

Research Progress of InGaZnO Target and Thin Film

Yingdong Lu¹, Shicheng Huang¹, YingXiang Liang¹, Man Mo², Zhijie Fang^{2*}

¹Guangxi Crystal Union Photoelectric Materials Co. Ltd., Liuzhou Guangxi

²College of Science, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou Guangxi

Email: *nnfang@semi.ac.cn

Received: Apr. 24th, 2019; accepted: May 9th, 2019; published: May 16th, 2019

Abstract

The possible technical obstacles in the promotion and application of In-Ga-Zn-O (IGZO) materials were analyzed, including composition analysis of IGZO, technical analysis of IGZO target material preparation, stability analysis of IGZO-TFT, etc. The photoelectric performance of IGZO can be adjusted by adjusting the proportion of oxide in IGZO. When using the sintering temperature of 1400°C above, we can get IGZO target with high density and uniform composition; the stability of a-IGZO TFT can be improved by adding shading layer, protective layer, adopting double gate structure, designing compensation circuit and other measures.

Keywords

IGZO TFT, IGZO Target, Stability, Component

InGaZnO靶材和薄膜的研究进展

陆映东¹, 黄誓成¹, 梁盈祥¹, 莫曼², 方志杰^{2*}

¹广西晶联光电材料有限责任公司, 广西 柳州

²广西科技大学理学院, 广西 柳州

Email: *nnfang@semi.ac.cn

收稿日期: 2019年4月24日; 录用日期: 2019年5月9日; 发布日期: 2019年5月16日

摘要

对In-Ga-Zn-O (IGZO)材料推广应用过程中可能的技术阻碍进行了分析, 包括IGZO的成分分析、IGZO靶材制备技术分析、IGZO-TFT (IGZO薄膜晶体管)稳定性分析等。通过调节IGZO中氧化物的成分比例, 可

以调节IGZO的光电性能；IGZO靶材的制备选取1400℃以上的烧结温度可以得到高密度，成分均匀的靶材；通过增加遮光层、保护层、采用双栅结构、设计补偿电路等措施，可以提高a-IGZO TFT的稳定性。

关键词

IGZO TFT, IGZO靶材, 稳定性, 成分

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

大尺寸、高清、柔性、低能耗是未来显示器的发展趋势，但传统平面显示器中 TFT 沟道材料——非晶硅的性能已经不能很好地满足这些需求。非晶硅薄膜晶体管的主要问题是迁移率低，在 $1 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{S}$ 以下，而当液晶显示器尺寸超过 80 英寸，驱动频率为 120 Hz 时需要 $1 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{S}$ 以上的迁移率[1]；非晶硅的低迁移率，同样使其不能适用于 AMOLED 的驱动。低温多晶硅薄膜晶体管的迁移率很高，目前已广泛应用于手机和平板电脑等中小尺寸显示器，但是大面积制备时均匀性差，限制了其在大尺寸显示领域的应用。为此，适用于大尺寸、高清、柔性、低能耗液晶显示器的新型沟道材料的应用研究成为热点。其中，非晶 In-Ga-Zn-O (IGZO)自 2004 年被日本学者首次报道出较低的制备温度以及优异的光电性能以来备受关注。

IGZO 由 In_2O_3 、 Ga_2O_3 和 ZnO 相互掺杂得到，是一种透明金属氧化物半导体材料。IGZO 为 n 型半导体材料，存在 3.5 eV 左右的带隙，电子迁移率比非晶硅高 1~2 个数量级，其最大特点是在非晶状态下依然具有较高的电子迁移率。由于没有晶界的影响，非晶结构材料比多晶材料有更好的均匀性，对于大面积制备有巨大的优势。正因为 IGZO TFT 具有高迁移率、非晶沟道结构、全透明和低温制备这四大优势，使得 IGZO 作为 TFT 沟道材料比多晶硅和非晶硅更符合显示器大尺寸化、高清、柔性和低能耗的未来发展趋势。

IGZO 薄膜的应用，首先要明确其最佳成分配比，然后根据所需的成分配比制备出相应成分的高质量溅射靶材，并研究其成薄工艺。本文分别从以上几个方面作了研究和探讨，并归纳了 IGZO 薄膜应用进程中存在的问题和相应的可能解决方案。

2. IGZO 的成分配比

多元金属氧化物半导体材料具有光电性能可调节的优点。IGZO 材料要推广应用，首先要确定其最优化的成分比例。根据研究[2]，IGZO 中的三种金属氧化物都有其独特的作用， In_2O_3 中的铟离子贡献出高的电子迁移率； Ga_2O_3 中的镓离子因为容易与氧离子结合，从而可以减小 IGZO 中氧空位的产生，进而降低 IGZO 的载流子浓度；同时 ZnO 的加入，对形成非晶结构薄膜起到重要作用。李远洁等[3]研究发现，IGZO 薄膜的化学元素组成决定了其晶体结构，与镀膜工艺无关。图 1 显示了 IGZO 薄膜成分与其结构和迁移率的关系[4]。

IGZO 作为 TFT 的沟道材料，要求具有以下性能：1) 高迁移率；2) 低载流子浓度；3) 较高的透光率。如何从材料配方上获得这些性能？

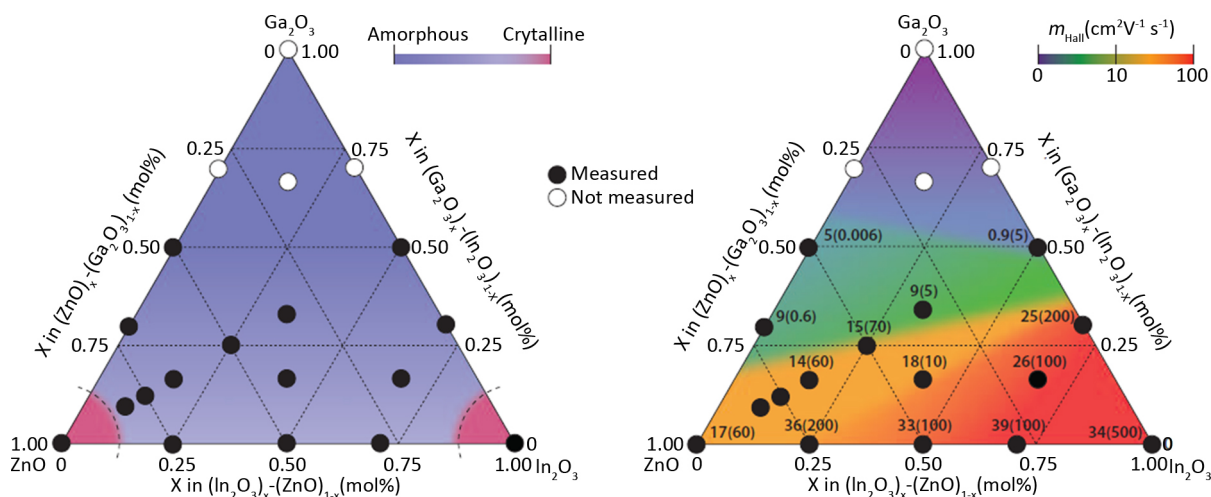


Figure 1. The relationship between IGZO film composition and its structure and mobility [4]

图 1. IGZO 薄膜成分与其结构和迁移率的关系[4]

根据前述, 增加铟含量, 可以提高迁移率; Hideo H. [5]等人报道, 降低镓的含量, 也可以起到提高迁移率的作用。苏雪琼等人[6]将 IGZO 中氧化铟的含量增加到 80%时, 得到电子迁移率 25.3 cm²/V·S 的非晶薄膜。但铟含量并不是越高越好, 从图 1 可以看到, 氧化铟含量超过 88%时, IGZO 材料为多晶结构; Leenheer A. J.等人[7]也报导了, 氧化铟含量为 90%, 氧化镓含量为 0 时的 IZO 材料为多晶结构。

沟道材料载流子浓度低, 可以降低 TFT 的关态电流, 从而提高开关电流比。根据前述, 增加氧化镓的含量, 可以降低 IGZO 的载流子浓度。但增加镓的含量, 又会降低迁移率, 所以这之间需要一个平衡来实现性能最优化。沟道材料具有较高的可见光透过率, 有利于制备透过率极高的显示器。Suresh 等[8]研究表明, 在 IGZO 中, 锌原子占比不超过 71.4%时, IGZO 薄膜具有较好的可见光透过率。有研究表明 [8] [9] [10], IGZO 中, 三种金属元素按 1:1:1 的原子比组成(即为 InGaZnO₄), 具有较高的电子迁移率和开关电流比, 是制备半导体薄膜晶体管的理想配比。

3. IGZO 靶材的制备及其物相分析

a-IGZO 薄膜可以采用涂布、激光沉积、磁控溅射等方法制得; 其中磁控溅射法镀膜因具有易于控制, 镀膜面积大和附着力强等优点而广泛应用于镀膜玻璃生产和显示屏生产工艺中, 如 ITO 膜、Mo 膜、Al 膜等均采用了磁控溅射的方法。选用磁控溅射作为 a-IGZO 薄膜的镀膜方法, 对现有的溅射镀膜设备进行适度的改造即可, 具有较强的适应性。

采用磁控溅射制备 a-IGZO 薄膜, 需要用到 IGZO 靶材。IGZO 靶材的品质好坏直接影响到 a-IGZO 薄膜的光电性能。IGZO 靶材的制备工艺可以类比于氧化铟锡(ITO)靶材, 主要流程均是粉体制备、成型、烧结。一般能用于生产氧化物半导体粉末的方法, 均可用于制备 IGZO 粉末, 如溶胶-凝胶法、微乳液法、化学沉淀法、水解法、固相反应法、水热法、喷雾燃烧法等。其中固相反应烧结被较多研究者采用。有研究者利用第一性原理对固相反应烧结制备 IGZO 粉的过程进行了研究, 发现优先生成的产物是 ZnGa₂O₄, 然后继续加热, 最终转变为 InGaZnO₄ [11]。孟璇等[12]将 In₂O₃、Ga₂O₃ 和 ZnO 按 1:1:2 的摩尔配比进行混合、研磨并采用固相烧结反应法制备 IGZO 粉末, 结果表明: 烧结温度为 1100℃时, 所得粉末以 ZnGa₂O₄ 相为主, 仍有 In₂O₃ 未发生反应; 在 1200℃和 1300℃烧结, 均可得到 InGaZnO₄ 单相粉末。其结果与第一性原理的分析一致。Lo C. C. [13]等采用 In₂O₃、Ga₂O₃ 和 ZnO 摩尔比例为 1:1:2 的粉体, 通过常压烧结的方法, 在 1300℃烧结 6 小时, 获得 InGaZnO₄ 单相靶材, 相对密度 93%。苏文俊等[14]将具有 InGaZnO₄

单相结构的粉末, 采用放电等离子烧结的方法制备了 IGZO 靶材, 烧结温度 1100℃时, 烧结体结构性能较好, 相对密度 97.44%, 体积电阻率 3.66 mΩ/cm³。

陈江博等[9]用固相反应法制备了富锌含量的 IGZO 粉末, In₂O₃、Ga₂O₃ 和 ZnO 摩尔比例为 1:1:8 经检测, 该粉末是含有 InGaZn₄O₇ 与 InGaZn₅O₈ 物相的 IGZO 混合物。周贤界等[15]减少氧化锌的含量, 用 In₂O₃、Ga₂O₃ 和 ZnO 摩尔比例为 1:1:1 的粉体, 在 1400℃~1450℃的温度下烧结, 获得相对密度高于 99.5% 的 IGZO 靶材。总体而言, 要得到高密度, 成分均匀的 IGZO 靶材, 最高烧结温度宜控制在 1400℃以上。

Table 1. Influence of sputtering process on film properties

表 1. 溅射工艺对薄膜性能的影响

序号	工艺变化	性能变化	原因
1	低的溅射功率	表面粗糙, 载流子浓度低	薄膜缺陷增多[16]
2	氩气压强增大	生长速率先降后微升	氩气压强增大, 溅射原子由于与氩离子碰撞次数增多, 动能降低, 导致生长速率降低; 压强进一步增大, 导致二次电子发射增强, 溅射能力加强, 生长速率微升[17]
3	氧气流量从零增加	氧气流量为 0 时, 电阻高, 通氧后降低, 然后随氧量增加, 电阻率升高 透过率升高	氧量为 0 时, 形成部分深能级氧空位, 对载流子起陷阱作用; 随氧量增加, 氧空位减少, 电阻升高[18] 深能级的氧空位对光子有吸收作用, 会降低透过率[18]
4	膜厚减小	开启电流提高, 阈值电压增加	薄膜厚度减小, 薄膜内的陷阱密度减小, 载流子的散射效应减小[19] [20] [21]

4. IGZO 薄膜的应用研究

4.1. 镀膜工艺参数和热处理对其光电性能的影响

a-IGZO 沟道层的光电性能、表面粗糙度、均匀性是 a-IGZO-TFT 器件性能的重要影响因素。而 a-IGZO 薄膜制备过程中的工艺参数(溅射功率、压强、气体流量、沉积厚度等)和热处理工艺对其性能有很大影响。镀膜工艺对薄膜性能的影响如表 1 所示。

热处理同样对薄膜性能有较大影响, 其工艺参数主要是温度和气氛。通过调节和选择热处理的温度和气氛, 可以影响到薄膜中的氧缺陷, 从而影响薄膜的光电性能, 如采用空气、氧气、氮气退火[22]、真空退火[23]、含有一定浓度氢气的合成气体退火[23]、高压氢气退火[24]、水蒸气高压辅助退火[25]等。除此之外, 通过热处理, 还可以减小薄膜的表面粗糙度[24], 但真空热处理后的表面粗糙度要比空气处理的大[26]。大多数的热处理温度条件选择在 200~600 度之间, 但该温度段并不适合用来处理用于柔性屏的 IGZO-TFT。ALFORD T. L.等[27]对低温溅射的 IGZO 薄膜, 在 150 度, 采用先氧气氛热处理, 再真空热处理的方法, 获得了较好的综合光电性能, 适合对柔性屏的 TFT 进行热处理。

4.2. a-IGZO TFT 的稳定性

a-IGZO TFT 的稳定性问题是阻碍其产业化进程的主要因素之一。

采用非晶 IGZO 作为沟道层材料制备的薄膜晶体管的电特性在可见光的照射下有良好的稳定性, 但是在波长小于 420 nm 的紫外光区会有较大变化[28] [29]。Chen T. C. [30]等也报导了长期光照和电应力作用下, IGZO 薄膜晶体管显示屏, 出现电特性不稳定的现象。电特性不稳定性主要表现在栅偏压下的阈值电压漂移, 亚阈值摆幅漂移等, 其中阈值电压的漂移最为明显, 它直接影响显示屏亮度的均匀性。a-IGZO TFT 的光照不稳定性, 可能是由于 IGZO 层的缺陷态电子受到光的激发而到导带, 从而导致器件泄漏电流的增加[31]。

除了光照及电应力会影响 a-IGZO TFT 的稳定性外,其对空气中的氧气和水蒸气也较为敏感,长时间处于潮湿空气中会使其性能发生明显下降。同时,IGZO 背沟道表面在薄膜制备过程或者环境中容易受到破坏,也是其稳定性不高的原因之一。IGZO TFT 电学特性在氢氧环境中也会发生衰退[32]。

薄膜中及界面的各种缺陷态是 IGZO TFT 不稳定性的主要来源,所以减少缺陷是改善 IGZO TFT 稳定性的有效途径。例如,在薄膜沉积过程中,增加氧气流量,选择合适的氧氮比,以平衡阈值电压不稳和其它电性能[33];减小薄膜表面粗糙度,并提高薄膜的致密性,从而减少薄膜界面陷阱密度,可以达到提高稳定性的效果[34]。在 IGZO 半导体层上方设置保护层,可以保护 IGZO 半导体层在后续的成膜,刻蚀等工艺中不被破坏[35],也是提高其稳定性的有效途径之一。增加遮光层以减少光照对 IGZO 层的影响,是减少 IGZO-TFT 的泄漏电流的主要方法[36]。通过改变遮光金属栅的电压,能对 IGZO-TFT 的阈值电压进行调节[37],从而补偿 AMOLED 像素电路的阈值电压漂移,但这种方法会导致 TFT 的面积增加,所以不宜用于高分辨率像素电路的集成[38]。除此之外,通过对结构的设计和优化,也能提高 IGZO-TFT 的稳定性。研究表明[21],双栅驱动的 a-IGZO TFTs 具有比单栅结构更高的开关电流比,更低的亚阈值摆幅以及更强的器件稳定性。蔡旻熹等[39]通过仿真分析了双栅驱动的 a-IGZO TFTs 的开启电流随有源层厚度降低而显著增加的效应,发现在双栅驱动的器件中低的有源层厚度可以改善器件的电学稳定性。张丽等[40]研究了基于 a-IGZO TFT 的有源矩阵有机发光显示 AMOLED 像素电路的阈值电压补偿问题,证明了 4T1C 电路对阈值漂移有明显的补偿作用,并指出增加存储电容值和驱动 TFT 的宽长比可有效提高 OLED 电流的保持能力。

5. 结语

通过对 IGZO 成分的调节,可以获得适合应用的光电性能;通过制备高品质的 IGZO 靶材,可以提高 IGZO 薄膜的品质;通过调节退火温度、时间、气氛和磁控溅射镀膜的工艺参数,可以有效提高 a-IGZO TFT 的光电性能;通过增加遮光层、保护层、采用双栅结构、设计补偿电路等措施,可以提高 a-IGZO TFT 的稳定性。相信随着对 a-IGZO 薄膜和 a-IGZO TFT 不断深入的研究,IGZO 的大范围应用将很快到来。

基金项目

国家自然科学基金资助项目(11464003,11864005),广西自然科学基金项目(2017GXNSFAA198315),柳州市科技计划项目(2016B040202),广西高校中青年骨干教师基础能力提升项目(2018KY0324)资助的课题。

参考文献

- [1] 刘翔,薛建设,贾勇,等.金属氧化物 IGZO 薄膜晶体管的最新研究进展[J].现代显示,2010(10):28-32.
- [2] 韦唯砚. 铟镓锌氧化物薄膜晶体管的研究[D]:[硕士学位论文].北京:北京交通大学,2011.
- [3] 李远洁,江凯,刘子龙.低温增强型非晶铟镓锌氧薄膜晶体管特性研究[J].西安交通大学学报,2015,49(12):1-5.
- [4] Kamiya, T. and Hosono, H. (2010) Material Characteristics and Applications of Transparent Amorphous Oxide Semiconductors. *NPG Asia Materials*, 2, 15-22. <https://doi.org/10.1038/asiamat.2010.5>
- [5] Hideo, H. (2006) Ionic Amorphous Oxide Semiconductors: Material Design, Carrier Transport, and Device Application. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 352, 851-858. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2006.01.073>
- [6] 苏雪琼,王丽,甘渝林,李成汉.非晶 InGaZnO 薄膜成分比对透明性和迁移率的影响[J].强激光与粒子束,2014,26(12):49-52.
- [7] Leenheer, A.J., Perkins, J., Maikel, F.A., et al. (2008) General Mobility and Carrier Concentration Relationship in Transparent Amorphous Indium Zinc Oxide Films. *Physical Review B*, 77, Article ID: 115215. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.77.115215>
- [8] Suresh, A., Gollakota, P., Wellenius, P., et al. (2008) Transparent, High Mobility InGaZnO Thin Films Deposited by PLD. *Thin Solid Films*, 516, 1326-1329. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2007.03.153>

- [9] 陈江博, 王丽, 苏雪琼. InGaZnO 多晶靶材制备与薄膜生长的研究[J]. 中国激光, 2009, 36(s2): 364-367.
- [10] Lee, Y.-S., Dai, Z.-M., Lin, C.-I., *et al.* (2012) Relationships between the Crystalline Phase of an IGZO Target and Electrical Properties of a-IGZO Channel Film. *Ceramics International*, **38S**, 595-599. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.05.105>
- [11] 孟璇. IGZO 粉末固相反应合成机制研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2015.
- [12] 孟璇, 陈敬超, 贾清翠, 等. 固相烧结反应法制备 IGZO 粉末[J]. 粉末冶金材料科学与工程, 2015, 20(4): 590-594.
- [13] Lo, C.C. and Hsieh, T.E. (2012) Preparation of IGZO Sputtering Target and Its Applications to Thin-Film Transistor Devices. *Ceramics International*, **38**, 3977-3983. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.01.052>
- [14] 苏文俊, 陈坚, 袁铁锤, 等. 烧结温度对放电等离子烧结法制备 IGZO 靶材的影响研究[J]. 矿冶工程, 2016, 36(1): 114-116.
- [15] 周贤界, 许积文, 魏秋平, 等. 粉体及制备工艺对 IGZO 靶材致密度及形貌的影响[J]. 材料热处理学报, 2017, 38(7): 16-22.
- [16] 柳逢春, 喻志农, 杨伟声, 等. IGZO 薄膜溅射功率对 IGZO TFT 栅电压不稳定性的影响[J]. 光学技术, 2014, 40(5): 476-480.
- [17] 闫小兵, 史守山, 娄建忠, 等. RF 磁控溅射沉积压强对 InGaZnO₄ 薄膜特性的影响[J]. 河北大学学报, 2015, 35(3): 243-246.
- [18] 江凯, 李远洁, 毛玉政, 等. 磁控溅射氧气流量对非晶 InGaZnO 薄膜特性的影响研究[J]. 真空科学与技术学报, 2015, 35(10): 1180-1184.
- [19] Mativenga, M., An, S. and Jin, J. (2013) Bulk Accumulation a-IGZO TFT for High Current and Turn-On Voltage Uniformity. *IEEE Electron Device Letters*, **34**, 1533-1535. <https://doi.org/10.1109/LED.2013.2284599>
- [20] Jin, S., Kim, T.W., Seol, Y.G., *et al.* (2014) Reduction of Positive-Bias-Stress Effects in Bulk-Accumulation Amorphous-InGaZnO TFTs. *IEEE Electron Device Letters*, **35**, 560-562. <https://doi.org/10.1109/LED.2014.2311172>
- [21] Xu, Y., Liu, C., Amegadez, *et al.* (2015) On the Origin of Improved Charge Transport in Double-Gate In-Ga-Zn-O Thin-Film Transistors: A Low-Frequency Noise Perspective. *IEEE Electron Device Letters*, **36**, 1040-1043. <https://doi.org/10.1109/LED.2015.2467164>
- [22] Mudgal, T., Walsh, N., Manley, R.G., *et al.* (2014) Impact of Annealing on Contact Formation and Stability of IGZO TFTs. *Journal of Solid State Science and Technology*, **3**, 3032-3034. <https://doi.org/10.1149/2.006409jss>
- [23] Jeon, J.-H., Gong, T.-K., Kong, Y.-M., *et al.* (2015) Effect of Post-Deposition Annealing on the Structural, Optical and Electrical Properties of IGZO Films. *Electronic Materials Letters*, **11**, 481-484. <https://doi.org/10.1007/s13391-014-4410-1>
- [24] Oh, Se.-I., *et al.* (2013) Hydrogenated IGZO Thin-Film Transistors Using High-Pressure Hydrogen Annealing. *Transactions on Electron Devices*, **60**, 2537-2541. <https://doi.org/10.1109/TED.2013.2265326>
- [25] Fujii, M.N., *et al.* (2014) Vapor-Induced Improvements in Field Effect Mobility of Transparent a-IGZO TFTs. *Journal of Solid State Science and Technology*, **3**, 3050-3053. <https://doi.org/10.1149/2.011409jss>
- [26] 李倩, 李喜峰, 张建华. 热处理气氛对溶胶-凝胶法制备 a-InGaZnO TFT 器件的影响[J]. 功能材料, 2013, 44(3): 442-445.
- [27] Alford, T.L., Gadre, M.J. and Vemuri Rajitha, N.P. (2013) Improved Mobility and Transmittance of Room Temperature Deposited Amorphous Indium Gallium Zinc Oxide (a-IGZO) Films with Low-Temperature Post-Fabrication Anneals. *The Journal of the Minerals, Metals & Materials Society*, **65**, 519-524. <https://doi.org/10.1007/s11837-013-0569-4>
- [28] Chuang, C., Fung, T., Mullins, B.G., *et al.* (2012) Photosensitivity of Amorphous IGZO TFTs for Active-Matrix Flat-Panel Displays. *Sid Symposium Digest of Technical Papers*, **39**, 1215-1218. <https://doi.org/10.1889/1.3069354>
- [29] Seo, H.S., Bae, J.U., Kim, D.W., *et al.* (2010) Development of Highly Stable a-IGZO TFT with TiO_x as a Passivation Layer for Active-Matrix Display. *Sid Symposium Digest of Technical Papers*, **41**, 1132-1135. <https://doi.org/10.1889/1.3499856>
- [30] Chen, T.C., Chang, T.C., Tsai, C.T., *et al.* (2010) Behaviors of InGaZnO Thin Film Transistor under Illuminated Positive Gate-Bias Stress. *Applied Physics Letters*, **97**, 112104-112106. <https://doi.org/10.1063/1.3481676>
- [31] Oh, H., Yoon, S.M., Ryu, M.K., *et al.* (2011) Transition of Dominant Instability Mechanism Depending on Negative Gate Bias under Illumination in Amorphous In-Ga-Zn-O Thin Film Transistor. *Applied Physics Letters*, **98**, Article ID: 033504. <https://doi.org/10.1063/1.3540500>
- [32] Kamiya, T., Hosono, H., Nomura, K., *et al.* (2010) Present Status of Amorphous In-Ga-Zn-O Thin-Film Transistors. *Science and Technology of Advanced Materials*, **11**, Article ID: 044305.

- <https://doi.org/10.1088/1468-6996/11/4/044305>
- [33] Xiao, X., Deng, W., Chi, S., *et al.* (2013) Effect of O₂ Flow Rate During Channel Layer Deposition on Negative Gate Bias Stress-Induced V_{th} Shift of a-IGZO TFTs. *IEEE Transactions on Electron Devices*, **60**, 4159-4164. <https://doi.org/10.1109/TED.2013.2286636>
- [34] Raja, J., Jang, K., Nguyen, H.H., *et al.* (2013) Enhancement of Electrical Stability of a-IGZO TFTs by Improving the Surface Morphology and Packing Density of Active Channel. *Current Applied Physics*, **13**, 246-251. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2012.07.016>
- [35] Li, X., Xin, E., Chen, L., *et al.* (2013) Effect of Etching Stop Layer on Characteristics of Amorphous IGZO Thin Film Transistor Fabricated at Low Temperature. *AIP Advances*, **3**, Article ID: 032137. <https://doi.org/10.1063/1.4798305>
- [36] Zeng, M., Chen, S.J., Liu, X.D., *et al.* (2017) Effect of Light Shielding Metal on the Performance of a-IGZO TFTs with a Self-Aligned Top-Gate Structure. *Sid Symposium Digest of Technical Papers*, **48**, 1234-1237. <https://doi.org/10.1002/sdtp.11873>
- [37] Abe, K., Takahashi, K. and Sato, A. (2012) Amorphous In-Ga-Zn-O Dual-Gate TFTs: Current-Voltage Characteristics and Electrical Stress Instabilities. *IEEE Transactions on Electron Devices*, **59**, 1928-1935. <https://doi.org/10.1109/TED.2012.2195008>
- [38] Seok, M.J., Mativenga, M., Geng, D., *et al.* (2013) Achieving High Performance Oxide TFT-Based Inverters by Use of Dual-Gate Configurations with Floating and Biased Secondary Gates. *IEEE Transactions on Electron Devices*, **60**, 3787-3793. <https://doi.org/10.1109/TED.2013.2280912>
- [39] 蔡旻熹, 姚若河. 双栅非晶 InGaZnO 薄膜晶体管有源层厚度对电学性能的影响[J]. 华南理工大学学报, 2016, 44(9): 61-66.
- [40] 张丽, 许玲, 董承远. 非晶 IGZO 薄膜晶体管驱动 OLED 像素电路的仿真研究[J]. 发光学报, 2014, 35(10): 1264-1268.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2161-8844, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: hjcet@hanspub.org