

대기압 아르곤 플라즈마 처리를 통한 IGZO TFT의 전기적 특성 향상 연구

정병준* · 정준교* · 박정현* · 김유정* · 이희덕** · 최호석*** · 이가원**†

*충남대학교 전자전파정보통신공학과, **†충남대학교 전자공학과,
***충남대학교 응용화학공학과

High Performance InGaZnO Thin Film Transistor by Atmospheric Pressure Ar Plasma Treatment

Byung-Jun Jeong*, Jun-Kyo Jeong*, Jung-Hyun Park*, Yu-Jung Kim*,
Hi-Deok Lee**, Ho-Suk Choi*** and Ga-Won Lee**†

*Dept. of Electronic Radio Information Communication Engineering, Chungnam National University

**† Dept. of Electronics Engineering, Chungnam National University

*** Dept. of Chemical Engineering, Chungnam National University

ABSTRACT

In this paper, atmospheric pressure plasma treatment was proposed for high performance indium gallium zinc oxide thin film transistor (IGZO TFT). RF Ar plasma treatment is performed at room temperature under atmospheric pressure as a simple and cost effective channel surface treatment method. The experimental results show that field effect mobility can be enhanced by $2.51 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ from $1.69 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ to $4.20 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ compared with a conventional device without plasma treatment. From X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) analysis, the increase of oxygen vacancies and decrease of metal-oxide bonding are observed, which suggests that the suggested atmospheric Ar plasma treatment is a cost-effective useful process method to control the IGZO TFT performance.

Key Words : IGZO, Thin Film Transistor, Atmospheric Plasma Treatment, Oxygen Vacancy

1. 서 론

Zinc Oxide (ZnO) 기반의 산화물 반도체는 비정질 실리콘 (a-Si)이나 유기물 반도체에 비해 높은 전자 이동도를 가지고 있으며 3 eV 이상의 넓은 에너지 밴드갭으로 투명할 뿐만 아니라 저온 공정이 가능하여 차세대 투명 유연 전자 소자로 연구가 활발히 진행되고 있다[1,2]. 특히 비정질

InGaZnO (a-IGZO)는 우수한 이동도 및 전기적 안정성으로 가장 주목 받고 있다. 하지만 차세대 고성능 전자 소자 구현을 위해서는 여전히 전자 이동도 등의 전기적 특성 개선이 가능한 공정 연구가 필수적이다[3]. 이와 관련하여 산화물 박막 채널을 형성한 후 열이나 플라즈마 혹은 자외선(UV) 오존 처리 등을 추가로 실시함으로써 소자 특성이 향상된 결과가 다수 발표되었다[4-7]. 그러나, 대부분의 표면 처리는 진공 장비 기반의 고비용 공정으로 저가의 고성능 소자 제작에 적용하기에는 어려움이 있을 수

†E-mail: gawon@cnu.ac.kr

있다. 특히 플라즈마 표면 처리의 경우 저압에서 발생이 용이하기 때문에 진공 장비들이 주로 사용된다.

본 논문에서는 대기압 조건에서 진행할 수 있는 플라즈마 표면 처리를 통해 IGZO 박막트랜지스터의 특성 개선이 가능함을 확인하고자 하였다. 이를 위해 도입된 방법은 염료감응 태양전지 제작 시 나노 입자 구조의 상대 전극을 형성하기 위해 금속 촉매를 환원시키는데 사용되었던 Dry Plasma Reduction (DPR)이다[8]. 즉, 진공 펌프를 사용하지 않고 대기압 조건에서 RF Ar 플라즈마를 형성한 후 IGZO 표면 처리에 적용하였는데 이를 통해 플라즈마 내 다수의 Ar 이온에 의해 IGZO 표면에서 금속과 산소 결합(M-O)이 기존의 강한 에너지에 의한 손상을 피하면서 효과적으로 끊어지고 이 후 플라즈마 내 전자와의 환원반응으로 산소 분자가 탈착 됨으로써 IGZO 표면에서의 M-O 감소와 함께 산소 공공 증가를 기대하였다. 산화물 반도체의 산소 공공은 자유 전자 생성의 직접 혹은 간접적인 지표로 많이 언급되고 있기 때문에[9-11] 이러한 메커니즘은 a-IGZO 박막 트랜지스터의 전기적 특성 제어에 활용이 가능하다.

제안된 방법을 확인하기 위해 상온의 RF sputter를 이용하여 a-IGZO 박막을 형성한 후 대기압 Ar 플라즈마 처리를 진행하여 트랜지스터를 제작하였으며 소자의 V_{GS-IDS} 특성 곡선으로부터 문턱 전압(V_{TH})과 subthreshold swing (SS), 전계효과 전하이동도(μ_{FE})를 추출하였다. 또한 IGZO 채널 층에 대한 플라즈마 표면처리 영향을 조사하기 위해 X 선 광전자 분광법 스펙트럼(X-ray photoelectron spectroscopy, XPS)을 분석하였다.

2. 실험방법

IGZO 박막 트랜지스터는 Bottom-gate, top-contact 구조로 제작되었다. 이를 위해 N^+ -type 실리콘 웨이퍼를 기판으로 사용하였으며 게이트 절연체로 99.99% O_2 분위기에서 1000 °C, 2시간 동안 120 nm 두께의 SiO_2 를 형성하였다. 이 후, IGZO 채널 층은 RF sputter를 통해 실온에서 55 nm 두께로 증착되었다. Ar과 O_2 를 반응 가스로, 전력과 압력은 각각 $100 W/cm^2$ 와 2 Pa로 공정이 진행되었다. IGZO 채널 증착 후, 150 W의 RF 대기압 Ar 플라즈마 처리를 상온에서 15 분동안 진행하였다. Ar 가스 유입량은 5 lpm으로 제어하였다. 특히 본 실험에서 사용한 대기압 플라즈마 조건에서는 시료의 표면이 120초 이상 노출되었을 때 온도가 280 °C 이상 증가하는데 이 경우 유연소자에서 요구되는 기판의 사용에 큰 제한이 될 수 있다. 따라서 대기압 플라즈마에 의한 열적 효과를 배제하고 표면을 70 °C 이하로 유지하

기 위해 시료를 앞 뒤로 움직여주었다[8]. 이 후 채널 패터닝의 경우 0.2% HCl 용액으로 IGZO를 식각하였다. 다음으로 소스/드레인 형성을 위해 RF 스퍼터링에 의해 Ti를 증착한 뒤 리소그래피 및 리프트 오프 공정을 이용하였다. 마지막으로 Si 기판 뒷면에 RF sputter로 Al을 증착하여 게이트 전극을 형성하였다. 비교를 위해 플라즈마 표면 처리를 진행하지 않은 소자(기본)를 함께 제작하였다.

이상의 박막 트랜지스터 공정 및 구조는 Fig. 1에 나타난 바와 같다.

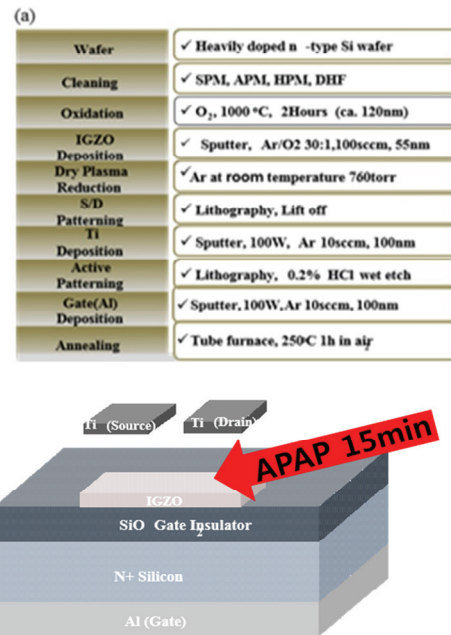


Fig. 1. (a) The process flow of the proposed device fabrication, and (b) the schematic of the fabricated IGZO TFTs with RF atmospheric pressure Ar plasma (APAP) treatment. The channel width and length are 100 μm and 10 μm , respectively.

3. 결과 및 토의

Fig. 2는 제작된 IGZO 박막 트랜지스터의 $I_{DS-V_{GS}}$ 특성 곡선으로 이를 기반으로 DPR 처리 유무에 따른 트랜지스터의 전기적 특성 파라미터를 추출하였으며 이에 대한 결과는 Table 1에 정리한 바와 같다. Ar 플라즈마 처리를 한 a-IGZO 박막 트랜지스터의 경우, V_{TH} 가 감소하면서 μ_{FE} 가 $1.69 cm^2/Vs$ 에서 $4.20 cm^2/Vs$ 로 현저하게 증가하였으며 SS 역시 $0.84 V/dec$ 에서 $0.80 V/dec$ 로 개선됨을 보인다.

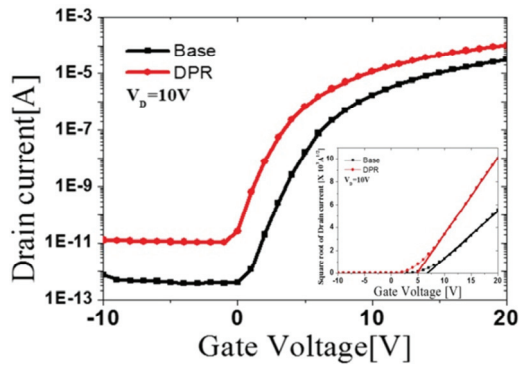


Fig. 2. The transfer characteristics of the fabricated IGZO TFTs with Ar plasma treatment (DPR) and a conventional one without treatment (Base). The inset is redrawn graph for linear scale of $\sqrt{I_{DS}}$ for electrical parameter extraction.

Table 1. Characteristic comparison of IGZO TFTs parameters according to plasma treatment

Type	μ_{FE} ($\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)	V_{th} (V)	SS (V/dec)
Base	1.69	5.91	0.84
Ar plasma	4.20	4.6	0.80

이에 DPR 처리를 통한 소자 특성 향상 원인을 밝히기 위해 XPS O 1s 스펙트럼을 분석하였다. Fig. 3은 DPR 처리 시간을 0분 (기본), 15분, 30분으로 달리한 박막의 XPS 분석 결과를 보여주고 있다. O 1s 스펙트럼에서 531.3 ± 0.2 eV (피크 1) 부근의 피크는 O²⁻ 이온으로 M-O에 해당되며 532.7 ± 0.2 eV (피크 2)는 V₀에 해당된다[12,13]. DPR에 따른 O 1s 스펙트럼을 이 두 개의 가우시안으로 분해한 뒤 V₀의 면적비를 비교한 것이 Fig. 3(d)로 V₀의 양이 Ar 플라즈마 표면 처리에 따라 증가하여 15분일 경우 10.71%에서 17.64%로 나타났다. 처리 시간이 30분으로 길어짐에 따라 V₀의 양은 더욱 증가하지만 초기 15분 처리한 만큼 증가 폭이 크지는 않아 표면 처리 초기에 대부분의 V₀가 형성됨을 알 수 있다. M-O 결합의 경우, 플라즈마 15분 동안 89.28%에서 82.6%로 감소하며 V₀와 마찬가지로 시간이 15분에서 30분으로 길어짐에 따라 증가하나 그 증가폭은 초기보다 작아진다. 이상의 실험 결과는 앞서 기술한 바와 같이 플라즈마 처리를 통해 IGZO 표면에서 산소가 환원됨으로써 나타난 것으로 판단된다. 이에 따라 IGZO 내 V₀ 양이 증가되는데 일반적으로, V₀는 IGZO 박막 내 전자 농도를 증가시켜 전도도를 향상시키는 것으로 알려져 있다[9-11,14]. 따라서 앞서 트랜지스터의 전기적 특성에서

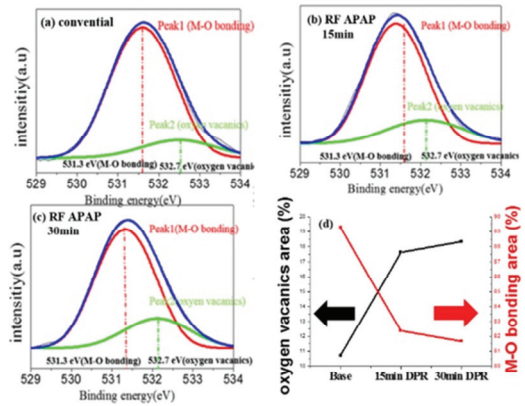


Fig. 3. XPS results for the O1s peak for IGZO film according to DPR treatment time: (a) 0 min. (Base), (b) 15 min., (c) 30 min., and (d) comparison of the atomic ratio of V₀ and M-O bonding according to the DPR process time.

살펴본 바와 같이 V_{th} 감소와 함께 μ_{FE} 증가 및 SS가 개선되어 나타난 것으로 판단된다. 이 과정은 IGZO 표면을 중심으로 나타나기 때문에 일정 시간의 플라즈마 처리 후에는 표면의 양이온인 In, Ga, Zn의 비율이 증가하여 산소와의 결합 유지에 충분한 상태에 이르게 됨으로써 V₀의 양은 더 이상 증가되지 않고 포화되는 것으로 보여진다.

4. 결론

본 논문에서는 IGZO 박막 트랜지스터의 전기적 특성 개선을 위해 실온 대기압 조건에서 진행할 수 있는 상온 대기압 Ar 플라즈마 표면 처리를 제안하였다. 제작된 소자의 전기적 특성을 살펴보면 플라즈마 처리를 통해 1.69 $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 에서 4.20 $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 로 μ_{FE} 가 증가하였으며 SS 역시 0.839 mV/dec에서 0.803 V/dec로 향상되었다. IGZO 박막의 물리적 분석을 위해 XPS O 1s 스펙트럼 분석을 진행하였는데 표면 플라즈마 처리된 박막은 높은 V₀와 낮은 M-O 결합을 나타내었다. 이는 플라즈마 처리를 통해 IGZO 표면이 전기적 성능 향상에 유리하게 개조될 수 있음을 의미한다. 따라서 상온 대기압 플라즈마 처리는 고성능 소자 제작 시 비용 절감과 공정 단순화 측면에서 매우 효과적인 방법이라고 할 수 있다.

감사의 글

이 연구는 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음.

참고문헌

1. E Fortunato, P Barquinha, R Martins., "Oxide semiconductor thin-film transistors: a review of recent advances," *Advanced materials*, 24.22: 2945-2986. (2012).
2. Park, J. S., Kim, H., & Kim, I. D.. Overview of electroceramic materials for oxide semiconductor thin film transistors. *Journal of Electroceramics*, 32(2-3), 117-140, (2014).
3. Kim, M., Sun, W., Kang, J., & Shin, H. The effect of a source-contacted light shield on the electrical characteristics of an LTPS TFT. *Semiconductor Science and Technology*, (2017).
4. S.H. Chen, H.C. Liu, and C.Y. Lee, J.Y. Gan, H.W. Zan, and J.C. Hwang a, Y.Y. Cheng c, P.C. Lyu, "High performance electric-double-layer amorphous IGZO thin-film transistors gated with hydrated bovine serum albumin protein" *Organic Electronics*, 24, 200-204. (2015).
5. J.H. Kang, E.N. Cho, C.E. Kim, and M.J. Lee, S.J. Lee, J.M. Myoung "Mobility enhancement in amorphous InGaZnO thin-film transistors by Ar plasma treatment" *Appl Phys Lett*, 102 : 222103, (2013).
6. Cho, S. H., Choi, M. J., Chung, K. B., & Park, J. S.. Low temperature processed InGaZnO oxide thin film transistor using ultra-violet irradiation. *Electronic Materials Letters*, 11(3), 360-365, (2015).
7. Hwang, Y. H., An, H. M., & Cho, W. J. Performance improvement of the resistive memory properties of InGaZnO thin films by using microwave irradiation. *Japanese Journal of Applied Physics*, 53(4S), 04EJ04. (2014).
8. Dao, V. D., Tran, C. Q., Ko, S. H., & Choi, H. S. Dry plasma reduction to synthesize supported platinum nanoparticles for flexible dye-sensitized solar cells. *Journal of Materials Chemistry A*, 1(14), 4436-4443, (2013).
9. Trinh, T. T., Nguyen, V. D., Ryu, K., Jang, K., Lee, W., Baek, S., Raja. J., Yi, J. "Improvement in the performance of an InGaZnO thin-film transistor by controlling interface trap densities between the insulator and active layer." *Semiconductor Science and Technology*, 26(8), 085012, (2011).
10. Xiao-Ming, H., Chen-Fei, W., Hai, L., Fang-Fang, R., Hong-Bo, Z., & Yong-Jin, W. "The Effect of Oxygen Partial Pressure during Active Layer Deposition on Bias Stability of a-InGaZnO TFTs". *Chinese Physics Letters*, 32(7), 077303, (2015).
11. Jie, W., Junfei, S., Chengyuan, D., Zhongfei, Z., Yuting, C., Daxiang, Zhe.H., Runze.Z. "Effect of active layer deposition temperature on the performance of sputtered amorphous In—Ga—Zn—O thin film transistors." *Journal of Semiconductors*, 35(1), 014003, (2014).
12. Tak, Y. J., Yoon, D. H., Yoon, S., Choi, U. H., Sabri, M. M., Ahn, B. D. and Kim, H. J. (2014). "Enhanced Electrical Characteristics and Stability Via Simultaneous Ultraviolet and Thermal Treatment of Passivated Amorphous In—Ga—Zn—O Thin-Film Transistors," *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 6, pp. 6399-6405, (2014).
13. Liu, P., Chen, T. P., Li, X. D., Liu, Z., Wong, J. I., Liu, Y. and Leong, K. C. (2013). "Effect of exposure to ultraviolet-activated oxygen on the electrical characteristics of amorphous indium gallium zinc oxide thin film transistors," *ECS Solid State Lett.*, vol. 2, pp. Q21-Q24, (2013).
14. Trinh, T. T., Nguyen, V. D., Ryu, K., Jang, K., Lee, W., Baek, S., Raja.J., & Yi, J. Improvement in the performance of an InGaZnO thin-film transistor by controlling interface trap densities between the insulator and active layer. *Semiconductor Science and Technology*, 26(8), 085012, (2011).

접수일: 2017년 11월 29일, 심사일: 2017년 12월 20일,
 게재확정일: 2017년 12월 22일