

# 게이트 전극 물질이 a-IGZO 박막트랜지스터의 전기적 특성에 미치는 영향

## Effect of gate electrode material on electrical characteristics of a-IGZO thin-film transistors

오 현 곤\*, 조 경 아\*, 김 상 식\*

Hyungon Oh\*, Kyoungah Cho\*, Sangsig Kim\*

### Abstract

In this study, we fabricate amorphous indium gallium zinc oxide (a-IGZO) thin-film transistors (TFTs) with three different gate electrode materials of Al, Mo and Pt on plastic substrates and investigate their electrical characteristics. Compared to an a-IGZO TFT with Al gate electrode, the threshold voltage of an a-IGZO TFT with a Pt electrode decreases from -4.2 to -0.3 V. and the field-effect mobility is improved from 15.8 to 22.1  $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ . The threshold voltage shift of the TFT is affected by the difference between the work function of the gate electrode and the Fermi energy of the channel layer. Moreover, the Pt gate electrode is considered to be the suitable material in terms of the electrical characteristics of the TFT. In addition, a description on an a-IGZO TFT with a Mo electrode will be given here.

### 요 약

본 연구에서는 Al, Mo 및 Pt 금속 물질을 a-IGZO 박막트랜지스터의 게이트 전극으로 플라스틱 기판 위에 형성하여 제작하고, 게이트 물질에 따른 전기적 특성을 측정하였다. Al 게이트 전극에 비해 Pt 게이트 전극을 사용한 박막트랜지스터의 문턱전압은 -4.1V에서 -0.3 V까지 감소하였고, 전하이동도는 15.8  $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 에서 22.1  $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 로 향상되었다. 게이트 전극에 따른 박막트랜지스터의 문턱전압 이동은 전극의 일함수와 채널층의 페르미 에너지 차이로 인한 영향이라는 것을 확인 할 수 있었다. 또한, 채널 물질의 페르미 에너지를 고려하였을 경우에 Pt 게이트 전극이 박막트랜지스터의 전기적 특성 면에서 적합한 물질로 확인되었다. 추가적으로 Mo 게이트 전극을 사용한 박막트랜지스터에 대한 특성도 본 논문에서 다룬다.

*Key words* : a-IGZO, TFT, gate electrode material, work function, threshold voltage

\* Dept of Electrical Engineering, Korea University

★ Corresponding author

e-mail: sangsig@korea.ac.kr, tel: 02-3290-3245

※ Acknowledgment

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIP) (NRF-2015R1D1A1A01057641)

Manuscript received Jun. 20, 2017; revised Jun. 23, 2017; accepted Jun. 28, 2017

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.

## I. 서론

현재 차세대 투명 유연 디스플레이에 대한 관심이 높아지면서 유연 디스플레이에 적용할 수 있는 구동소자로 amorphous indium gallium zinc oxide (a-IGZO) 채널물질 기반의 박막트랜지스터에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다 [1-3]. 특히, a-IGZO 박막트랜지스터의 전기적 성능 향상을 위해 채널 공정조건 최적화, high-k 물질 개발 및 소스/드레인과의 접촉저항 개선들에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다 [4-6]. 하지만, 박막트랜지스터의 문턱전압 및 전기적 특성에 중요한 고려사항인 게이트 전극 물질의 일함수에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 게이트 전극 물질의 일함수에 관해서는 high-k 물질과의 계면에서 쌍극자 영향으로 인한 유효 일함수가 변화하는 연구 사례가 있으나 [7], 박막트랜지스터의 전기적 특성 측면에서의 연구는 아직 보고된 바가 없다. 따라서, 본 연구에서는 게이트 전극 물질이 a-IGZO 박막트랜지스터의 전기적 특성에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

## II. 본론

### 1. 실험방법

본 연구에서의 a-IGZO 박막트랜지스터는 그림 1과 같이 top-gate 구조로 플라스틱 기판 위에 제작하였다. 소스/드레인 전극은 thermal evaporation 방법으로 알루미늄 물질을 증착하여 형성하였다. a-IGZO 채널은 IGZO ( $\text{In}_2\text{O}_3 : \text{Ga}_2\text{O}_3 : \text{ZnO} = 1:1:1 \text{ mol\%}$ ) 타겟을 이용하여 RF 스퍼터링 방법으로 1 mTorr 공정압력에서 Ar 가스와  $\text{O}_2$  가스의 비율을 49.5:0.5 sccm으로 10분간 증착하였다. 게이트 절연막인  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막은 원자층 증착 장비로 150 °C에서 trimethyl aluminum과  $\text{H}_2\text{O}$  소스를 이용하여 증착하였다. 마지막으로 게이트 전극인 알루미늄(Al)은 thermal evaporation 방법으로 형성하였고, 몰리브덴(Mo) 및 백금(Pt)은 DC 스퍼터링 방법으로 각각 형성하였다. 박막트랜지스터의 채널 길이는 20  $\mu\text{m}$ 으로 너비는 10  $\mu\text{m}$ 로 동일하게 제작하였다. a-IGZO 박막트랜지스터의 전기적 특성은 HP4155C로 측정하였다.

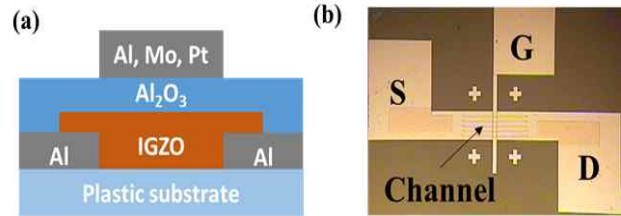


Fig. 1. (a) Schematic and (b) Optical image of an a-IGZO TFT.

그림 1. a-IGZO 박막트랜지스터의 (a) 구조도와 (b) 광학 이미지

### 2. 결과 및 고찰

그림 2 (a)는 a-IGZO 박막트랜지스터의 게이트 전극에 따른 드레인-소스 전류와 게이트-소스 전압 ( $I_{\text{DS}}-V_{\text{GS}}$ )을 나타낸 그래프이다. 게이트 전극을 Al, Mo 및 Pt로 다르게 사용할 때 a-IGZO 박막트랜지스터의 문턱전압 이동 및 전하이동도의 변화를 확인하였다.

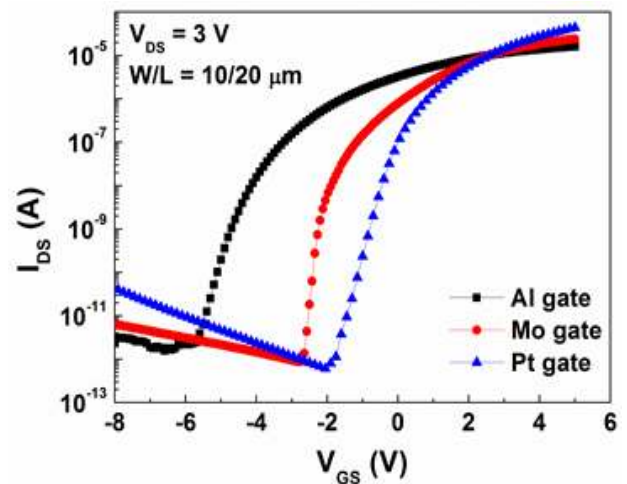


Fig. 2.  $I_{\text{DS}}-V_{\text{GS}}$  curves of the a-IGZO TFTs with three different gate electrode materials of Al, Mo and Pt.

그림 2. Al, Mo 및 Pt 게이트 전극 물질에 대한 a-IGZO 박막트랜지스터의  $I_{\text{DS}}-V_{\text{GS}}$  그래프

게이트 전극으로 사용된 물질들의 일함수와  $I_{\text{DS}}-V_{\text{GS}}$  그래프로 추출한 a-IGZO 박막트랜지스터의 전기적 특성을 표 1에 정리하였다. 게이트 전극이 Al인 경우에는 문턱전압이 -4.2 V였고, 전하이동도는  $15.8 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  이었다. Mo와 Pt로 게이트 전극을 형성하였을 경우의 문턱전압은 각각 -2.1 V와 -0.3 V였으며, 전하이동도는  $16.4 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 와

22.1cm<sup>2</sup>/V·s이었다. Pt 게이트 전극을 형성하였을 경우, 다른 게이트 전극들에 비해 전하이동도 및 on-current가 증가하는 경향을 확인할 수 있다. 또한, 게이트 전극의 일함수가 높을수록 문턱전압이 양의 전압으로 이동되었다. 이는 게이트 전극의 일함수가 박막트랜지스터의 문턱전압 이동뿐만 아니라, 소자의 전하이동도와 on-current에도 영향을 미치는 변수로 사료된다.

표 1. 게이트 전극 물질의 일함수 및 a-IGZO 박막트랜지스터의 전기적 특성

Table 1. Work function of gate electrode materials and electrical properties of a-IGZO TFTs.

Electrode	Al	Mo	Pt
Work function (eV)	4.06	4.61	5.12
V <sub>TH</sub> (V)	-4.2	-2.1	-0.3
Mobility (cm <sup>2</sup> /Vs)	15.8	16.4	22.1
S.S (mV/dec)	364	180	217
On current (A)	1.6×10 <sup>5</sup>	2.4×10 <sup>5</sup>	4.1×10 <sup>5</sup>

게이트 전극의 일함수가 a-IGZO 박막트랜지스터의 전기적 특성에 어떠한 영향을 미치는지 분석하기 위해 게이트/절연층/채널층 구조의 에너지밴드 다이어그램을 통해 알아보았다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 게이트 물질의 일함수에 따라 채널의 페르미 에너지와 차이가 나타나는 것을 알 수 있다. Al 전극 같은 경우 그 차이가 0.94 eV이었고, Mo과 Pt 전극 같은 경우 각각 0.49 eV, 0.03 eV로 나타났다. 금속과 반도체 간의 페르미 에너지 차이가 존재하면 페르미 레벨이 맞춰지면서 band bending이 일어나고, 그로 인해 절연층 표면에 전하가 쌓이면서 전압차이가 발생하게 된다. 이러한 전압차이는 박막트랜지스터의 문턱전압에 영향을 미치게 되므로 게이트 물질이 Al 였을 때보다 Pt 물질인 경우에 문턱전압이 -4.2 V에서 -0.3 V까지 이동한 것으로 알 수 있다. 게이트 전극의 일함수는 a-IGZO 박막트랜지스터에서 문턱전압과 전기적 특성에 영향을 미치는 파라미터로 사료된다.

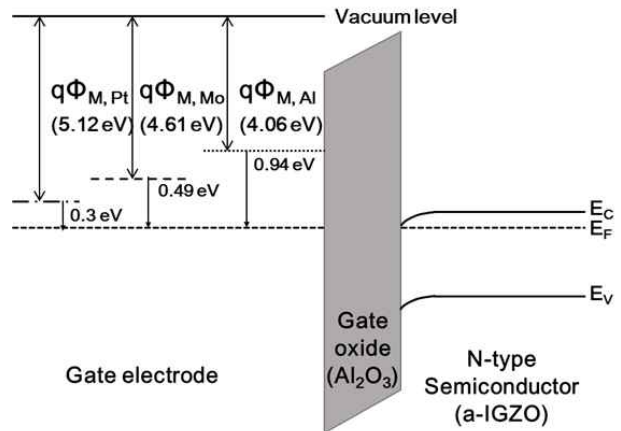


Fig. 3. Energy band diagram of metal(or Al, Mo and Pt)/oxide(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/semiconductor(a-IGZO) structure.

그림 3. 게이트 금속 (즉, Al, Mo, Pt)/절연층(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/반도체(a-IGZO) 구조의 에너지 밴드 다이어그램

### III 결론

본 연구에서는 게이트 전극의 일함수 차이로 인한 a-IGZO 박막트랜지스터의 전기적 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 Al, Mo 및 Pt을 이용하여 게이트 전극을 형성하여 제작하였다. a-IGZO 박막트랜지스터는 채널 물질의 페르미 에너지와 게이트 물질의 일함수 차이가 감소할수록 문턱전압이 감소하였고, 전하이동도 및 on-current는 증가하는 경향을 확인하였다. 박막트랜지스터의 게이트 물질로서 a-IGZO 채널 물질의 페르미 에너지를 고려하였을 경우에 문턱전압 측면에서 Pt 전극이 적합하다는 것을 확인하였다.

### References

[1] J. C. Park, H. N. Lee, S. Im, "Self-Aligned Top-Gate Amorphous Indium Zinc Oxide Thin-Film Transistors Exceeding Low-Temperature Poly-Si Transistor," *ACS. Appl. Mater. Interfaces* 5, 6990, 2013.  
DOI:10.1063/1.2966145

[2] J. S. Lee, S. Chang, S. M. Koo, S. Y. Lee,

“High-Performance a-IGZO TFT With ZrO<sub>2</sub> Gate Dielectric Fabricated at Room Temperature,” *IEEE Electron Device Lett.* 31, 3, 2010.

DOI:10.1109/LED.2009.2038806

[3] J. Y. Bak, S. M. Yoon, S. Yang, G. H. Kim, S. K. Park, C. Sun H, “Effect of In-Ga-Zn-O active layer channel composition on process temperature for flexible oxide thin-film transistors,” *J. Vac. Sci. Technol. B* 30, 4, 2012.

DOI:10.1116/1.4731257

[4] S. H. Rha, J. Jung, Y. Jung, Y. J. Chung, U. K. Kim, E. S. Hwang, B. K. Park, T. J. Park, J. H. Choi, C. S. Hwang, “Performance Variation According to Device Structure and the Source/Drain Metal Electrode of a-IGZO TFTs,” *IEEE Electron Device Lett.* 59, 12, 2012.

DOI:10.1109/TED.2012.2220367

[5] J. Jeong, G. J. Lee, J. Kim, B. Choi, “Electrical characterization of a-InGaZnO thin-film transistors with Cu source/drain electrodes,” *Appl. Phys. Lett.* 100, 112109 2012.

[6] J. Jeong, G. J. Lee, J. Kim, B. Choi, “Scaling behaviour of a-IGZO TFTs with transparent a-IZO source/drain electrodes,” *J. Phys. D: Appl. Phys.* 45, 135103 2012.

[7] Y. C. Yeo, T. J. King, C. Hu, “Metal-dielectric band alignment and its implications for metal gate complementary metal-oxide-semiconductor technology,” *J. Appl. Phys.* 92, 12 2002. DOI:10.1063/1.1521517