

다양한 Passivation 물질에 따른 IGZO TFT Stability 개선 방법

김재민¹, 박진수¹, 윤건주¹, 조재현¹, 배상우², 김진석², 권기원¹, 이운정¹ , 이준신¹ 

¹ 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과

² 삼성전자 Foundry 개발 QA 그룹

IGZO TFT Stability Improvement Based on Various Passivation Materials

Jaemin Kim¹, Jinsu Park¹, Geonju Yoon¹, Jaehyun Cho¹, Sangwoo Bae², Jinseok Kim²,
 Keewon Kwon¹, Youn-Jung Lee¹, and Junsin Yi¹

¹ Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 16419, Korea

² Technology Quality & Reliability Foundry Division, Samsung Electronics Co., LTD., Seoul 17113, Korea

(Received September 6, 2019; Revised September 25, 2019; Accepted September 27, 2019)

Abstract: Thin film transistors (TFTs) with large-area, high mobility, and high reliability are important factors for next-generation displays. In particular, thin transistors based on IGZO oxide semiconductors are being actively researched for this application. In this study, several methods for improving the reliability of a-IGZO TFTs by applying various materials on a passivation layer are investigated. In the literature, inorganic SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, ZTZO, and organic CYTOP have been used for passivation. In the case of Al₂O₃, excellent stability is exhibited compared to the non-passivation TFT under the conditions of negative bias illumination stress (NBIS) for 3 wavelengths (R, G, B). When CYTOP passivation, SiO₂ passivation, and non-passivation devices were compared under the same positive bias temperature stress (PBTS), the V_{th} shifts were 2.8 V, 3.3 V, and 4.5 V, respectively. The V_{th} shifts of TiO₂ passivation and non-passivation devices under the same NBIS were -2.2 V and -3.8 V, respectively. It is expected that the presented results will form the basis for further research to improve the reliability of a-IGZO TFT.

Keywords: IGZO, Passivation, Oxide TFT, Stability

1. 서론

현재의 디스플레이 산업은 기존의 주로 두껍고, 무거운 LCD 디스플레이를 벗어나, 더욱 얇아지고 가벼우며 플렉서블 등의 다양한 용도로 사용하기 위한 OLED 개발에 노력하고 있다. 이러한 OLED 구현을 위하여 디스플레이 백플레인용 구동 소자인 TFT 소재

개발이 필수적이다. 현재까지 널리 이용 중인 비정질 실리콘(a-Si) TFT의 경우 대형화 및 저비용은 가능하지만, 낮은 이동도로 인해 고해상도 및 고속 구동용 소자로서는 적합하지 않으며, 폴리 실리콘(poly-Si) TFT의 경우 이동도는 높으나 ELA 공정 등이 추가되어 공정이 복잡하고 고비용의 도핑 공정이 필요한 단점이 있다. 이에 비해 산화물 반도체를 채널층으로 사용하는 연구가 활발히 진행 중이다. 산화물 반도체는 결정질 실리콘보다는 연구된 기간이 짧지만, 단기간에 반도체 물질을 새로운 영역의 문을 열 수 있을 만큼의 우수한 전기적 특성을 보여주며, 디스플레이 핵심 소자인 박막 트랜지스터에 사용이 가능한 물질로 촉망받고 있다. 이러한 산화물 반도체의 가장 큰 이점은 낮은 온도에서

✉ Youn-Jung Lee; younjlee2@daum.net
 Junsin Yi; junsin@skku.edu

의 박막 형성과 화합물임에도 불구하고 매우 부드러운 표면과 비정질 물질이기 때문에 전기적 특성이 분자의 배열을 따르지 않아 전기적 특성 또한 우수한 편이다. 이러한 산화물 반도체의 채널층 후면은 산화물 TFT의 신뢰성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있는데, 이는 공기 중 습도와 반응으로 인해 전도 경로가 형성되기 때문이다. 때문에 환경요소와 전기적 바이어스 스트레스 하에서 산화물 TFT 소자의 신뢰성은 중요한 문제이며, 장기간의 안정성을 보장하기 위해서는 적절한 패시베이션층이 필요하다. 산화물 TFT의 전기적 특성은 패시베이션층의 증착 조건에 의해 크게 영향을 받는다는 것은 잘 알려져 있으며 지금까지 SiO_x , SiN_x 및 고분자와 같은 다양한 무기 또는 유기물 passivation층이 연구되어 왔다 [1-3].

2. 실험 방법

본 논문에서는 evaporator와 Cr, Al 물질을 이용하여 gate, source, drain 전극 배선을 진행하였으며, sputtering을 이용하여 50 nm 두께의 IGZO 채널층을 제작하였다. Spin coating, atomic layer deposition, plasma enhanced chemical vapor deposition 장비를 이용하여 CYTOP, SiO_2 , Si_3N_4 , Al_2O_3 , TiO_2 게이트 절연막 및 passivation을 제작하였으며, annealing을 통한 열처리 후 I-V transfer 측정을 통하여 신뢰성을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

IGZO TFT와 같은 다양한 원소가 혼합된 산화물 TFT의 적용은 환경적인 영향에 의해 제한되어 왔다. 열화는 채널층 표면의 공기 노출에 따라 반도체 표면에서 O_2 및 H_2O 와의 상호작용으로 인하여 발생하며, 이를 방지하기 위해 Al_2O_3 [4], SiO_2 [5], polyimide [6], SU-8 [7], SiN_x [8], TiO_2 [9], CYTOP [10] 등의 다양한 물질을 이용한 passivation 연구가 진행되고 있다. IGZO의 환경적 영향은 많은 연구그룹에 의해 나타났다. 해당 논문에서는 무기물 및 유기물을 이용한 passivation 연구 결과에 대해 보고한다.

먼저 그림 1은 NBIS하에서의 a-IGZO TFT의 에너지 밴드를 보여준다. 또한, 광 에너지는 a-IGZO 막에서 전자 농도를 증가시키며, 음의 바이어스가 더해지기

때문에 절연체 또는 a-IGZO/절연체 계면에 홀 트래핑이 발생하게 된다. 두 결과 모두 NBIS에서 명백한 V_{th} 이동을 유도한다. 또한, 긴 파장보다 짧은 파장의 빛에서 더욱 많은 에너지를 가지고 있기 때문에 짧은 파장에서 더욱 많은 홀 트래핑을 유도하여 더 큰 V_{th} 이동을 유발한다. 이는 그림 2를 나타낸 실험에서 확인할 수 있으며, R, G, B의 3가지 파장을 이용하여 실험을 하며 증명하였는데, Al_2O_3 passivation 여부에 따른 NBIS 영향을 함께 실험하였으며, Al_2O_3 passivation layer에서 NBIS에 의한 광 여기를 감소시키는 특성 때문에 V_{th} 이동이 크게 감소하는 것을 확인할 수 있다 [11].

그림 3에 도시된 자료는 유기물 CYTOP을 이용한 passivation에 대한 연구 결과로 passivation 유무 및

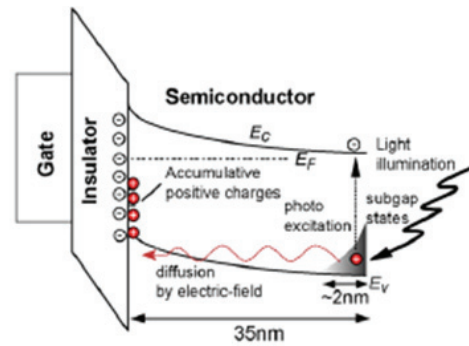


Fig. 1. Energy band diagram under NBIS conditions of IGZO.

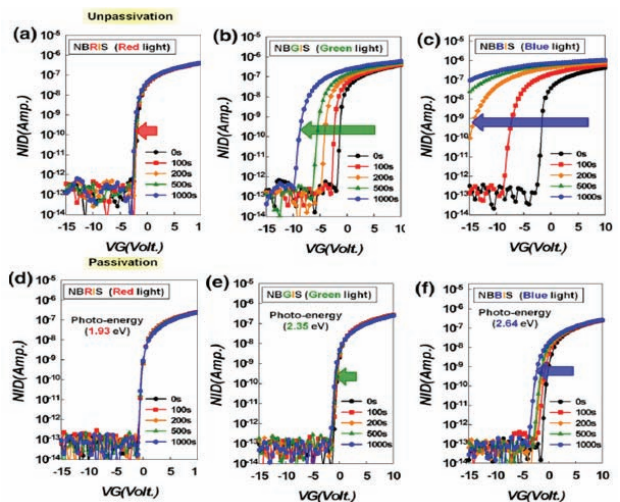


Fig. 2. I-V Characteristic curves of Al_2O_3 passivation on NBIS conditions of R, G, and B wavelengths of a-IGZO [11].

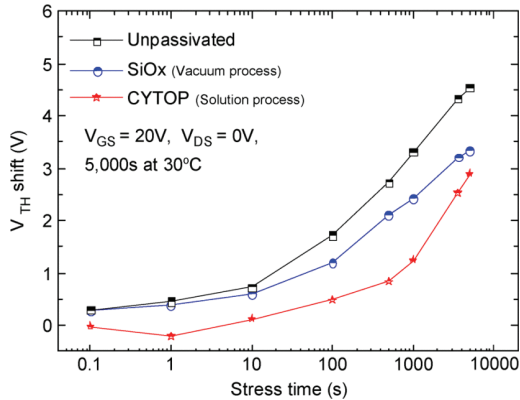


Fig. 3. V_{th} movement characteristics over time of three IGZO TFT devices with CYTOP, SiO_2 , and non passivation [13].

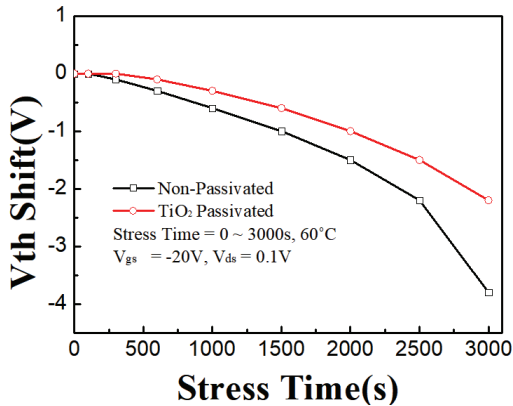


Fig. 4. V_{th} shift of IGZO TFT device under NBTS condition with or without TiO_x passivation.

SiO_2 와 CYTOP에 따른 물질의 PBTS하에 시간에 따른 V_{th} 변화를 기록한 자료이다. CYTOP는 초기에 Cheng *et al.*에 의한 유기 전계 효과 트랜지스터의 게이트 유전체로 사용되었다. 이 비정질 폴리머는 고도의 발수성과 발유성, 내화학을 가진 투명한 절연체로서 플렉서블 디스플레이용으로 이용할 수 있었다 [16,17]. a-IGZO TFT의 전기적 특성은 채널층의 후면으로부터 쉽게 영향을 받을 수 있는데, 극성이 낮은 유기 절연체는 외부 환경과 산화물 표면 간의 상호작용을 억제하여 균일한 비극성 및 결함이 없는 후면 인터페이스 영역을 제공할 수 있다 [14,15]. SiO_x 와 CYTOP passivation이 적용된 TFT 소자의 V_{th} 이동은 각각 동일한 조건 하에서 3.3 V와 2.8 V였으며, passivation이 적용되지 않은 소자에서는 4.5 V의 V_{th} 이동이 있었고, CYTOP passivation이 다른 물질에 비해 바이어스 온도 스트

레스 측면에서 우수한 stability 특성을 가짐을 확인할 수 있었다 [12].

그림 4는 TiO_2 passivation이 적용된 IGZO TFT 소자에 대한 연구 결과이며, 그림 4에서는 NBTS하에 성능 테스트를 진행하였다. Passivation이 적용되지 않은 소자는 -3.8 V의 V_{th} 이동을 나타내었으며, TiO_2 passivation 된 소자는 -2.2 V의 나타내며, passivation의 안정성을 확인할 수 있었다. 이는 게이트 절연체와 채널층 계면의 물질들이 NBTS에 의한 트랩으로 인하여 성능을 저하시키기 때문이다 [18]. 따라서 두 TFT는 V_{th} 이동을 나타내지만 이동도의 변화는 관찰되지 않고, 표면 상태의 전하 트랩을 암시한다. 또한 TiO_2 passivation의 외부 환경적 영향에 대한 실험을 진행하였는데, 특성의 변화가 큰 non-passivation에 비해 TiO_2 passivation TFT는 변화가 작은 것을 확인할 수 있으며, passivation을 통해 외부 환경적 요소로부터 a-IGZO 채널층을 보호할 수 있음을 확인하였다 [18].

4. 결론

현재 연구 및 산업에서 가장 많이 사용되고 있는 a-IGZO 산화물 반도체의 bias stress 조건과 더불어 다양한 환경적 요소에 의하여 소자의 특성이 변하게 되는 다양한 원인을 확인하고 이를 해결하기 위해 passivation 측면에 초점을 맞춰 진행된 많은 연구들을 정리해 보았다. 사용된 물질로는 SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 의 무기물과 CYTOP의 유기물이 passivation 물질로써 사용되었다. 먼저 Al_2O_3 에서는 NBIS에 대한 stability뿐만 아니라 조사된 빛의 파장에 따른 영향을 연구하였으며, 광 여기를 감소시키는 Al_2O_3 의 특성 때문에 non-passivation TFT 소자에 반해 월등한 안정성을 나타내었다. TiO_2 또한 NBTS 조건하에 passivation 유/무에 따라 -3.8 V와 -2.2 V의 V_{th} 이동을 나타냈으며, 수분, 빛 등의 외부 환경적 요인으로부터 채널층을 보호하는 역할을 수행할 수 있음을 확인할 수 있었다. CYTOP 유기물 passivation층 또한 외부 환경과 채널층 간의 상호작용을 억제하며, PBTS 하에서 SiO_2 passivation 및 non-passivation과 비교하였을 때 각 2.8 V, 3.3 V, 4.5 V의 V_{th} 이동을 보며 우수한 특성을 나타내었다. 이러한 결과를 통해 a-IGZO TFT의 다양한 환경에 의한 소자의 특성이 개선되면서 산화물 반도체의 적용 범위가 더욱더 확장될 것으로 예상된다.

ORCID

Youn-Jung Lee
Junsun Yi

<https://orcid.org/0000-0002-6831-4140>
<https://orcid.org/0000-0002-6196-0035>

감사의 글

본 연구는 2019년도 삼성전자의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

REFERENCES

- [1] J. M. Lee, I. T. Cho, J. H. Lee, and H. I. Kwon, *Appl. Phys. Lett.*, **93**, 093504 (2008). [DOI: <https://doi.org/10.1063/1.2977865>]
- [2] K. Nomura, T. Kamiya, M. Hirano, and H. Hosono, *Appl. Phys. Lett.*, **95**, 013502 (2009). [DOI: <https://doi.org/10.1063/1.3159831>]
- [3] C. H. Tu, W. T. Lin, C. H. Chen, M. C. Hung, J. J. Chang, M. F. Chiang, and W. I. Liao, *J. Soc. Inf. Disp.*, **42**, 1151 (2011). [DOI: <https://doi.org/10.1889/1.3621028>]
- [4] M. D. Groner, F. H. Fabreguette, J. W. Elam, and S. M. George, *Chem. Mater.*, **16**, 639 (2004). [DOI: <https://doi.org/10.1021/cm0304546>]
- [5] A. Moldovan, F. Feldmann, M. Zimmer, J. Rentsch, J. Benick, and M. Hermle, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, **142**, 123 (2015). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2015.06.048>]
- [6] J. R. Lloyd, *Thin Solid Films*, **91**, 175 (1982). [DOI: [https://doi.org/10.1016/0040-6090\(82\)90431-X](https://doi.org/10.1016/0040-6090(82)90431-X)]
- [7] A. Olziersky, P. Baequinha, A. Vilà, L. Pereira, G. Gonçalves, E. Fortunato, R. Martins, and J. R. Morante, *J. Appl. Phys.*, **108**, 064505 (2010). [DOI: <https://doi.org/10.1063/1.3477192>]
- [8] Y. Yang, G. Z. Hu, Y. Hao, X. H. Ma, S. Quan, L. Y. Yang, and S. G. Jiang, *Chin. Phys. B*, **19**, 047301 (2010). [DOI: <https://doi.org/10.1088/1674-1056/19/4/047301>]
- [9] L. Kavan, M. Grätzel, J. Rathouský, and A. Zukalb, *J. Electrochem. SOC.*, **143**, 394 (1996). [DOI: <https://doi.org/10.1149/1.1836455>]
- [10] M. P. Walser, W. L. Kalb, T. Mathis, T. J. Brenner, and B. Batlogg, *Appl. Phys. Lett.*, **94**, 053303 (2009). [DOI: <https://doi.org/10.1063/1.3077192>]
- [11] S. Y. Huang, T. C. Chang, M. C. Chen, T. C. Chen, F. Y. Jian, Y. C. Chen, H. C. Huang, and D. S. Gan, *ESurf. Coat. Technol.*, **231**, 117 (2013). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2011.12.047>]
- [12] S. H. Choi, J. H. Jang, J. J. Kim, and M. K. Han, *IEEE Electron Device Lett.*, **33**, 381 (2012). [DOI: <https://doi.org/10.1109/LED.2011.2178112>]
- [13] Y. H. Kim, H. S. Kim, J. I. Han, and S. K. Park, *Appl. Phys. Lett.*, **97**, 092105 (2010). [DOI: <https://doi.org/10.1063/1.3485056>]
- [14] J. W. Park, D. Lee, H. Kwon, and S. Yoo, *IEEE Electron Device Lett.*, **30**, 362 (2009). [DOI: <https://doi.org/10.1109/LED.2009.2013647>]
- [15] X. Cheng, M. Caironi, Y. Y. Noh, J. Wang, C. Newman, H. Yan, A. Facchetti, and H. Sirringhaus, *Chem. Mater.*, **22**, 1559 (2010). [DOI: <https://doi.org/10.1021/cm902929b>]
- [16] W. L. Kalb, T. Mathis, S. Haas, A. F. Stassen, and B. Batlogg, *Appl. Phys. Lett.*, **90**, 092104 (2007). [DOI: <https://doi.org/10.1063/1.2709894>]
- [17] M. 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). [DOI: <https://doi.org/10.1063/1.2742790>]
- [18] H. S. Seo, J. U. Bae, D. H. Kim, Y. J. Park, C. D. Kim, I. B. Kang, I. J. Chung, J. H. Choi, and J. M. Myoung, *Electrochem. Solid-State Lett.*, **12**, H348 (2009). [DOI: <https://doi.org/10.1149/1.3168522>]