 한 쪽 끝에 인가되는 DAC 출력전압을 조절하여 원하는 게이트 전압을 인가할 수 있었다. 드레인 전압은 마이크로컨트롤러 모듈의 3.3V 직류 출력전압을 사용하여 인가하였다.

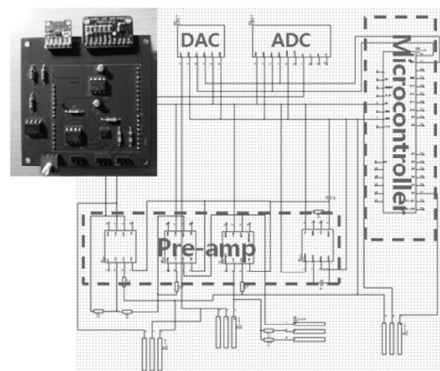


Fig. 2. Schematic and picture of printed circuit board (PCB) for designed measurement unit.

2.2 드레인-소스 전류 측정단

트랜지스터의 드레인 전류를 측정하는 전류-전압 프리앰플을 구성하기 위해 저잡음 연산 증폭기(OPA124, Low Noise Precision Difet Operational Amplifier) 를 사용하였다. 이에 더해 증폭기 회로의 출력은 (-)전압으로 나오게 되고 ADC (Adafruit, ADS1115) 부품은 (+)전압만을 읽을 수 있으므로 증폭기의 출력값을 다시 반전시켜 주기 위해 반전 증폭기 회로(OP07, Ultralow Offset Voltage Operational Amplifier)를 구성하였다. ADC 측정단이 5 V 전압까지만 측정할 수 있으므로 증폭단의 출력 전압을 전압 범위에 맞춰 주어야 한다. 이를 위해서 증폭단의 레퍼런스 저항을 조절하기 위한 릴레이를 추가하였다. 또한 OPA124를 이용한 실제 증폭단과 OP07을 이용한 반전 증폭기 사이에 버퍼단(OP27, Low Noise, Precision Operational Amplifier)을 위치시켜 반전 증폭기의 저항 환경이나 ADC 측정단에 의해 실제 증폭단이 영향을 받지 않도록 하였다. ADC에서 측정된 출력 전압값은 I2C 통신을 이용하여 마이크로컨트롤러에 전달하였다. 마이크로컨트롤러 기반 계측 장치를 이용하여 측정한 드레인-소스 전류값의 정확도를 알기 위해 같은 소자를 상용 계측 기기(Keithley 4200 Semiconductor Characterization System)를 이용하여 측정하고 값을 비교하였다.

2.3 무선 송신단

실험에서 사용한 마이크로컨트롤러는 ESP8266 (ESP-12E) 기반의 아두이노 우노와 호환 가능한 WiFi Board로 TCP/IP 통신을 사용함으로써 마이크로컨트롤러를 이용하여 WiFi 네트워크 접속이 가능하다. 사용자의 컴퓨터로 측정값을 불러 들이기 위해서 Fig. 3과 같이 웹 기반 소프트웨어에 데이터를 연속적으로 업로드하는 방식을 취했고 이를 통해 실험 장소와 동떨어진 장소에 있더라도 실시간으로 측정 결과를 얻을 수 있었다.

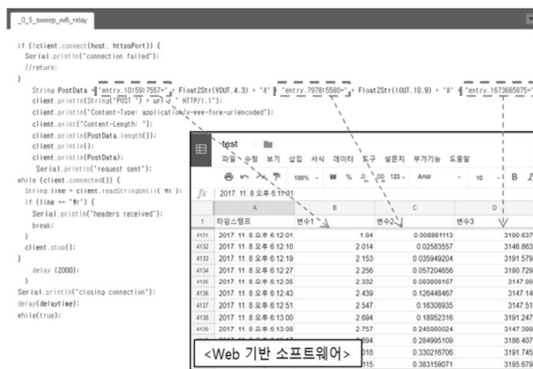


Fig. 3. Part of Arduino program for uploading measured data to a web-based software.

3. 결과 및 토의

3.1 ADC 성능 측정

16bit ADC의 측정 성능을 평가하기 위해 Fig. 4와 같이 저항으로 구성된 전압 분배기를 준비하고 1개의 저항에 인가되는 전압을 ADC를 이용하여 측정함으로써 저항값을 측정하도록 하였다. 측정 결과는 Table 1에 정리하였고 측정값을 비교하기 위해 상용 멀티미터로도 같은 방법으로 저항에 인가되는 전압을 측정 하였다. Table 1에서 볼 수 있는 것과 같이 상용저항 1 MΩ (멀티미터 측정값: 995 kΩ) 을 측정하였을 때 7% 정도로 오차값(마이크로컨트롤러 계측 장치 측정값-멀티미터 측정값)/멀티미터 측정값이 커졌지만 100 kΩ (멀티미터 측정값: 99.3 kΩ) 저항 이하는 1% 내외의 오차값을 보여주며 안정적으로 측정 가능함을 확인하였다.

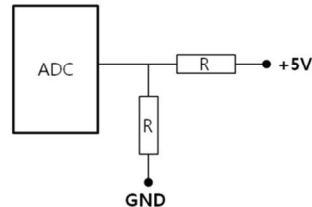


Fig. 4. Block diagram of voltage divider for the evaluation of performance of 16 bit ADC.

Table 1. Measured resistance of commercial resistors using a multi-meter and the microcontroller with 16 bit ADC

	상용저항 560 Ω	상용저항 1 kΩ	상용저항 3.3 kΩ	상용저항 100 kΩ	상용저항 1 MΩ
Multi-meter	556 Ω	986 Ω	3.25 kΩ	99.3 kΩ	995 kΩ
Microcontroller	559 Ω	994 Ω	3.285 kΩ	100.3 kΩ	925 kΩ
Error	0.5 %	0.8 %	1.1 %	1.0 %	7.0 %

3.2 전계 효과 트랜지스터 측정

트랜지스터에 드레인 전압 $V_d = 3.3 V$ 를 인가하고 게이트 전압 V_g 를 변화시켰을 때 소자가 꺼진 상태에서 켜진 상태로 변화하면서 드레인 전류 I_d 가 약 3 pA에서 2 mA 정도 측정되는 것을 확인하였다(Fig 5(b)). 이로부터 I_{on}/I_{off} 비를 6.7×10^8 로 얻을 수 있고 저항으로 환산하면 약 $1 \Omega \sim 1.5 k\Omega$ 정도의 값의 변화를 보였다. 실험에서 사용한 16 bit ADC 모듈은 실제적으로 15 bit만 해상도와 관련있으므로 약 1/32000의 해상도를 가지는데 이와 같은 해상도로 측정을 할 경우 Fig 5(a)와 같이 레퍼런스 저항 R_{ref} 에 따라 제

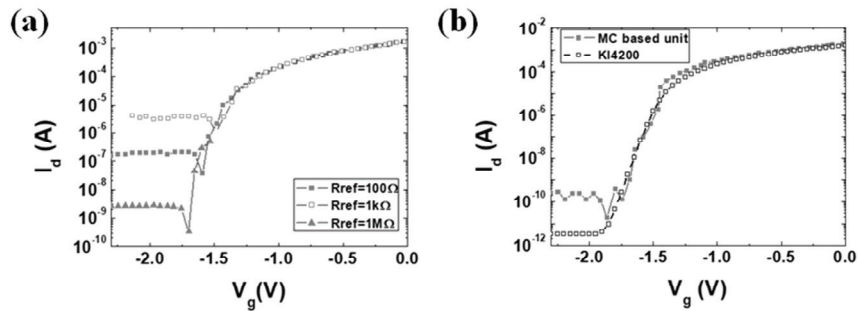


Fig. 5. Measured transfer curve using MC-based measurement unit with (a) different single reference resistances R_{ref} in preamp circuit and (b) selected R_{ref} (1 k Ω and 1 M Ω) by relay. The results are comparable with that measured with commercial measurement instrument (Keithley 4200).

한적인 트랜스퍼 커브 특성만을 얻게 된다. 그러므로 넓은 측정 범위를 얻기 위해서 두 개 이상의 R_{ref} 값을 사용할 필요가 있으며 이를 구현하기 위해 릴레이를 사용하였다. 릴레이를 사용하여 증폭단에서 측정되는 전압 레벨이 일정 값 이하일 경우 1 M Ω 을, 일정 값 이상일 경우 1 k Ω 을 레퍼런스 저항으로 선택하도록 프로그램을 입력함으로써 Fig 5(b)와 같이 트랜스퍼 커브를 얻을 수 있었고 1 nA 이하의 저전류 영역까지 측정 가능함을 확인하였다. 또한 상용 계측 기기로 측정한 결과와 비교해 봤을 때 꺼진 상태의 전류가 더 크게 보이지만 전체적으로 유사한 값을 얻어서 신뢰할 수 있는 안정적인 측정값을 보임을 알 수 있다.

4. 결 론

무선 송신이 가능한 마이크로 컨트롤러, ADC, DAC 부품과 프리앰프 회로를 이용하여 제작 비용이 저렴하고 안정적인 측정 성능을 갖춘 소형 계측 장치를 구현하였다. 구현한 계측 장치를 이용하여 N-type 전계 효과 트랜지스터의 트랜스퍼 커브를 성공적으로 측정하였고 상용 계측 장치로 측정한 결과와 비교했을 때 유사함을 확인하였다. 이 결과를 바탕으로 유기발광다이오드 소자 등을 이용한 디스플레이의 구동 소자의 기본 전기적인 측정뿐만 아니라 장시간의 반복적인 열화 특성 측정 등의 전기적인 특성 평가 자동화에 활용할 수 있는 방안을 모색할 수 있을 것이다.

감사의 글

This work was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education

(2016R1A6A3A11933511), the Future Semiconductor Device Technology Development Program (10067739) funded by Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE), Korea Semiconductor Research Consortium (KSRC) and a Korea University Grant.

참고문헌

- Nomura, K., Ohta, H., Takagi, A., Kamiya, T., Hirano, M., and Hosono, H., "Room-Temperature Fabrication of Transparent Flexible Thin-Film Transistors Using Amorphous Oxide Semiconductors," *Nature*, Vol. 432, p. 488, 2004.
- Yang, C.-S., Smith, L., Arthur, C., and Parsons, G., "Stability of Low-Temperature Amorphous Silicon Thin Film Transistors Formed on Glass and Transparent Plastic Substrates," *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol. 18, pp. 683-689, 2000.
- Christos, D.D. and Patrick, R.M., "Organic Thin Film Transistors for Large Area Electronics," *Adv. Mater.*, Vol. 14, pp. 99-107, 2002.
- Chen, T.-C., Chang, T.-C., Hsieh, T.-Y., Lu, W.-S., Jian, F.-Y., Tsai, C.-T., Huang, S.-Y. and Lin, C.-S., "Investigating the degradation behavior caused by charge trapping effect under DC and AC gate-bias stress for InGaZnO thin film transistor," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.99, p. 022104, 2011.
- Chowdhury, M.D.H., Migliorato, P., and Jang, J., "Time-Temperature Dependence of Positive Gate Bias Stress and Recovery in Amorphous Indium-Gallium-Zinc-Oxide Thin-Film-Transistors," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 98, p. 153511, 2011.

6. Nomura, K., Kamiya, T., and Hosono, H., "Highly Stable Amorphous in-Ga-Zn-O Thin-Film Transistors Produced by Eliminating Deep Subgap Defects," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 99, p. 053505, 2011.
7. Sung, S.-Y., Choi, J.H., Han, U.B., Lee, K.C., Lee, J.-H., Kim, J.-J., Lim, W., Pearton, S., Norton, D., and Heo, Y.-W., "Effects of Ambient Atmosphere on the Transfer Characteristics and Gate-Bias Stress Stability of Amorphous Indium-Gallium-Zinc Oxide Thin-Film Transistors," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 96, p. 102107, 2010.
8. Suresh, A. and Muth, J., "Bias Stress Stability of Indium Gallium Zinc Oxide Channel Based Transparent Thin Film Transistors," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 92, p. 033502, 2008.
9. Lee, M. and Lee, K. M., "Structural and Electrical Characteristics of IGZO thin Films deposited at Different Substrate Temperature", *J. of The Korean Society of Semiconductor & Display Technology*, Vol. 15, pp. 1-5, 2016.
10. Dobbelaere, T., Vereecken, P.M., and Detavernier, C., "A Usb-Controlled Potentiostat/Galvanostat for Thin-Film Battery Characterization," *HardwareX*, Vol. 2, pp. 34-49, 2017.

접수일: 2018년 2월 23일, 심사일: 2018년 3월 19일,
게재확정일: 2018년 3월 21일