

비정질 하프늄인듐징크옥사이드 산화물 반도체의 공정 파워에 따른 트랜지스터의 전기적 특성 연구

유동윤^{1,2}, 정유진^{1,3}, 김도형¹, 주병권², 이상렬^{1,a}

¹ 한국과학기술연구원 전자재료연구단

² 고려대학교 일반대학원

³ 과학기술연합대학원대학교 나노전자소자공학과

Study on the Electrical Properties of Amorphous HfInZnO TFTs Depending on Sputtering Power

Dong Youn Yoo^{1,2}, Eugene Chong^{1,3}, Do Hyung Kim¹, Byeong Kwon Ju², and Sang Yeol Lee^{1,a}

¹ Electronic Materials Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 136-791, Korea

² Department of Electrical Engineering, Display and Nanosystem Laboratory, Korea University, Seoul 136-701, Korea

³ Nanoelectronics, University of Science and Technology, Daejeon 305-350, Korea

(Received July 12, 2011; Revised July 23, 2011; Accepted July 24, 2011)

Abstract: The dependency of sputtering power on the electrical performances in amorphous HIZO-TFT (hafnium-indium-zinc-oxide thin film transistors) has been investigated. The HIZO channel layers were prepared by using radio frequency (RF) magnetron sputtering method with different sputtering power at room temperature. TOF-SIMS (time of flight secondary ion mass spectrometry) was performed to confirm doping of hafnium atom in IZO film. The field effect mobility (μ_{FE}) increased and threshold voltage (V_{th}) shifted to negative direction with increasing sputtering power. This result can be attributed to the high energy particles knocking-out oxygen atoms. As a result, oxygen vacancies generated in HIZO channel layer with increasing sputtering power resulted in negative shift in V_{th} and increase in on-current.

Keywords: A-HIZO, Oxide semiconductor, RF power, Oxygen partial pressure, Threshold voltage

1. 서 론

최근 전자재료 분야에서 있어서 산화물 소재가 각광을 받고 있다. 오래 전부터 산화물 재료에 대한 연구가 이루어져 왔지만, 최근 대형 평판 디스플레이, 태양전지에 적용을 위한 투명전극, ZnO 및 GaN 계열의 발광소자 등에 적용 가능한 특성들을 보임으로써 그 연구가 활발히 진행되고 있다. 산화물 박막 트랜

지스터 (thin film transistor, TFT)는 저온 공정, 넓은 밴드 갭, 뛰어난 전기적 특성 (전계 효과 이동도 등)을 가지고 있다. 특히, 산화물 반도체의 넓은 밴드 갭과 저온 공정 특성은 플렉서블 (active matrix organic light emitting diode, AM-OLED)와 같은 차세대 디스플레이 구현을 가능하게 해줄 것으로 예상하고 있다. 하지만 ZnO 기반의 박막 트랜지스터는 대면적 시, 전기적 특성의 불균일, 가스의 흡착과 탈착으로 인한 불안정성, 박막 표면의 거칠기와 같은 임

a. Corresponding author; lsy@kist.re.kr

도경계 (grain boundaries)와 관련된 문제를 가지고 있다. 최근에는 여러 연구 그룹에서 갈륨 (gallium), 하프늄 (hafnium), 자르코늄 (zirconium), 실리콘 (silicon)을 도핑하여 징크 산화물 트랜지스터의 전기적 특성 및 안정성을 향상시킬 수 있다고 보고되어지고 있다 [1-5].

본 연구에서는 5 wt% hafnium이 도핑된 HIZO (hafnium indium zinc oxide) 타겟을 사용하여 RF-magnetron sputtering 방법으로 비정질 HIZO 박막을 증착하였다. hafnium 5 wt.%가 도핑된 HIZO 박막의 depth profile를 확인하기 위해 time-of-flight secondary ion mass spectrometry (TOF-SIMS)를 사용하였다. 그리고 RF 파워의 변화에 따른 HIZO 박막의 문턱전압 및 전계효과이동도를 분석하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 RF magnetron sputtering 방법을 사용하여 50 nm 두께의 HIZO 박막을 p 타입 실리콘 기판에 (200 nm-SiO₂ / p-Si) 증착하였다. 스퍼터링 타겟으로는 5 wt.%의 hafnium이 도핑된 직경 2인치의 디스크 타입 HIZO 타겟을 사용하였다. 공정압력은 5×10⁻³ torr, 가스 분위기는 아르곤 (95 Sccm)과 산소 (5 Sccm)로 혼합된 가스를 사용하였고, 기판온도는 상온 (RT)에서 이루어졌다. RF 파워에 35 W, 50 W, 65 W로 변화를 주어 실험을 진행하였다. 트랜지스터 구조는 bottom-gate structure를 적용하였다. 채널 형성을 하기 위해 포토 리소그래피 방법과 에칭공정이 이루어졌으며 에칭공정은 1%의 묽은 염산 (HCL)을 이용하여 15초 동안 이루어졌다. 채널의 두께는 RF 파워에 따라 30 nm로 동일하게 제작하였다. 소스와 드레인 전극 형성은 전자빔 증착법 (electron beam evaporation)과 열 증착법 (thermal evaporation)을 사용하여 티타늄 (10 nm)와 골드 (50 nm)를 증착하였으며 lift-off 방식으로 전극 패턴을 형성하였다. 위와 같은 방법으로 제작된 a-HIZO 박막 트랜지스터의 안정성과 전극과의 접촉 특성을 향상시키기 위해 1시간 동안 질소 분위기에서 350°C로 후열처리를 실시하였다. 마지막으로, 외부 환경으로부터 채널층에 유입되는 가스의 흡착과 탈착을 막기 위해 PMMA (polymethyl-mechacrylate)를 사용하여 보호층을 형성하였다. a-HIZO 박막 트랜지스터의 채널 길이는 50 μm, 그리고 전극의 폭은 250 μm이며, 이에 대한 트랜지스터의 전기적 특성은 semiconductor

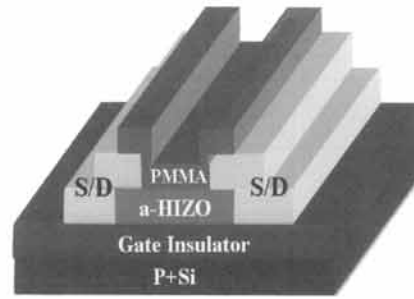


Fig. 1. A schematic view of an a-HIZO thin film transistor.

parameter analyzer를 이용하여 상온에서 측정하였고 hafnium 5 wt.%가 도핑된 HIZO 박막의 depth profile를 확인하기 위해 TOF-SIMS (TOFSIMS5, ION-TOF GmbH)를 사용하여 IZO 박막과 비교 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2에서는 5 wt.%의 hafnium이 도핑된 HIZO와 IZO thin films의 depth profile을 비교하였다.

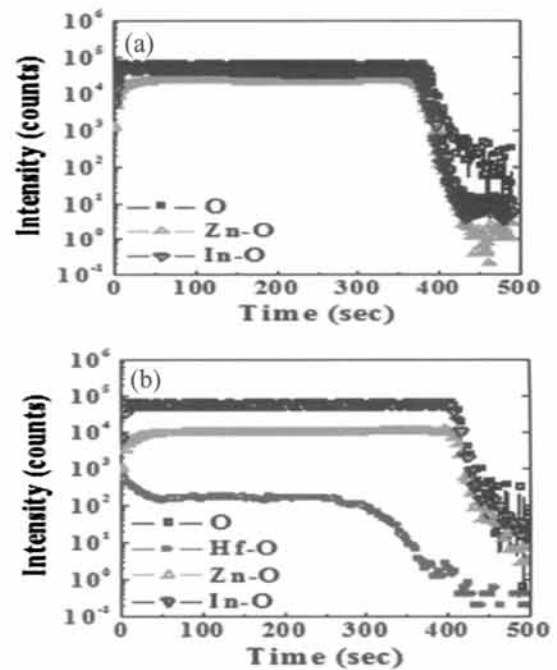


Fig. 2. Comparison of depth profile TOF-SIMS between (a) IZO and (b) hafnium 5 wt.% doped HIZO thin films.

Table 1. The evolution of electronic properties as RF-power.

Power	$V_{th}(V)$	μ_{FE} ($cm^2/V \cdot s$)	S.S (V/dec)	I_{on-off} ratio
35	-0.4	0.818	0.35	2.3×10^5
50	-5.8	2.727	0.33	3.3×10^6
65	-10.7	5.908	0.25	1.6×10^6

위 data의 분석결과로 보아 Hf 금속 양이온이 IZO 박막에 도핑된 것을 알 수 있었다. 그 결과 Hf은 Hf 이 도핑된 HIZO 타겟을 사용하여 IZO film에 혼합될 수 있다. 뿐만 아니라, Hf 금속 양이온이 Zn와 산소와의 결합을 깨고 치환된 것을 알 수 있었다. 그 이유는 그림 2(b)에서 Zn와 산소와의 결합세기가 줄어들고 Hf과 산소의 결합세기가 증가한 것으로 보아 이를 증명할 수 있다.

표 1은 RF 파워에 따른 전기적인 특성 변화를 나타낸 것이다.

그림 3은 5.1 V의 드레인 전압 (drain voltage)에서 전기적 특성인 transfer curve를 RF-power에 따라 나타낸 것이다. RF-power가 증가 할수록 캐리어의 이동도 (μ_{FE})는 $0.818 \text{ cm}^2/V \cdot s$ 에서 $5.908 \text{ cm}^2/V \cdot s$ 로 증가하였고 문턱전압 (V_{th})은 -0.4 V 에서 -10.7 V 로 감소하였다. 이것은 높은 에너지 입자에 의해 결합되어 있는 산소 원자의 결합이 끊어졌기 때문에 비정질 HIZO 박막에서 줄어든 산소원자의 비율만큼 전류의 흐름에 기여하는 산소공공 (oxygen vacancy)을 형성하게 되었다는 것을 의미한다 [6]. 중성인 산소공공은 그 주위에 두 개의 trapped electron이 존재하고 있어 이온화 반응에 의하여 자유전자를 생성하여 전류 흐름에 기여하게 된다. 더욱이, Zn interstitial의 형성 엔탈피(8 eV)에 비해 산소공공의 형성 엔탈피(1.58 eV)가 더 작다 [7]. 그러므로 생성된 산소공공이 native 도너 (donor)로써 역할을 하게 되는 것이다 [8-10].

그러므로 문턱전압, 캐리어 이동도, 문턱전압 이하에서의 기울기 (subthreshold swing)를 고려하여 최적화된 sputter power를 50 W 라고 판단하였다. 그 이유는 65 W일 경우 캐리어 이동도는 $5.908 \text{ cm}^2/V \cdot s$, 문턱전압 이하에서의 기울기는 0.25 V/dec로 35, 50, 65 W 중 가장 특성이 좋았으나 문턱전압이 50 W일 경우

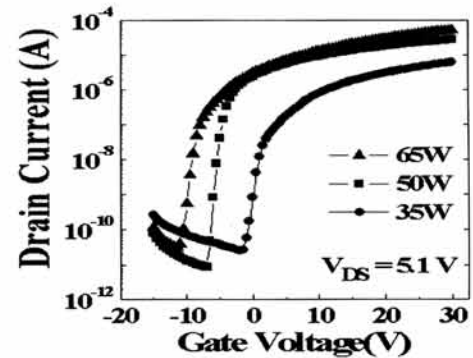


Fig. 3. Transfer curve of a-HIZO TFTs as a function of power.

-5.8 V 에 비해 -10.7 V 로 크게 음의 방향으로 이동하였기 때문에 50 W가 최적의 sputter power라고 판단하였다.

4. 결론

본 연구에서는 RF magnetron sputtering을 이용하여 hafnium이 도핑된 HIZO 박막을 제작하였다. 실험으로 다양한 RF 파워에 따른 비정질 HIZO 박막 트랜지스터의 산소공공에 의한 전기적 특성변화를 관찰하였다. 그 중에서도 디바이스의 on 특성에 영향을 주는 문턱전압 값의 변화를 관찰하여, RF 파워가 증가할수록 채널층에 결합되어 있는 산소원자를 끊어 자유전자 역할을 하는 산소공공이 증가함을 알 수 있었다. 채널의 전도성이 높아진다는 것을 문턱전압 값이 음의 방향으로 이동하는 경향을 통해 확인하였다.

따라서, 안정적인 특성의 비정질 HIZO 박막 트랜지스터를 구현하기 위해서는 RF 파워가 중요한 증착 인자임을 확인하였다. 향후 산소와 반응을 억제시키는 방향으로 박막 공정의 개선과 후 열처리에 따른 박막의 특성 변화 등의 세밀한 연구를 통해 디스플레이 산업 분야에 HIZO가 매우 유용하게 사용될 것으로 예상된다.

감사의 글

This work is supported by the IT R&D program of MKE/IITA. [KI002182, TFT backplane technology for next generation display].

REFERENCES

- [1] K. Nomura, H. Ohta, A. Takagi, T. Kamiya, M. Hirano, and H. Hosono, *Nature*, 432, 488 (2004).
- [2] J. Y. Kwon, J. S. Jung, K. S. Son, K. H. Lee, J. S. Park, T. S. Kim, J. S. Park, R. Choi, J. K. Jeong, B. W. Koo, and S. Y. Lee, *J. Electrochem. Soc.*, 158, 433 (2011).
- [3] J. S. Park, T. S. Kim, K. S. Son, K. H. Lee, W. J. Maeng, H. S. Kim, E. S. Kim, K. B. Park, J. B. Seon, W. Choi, M. K. Ryu, and S. Y. Lee, *Appl. Phys. Lett.*, 96, 262109 (2010).
- [4] S. Y. Lee, Y. W. Song, and S. P. Chang, *J. KIEEME*, 21, 3 (2008).
- [5] J. K. Jeong, *Soc. Information Display*, 10, 42 (2009).
- [6] W. F. Wu and B. S. Chiou, *Thin Solid Films*, 247, 201 (1994).
- [7] E. Ziegler, A. Heirich, H. Oppermann, and G. Stover, *Phys. Stat. Sol.*, A66, 635 (1981).
- [8] J. S. Park, J. K. Jeong, Y. G. Mo, H. D. Kim, and C. J. Kim, *Appl. Phys. Lett.*, 93, 033513 (2008).
- [9] J. K. Jeong, H. W. Yang, J. H. Jeong, Y. G. Mo, and H. D. Kim, *Appl. Phys. Lett.*, 93, 123508 (2008).
- [10] E. C. Chong, K. C. Jo, and S. Y. Lee, *Appl. Phys. Lett.*, 96, 152102 (2010).