

Solution-Processed Al_2O_3 확산층을 이용한 Sputtering IZO Thin Film Transistor의 안정성 향상

황남경, 임유성, 이정석, 이세형, 이문석^a

부산대학교 전기전자컴퓨터공학과

Improved Stability Sputtered IZO Thin Film Transistor Using Solution Processed Al_2O_3 Diffusion Layer

Namgyung Hwang, Yooseong Lim, Jeong Seok Lee, Sehyeong Lee, and Moonsuk Yi^a
 Department of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea

(Received February 6, 2018; Revised March 10, 2018; Accepted March 12, 2018)

Abstract: This research introduces the sputtered IZO thin film transistor (TFT) with solution-processed Al_2O_3 diffusion layer. IZO is one of the most commonly used amorphous oxide semiconductor (AOS) TFT. However, most AOS TFTs have many defects that degrade performance. Especially oxygen vacancy in the active layer. In previous research, aluminum was used as a carrier suppressor by binding the oxygen vacancy and making a strong bond with oxygen atoms. In this paper, we use a solution-processed Al_2O_3 diffusion layer to fabricate stable IZO TFTs. A double-layer solution-processed Al_2O_3 -sputtered IZO TFT showed better performance and stability, compared to normal sputtered IZO TFT.

Keywords: Amorphous oxide semiconductor, Thin film transistor, IZO, Aluminum oxide, Diffusion layer

1. 서론

현재 디스플레이 후면(back plane)의 전기적 장치로 이용되는 thin film transistor (TFT)는 차세대 디스플레이(next generation display)에 사용되기 위하여 고해상도를 위한 높은 이동도, 대면적화, 그리고 투명성이 요구된다. 기존 디스플레이에 사용되었던 비정질 실리콘 TFT (amorphous silicon TFT, a-Si TFT)는 낮은 이동도($\sim 1 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$)와 낮은 에너지 밴드 갭(1.12 eV)으로 인한 가시광선 영역에서의 불투명성으

로 인하여 이러한 차세대 디스플레이의 요구 조건에 부합하지 않다 [1].

비정질 산화물 반도체(amorphous oxide semiconductor, AOS)는 이러한 요구 조건에 정확히 부합하는 물질이다. 비정질 산화물 반도체 TFT에 사용되는 대표적인 물질인 indium gallium zinc oxide (IGZO)는 고해상도 구현을 위한 높은 이동도($\sim 15 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$)와 높은 밴드 갭(3.24 eV)으로 가시광선 영역 내에서의 투명성을 가져 차세대 디스플레이 TFT에 매우 적합한 물질이다 [2]. IGZO의 갈륨(gallium)은 높은 산소 결합력을 가져 물질 내의 산소 결손(oxygen vacancies)을 제어하는 역할을 하는 매우 중요한 물질이지만, 지구상의 매장량이 매우 낮은 물질인 희토류로, 매우 비싼 가격을 가지고 있다. 이러한 갈륨의 한계를 극복하기 위하여 여러 연구들이 진행되고 있다 [2,3]. 본 연구에서는 갈륨과 같은 3족 원소인 알루미늄(aluminum)을

a. Corresponding author; msyi@pusan.ac.kr

Copyright ©2018 KIEEME. All rights reserved.
 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.

이용하여 indium zinc oxide (IZO) TFT의 안정성 향상을 이야기한다. 특히 기존에 연구되어 있는 도핑방식과 달리 더욱 뛰어난 성능을 보여 주는 double layer 방식의 구조를 적용하고 열처리를 통한 두 필름 사이에 확산을 일으켜 더욱더 안정화된 결과를 이끌어 낼 것이다 [4,5].

2. 실험 방법

본 연구의 모든 TFT는 bottom-gate-type의 구조로 150 nm SiO₂ 절연막이 덮인 p+ type의 실리콘 웨이퍼에 제작되었다. SiO₂는 게이트 절연막으로, Si는 TFT의 게이트로 이용되었다. Source와 drain 전극은 thermal evaporator를 이용하여 Al을 100 nm 두께로 증착하였다. 전극의 폭은 1,000 μm, 길이는 100 μm로 고정이다.

2.1 Sputter processed IZO 박막

연구에 사용된 TFT의 front channel은 RF magnetron sputtering을 이용하여 IZO 타겟(In₂O₃ 60 wt% : ZnO 40 wt%)을 50 W의 RF power로 180초 동안 증착하여 20 nm 두께의 IZO 박막을 얻었다. 다른 공정 변수는 20 sccm의 아르곤(Ar)을 MFC를 이용해 챔버 내에 주입하여 2×10⁻³ Torr의 공정진공을 고정해 주었다. 만들어진 박막은 hot plate 위에서 60°C에서 1분에 15°C씩 상승시켜 250°C에서 1시간 동안 열처리되었다.

2.2 Solution processed Al₂O₃ 박막

RF-magnetron sputtering을 이용해 증착한 front channel IZO 박막 위에 산화알루미늄(Al₂O₃) 용액을 스프인 코팅하여 back channel을 얻는다. Back channel 증착에 이용된 Al₂O₃ 용액은 aluminum chloride (AlCl₃)을 acetonitrile과 ethylene glycol을 각각 35%와 65% 비율로 섞어서 만든 용매에 녹여서 만든다 [6]. 실험에 사용된 Al₂O₃ 용액의 몰 농도는 각각 0.02 M, 0.05 M, 0.08 M, 0.12 M이다. 만들어진 Al₂O₃ 용액은 IZO 박막 위에 6,000 rpm으로 30초 동안 스프인 코팅되어, 5 nm의 두께의 박막을 얻었다. 기존의 IZO 박막과 코팅된 Al₂O₃ 박막 간에 확산을 일으키기 위하여 hot plate 위에서 60°C에서 1분에 15°C씩 상승시켜 300°C에서 1시간 동안 열처리된다. 열처리 중 200°C

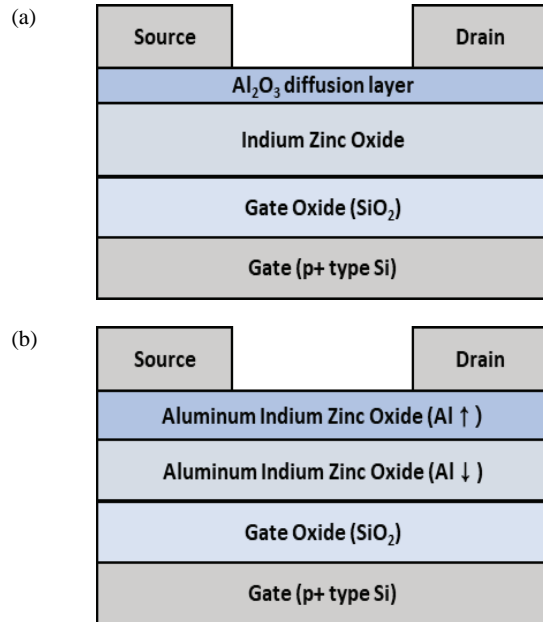


Fig. 1. Cross-Sectional schematic diagram of (a) IZO TFT with Al diffusion layer before annealing and (b) completed Al, In, Zn diffused TFT after annealing.

이하의 온도에서는 열분해 및 가수분해 반응을 통하여 금속-OH 결합이 만들어지고, 300°C의 온도에서는 1시간 동안 탈수소 반응이 일어나서 박막 내에 존재하는 금속과 산소들의 결합이 만들어져 아래에 서술될 소자의 특성 향상에 영향을 미친다. 열처리 전과 후의 채널의 변화를 그림 1(a), (b)에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

제작된 소자는 반도체 특성 분석기로 전기적 특성과 바이어스 안정성을 측정하였으며, X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) 분석을 통하여 박막의 화학적 결합 상태를 확인하였다.

3.1 XPS 분석

XPS 분석을 통해 나타난 IZO 박막의 조성비와 Al₂O₃ 0.08 M - IZO (Al-IZO) 박막의 조성비를 표 1과 2에 나타내었다.

표 1에 나타난 자료를 통해 IZO 박막이 In₂O₃와 ZnO의 결합으로 이루어져 있다는 것을 알 수 있으며 표 2를 통하여 박막이 In₂O₃, ZnO, Al₂O₃의 결합으로

이루어져 있는 것을 확인할 수 있는데, 이를 통해 Al, In, Zn 원자들이 확산되어 박막 내에서 각각 Al₂O₃, In₂O₃, ZnO의 산화물의 형태로 서로 결합해 있는 상태인 것을 확인할 수 있다.

그림 2에는 XPS 분석을 통해 얻은 각 박막의 O1s 스펙트럼들을 박막 내의 금속-산소 결합 peak (O_M,

530.2 eV)와 산소 결손 peak (O_{vac}, 531.7 eV)로 deconvolution 하여 박막 내의 산소결합 상태를 나타내었다 [7]. IZO 박막의 경우 [O_M/O_M+O_{vac}]의 피크 면적은 75.8%, Al-IZO의 경우는 81.2%로 증가한 수치를 나타낸다. 이는 확산을 통해 Al 금속 이온이 IZO 박막 내에 침투하면서 IZO와 같이 산소와 함께 금속 결합을 이루었다는 것을 의미한다. [O_{vac}/O_M+O_{vac}]의 경우, 24.1%와 18.7%로 줄어들었으며 이는 Al의 확산으로 인해 금속결합을 하며, 산소 결손이 줄어들었음을 의미한다.

Table 1. Atomic composition ratio of IZO thin film.

Atom	Atomic percent (%)
In	29.22
Zn	25.84
O	44.94

Table 2. Atomic composition ratio of Al-IZO thin film.

Atom	Atomic percent (%)
In	24.54
Zn	23.82
Al	4.96
O	46.67

3.2 전기적 특성 분석

그림 3과 표 3에는 IZO TFT와 Al₂O₃ 용액의 몰 농도 변화에 따른 Al-IZO TFT의 전기적 특성을 나타냈다.

그림 3은 전체 소자들의 전이 특성(transfer characteristic)곡선을 나타낸다. 전이 특성 곡선은 TFT의 드레인-소스 전압(V_{DS})을 20 V로 고정하고, 게이트-소스 전압(V_{GS})을 -40 V에서 40 V로 증가시키면서 드레인-소스 전류(I_{DS})를 얻었다. 표 3은 전이 특성 곡선에서 얻을 수 있는 소자들의 전기적 수치들(electrical parameters)을

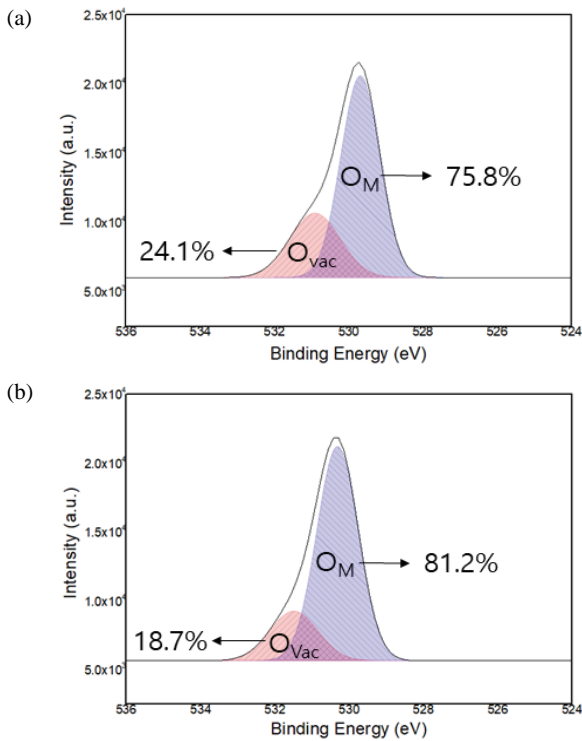


Fig. 2. O1s XPS analysis data of (a) sputter IZO and (b) Al₂O₃ 0.08 M - IZO.

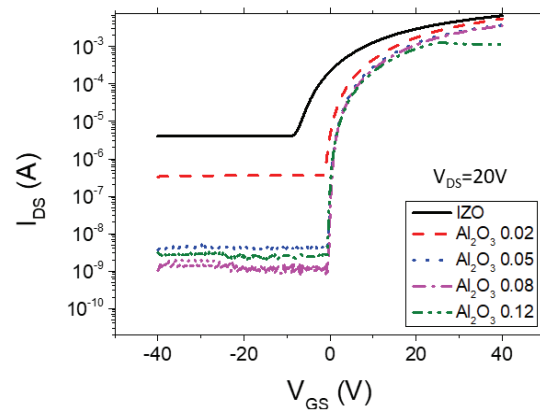


Fig. 3. Transfer characteristics of devices.

Table 3. Electrical parameters of devices.

Device	μ _{SAT} [cm ² /V · s]	V _{TH} [V]	I _{on} /I _{off}	SS [V/dec]
IZO	39	-7.8	16.×10 ³	3.3
Al ₂ O ₃ 0.02 M - IZO	35	-1.4	1.6×10 ⁴	1.3
Al ₂ O ₃ 0.05 M - IZO	30.6	0.2	0.9×10 ⁶	0.64
Al ₂ O ₃ 0.08 M - IZO	28	1.6	2.3×10 ⁶	0.58
Al ₂ O ₃ 0.12 M - IZO	21.3	2.8	0.4×10 ⁶	0.55

나타낸다. 그림 3에서는 산소 결손이 다량 존재하는 산화물 반도체인 IZO TFT의 특성이 나타나있다 [8]. 이동도(μ_{SAT})가 $39 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 로 매우 높지만 채널 내에 다량의 산소 결손 때문에 자유 전자가 많이 존재하여 문턱 전압(threshold voltage, V_{TH})이 -7.8 V , off current가 μA 단위에서 높게 나타나 전류 점멸비(I_{on}/I_{off} ratio)가 약 10^3 으로 그 값이 매우 낮고, 채널이 형성되는 선형 영역(linear region)에서 전자가 축적(accumulation)되어 가면서 채널의 산소 결손에 전자가 trapping되어 subthreshold swing (S.S)이 매우 높다. IZO 박막 위에 코팅되는 Al_2O_3 용액의 농도를 높일수록 이동도는 낮아지지만, V_{TH} 가 양의 방향으로 이동하고 off current가 μA 단위에서 점점 더 낮아져 nA 단위까지 내려가 전류 점멸비가 약 10^6 까지 커졌으며, 선형 영역에서의 trapping 효과가 감소하여 S.S 값이 개선되어 소자의 성능이 크게 향상되었다 [9]. 그림 2의 XPS 분석을 통해서도 알 수 있듯이, Al 금속 이온이 확산되어 박막 내의 산소 결손을 효과적으로 조절하면서 안정성 향상을 야기하였다는 것을 의미한다. 높은 몰 농도의 Al_2O_3 용액의 경우 더욱 많은 산소 결손이 제어되면서 소자의 개선 정도가 더욱 커진다.

3.3 전기적 신뢰성 분석

그림 4와 5에는 IZO TFT와 Al_2O_3 용액 0.08M이 코팅된 Al-IZO TFT의 전기적 신뢰성을 비교하기 위한 positive bias stress (PBS)와 negative bias stress (NBS) 분석을 나타냈다.

IZO TFT와 Al-IZO TFT는 PBS 및 NBS 조건에서 초당 0.5회씩 게이트 전압을 인가하여 6,000초 동안 상온에서 스트레스 상황을 거친 후 전이 특성 곡선이 측정되었다. IZO TFT의 경우 PBS 조건에서 $+2.8 \text{ V}$, NBS 조건에서 -3.6 V 의 V_{TH} 의 이동이 나타났다. 반면에 Al-IZO TFT의 경우 PBS 조건에서 $+0.4 \text{ V}$, NBS 조건에서 -2.9 V 의 변화를 보였다. Al-IZO TFT는 순수 IZO TFT와 비교해 문턱 전압의 변화 정도(ΔV_{TH})를 통해 비교해 스트레스 환경에서 더욱 높은 안정성을 보인다. PBS의 경우, IZO TFT는 그림 1(b)와 같이 형성된 Al-IZO TFT와 다르게 외부 환경의 산소에 취약하여 게이트 바이어스에 의해 축적된 전자들과 산소가 반응을 하여 채널 내에 산소 이온을 형성해 안정성이 낮아진다. 하지만 Al-IZO TFT의 경우 back channel이 외부 산소가 채널 내의 전자들처럼 반응하는 것을 막아 주는 보호 역할(passivation)을 해 주어

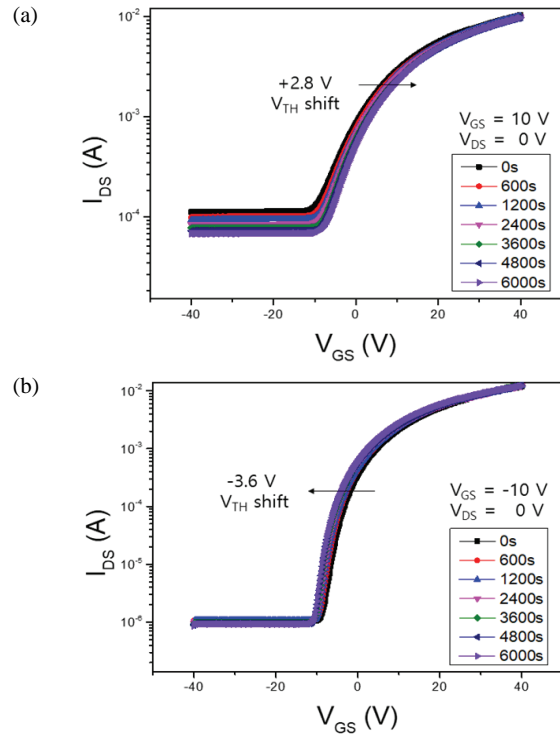


Fig. 4. Transfer characteristic curves of IZO TFT of (a) PBS condition and (b) NBS condition.

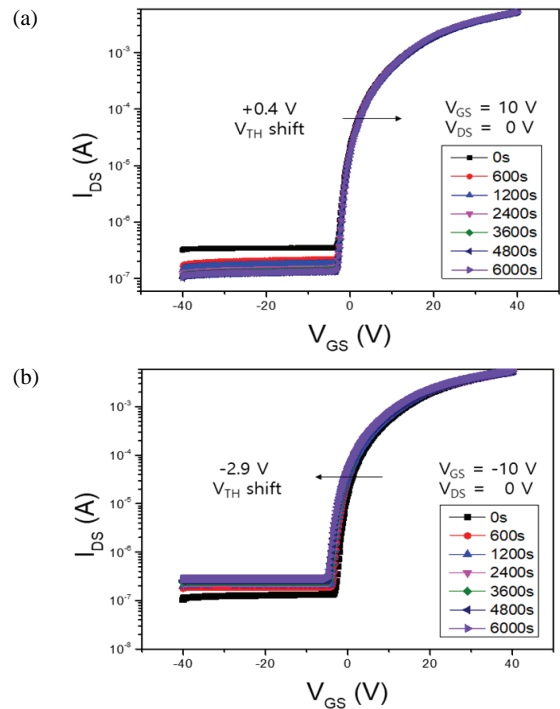


Fig. 5. Transfer characteristic curves of Al-IZO TFT of (a) PBS condition and (b) NBS condition.

IZO TFT에 비해 높은 안정성을 보인다. NBS의 경우도 마찬가지이다. 축적된 정공(hole)이 산소와 반응하여 자유 전자를 생성하게 되는데, 마찬가지로 Al-IZO TFT는 외부 환경에서의 반응과 Al 이온 확산을 통해 자체적으로 감소된 산소 결손으로 인해 더욱 낮은 자유 전자를 생성하게 된다. 결론적으로 Al-IZO TFT는 IZO TFT에 비해 낮은 산소 결손 밀도를 가지며, 이중 구조를 통해 외부 환경으로부터 보호받아 높은 안정성을 가진 소자라고 결정지을 수 있다 [10].

4. 결론

산화물 반도체 물질인 IZO를 이용하여 만든 TFT는 자체적으로 산소 결손이 많아 그 안정성에 문제가 있지만, Al₂O₃ 용액을 코팅하여 확산 처리를 거친 Al-IZO TFT는 박막 내의 산소 결손을 조절하여 TFT의 전기적 수치들의 안정화를 이끌어 냈다. 또한, 이중 구조로 인해 외부 환경으로부터 소자를 보호해 PBS와 NBS와 같은 스트레스 환경에서도 높은 안정성을 보여준다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년), BK21 플러스 IT 기반 융합산업 창의인력 양성사업단의 지원에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

- [1] M. J. Powell, *IEEE Trans. Electron Devices*, **36**, 2753 (1989). [DOI: <https://doi.org/10.1109/16.40933>]
- [2] C. Park, Y. Lim, S. Ha, Y. Im, M. Jang, S. I. Choi, J. I. Park, and M. Yi, *J. Soc. Inf. Disp.*, **23**, 371 (2015). [DOI: <https://doi.org/10.1002/jsid.321>]
- [3] E. Chong, K. C. Jo, and S. Y. Lee, *Appl. Phys. Lett.*, **96**, 152102 (2010). [DOI: <https://doi.org/10.1063/1.3387819>]
- [4] B. D. Ahn, H. S. Shin, H. J. Kim, J. S. Park, and J. K. Jeong, *Appl. Phys. Lett.*, **93**, 203506 (2008). [DOI: <https://doi.org/10.1063/1.3028340>]
- [5] A. Sato, K. Abe, R. Hayashi, H. Kumomi, K. Nomura, T. Kamiya, M. Hirano, and H. Hosono, *Appl. Phys. Lett.*, **94**, 133502 (2009). [DOI: <https://doi.org/10.1063/1.3112566>]
- [6] C. Avis and J. Jang, *J. Mater. Chem.*, **21**, 10649 (2011). [DOI: <https://doi.org/10.1039/c1jm12227d>]
- [7] M. Chen, Z. L. Pei, C. Sun, L. S. Wen, and X. Wang Jr, *J. Cryst. Growth*, **220**, 254 (2000). [DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-0248\(00\)00834-4](https://doi.org/10.1016/S0022-0248(00)00834-4)]
- [8] J. S. Park, W. J. Maeng, H. S. Kim, and J. S. Park, *Thin Solid Films*, **520**, 1679 (2012). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2011.07.018>]
- [9] J. Li, F. Zhou, H. P. Lin, W. Q. Zhu, J. H. Zhang, X. Y. Jiang, and Z. L. Zhang, *Vacuum*, **86**, 1840 (2012). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2012.04.009>]
- [10] W. Lim, E. A. Douglas, D. P. Norton, S. J. Pearton, F. Ren, Y. W. Heo, S. Y. Son, and J. H. Yuh, *J. Vac. Sci. Technol., B*, **28**, 116 (2010). [DOI: <https://doi.org/10.1116/1.3276774>]