

산화물 박막 트랜지스터 동작에 대한 접촉 저항의 영향

Study on Contact Resistance on the Performance of Oxide Thin Film Transistors

이재상^{1,2}, 구상모², 이상렬^{1,a}
(Jae Sang Lee^{1,2}, Sang-Mo Koo², and Sang Yeol Lee^{1,a})

Abstract

The TFTs have been fabricated with 3 different geometry S/D electrodes which have the same channel W/L ratio ($W/L = 5$) due to constant channel resistance, The 3 samples have different channel widths (350, 150, and 25 μm) and channel lengths (70, 30, and 5 μm) by fixed channel W/L ratio simultaneously on one chip for reliable comparisons. Resultant on-current and field effect mobility are proportional to the channel width, while the subthreshold swing is inversely proportional to the channel width mainly due to the change of contact resistance. These results show that the contact resistance strongly affects the device performances and should be considered in the applications.

Key Words : ZrO_2 , a-IGZO, Thin film transistor

1. 서론

최근 실리콘 기반의 소자는 높은 공정온도, 낮은 이동도, 불안정성, 그리고 유연성의 결여 등의 불리한 점들로 인해 앞으로 다가오는 차세대 응용 분야에 대처하기에는 많은 제약을 띠게 되어, 이를 대체할 새로운 물질에 관해서 많은 연구가 진행되고 있다. 그 중에서 ZnO계열 산화물 반도체는 광학적 밴드갭이 가시광선의 에너지(~ 3.1 eV)보다 크기 때문에 가시광선 영역에서 높은 투과도를 나타내며, 높은 이동도($1\sim 100$ cm^2/Vs)와 직접형 반도체이다. 또한 상온 공정이 가능하고 플라스틱 기판이나 유리 기판에 높은 균일도를 가지고 넓은 면적에 증착이 가능하기 때문에 실리콘을 대체할 물질로 많은 연구가 진행되고 있다[1]. 주로 사용되는 물질은 ZnO, SnO_2 , In_2O_3 , Ga-doped ZnO, IGZO 등이 많이 사용되고 있으며 특히 상온 공정에서 이동도가 뛰어난 a-IGZO에 대한 연구가 많이 진행되고 있다[2]. 또한 저전압 구동의 소자 구현을 위해 High-k 게이트 절연막에 관해서도 많

은 연구가 진행되고 있다. 여러 게이트 절연막 재료 중에서 ZrO_2 는 아직까지 박막 트랜지스터로 연구가 발표된 논문은 없지만 높은 유전상수 (~ 25), high breakdown field intensity (~ 15 MV/cm), large band gap (~ 5.6 eV)를 가지고 상대적으로 낮은 leakage current를 보이기 때문에 박막 트랜지스터의 게이트 절연막으로서 좋은 재료이다. 본 연구에서는 IGZO를 채널층으로 사용하고, ZrO_2 를 게이트 절연막으로 사용하여 소자를 제작, 그 특성을 분석해 보았다. 산화물 반도체를 기반으로 하는 소자에서는 실리콘 기반의 소자에서와 같이 소스/드레인 부분의 도핑을 통해 오믹 접촉을 유도하는

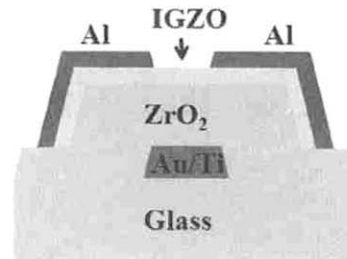


그림 1. a-IGZO TFT 단면도.

Fig. 1. Schematic diagram of the a-IGZO TFT.

1. 한국과학기술연구원 에너지재료연구단
(서울시 성북구 하월곡동 39-1)
2. 광운대학교 전자재료공학과
a. Corresponding Author : lsy@kist.re.kr
접수일자 : 2009. 6. 19
심사완료 : 2009. 7. 24

공정이 힘들기 때문에 소스/드레인 부분에 접촉 저항 존재하게 되고 이 저항이 소자 특성에 영향을 미치게 된다[3]. 따라서 본 연구에서는 ZrO_2 게이트 절연막을 이용한 a-IGZO 박막트랜지스터의 특성과 그 동작에 대한 접촉 저항의 영향에 관해서 연구해 보았다.

2. 실험

그림 1은 제작된 a-IGZO TFT의 단면도를 나타낸다. Glass 기판을 Ultrasonic bath에서 아세톤, 메탄올, DI-water 순서로 클리닝 하였다. Bottom-gate 전극은 Ti/Au를 사용하였고, 먼저 Ti를 E-Beam evaporator 를 사용하여 2 nm 증착한 후,

Au를 Thermal evaporator 를 사용하여 100 nm를 증착 하였다. 게이트 패턴은 photolithography를 사용하여 lift-off 방법으로 패턴 하였다. Gate dielectric 물질로 ZrO_2 를 RF-magnetron sputtering 방법으로 상온에서 증착 하였고, metal-shadow mask를 사용하여 패턴 하였다. 증착 조건으로 챔버내의 초기 진공도는 1×10^{-6} Torr, RF-power는 150 W, 공정압력은 5 mTorr, 반응 가스로는 Ar 분위기에서 200 nm두께로 상온에서 증착 하였다.

그 후 IGZO를 RF-magnetron sputtering방법으로 상온에서 30 nm의 두께로 증착 하였으며, metal show mask를 사용하여 패턴 하였다. 채널의 증착 조건으로 챔버내의 초기 진공도는 2×10^{-6} Torr, RF-power는 150 W, 공정압력은 5 mTorr, 반응 가스로는 Ar 과 O_2 를 혼합하여 증착 하였다. 마지막으로 소스와 드레인 전극을 Thermal evaporator를 사용하여 lift-off방법으로 100 nm 알루미늄을 증착 하였다.

3. 결과 및 검토

제작된 소자의 채널 W/L은 5:1로 고정되어 있으며, 채널 W/L이 각각 $350 / 70 \mu m$, $150 / 30 \mu m$, $25 / 5 \mu m$ 로 줄어들어 따라 소스/드레인의 전극 면적이 작아지게 된다. 결국 채널의 W/L은 일정하기 때문에 채널의 저항은 일정한 상태에서 소스/드레인의 작아지는 전극 면적에 의해 증가되는 접촉 저항만 변화 시켜, 이 접촉 저항이 소자에 어떻게 영향을 미치는지 알아 보았다. 또한 소자에 영향을 미치는 다른 추가적인 영향을 동일하게 적용하기 위해 하나의 칩 위에 3개의 소자를 동시에 제작 하였다. 그림 2은 ZrO_2 를 게이트 절연막으로 사용한 IGZO TFT ($150/30 \mu m$)의 출력 및 전달 특성을 나타내고 있다.

그림 2(a)에서 나타난 결과와 같이 제작된 소자는 $V_G = 0$ V에서 전류가 흐르지 않고, 게이트 전압이 증가함에 따라 증류가 증가하는 enhancement mode로 동작하는 것을 확인 할 수 있다. 또한 출력 특성의 그래프에서 선형 영역과 포화영역이 잘 나타난 것을 확인 할 수 있다. 그림 2(b)는 제작된 소자의 전달 특성을 나타내고 있다. ZrO_2 를 게이트 절연막으로 사용한 IGZO TFT는 on/off ratio가 $\sim 10^7$ 이며, 문턱 전압은 3.2 V로 소자로서 잘 동작하는 것을 확인 할 수 있다. 그림 3은 채널 W/L= $25/5 \mu m$ 으로 제작된 소자의 전기적 특성을

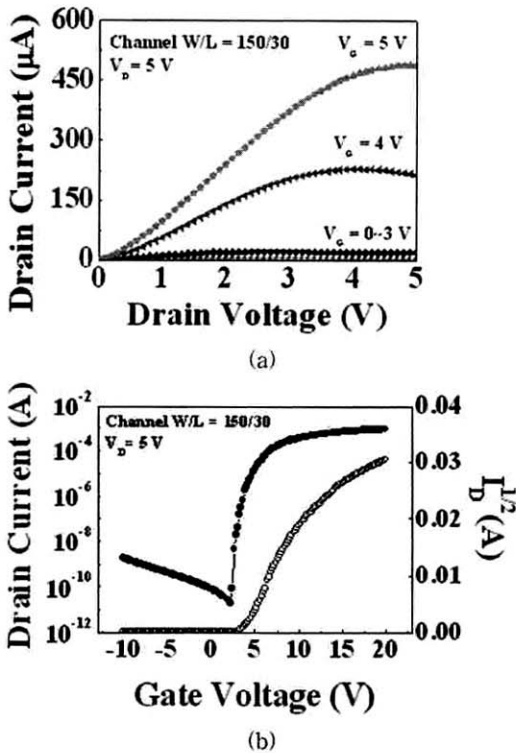


그림 2. 제작된 a-IGZO TFT (channel W/L = $150/30 \mu m$)의 전기적 특성 (a) 출력 특성 (b) 전달 특성.

Fig. 2. Electrical characteristics of the a-IGZO TFT (channel W/L = $150 \mu m/30 \mu m$) (a) Output characteristics (b) Transfer characteristics.

나타내고 있다. 그림 3(a)에서 나타난 출력 특성은 그림 2(a)에서 나타난 출력 특성에 비해 전류레벨이 줄어든 것을 확인 할 수 있다. 그 원인은 소스/드레인의 콘택 면적이 작아짐으로 인해 콘택 저항이 증가하였기 때문이다. 그림 3(b)에서 나타난 전달 특성에서도 소자의 Swing값은 0.31 V/decade에서 0.43 V/decade로 증가하였고, 이동도는 $40 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 에서 $29 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 로 감소한 것으로 확인되었다. 제작된 3개 소자의 전달 특성을 비교하기 위해 하나의 그래프로 그림 4에 나타내 보았다. 그림 4에서 나타난 결과와 같이 채널의 폭이 작아짐에 따라, 즉 접촉 저항이 증가함에 따라 소자의 on-current가 감소함을 확인 할 수 있다. 그림 5는 채널의 폭에 따른 소자의 Swing값과 이

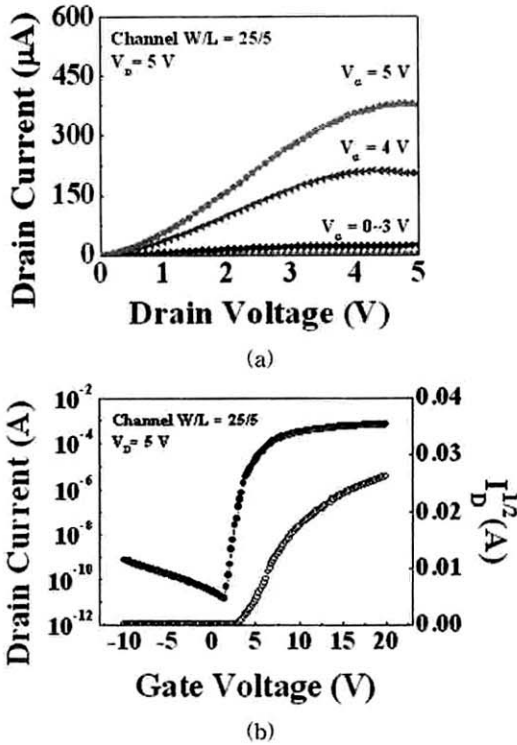


그림 3. 제작된 a-IGZO TFT (channel W/L = 25/5 μm)의 전기적 특성 (a) 출력 특성 (b) 전달 특성.
 Fig. 3. Electrical characteristics of the a-IGZO TFT (channel W/L = 25 μm/5 μm) (a) Output characteristics (b) Transfer characteristics.

동도를 나타내고 있다. 그림 4에서도 확인 할 수 있듯이 채널의 폭이 작아짐에 따라, 즉 접촉 저항이 증가함에 따라 Swing값이 0.21 V/decade에서 0.43 V/decade로 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 소자의 접촉 저항이 증가함에 따라 on-current가 감소 하고 Swing값도 증가하는 소자 특성이 나타나는 것을 확인 하였다. 이동도 또한 접촉 저항이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났다. 이 결과는 이전의 접촉 저항에 따른 이동도의 변화와 일치 하였다[3].

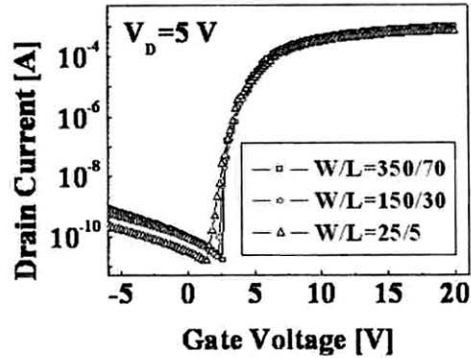


그림 4. 제작된 a-IGZO TFT의 채널 W/L에 따른 출력 특성.
 Fig. 4. Transfer characteristics of a-IGZO TFT as a function of the channel W/L.

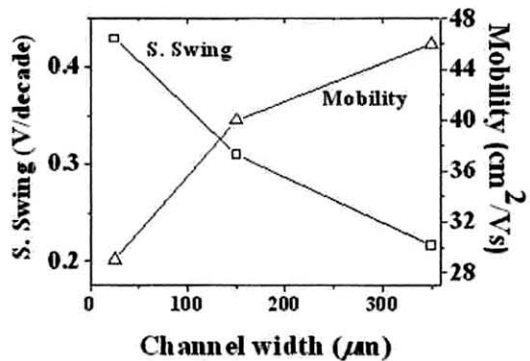


그림 5. 제작된 a-IGZO TFT의 채널 W/L에 따른 Subthreshold Swing값과 이동도 특성.
 Fig. 5. The subthreshold swing and field-effect mobility of a-IGZO TFT.

4. 결 론

본 연구에서는 ZrO_2 를 게이트 절연막으로 사용한 IGZO TFT가 소자로서 잘 동작 하는 것을 확인 할 수 있었고, 접촉 저항에 따른 소자의 on-current, Swing, 이동도에 대한 영향을 확인해 보았다. 측정 결과 채널의 폭이 작아짐에 따라, 즉 접촉 저항이 증가함에 따라 on-current와 이동도가 감소하고, 소자의 Swing값이 증가하는 것을 확인 하였다. 이 결과를 바탕으로 산화물 반도체 소자에서 높은 성능의 소자를 만들기 위해서는 접촉 저항을 줄이는 것이 중요하다는 것을 확인 하였다.

감사의 글

본 논문은 중소기업청의 '산학협력실 지원사업'을 통해 개발된 결과물임.

본 연구는 KIST의 핵심역량과제에서 지원을 받아서 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] Nomura, H. Ohta, A. Takagi, T. Kamiya, M. Hirano, and H. Hosono, "Room-temperature fabrication of transparent flexible thin-film transistors using amorphous oxide semiconductors", *Nature*, Vol. 432, No. 7016, p. 488, 2004.
- [2] H. Yabuta, M. Sano, K. Abe, T. Aiba, T. Den, H. Kumomi, K. Nomura, T. Kamiya, and H. Hosono, "High mobility thin film transistor with amorphous $InGaZnO_4$ channel fabricated by room temperature rf magnetron sputtering", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 89, No. 11, p. 112123, 2006.
- [3] K. Y. Chan, E. Bunte, H. Stiebig, and D. Knipp, "Influence of contact effect on the performance of microcrystalline silicon thin film transistors", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 89, No. 20, p. 203509, 2006.