

文章编号:1007-2780(2011)02-0147-07

IGZO TFT 与 ZnO TFT 的性能比较

吴为敬, 颜 骏, 许志平, 赖志成

(华南理工大学 材料科学与工程学院, 广东 广州 510641, E-mail: wuwj@scut.edu.cn)

摘 要: 分析比较了 ZnO TFT 与 IGZO TFT 的主要光电学特性以及阈值电压稳定性。结果表明: ZnO 薄膜与 IGZO 薄膜在可见光波长范围内都有着较高的光学透过率; 在同等制备条件下, IGZO TFT 器件的场效应迁移率、开关电流比、阈值电压及亚阈值系数等方面的特性均明显好于 ZnO TFT; 二者都有着较低的泄漏电流, 并且差别很小。另外, ZnO TFT 在正负偏压下阈值电压都有漂移, 而 IGZO TFT 在正偏压下阈值电压漂移比 ZnO TFT 的小且在负偏压下阈值电压没有漂移, 由此可见 IGZO TFT 比 ZnO TFT 有着更好的稳定性。总之, IGZO 薄膜比 ZnO 薄膜更适合作为下一代 TFT 的有源层材料。

关 键 词: ZnO TFT; IGZO TFT; 性能比较; 光电特性; 阈值电压漂移

中图分类号: TN321+.5 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20112602.0147

Property Comparison Between IGZO TFT and ZnO TFT

WU Wei-jing, YAN Jun, XU Zhi-ping, LAI Zhi-cheng

(School of Materials Science and Engineering, South China University of Technology,
Guangzhou 510641, China, E-mail: wuwj@scut.edu.cn)

Abstract: This paper focuses on the comparison and analysis of ZnO TFT's and IGZO TFT's optical and electrical performance, and the stability of threshold voltage. The comparison results indicate that both ZnO and IGZO thin film materials have a simply high optical transmittance in the range of visible spectrum. Furthermore, the key electrical properties of IGZO TFT are better than that of ZnO TFT under the same deposition condition, such as the field effect mobility, the on/off ratio, the threshold voltage and the subthreshold slope. The leakage current of both ZnO TFT and IGZO TFT is low, and the difference between them is rather small. In addition, the threshold voltage of ZnO TFT is shifted under the positive or negative gate bias stress. However, the threshold voltage shift of IGZO TFT is smaller than that of ZnO TFT, and there is no threshold voltage shift for IGZO TFT under the negative gate bias stress. Therefore, IGZO TFT is more stable than ZnO TFT. In conclusion, IGZO thin film material is more suitable to be the active layer of the next generation of TFTs.

Key words: ZnO TFT; IGZO TFT; property comparison; optical and electrical properties; shift of threshold voltage

1 引 言

氧化锌(ZnO)薄膜是一种新型的Ⅱ-VI族直

接带隙氧化物半导体材料,具有禁带宽度宽、激子束缚能高、原料丰富、价格便宜、无毒无污染、抗辐射能力强等优点。ZnO 的制备温度比其他宽禁

收稿日期: 2010-09-29; 修订日期: 2010-10-29

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(No. 2009ZM0205)

作者简介: 吴为敬(1979—),男,福建福州人,工学博士,讲师,主要从事低温多晶硅薄膜晶体管特性及制备工艺的研究。

带半导体低得多,使得室温制备成为可能,这样可以大幅减少因高温制备而产生的缺陷^[1-2]。现在,ZnO 已被广泛应用于太阳能电池^[3]、表面声波器件(SAW)^[4]、液晶显示^[5]、气敏传感器^[6]、压敏器件^[7]、紫外探测器器件^[8]、集成光学^[9]等领域,被认为是比 GaN 更具有发展潜力的第三代半导体材料。

ZnO 薄膜的一个重要用途就是作为薄膜晶体管(TFT)的有源层应用于有源矩阵液晶显示(AMLCD)和有机发光二极管显示(AMOLED)中^[10-12]。传统的 TFT 主要包括多晶硅(p-Si)TFT^[13-14]和非晶硅(a-Si)TFT^[15-16]。a-Si TFT 易于在低温下制备,技术成熟。然而,a-Si TFT 的最大缺点是迁移率较低,一般小于 $1\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$;其次,a-Si 是不透明的,a-Si TFT 将占用像素中一定的面积,使器件开口率较低;另外,a-Si 材料的带隙为 1.7 eV ,在可见光照射下会产生光生载流子,使得 TFT 的性能恶化,必须要使用黑矩阵来阻挡光线对 TFT 的照射,这将增大工艺的复杂性^[17-18]。而使用 ZnO TFT 作为像素开关,将有效提高有源矩阵的开口率,从而提高亮度,降低功耗。此外,ZnO TFT 器件的迁移率可以达到 $36\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ^[19],并且随着研究的深入,器件的迁移率可以进一步得到提高,从而满足 OLED 器件工作所需要的大电流^[20]。

目前非晶态氧化物半导体发展迅速。其中,非晶 In-Ga-Zn-O(IGZO)凭借其简单的制备工艺以及优异的光电学性能而成为 TFT 制备的理想材料^[21],以其制备的 TFT 有着高迁移率、高开关比等特点,具有替代 a-Si 的潜力。需要指出的是,IGZO 并非是由 ZnO 掺杂 In 和 Ga 元素得到,IGZO 的载流子运输机理与掺杂 ZnO 的载流子运输机理截然不同。从元素配比上也可以看出,3 种元素的含量相近,这与传统的掺杂不同,掺杂元素只在基质中占很少的一部分,并且对原本的载流子运输机理没有影响;而 IGZO 的情况是 In 和 Ga 元素的原子轨道交叠形成共有化运动,从而提供载流子足够的运动空间。因此,不能够用掺杂理论来理解 IGZO,IGZO 是与 ZnO 不同的另一种氧化物半导体。

本文对 ZnO TFT 与 IGZO TFT 的光电性能以及稳定性进行了比较分析。光学性能主要是光学透过率;电学性能包括器件的开关电流比、阈值

电压、亚阈值系数、场效应迁移率以及泄漏电流等;在稳定性方面探讨了栅偏压下的阈值电压漂移现象及其物理机制。

2 ZnO 与 IGZO 光学性能的比较

薄膜的光学透过率与其制备条件和方法有一定的关系,不同的实验条件会有很大的差别。目前,已有很多研究者采用不同的方法成功制备出了透过率较高的 ZnO 与 IGZO 薄膜^[19,22-24]。

早在 2005 年,Fortunato 等人^[19]就报道了全透明的 ZnO TFT,图 1 显示的是整个 ZnO TFT 在 $200\sim2\,000\text{ nm}$ 波长范围内的光学透过谱。从图中可见,ZnO TFT 在可见光范围内的平均光学透过率为 80% ,其中在人眼最敏感的波长(550 nm)处的透过率为 85% 。2008 年,Dedong Han 等人^[22]利用射频磁控溅射方法在室温下于玻璃衬底上沉积了 ZnO 薄膜,图 2 显示的是玻璃基板上 ZnO 薄膜的光学透过情况。从图中可以看出,

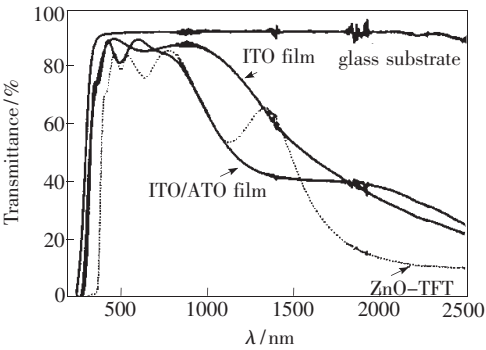


图 1 整个 ZnO TFT 在 $200\sim2\,000\text{ nm}$ 波长范围内的光学透过谱^[19]

Fig. 1 Optical transmission spectra for the entire ZnO-TFT structure

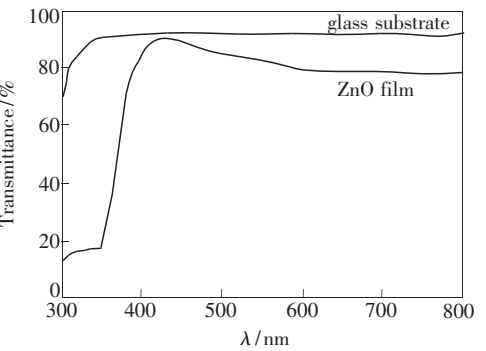


图 2 玻璃基板上的 ZnO 薄膜在 $300\sim800\text{ nm}$ 波长范围内的透过率^[22]

Fig. 2 Optical transmission percentage of the ZnO film on glass substrate

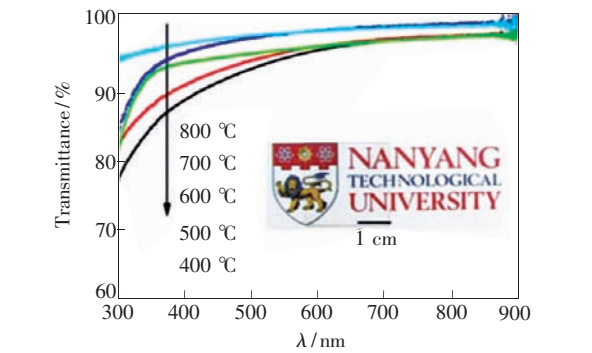


图 3 不同退火温度下(400~800 ℃)的 IGZO 薄膜的可见光范围内的透过率^[23]

Fig. 3 Transmission spectra of IGZO thin films spin-coated on quartz substrate annealed from 800 °C to 400 °C

ZnO 薄膜的光学透过率在 80% 以上。2010 年, Wang Y 等人^[23]使用醋酸和氯酸为前导的旋涂工艺成功地制备了高透过率的 IGZO 薄膜,图 3 展现的是不同退火温度下(400~800 ℃)的 IGZO 薄膜在可见光范围内的透过率。从图中可以看出,在 600 ℃ 以上的退火温度下,IGZO 薄膜有着超过 90% 的可见光透过率,并且任何退火温度下的薄膜都有着超过 75% 的可见光透过率。

2010 年, Ya-Hui Yang 等人^[24]同样使用旋涂工艺制备了 250 nm 厚 IGZO 薄膜,进行了可见光范围内的光学透过率的分析。实验指出:随着激光强度的增加,IGZO 的光学透过率从 70% 提高到了 90%,说明了随着激光强度的增加,薄膜的缺陷态变少;在 550 mJ 的激光强度下,IGZO 在可见光范围内的透过率超过 80%。

由此可见,在现有的实验条件下,ZnO 薄膜与 IGZO 薄膜都有着超过 80% 的可见光透过率,可以作为透明 TFT 的制备材料。

3 ZnO TFT 与 IGZO TFT 的电学性能

表 1 为 ZnO TFT 与 IGZO TFT 主要性能指标的比较。从表 1 可见^[19,25],IGZO TFT 的各项性能均好于 ZnO TFT。

2006 年, Lee 等人^[26]采用平板印刷和湿法刻蚀的方法分别制备了 ZnO TFT 和 IGZO TFT。利用同一种方法制备出来的 ZnO TFT 和 IGZO TFT 在电学性能上的差异还是很大的。实验结果显示, ZnO TFT 和 IGZO TFT 都具有很高的

表 1 ZnO TFT 与 IGZO TFT 的器件性能比较

Table 1 Comparison of properties between ZnO TFT and IGZO TFT

	场效应迁移率/(cm ² /V·s)	开关电流比	阈值电压/V	亚阈值系数/(V/dec)
ZnO TFT ^[19]	21	2×10 ⁵	21	1.24
IGZO TFT ^[25]	28	~10 ⁷	3.2	0.56

迁移率,分别为 66 cm²/V·s 和 157 cm²/V·s; 开关电流比分别为 7.6×10⁶ 和 1.1×10⁷。

图 4 为 ZnO 和 IGZO-TFT 的转移特性曲线^[26]。利用:

$$S = dV_{GS}/d(\lg I_{DS}) \tag{1}$$

可以求出亚阈值系数,分别为 0.50 V/dec 和 0.19 V/dec。由此可见,IGZO 相较于 ZnO 有着较低的缺陷态密度,有着更好的开关特性。

场效应迁移率和阈值电压通过式(2)求出:

$$I_d = 1/2 \cdot \mu_{sat} \cdot W/L \cdot C_{ox} \cdot (V_{gs} - V_{th})^2 \tag{2}$$

求得阈值电压分别为:3 V 和 1.1 V。场效应迁移率分别为 66 cm²/V·s 和 157 cm²/V·s。

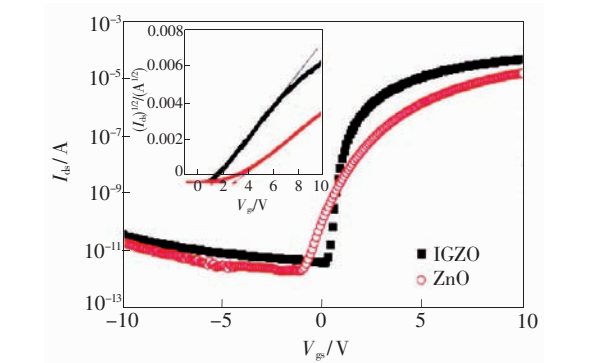


图 4 ZnO TFT 和 IGZO TFT 转移特性曲线^[26]

Fig. 4 Transfer characteristics of ZnO and IGZO TFTs

ZnO 一般情况下为多晶,IGZO 则为非晶,因此 ZnO 的结晶程度明显要高于 IGZO,但是迁移率却没有 IGZO 高,这可以用一种载流子输运机理解释:IGZO 为多元素的非晶的氧化物,它的电子输运源于 In³⁺ 和 Ga³⁺ 最外层球对称的 ns 轨道的共有化运动形成的导带,并且由于 ns 轨道有很大的轨道半径,临近轨道间的重叠会很大,给载流子提供了足够大的运动空间,因此会有很大的载流子迁移率^[27]。

从图 4 可以看出,两者的泄漏电流都较小,数量级为 10⁻¹¹ A。IGZO TFT 的泄漏电流略大于

ZnO TFT,但是区别很小。缺陷态密度越高,泄漏电流就越大,这可以用热电子场致发射效应来解释^[28];另外,薄膜本身的电阻率对泄漏电流也有一定的影响,根据 $I_{\text{OFF}} \propto V_{\text{DS}} \cdot 1/\rho$ 可知,电阻率越大,泄漏电流越小。目前很多研究者已经证实 IGZO 薄膜与 ZnO 薄膜都有着较大的电阻率,因此泄漏电流较小^[29-33]。

从上面的实验结果可以看得出,同种实验条件下 IGZO TFT 呈现出比 ZnO TFT 更好的电学性能。

4 阈值电压稳定性

图 5 给出了 ZnO TFT^[34] 和 IGZO TFT^[35] 的阈值电压随栅偏压和时间的变化关系。在加正偏压的情况下,不论 ZnO TFT 还是 IGZO TFT 的转移特性曲线都会有一定程度的正向漂移(图 5(a)、(b)),这是由于栅偏压使得沟道层中的负电荷被俘获进入了沟道层与栅绝缘层的界面处或者直接进入了栅绝缘层,从而屏蔽了部分的栅偏压,才造成阈值电压的漂移^[34-38]。

但是在加了负偏压后的情况却不相同,ZnO TFT 在负偏压下的转移特性曲线相应地向相反方向漂移(图 5(c)),而 IGZO TFT 在负偏压下的转移特性曲线却没有漂移。文献[35]的解释是:负偏压下沟道层中多数载流子电子的耗尽使得没有任何电子可以移动,因此不会有阈值电压的漂移;但是文献[34]对于 ZnO 的负偏压漂移现象的解释是:空穴也可以移动到有源层和绝缘层的界面处或者直接移动到绝缘层中,所以可以形成一定的屏蔽使得阈值电压向反方向漂移。如此看来,文献[35]的解释是含糊的,并没有说明空穴不能移动的原因。为此,我们认为可能存在以下某种机制:

(1)界面处和绝缘层中没有空穴陷阱态的存在,仅有一些电子陷阱态。IGZO 为强 n 型的半导体材料,空穴本身少之又少,因此在负偏压下,多数载流子电子耗尽,空穴不会停留在界面处或绝缘层中,因而不会对阈值电压产生影响。

(2)有源层中的空穴陷阱态很多。IGZO 中的空穴陷阱态使得原本就很少的空穴全部被俘获到陷阱态中没法移动,在加一定的负偏压情况下,多数载流子电子耗尽,空穴全部被俘获到陷阱态中,没法移动到界面处或者绝缘层中;当负偏压撤

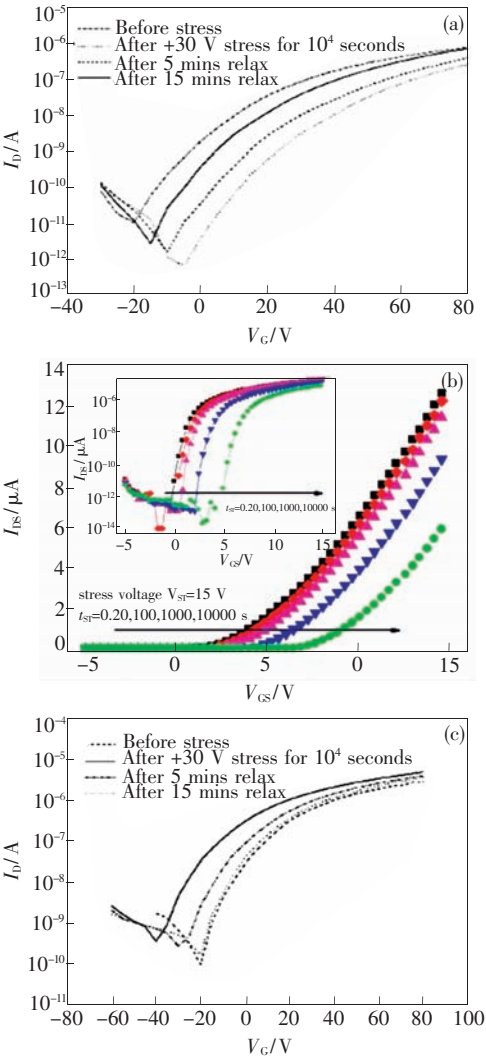


图 5 (a)加正偏压之前与之后的 ZnO TFT 转移特性曲线^[34]; (b)IGZO TFT 转移特性曲线随正偏压及时间的变化^[35]; (c)加负偏压之前与之后的 ZnO TFT 转移特性曲线^[34]。

Fig. 5 (a)Transfer characteristics for a ZnO TFT before and after positive bias stress; (b) Linear transfer $I_{\text{DS}}-V_{\text{GS}}$ curve of a-IGZO TFTs as a function of positive stress time; (c) Transfer characteristics for a ZnO TFT before and after negative bias stress.

除后,陷阱态自动释放空穴,因而不会引起阈值电压的漂移。

(3)IGZO 本身存在一种内在的空穴阻碍机制,因为在不同的绝缘层条件下,IGZO TFT 都没有负偏压下的阈值电压的漂移^[35,38]。

所以,在负偏压下,IGZO TFT 的转移特性曲线不会产生漂移。较之于 ZnO TFT 的双向漂移,有了较大的优势。

图 6(a)为不同栅偏压以及加压时间对阈值电压漂移的影响曲线。可以看出,阈值电压的变化量与时间成对数关系,被认为是电荷陷阱不稳定性宏观表现^[36]。但是,不同加压条件下,影

响稳定性的主导机制会发生改变:低压下,电荷陷阱效应起主要作用;高压长时间下,ZnO 禁带会有更多的缺陷态产生,起到了很明显的作

用;并且器件无需退火处理就能恢复原来的特性,说明界面的陷阱电荷是器件不稳定性的起因^[34]。
图 6(b)为 IGZO TFT 阈值电压在 15 V 偏压
下随时间的变化关系曲线。可以看得出,在 10^4 s
时间内的阈值电压漂移约为 4.5 V;而由图 4(a)
可知,同样时间内 ZnO TFT 在 15 V 偏压下大致
的阈值电压漂移为 19 V。可见 IGZO TFT 的稳定
性要好于 ZnO TFT。不过,IGZO TFT 和 ZnO
TFT 的稳定性问题一直都没有得到很好的解决,
目前主要采用两种方案来提高器件的稳定性:一
是退火处理^[34,37-38];二是在溅射过程中增大氧
分压^[38]。

5 结 论

与 ZnO TFT 相比,IGZO 薄膜本身不仅拥
有着和 ZnO 薄膜相媲美的可见光透过率,而且
IGZO TFT 的场效应迁移率、开关电流比、阈值
电压、亚阈值系数以及阈值电压稳定性等主要
TFT 器件指标也都优于 ZnO TFT。但要达到实
用化水平,IGZO TFT 的一些特性还需要进一步
完善,如载流子浓度的降低以及稳定性的控制问
题等。尽管如此,我们相信 IGZO 在不久的将来
会在平板显示领域占有一席之地。

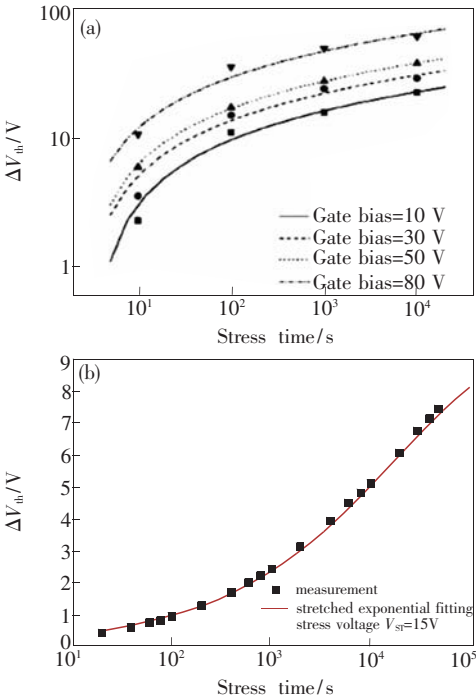


图 6 (a)不同正栅偏压以及加压时间对 ZnO TFT 阈值电压漂移的影响^[34]; (b) IGZO-TFT 阈值电压随时间的变化关系曲线^[35]。

Fig. 6 (a) Threshold voltage shift as a function of time for various positive bias stress voltage; (b) Time dependence of ΔV_{th} for gate bias stresses.

参 考 文 献:

[1] Kelly P J, Zhou Y, Postill A. A novel technique for the deposition of aluminium-doped zinc oxide films [J]. *Thin Solid Films*, 2003, 426(1):111-116.
[2] 叶志镇,吕建国,张银珠,等. 氧化锌半导体材料掺杂技术与应用 [M]. 杭州:浙江大学出版社,2009.
[3] Chen G Y, Zheng K B, Mo X L, *et al.* Metal-free indoline dye sensitized zinc oxide nanowires solar cell [J]. *Materials Letters*, 2010, 64(12):1336-1339.
[4] Polyakov A Y, Smirnov N B, Govorkov A V, *et al.* Hydrogen plasma treatment effects on electrical and optical properties of n-ZnO [J]. *J. Appl. Phys.*, 2003, 94(1):400-406.
[5] Kim S, Song I, Park Y, *et al.* Channel layer used for manufacturing thin film transistor used as switching device or driving device for flat panel display device such as liquid crystal display apparatus, comprises indium zinc oxide doped with transition metal, USA;US2009001432-A1 [P]. 2009-01-01.
[6] 刘延辉,曾大文,王辉虎,等. 热氧化纳米 Zn 制备 ZnO 厚膜及其气敏特性的研究 [J]. *传感技术学报*, 2005, 18(3):43-46.
[7] 赵鸣,王卫民,张昌松,等. ZnO 低压压敏电阻陶瓷材料研究进展 [J]. *材料科学与工程学报*, 2005, 23(6): 915-918.
[8] Ohta H, Kawamura K I, Orita M, *et al.* Current injection emission from a transparent p-n junction composed of p-Sr-

- $\text{Cu}_2\text{O}_2/\text{n-ZnO}$ [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2000, 77(4):475-477.
- [9] Natsume Y, Sakata H. Electrical and optical properties of zinc oxide films post-annealed in H_2 after fabrication by sol-gel process [J]. *Materials Chem. and Phys.*, 2003, 78(1):170-176.
- [10] Hoffman R L, Norris B J, Wager J F. ZnO-based transparent thin-film transistors [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2003, 82(5):733-735.
- [11] Carcia P F, McLean R S, Reilly M H, *et al.* Transparent ZnO thin-film transistor fabricated by rf magnetron sputtering [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2003, 82 (7):1117-1119.
- [12] Hossain F M, Nishii J, Takagi S, *et al.* Modeling and simulation of polycrystalline ZnO thin-film transistors [J]. *J. Appl. Phys.*, 2003, 94(12):7768-7777.
- [13] Wu I W. Outlook of low temperature poly silicon (LTPS) technology for information display and beyond [C]//*The 16th Annual Meeting of the IEEE Lasers and Electro-Optics Society*, Tucson, USA; IEEE, 2003:882-883.
- [14] Liu D N, Yeh Yung-Hui, Chiou Hwa-Liang. Development of low temperature p-Si TFT-LCD [C]//*The 17th Annual Meeting of the IEEE Lasers and Electro-Optics Society*, Rio Grande, Puerto Rico; IEEE, 2004:182-183.
- [15] Nichols J A, Jackson T N, Lu M H, *et al.* a-Si:H TFT phosphorescent OLED active matrix pixels fabricated on polymeric substrates [C]//*The 62nd DRC: Device Research Conference*, Notre Dame, USA; IEEE, 2004:59-60.
- [16] Sambandan S, Striakhilev D, Nathan A. Device and circuit level optimization for high performance a-Si:H TFT-based AMOLED displays [J]. *J. Display Technology*, 2006, 2(1):52-59.
- [17] 程松华, 曾祥斌. ZnO 基薄膜晶体管的研究 [J]. *液晶与显示*, 2006, 21(5):515-520.
- [18] Carcia P F, McLean R S, Reilly M H, *et al.* ZnO thin film transistors for flexible electronics [J]. *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, 2003, 769(H7.2):1-6.
- [19] Fortunato E, Barquinha P, Pimentel A, *et al.* Recent advances in ZnO transparent thin film transistors [J]. *Thin Solid Films*, 2005, 487(1-2):205-211.
- [20] Park S H K, Hwang C S. Transparent ZnO thin film transistor array for the application of transparent AM-OLED display [C]//*SID 06 Digest*, San Francisco, USA; SID, 2006:25-28.
- [21] 王中健, 王龙彦, 马仙梅, 等. 透明非晶态氧化物半导体薄膜晶体管的研究进展 [J]. *液晶与显示*, 2009, 24(2):210-216.
- [22] Han D D, Wang Y, Zhang S D, *et al.* Fabrication and characteristics of ZnO-based thin film transistors [C]//*The 9th International Conference on Solid-State and Integrated-Circuit Technology*, Beijing, China; IEEE, 2008: 982-984.
- [23] Wang Y, Liu S W, Sun X W, *et al.* Highly transparent solution processed In-Ga-Zn oxide thin films and thin film transistors [J]. *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, 2010, 55:322-327.
- [24] Yang Y H, Yang S S, Chou K S. Characteristic enhancement of solution-processed In-Ga-Zn oxide thin-film transistors by laser annealing [J]. *IEEE Electron Device Lett.*, 2010, 31(9):969-971.
- [25] Lee J S, Chang S, Koo S M, *et al.* High-performance a-IGZO TFT with ZrO_2 gate dielectric fabricated at room temperature [J]. *IEEE Electron Device Letters*, 2010, 31(3):225-227.
- [26] Lee H N, Kyung J W, Kang S K, *et al.* Current status of, challenges to, and perspective view of AM-OLED [C]//*IDW'06: Proceedings of The 13th International Display Workshops*, Shiga, Japan; IDW, 2006, 1-3:663-666.
- [27] Martins R, Barquinha P, Pimentel A, *et al.* Transport in high mobility amorphous wide band gap indium zinc oxide films [J]. *Physica Status Solidi (A) - Applications and Materials Science*, 2005, 202(9):R95-R97.
- [28] Wu W J, Yao R H, Li S H, *et al.* A Compact model for polysilicon TFTs leakage current including the poole-Frenkel effect [J]. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 2007, 54(11):2975-2983.
- [29] 程松华. ZnO 薄膜晶体管有源层的磁控溅射制备研究 [D]. 武汉:华中科技大学, 2006.
- [30] Chang S J, Su Y K, Shei Y P. High quality ZnO thin films on InP substrates prepared by radio frequency magnetron sputtering. I. Material study [J]. *J. Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films*, 1995, 13 (2):385-388.
- [31] Pimentel A, Fortunato E, Goncalves A, *et al.* Polycrystalline intrinsic zinc oxide to be used in transparent electronic devices [J]. *Thin Solid Films*, 2005, 487(1-2):212-215.

[32] Yabuta H, Sano M, Abe K, *et al.* High-mobility thin-film transistor with amorphous InGaZnO₄ channel fabricated by room temperature rf-magnetron sputtering [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2006, 89(11):112123(1-3).

[33] Aoi T, Oka N, Sato Y, *et al.* DC sputter deposition of amorphous indium-gallium-zinc-oxide (a-IGZO) films with H₂O introduction [J]. *Thin Solid Films*, 2010, 518:3004-3007.

[34] Cross R B M, De Souza M M. Investigating the stability of zinc oxide thin film transistors [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2006, 89(26):263513(1-3).

[35] Lee J M, Cho I T, Lee J H, *et al.* Bias-stress-induced stretched-exponential time dependence of threshold voltage shift in InGaZnO thin film transistors [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2008, 93(9):093504(1-3).

[36] Powell M J, Vanberkel C, Franklin A R, *et al.* Defect pool in amorphous-silicon thin-film transistors [J]. *Phys. Rev. B*, 1992, 45(8):4160-4170.

[37] 张新安,张景文,张伟风,等. 退火温度对 ZnO 薄膜晶体管电学性能的影响 [J]. *液晶与显示*, 2009, 24(4): 557-561.

[38] Suresh A, Muth J F. Bias stress stability of indium gallium zinc oxide channel based transparent thin film transistors [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2008, 92(3):033502(1-3).



科技参考文献著录的规则

根据中华人民共和国国家标准“文后参考文献著录规则”(GB/T7714-2005),《液晶与显示》编辑部希望广大作者在向本刊投稿时注意参考文献的著录。

1. 文后参考文献书写格式

期刊:[序号]作者. 文献题名[文献类型标志]. 连续出版物题名:其他题名信息, 年份, 卷号(期号):起止页码[引用日期]. 获取和访问路径.

例:[1]凌志华. STN-LCD 技术的发展[J]. *液晶与显示*, 2002, 17(4):233-242.

例:[2]李晓东,张庆红,叶瑾琳. 气候学研究的若干理论问题[J]. *北京大学学报:自然科学版*, 1999, 35(1):101-106.

例:[3]邵喜斌,王丽娟,李梅. a-Si:H TFT 亚阈值区 SPICE 模型的研究[J/OL]. *液晶与显示*, 2005, 20(4):267-272. [2005-10-18]. http://www.wanfangdata.com.cn/src/szhqk/wf_szhqk_browser.Asp.

专著:[序号]作者. 题名[文献类型标志]. 析出文献其他责任者//专著主要责任者. 专著题名:其他题名信息. 版本项(第 1 版略). 出版地:出版者,出版年:析出文献的页码[引用日期]. 获取和访问路径.

例:[4]周其凤,王新久. 液晶高分子[M]. 北京:科学出版社,1994:27-38.

例:[5]日本学术振兴会第 142 委员会. 液晶器件手册[M]. 黄锡珉,黄辉光,李之熔,译. 北京:航空工业出版社,1992.

例:[6]母国光. 白光光学信息处理及期彩色摄影术[M]//陈星旦. *光学与光学工程*, 北京:科学出版社,2005:62-72.

例:[7]赵耀东. 新时代的工业工程师[M/OL]. 台北:天下文化出版社,1998[1998-09-26]. <http://www.ie.nthu.edu.tw/inf/ie.newie.htm>(Big5).

例:[8]陈兵,徐寿颐. 新型烷基环己基炔类液晶的合成与性质[C]//2002 年中国平板显示会议论文集. 深圳:深圳天马微电子股份有限公司,2002:167-168.

例:[9]闫石. 液晶光控取向膜材料的研究[D]. 长春:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,2001.

例:[10]全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会. GB/T5795-1986 中国标准书号[S]. 北京:中国标准出版社,1986.

专利:[序号]专利所有者. 专利题名:专利国别,专利号[文献类型标志]. 公告日期或公开日期[引用日期]. 获取和访问路径.

例:[11]吕永积,王群伟,邵佑军,等. 平板真空摄像器件:中国, ZL95241185. 7[P]. 1997-08-09.