

# 聚酰亚胺在非晶铟镓锌氧化物薄膜晶体管器件中的钝化应用

林清平<sup>1\*</sup>, 王胜林<sup>2</sup>

(1.北京大学深圳研究生院 信息工程学院, 广东 深圳 518071; 2.深圳市道尔顿电子材料有限公司, 广东 深圳 518000)

**摘 要:** 提出了采用聚酰亚胺(PI)作为非晶铟镓锌氧(a-IGZO)薄膜晶体管(Thin-film Transistors, TFT)钝化层的制备工艺。PI成膜采用旋涂工艺,可减少钝化层成膜工艺对TFT器件沟道层的破坏,降低对器件性能的影响。PI可作为有效的钝化层,从而避免因有源层a-IGZO沟道表面气体分子吸附效应造成的TFT器件特性恶化。此外,采用PI作为钝化层的a-IGZO TFT器件,其负栅压应力(Negative Gate-bias Stress, NBS)下稳定性得到改善,可能与PI烘烤固化过程中扩散进入器件内部的氢(H)钝化有源层内的缺陷相关。

**关键词:** 薄膜晶体管; 铟镓锌氧化物; 有机钝化层; 聚酰亚胺; 电应力稳定性

**中图分类号:** TN27 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-488X(2021)04-0315-05

## Passivation Protection of Polyimide in Amorphous InGaZnO Thin Film Transistors

LIN Qingping<sup>1</sup>, WANG Shenglin<sup>2</sup>

(1.College of Electronic and Computer Engineering, Shenzhen Graduate School of Peking University, Shenzhen Guangdong 518071, CHN; 2.Shenzhen Dalton Electronic Material Co., Ltd., Shenzhen Guangdong 518000, CHN)

**Abstract:** Amorphous InGaZnO thin-film transistors (a-IGZO TFTs) passivated by a polyimide (PI) layer has been fabricated. The PI passivation layer has been deposited by the spin-coating method, which could reduce the damage of back surface of a-IGZO channel caused by the passivation layer deposition process and improve the device performance. The PI passivation could effectively block the ambient atmosphere, protecting the TFTs from performance deterioration resulted by H<sub>2</sub>O and O<sub>2</sub> molecule adsorption effects. Moreover, TFTs passivated by PI showed improved stability under negative gate-bias stress (NBS). The improved stability was inferred to be related to the passivation of traps within the a-IGZO channel by hydrogen which could be diffused into the device from the PI layer during the baking process.

**Key words:** thin-film transistor; IGZO; organic passivation layer; polyimide; electrical stress stability

收稿日期:2021-03-10

作者简介:林清平(1986—),男,硕士研究生,主要研究方向为信息显示技术;(E-mail:linqp@pkusz.edu.cn)

王胜林(1974—),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为化学工程。(E-mail:lab-wsl@dalton-china.com)

\* 通讯作者

## 引 言

随着社会的不断发展以及近年来人们对人机交互体验要求的不断提高,平板显示技术也迎来了飞跃的发展。目前市场上有源矩阵液晶显示(AMLCD)已经取代传统的阴极摄像管显示(CRT)而成为炙手可热的主流显示技术,与此同时,各类新型的显示技术也层出不穷,例如有源矩阵发光二极管显示(AMOLED),柔性显示,透明显示等显示技术也引人注目。薄膜晶体管(Thin Film Transistor, TFT)是有源显示器的重要开关和驱动元件,是其核心部件,对TFT器件的研究很有必要。

众多的TFT技术中,相较于a-Si:H TFT<sup>[1]</sup>、LTPS TFT<sup>[2]</sup>、有机物TFT<sup>[3]</sup>等技术,非晶金属氧化物TFT在载流子迁移率、亚阈值斜率、泄漏电流,以及制造工艺和制造成本等各方面都比较均衡,被认为是下一代平板显示的主流技术,而非晶铟镓锌氧化物TFT(a-IGZO TFT)是其典型代表<sup>[4-8]</sup>。但是由于a-IGZO TFT的背沟道容易受环境中的水分子(H<sub>2</sub>O)和氧分子(O<sub>2</sub>)影响,而使器件特性和稳定性受到影响,因此要求对a-IGZO TFT器件进行钝化以有效地对水、氧进行阻隔。目前对a-IGZO TFT器件进行钝化的材料和方法有很多,比如氧化硅(SiO<sub>2</sub>)<sup>[9-10]</sup>,氮化硅(SiN<sub>x</sub>)<sup>[11-12]</sup>,氧化铝(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sup>[13-14]</sup>等无机钝化层,但是在生长这些无机钝化层膜层时,多采用等离子体增强化学气相沉积(PECVD)或者磁控溅射的方法,因此TFT器件的背沟道很容易受到离子的轰击而影响器件性能。为了避免离子的轰击,有报道可以使用有机材料,比如PVP, PMMA以及CYTOP等等<sup>[15]</sup>,但以PI作为a-IGZO TFT钝化层的研究尚较少有相关报道。

文中制备了底栅a-IGZO TFT器件,并通过旋涂、烘烤固化制备了PI有机膜作为其钝化层。对比了无钝化层和PI钝化层的器件发现,采用PI作为钝化层可以避免环境中的水、氧吸附效应造成的器件特性恶化。此外,较无钝化层的器件而言,采用PI作为钝化层时器件在正栅压应力(Positive Gate-Bias Stress, PBS)和负栅压应力(Negative Gate-Bias Stress, NBS)下的稳定性得到了有效的改善。

## 1 工艺流程

制备底栅a-IGZO TFT器件的工艺流程如下:

(1)通过溅射沉积栅极(Gate)钼(Mo)电极150

nm(设备为磁控溅射,通过直流溅射:Ar流量50 sccm,溅射气压0.36 pa,溅射功率120 W,溅射速率10 nm/min)。

(2)通过湿法刻蚀的方法图形化Gate Mo电极,刻蚀液为双氧水。

(3)通过等离子体增强化学气相沉积(PECVD)在300 °C条件下沉积栅介质SiO<sub>2</sub>膜层200 nm。

(4)使用磁控溅射台,直流溅射镀IGZO膜40 nm(溅射条件:直流电源功率100 W,气体流量Ar:O<sub>2</sub>=47 sccm:3 sccm,溅射气压0.4 pa,溅射速率约7 nm/min)。

(5)将样品置于退火炉中用氧气退火,退火温度为350 °C,退火时间为90 min。

(6)通过湿法刻蚀图形化IGZO膜层,刻蚀液为稀盐酸。

(7)磁控溅射钼电极150 nm并用剥离的方法进行图形化作为源漏电极。

(8)正胶光刻并用反应离子刻蚀SiO<sub>2</sub>形成栅极接触孔。

(9)旋涂PI膜层并在300 °C空气中烘烤1 h,PI厚度约为1700 nm。

(10)图形化及干法刻蚀开孔(S/D/Gate电极),通过反应离子刻蚀PI的条件为Ar:O<sub>2</sub>=30 sccm:100 sccm,刻蚀功率为150 W,刻蚀时间为450 s。

(11)测试,测试设备为半导体测试仪B1500A。

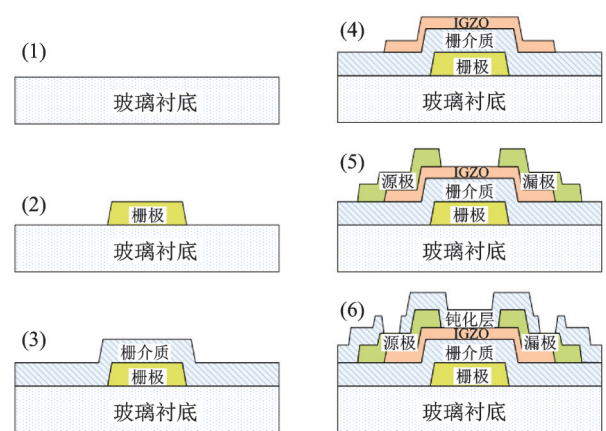


图 1 底栅 a-IGZO 工艺流程图

Fig.1 Process chart of bottom gate a-IGZO

## 2 结果与讨论

图 2 所示为有机PI钝化前各种不同宽长比的TFT器件的 $I_d-V_g$ 特性,漏极电压( $V_{ds}$ )为0.1 V。可

以看出,器件 $L=8\ \mu\text{m}$ 时,器件特性发生了明显的退化。较短沟道器件的特性退化与a-IGZO表面发生的水、氧气体分子吸附效应有关<sup>[16-18]</sup>。图3所示为采用PI作为钝化层的不同宽长比的器件 $I_d-V_g$ 特性,对于 $L=8\ \mu\text{m}$ 的器件其特性未发生明显变化。表明通过有机PI钝化后,由于PI钝化层能够有效地阻隔环境中的水、氧分子,从而避免因气体分子吸附效应导致的特性退化。

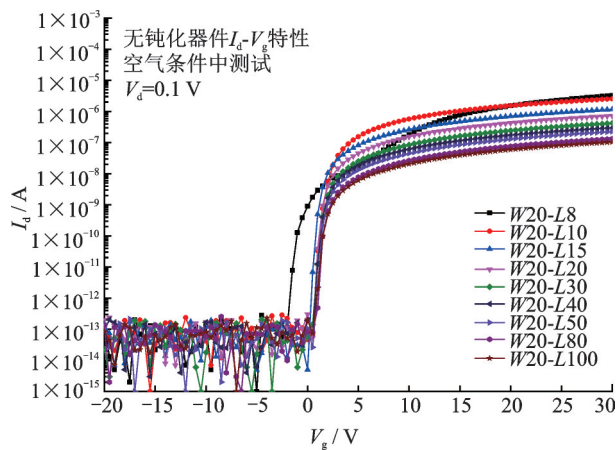


图2 有机PI钝化前各种不同宽长比TFT器件的 $I_d-V_g$ 特性图

Fig.2  $I_d-V_g$  characteristics of TFTs with different aspect ratios before organic PI passivation

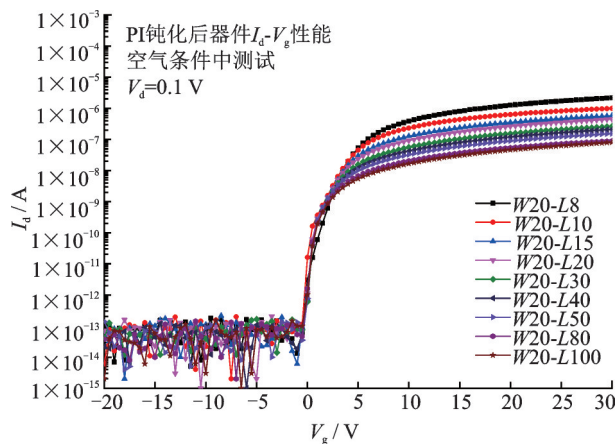
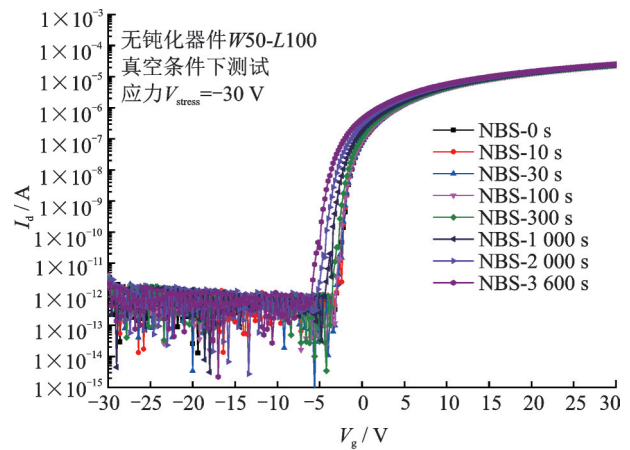


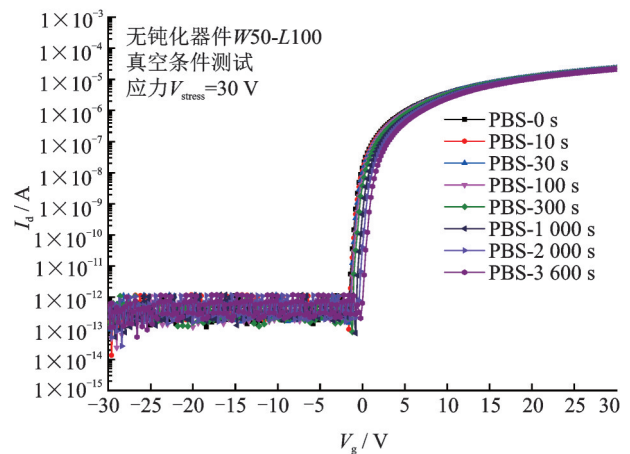
图3 有机PI钝化后各种不同宽长比TFT器件的 $I_d-V_g$ 特性图

Fig.3  $I_d-V_g$  characteristics of organic PI passivated TFTs with different aspect ratios

图4(a)所示为,有机PI钝化前的a-IGZO TFT器件在NBS应力下器件特性随应力时间变化的情况。应力测试时,为了避免水、氧分子吸附效应造成的稳定性恶化,应力测试在真空环境下进行(气压 $<10^{-8}$  torr)。栅极电压( $V_{\text{stress}}$ )为 $-30\ \text{V}$ ,漏极电



(a) 无钝化时,器件在NBS下的特性退化情况



(b) 无钝化时,器件在PBS下的特性退化情况

图4 无钝化时,器件在应力条件下的特性退化情况

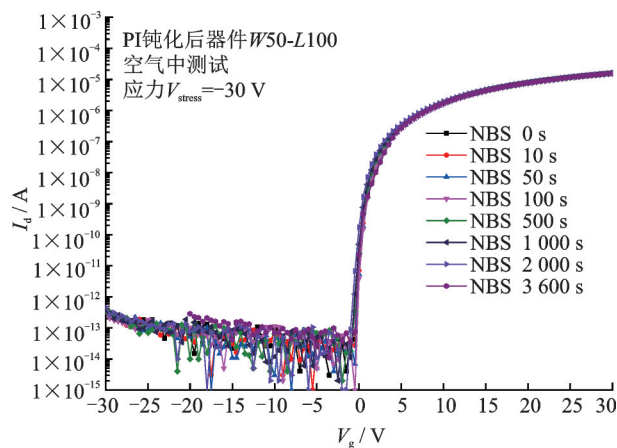
Fig.4 The characteristic degradation of the device under stress condition without passivation

压( $V_{\text{ds}}$ )为 $0\ \text{V}$ ,应力时间为 $3\ 600\ \text{s}$ 。NBS下,器件 $I_d-V_g$ 特性发生负向漂移, $3\ 600\ \text{s}$ 后的阈值电压变化量( $\Delta V_{\text{th}}$ )为 $-2.51\ \text{V}$ 。NBS下发生的负 $\Delta V_{\text{th}}$ 由a-IGZO内的类施主缺陷态发生离化导致<sup>[19]</sup>。在NBS引入的电场作用下,栅介质与有源层界面附近的a-IGZO中的类施主电中性氧空位缺陷( $V_{\text{O}}$ )发生离化,并在沟道中引入正的固定电荷( $V_{\text{O}_2^+}$ )并对栅极电压起一定屏蔽作用,从而造成了图中器件特性随应力时间增加的负向漂移。图4(b)所示为有机PI钝化前的a-IGZO TFT器件在PBS应力下器件特性退化情况, $V_{\text{stress}}=30\ \text{V}$ 。PBS下, $I_d-V_g$ 特性发生正向漂移, $3\ 600\ \text{s}$ 后的 $\Delta V_{\text{th}}=1.80\ \text{V}$ 。PBS下正的 $\Delta V_{\text{th}}$ 由a-IGZO与栅介质的界面附近的缺陷态俘获电子导致<sup>[20]</sup>。在PBS下,通过热离化发射或隧穿进入栅介质的电子,或被界面附近缺陷态俘获的电子,将在栅介质内或界面处引入固定电荷,并影响栅极电压对a-IGZO沟道层的控制,从而造成了图

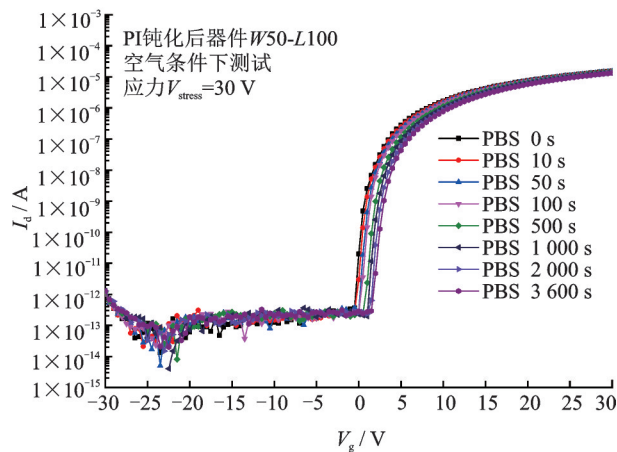


中器件特性随应力时间增加的正向漂移。

图 5 所示为采用有机 PI 作为钝化层 a-IGZO 的 TFT 器件在 NBS 和 PBS 应力下, 器件特性随应力时间变化的情况。应力测试在空气气氛中完成, 测试时 NBS 的  $V_{\text{stress}}$  为  $-30$  V, PBS 的  $V_{\text{stress}}$  为  $30$  V, 漏极电压 ( $V_{\text{ds}}$ ) 为  $0$ , 应力时间为  $3\ 600$  s。3 600 s 的应力后, NBS 下  $\Delta V_{\text{th}} = -0.59$  V, PBS 下  $\Delta V_{\text{th}} = 2.65$  V。较 PI 钝化前的 a-IGZO TFT 而言, 采用 PI 作为钝化层后, 器件在 NBS 下的稳定性得到显著改善, 而 PBS 下的稳定性影响不大或略有变差。



(a) PI 钝化后, 器件在 NBS 下的特性退化情况



(b) PI 钝化后, 器件在 PBS 下的特性退化情况

图 5 PI 钝化后, 器件在应力条件下的特性退化情况

Fig.5 The characteristic degradation of the device under stress condition with PI passivation

图 6 所示为, 无钝化层和采用 PI 作为钝化层的 a-IGZO TFT 中  $\Delta V_{\text{th}}$  随应力时间 ( $t_{\text{stress}}$ ) 变化的情况。可以看到, 采用 PI 作为钝化层的器件, 其  $\Delta V_{\text{th}}$  随应力时间的增加变化速度显著变慢, 其稳定性得到明显提升。由于无钝化层的器件稳定性是在真空条件下完成, 而 PI 具有很好的环境阻隔能力, 因此器

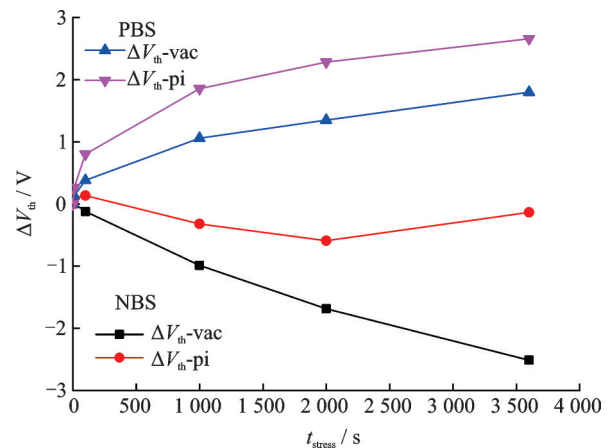


图 6 无钝化层和采用 PI 作为钝化层的 a-IGZO TFT 的  $\Delta V_{\text{th}}$  随应力时间变化的情况

Fig.6  $\Delta V_{\text{th}}$  of a-IGZO TFT without passivation layer and with PI as passivation layer varying with stress time

件的稳定性主要由器件本身决定, 可以忽略环境的影响。考虑到 NBS 下的不稳定性与应力下的氧空位相关类施主缺陷态的离化有关, 可以推测 PI 钝化层的器件更好的稳定性与 PI 在  $300$  °C 下的烘烤固化过程中有适量的氢扩散进入 a-IGZO 内并钝化类施主缺陷态有关。然而, 在 PBS 下, 采用 PI 作为钝化层后器件稳定性变化不大, 或略有变差, 推测因为扩散进入的 H 未能对界面缺陷起到良好的钝化效果。

### 3 结 论

文中采用 PI 作为钝化层, 制备了底栅型 a-IGZO TFT。PI 成膜采用旋涂工艺, 可减少钝化层成膜工艺对 TFT 器件沟道层的破坏<sup>[21]</sup>, 因此旋涂 PI 钝化层后器件特性未发生明显变化。由于 PI 可以有效地阻挡环境中的水、氧气体分子, 因此采用 PI 作为钝化层后, 未观察到器件特性受环境气氛影响而造成的退化。在 NBS 应力测试中发现, 无钝化层的器件在真空环境中 3 600 s 的应力测试后, 由于氧空位相关的类施主缺陷态离化造成的负的阈值电压变化量  $\Delta V_{\text{th}} = -2.51$  V。采用 PI 作为钝化层的器件, 阈值电压变化量显著改善为  $\Delta V_{\text{th}} = -0.59$  V。改善的 NBS 下稳定性推测与 PI 烘烤固化过程中扩散进入 a-IGZO 内的 H 钝化类施主缺陷态有关。另一方面, PI 钝化后的器件, 其 NBS 应力测试是在空气气氛中进行且未观察到稳定性的恶化, 进一步说明 PI 具有良好的环境阻隔能力。因此, 研究结果证实 PI 是适用于氧化物 TFT 的一种有机钝化层材料。

## 参 考 文 献

- [1] le Comber P G, Spear W E, Ghaith A. Amorphous-silicon field-effect device and possible application[J]. Electronics Letters, 1979, 15(6):179-181.
- [2] Brotherton S D. Polycrystalline silicon thin film transistors[J]. Semicond. Sci. Technol., 1995, 10:721-738.
- [3] Liu S, Maria Wang W, Briseno Alejandro L. Controlled deposition of crystalline organic semiconductors for field-effect-transistor applications[J]. Adv. Mater., 2009, 21:1217-1232.
- [4] Yoon H K J, Lee M, Y-Y Yu. World 1st large size 18-inch flexible OLED display and the key technologies[J]. SID Symposium Digest of Technical Papers, 2015, 46(1):962-965.
- [5] Kumakura M S T, Horino S, Yoshida Y. Development of super hi-vision 8K×4K direct-view LCD for next generation TV [J]. SID Symposium Digest of Technical Papers, 2012, 43(1):780-783.
- [6] Chen Li-Yi, Chen Yu-Yeh, Hou Hung-Lung, et al. Development of the world-wide largest 110" 4K2K 3D TFT-LCD display[J]. SID Symposium Digest of Technical Papers, 2013, 44(1):100-103.
- [7] Takasugi S, Song B C, Shin H J, et al. Novel OLED display technologies for large-size UHD OLED TVs[J]. SID Symposium Digest of Technical Papers, 2015, 46(1):53-56.
- [8] Nakamura H I D, Sugisawa N, Yanagisawa Y, et al. An 81-in 8k×4k OLED kawara-type multidisplay that provides a seamless, continuous image[J]. SID Symposium Digest of Technical Papers, 2015, 46(1):1031-1034.
- [9] Jeong J K, Yang H W, Jeong J H, et al. Origin of threshold voltage instability in indium-gallium-zinc oxide thin film transistors[J]. Appl. Phys. Lett., 2008, 93(12):123508-1-123508-3.
- [10] Hossain M D, Mativenga M, Um J G, et al. Effect of SiO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub> passivation on the stability of amorphous indium-gallium-zinc-oxide thin-film transistors under high humidity [J]. IEEE Trans. Electron Devices, 2015, 62(3):869-874.
- [11] Son K S, Kim T S, Jung J S, et al. Threshold voltage control of amorphous gallium indium zinc oxide TFTs by suppressing back-channel current [J]. Electrochemical and Solid-State Letters, 2009, 12(1):H26-H28.
- [12] Park S H K, Ryu M K, Oh H, et al. Double-layered passivation film structure of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiN<sub>x</sub> for high mobility oxide thin film transistors [J]. Journal of Vacuum Science & Technology B, 2013, 31(2):020601.
- [13] Fukumoto E, Arai T, Morosawa N, et al. High-mobility oxide TFT for circuit integration of AMOLEDs [J]. Journal of the Society for Information Display, 2011, 19:867-872.
- [14] Huang S Y, Chang T C, Chen M C, et al. Effects of ambient atmosphere on electrical characteristics of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> passivated In-GaZnO thin film transistors during positive-bias-temperature-stress operation [J]. Electrochemical and Solid-State Letters, 2011, 14(4):H177-H179.
- [15] Choi Sung Hwan, Jang Jun Hyuk, Jang Joo Kim. Low-temperature organic (CYTOP) passivation for improvement of electric characteristics and reliability in IGZO TFTs [J]. IEEE Electron Device Letters, 2012, 33(3):381-383.
- [16] Park J S, Jeong J K, Chung H J. Electronic transport properties of amorphous indium-gallium-zinc oxide semiconductor upon exposure to water [J]. Appl. Phys. Lett., 2008, 92(7):072104-1-072104-3.
- [17] Chung W F, Chang T C, Li H W. Influence of H<sub>2</sub>O dipole on subthreshold swing of amorphous indium-gallium-zinc-oxide thin film transistors [J]. Electrochemical and Solid-State Letters, 2011, 14(13):H114-H116.
- [18] Kang D, Lim H, Kim C. Amorphous gallium indium zinc oxide thin film transistors: Sensitive to oxygen molecules [J]. Appl. Phys. Lett., 2007, 90(19):192101-1-192101-3.
- [19] Xiao X, Deng W, Chi S. Effect of O<sub>2</sub> flow rate during channel layer deposition on negative gate bias stress-induced V<sub>th</sub> shift of a-IGZO TFTs [J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 2013, 60(12):4149-4164.
- [20] Lee J M, Cho I T, Lee J H. Bias-stress induced stretched-exponential time dependence of threshold voltage shift in InGaZnO thin film transistors [J]. Appl. Phys. Lett., 2008, 93(9):093504-1-093504-3.
- [21] Hyun Jae Kim, Chul Jong Han, Yoo Byungwook. Effects of intense pulsed light (IPL) rapid annealing and back-channel passivation on solution-processed In-Ga-Zn-O thin film transistors array [J]. Micromachines, 2020, 11:508.