

공정 변수에 따른 비정질 인듐갈륨징크옥사이드 산화물 반도체 트랜지스터의 전기적 특성 연구

정유진^{1,2}, 조경철¹, 김승한¹, 이상렬^{1,2,a}

1. 한국과학기술연구원 전자재료연구단
2. 과학기술연합대학원대학교 나노전자소자공학과

Study on the Electrical Properties of a-IGZO TFTs Depending on Processing Parameters

Eu-Gen Chong^{1,2}, Kyoung-Chol Jo¹, Seung-Han Kim¹, and Sang-Yeol Lee^{1,2,a}

1. Electronic Materials Center, Korean Institute of Science and Technology, Seoul 136-791, Korea
2. Nanoelectronics, University of Science and Technology, Daejeon 305-333, Korea

(Received February 16, 2010; Revised April 8, 2010; Accepted April 20, 2010)

Abstract: Thin-film transistors (TFTs) were fabricated using amorphous indium gallium zinc oxide (a-IGZO) channels by rf-magnetron sputtering at room temperature. We have studied the effect of oxygen partial pressure on the threshold voltage(V_{th}) of a-IGZO TFTs. Interestingly, the V_{th} value of the oxide TFTs are slightly shifted in the positive direction due to increasing O_2 partial pressure from 0.007 to 0.009 mTorr. The device performance is significantly affected by varying O_2 ratio, which is closely related with oxygen vacancies provide the needed free carriers for electrical conduction.

Keywords: a-IGZO, Oxide semiconductor, Partial pressure, Transistor, Threshold voltage

1. 서 론

현재 전자기술의 바탕이 되고있는, 실리콘(Si) 재료가 물성적 기술적 한계에 도달하면서, 차선책으로 가장 대두되는 재료로 ZnO를 바탕으로 한 산화물 반도체의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 투명 디스플레이에 적용할 수 있을 정도의 넓은 광학적 밴드 갭(>3.5 eV)을 갖고 있어, 이에 따른 높은 투과율과 도핑(doping) 물질에 따라 전극(electrode)부터 인슐레이터(insulator) 까지 차세대 디스플레이에서 요구하는 광범위한 전기 전도성 ($10^{10} \sim 10^{-4} \Omega\text{cm}$)을 만족시키는 특성을 갖는다 [1-4]. 특히 ZnO를 기본으로 한 산화물 반도체는 차세대 디스플레이로 주목받고 있는 AM-OLED, AM-LCD 등에서 요구되는 높은 트랜지

스터 성능과 다양한 환경인자 속에서도 안정성을 충족시키는 주요 소자기술로 연구되고 있다 [5]. 그 중에서도 인듐과 갈륨(In-Ga)을 합성한 사성분계(quaternary)계인 a-IGZO (비정질 인듐-갈륨-징크 옥사이드)는 박막 트랜지스터(thin film transistor : TFT)의 채널(channel)층으로써 많은 연구가 이루어져 그 상업화를 눈앞에 두고 있다. 현재까지 연구된 결과들 중 주목할 만한 것을 보면, 채널의 두께에 따른 특성 변화 [6], 채널 증착시의 산소 분압(oxygen partial pressure) 및 어닐링 조건에 따른 특성 변화 [3], 그리고 에치 스톱퍼(etch stopper) 와 같은 후막 처리가 a-IGZO TFT의 특성에 미치는 영향에 대해 다양한 방향으로 연구가 이루어져왔다 [7]. 그러나, 아직까지도 a-IGZO 박막트랜지스터의 다양한 공정조건에 따른 전기적 특성 변화와 그에 따른 트랜지스터

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

특성에 미치는 정확한 메커니즘은 역할규명이 미흡한 상태이다. 더불어, a-IGZO 트랜지스터에서 요구되는 낮은 전하농도 10^{17} cm^{-3} [8] 아래의 범위에서는 일반적인 hall measurement 방식으로 정확한 전하농도 변화 값의 측정이 어려운 실정이다. 일반적으로, ZnO는 carrier 생성을 억제하는 Ga 메탈 이온이 도핑된 상태에서 Zn의 과다나 산소원자의 부족으로 트랜지스터에 적합하지 않은 고농도의 n형 반도체의 특성을 나타낼 뿐만 아니라, 산소 분위기에서 self-compensation 현상으로 그 특성이 저하되는 것이 보고된 바 있다 [9]. 즉, 산소공공(oxygen vacancy)는 중성이지만 그 주위에 두 개의 trapped electron이 존재하고 있어 이온화 반응에 의하여 자유전자를 생성하여 전도성에 기여하게 된다. 더욱이, Zn interstitial의 형성 엔탈피(8 eV)에 비해 산소공공의 형성 엔탈피(1.58 eV)가 더 작기 때문에 산소공공이 쉽게 생성되어, native 도너(donor)로써 역할을 한다 [10]. 이러한 trapped electron은 아래와 같은 식으로 나타낼 수 있다.



이에 이 논문에서는 미세한 범위에서의 oxygen 분위기에 따른 threshold voltage(V_{th})의 변화 값에 의한 carrier concentration의 변화를 관찰하고, oxygen 분위기의 변화에 따라 변화하는 트랜지스터의 특성에 대한 메커니즘을 논의하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험장치

본 실험에서 사용된 증착방법은 대면적 디스플레이에 적용시 양산 가능하고, 방전을 유지하고, 이온화를 촉진시키는데 유리한 RF 방전에 의한 스퍼터링(rf-sputtering) 방법을 사용하였다. 기판은 p 타입 실리콘 기판에 게이트 인슐레이터(gate insulator)로써 SiO_2 100 nm를 PE-CVD 방법으로 증착한 것을 사용하였다. 2인치 IGZO 타겟(In:Ga:Zn = 1:1:1)을 사용하여, 공정압력 5 mTorr, 아르곤 분위기에서 0.007에서 0.009 mTorr 까지 다른 산소 분압 분위기에서 RF power 밀도 5.09 W/cm^2 를 이용하여 상온에서 증착하였다. 트랜지스터의 구조는 Si 공정라인에 적용할 수 있는 [11], bottom-gate structure를 적용하였으며 이는 그림 1에 도식화 하였다. 채널형성은 일반적인 포토 리소그래피 방법과 HCL 1%를 이용한 에칭공정

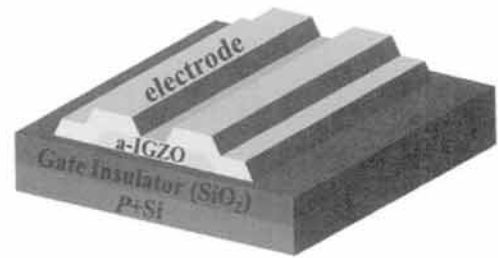


Fig. 1. A schematic of the bottom-gate and top-electrode structure.

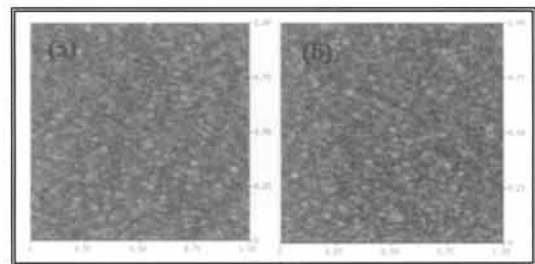


Fig. 2. AFM image of a-IGZO film analyzed. The scan area of AFM images are $1 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$ and the z-scale is 50 nm for the oxygen partial pressure of 0.007 mTorr (a) and the oxygen partial pressure of 0.009 mTorr.

으로 형성하였으며, 소스와 드레인 전극은 티타늄(10 nm) 과 99.999%의 골드(90 nm)를 각각 evaporator와 thermal 방식으로 증착하여, lift-off 방식으로 전극 패턴을 형성하였다. 위에 방법으로 제작된 a-IGZO 박막 트랜지스터를 1 시간 동안 질소 분위기에서 350°C 로 후열처리를 실시하여 박막 특성의 안정화와 전극과의 접촉 특성의 향상을 도모하였다. 적용된 박막 트랜지스터의 채널 길이는 $100 \mu\text{m}$ 그리고 전극의 넓이는 $50 \mu\text{m}$ 이며, 이에 대한 트랜지스터의 전기적 특성은 semiconductor parameter analyzer를 이용하여, 빛이 들어오지 않는 상온 상태에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

a-IGZO박막의 비정질 구조는 XRD와 TEM을 이용하여 확인하였다.(데이터는 첨부하지 않음) 만일, 결정성 IGZO 박막일 경우 그레인 모양(grain shape)

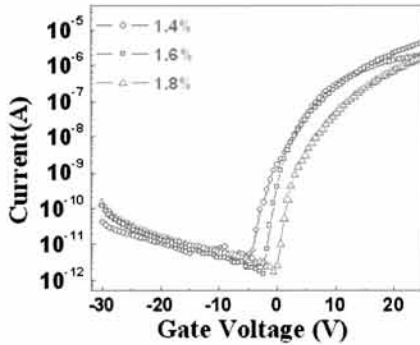


Fig. 3. Transfer curve of a-IGZO TFTs as a function of O_2 partial pressure.

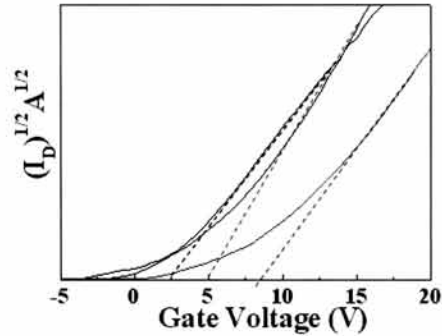


Fig. 4. The linearly fitting the square root of I_D vs. V_G curve of the a-IGZO transistor with varying oxygen partial pressure.

과 그레인 사이즈(grain size)에 의해 미치는 트랜지스터의 특성 변화를 고려해야 하나, 비정질 구조의 박막 특성에서는 그에 대한 변수는 고려하지 않는다 [12]. 그림 2에서는 bottom-gate 구조의 특성상 final-layer 인 채널의 표면 거칠기(roughness)가 트랜지스터 특성에 영향을 주는 것을 고려하여, 채널 박막의 산소 분압에 따른 표면 거칠기를 AFM을 이용하여 oxygen 0.007 과 0.009 mTorr를 비교하였다. 이때, 표면거칠기 rms 값이 각각 1.14 nm 와 1.19 nm로, 산소 분압에 따른 표면 거칠기의 차이는 거의 보이지 않았다.

그림 3은 대표적인 박막 트랜지스터의 전기적 특성인 transfer curve를 10 V 의 드레인 전압 (drain voltage)에서 산소 분압에 따라 나타낸 것이다. 산소 분압에 상관없이 모든 a-IGZO 박막 트랜지스터는 enhancement mode (i. e 문턱전압 > 0)의 특성을 보여주었다. 산소분압에 따른 문턱전압 변화는 그림 4에서, square root를 적용한 드레인 전류와 게이트 전압 값에 포화영역(saturation region)에서 linearly fitting을 하여 구하였다. $I_{on/off}$ 비는 $\sim \times 10^6$, On current 값은 10^6 이상 그리고, 문턱전압은 산소분압이 0.007에서 0.009 mTorr로 증가할수록 2.4에서 8.4 V로 양의 방향으로 값이 변하는 경향을 확인할 수 있었다. 이는 산소 분압이 증가할수록 산소와 산소공공에 combination 현상이 일어남으로써, 산소공공이 감소하여, 전하농도를 낮추는 역할을 하게 된다. 다시 말해, 높은 산소분위기에서 증착된 박막은 산소공공의 밀도가 낮아 conductivity가 낮아져, 문턱전압 특성은 양의 방향의 값으로 나타나게 되는 것이다. 위와 같은 특성은 ZnO 물질이 산소 센서 혹은 가스 센서로써 응용되고 있는 점을 고려하면, 산소 및 분위기 가스에 민감하게 특성이 변화할 것이라는 것이 쉽게

이해가 가능할 것으로 사료된다 [13].

4. 결론

차세대 디스플레이 구현을 위한, 산화물 반도체 박막 트랜지스터는 디바이스로 구현시 대면적 디스플레이 적용이 용이하고, 높은 성능, 그리고 투명한 디바이스를 구현할 수 있다는 장점이 있다. 이 논문에서는 다양한 산소분위기에서의 a-IGZO 박막을 적용한 트랜지스터의 산소공공에 의한 전기적 특성변화를 관찰하였다. 그 중에서도 디바이스의 on 특성에 영향을 주는 문턱전압 값의 변화를 관찰하여, 산소분위가 증가할수록 자유전자 역할을 하는 산소공공이 줄어들어, 채널의 전도성이 낮아진다는 것을 문턱전압 값이 positive 방향으로 이동하는 경향을 통해 확인하였다. 이는 이미 다른 연구에서도 언급된 것처럼 a-IGZO 박막의 증착시 산소분압에 따라 민감하게 박막의 특성이 변화하는 것을 재 입증한 것이다. 더불어, 산소분압이 0.007에서 0.009 mTorr 사이의 간소한 범위에서도 문턱전압의 특성이 변화하는 것을 확인하였다. 이는 즉 안정적인 특성의 a-IGZO 박막 트랜지스터를 구현하기 위해서는 무엇보다도, 산소와 반응을 억제시키는 방향으로 연구 개발이 진행돼야 한다는 것을 의미한다.

감사의 글

This work is supported by the core competency project from KIST.

REFERENCES

- [1] E. Fortunato, A. Pimentel, A. Goncalves, A. Marques, and R. Martins, *Thin Solid Films* **502**, 104 (2006).
- [2] B. D. Ahn, J. H. Kim, H. S. Kang, C. H. Lee, S. H. Oh, K. W. Kim, G. E. Jang, and S. Y. Lee, *Thin Solid Films* **516**, 1382 (2008).
- [3] Y. K. Moon, S. Lee, J. W. Park, D. H. Kim, J. H. Lee, and C. O. Jeong, *J. Korean Phys. Soc.* **54**, 121 (2009).
- [4] S. Y. Lee, Y. W. Song, and S. P. Chang, *J. KIEEME* **21**, 3 (2008).
- [5] J. K. Jeong, *Information Display*, **10**, 42 (2009).
- [6] J. S. Park, J. K. Jeong, Y. G. Mo, H. D. Kim, and C. J. Kim, *Appl. Phys. Lett.* **93**, 033513 (2008).
- [7] M. K. Kim, J. H. Jeong, H. J. Lee, T. K. Ahn, H. S. Shin, J. S. Park, J. K. Jeong, Y. G. Mo, and H. D. Kim, *Appl. Phys. Lett.* **90**, 212114 (2007).
- [8] T. Kamiya, K. Nomura, and H. Hosono, *J. Display Technol.* **5**, 468 (2009).
- [9] P. Barquinha, L. Pereira, G. Goncalves, R. Martins, and E. Fortunato, *J. Electrochem. Soc.* **156**, H161 (2009).
- [10] E. Ziegler, A. Heirich, H. Oppermann, and G. Stover, *Phys. Stat. Sol. (a)* **66**, 635 (1981).
- [11] S. Y. Lee, Y. W. Song, and S. P. Chang, *J. of IEEK* **35**, 60 (2008).
- [12] Y. Orikasa, M. Hayashi, and S. Muranaka, *J. Appl. Phys.* **103**, 113703 (2008).
- [13] K. W. Kim, Y. W. Song, S. P. Chang, I. H. Kim, S. S. Kim, and S. Y. Lee, *Thin Solid Films* **518**, 1190 (2009).