

文章编号:1007-2780(2009)02-0210-07

透明非晶态氧化物半导体薄膜晶体管的研究进展

王中健^{1,2}, 王龙彦^{1,2}, 马仙梅^{1,2}, 付国柱¹, 荆 海¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 北方液晶工程研究开发中心, 吉林 长春 130031, E-mail: wangzj2@126.com;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘 要: 透明非晶态氧化物半导体薄膜晶体管(TAOS-TFT)以其诸多优势受到研究人员的青睐, 最近几年发展迅速。文章以传统薄膜晶体管做对照, 详细介绍了 TAOS-TFT 的原理、结构和性能, 总结出 TAOS-TFT 相对于 Si 基 TFT 具有制备温度低、均一性好、迁移率高、对可见光全透明和阈值电压低等 5 方面的优势, 指出了 TAOS-TFT 在进一步实用化过程中所面临的几个重要问题, 其中最为重要的是需要尽快建立自身的集约化物理模型。

关 键 词: 透明非晶态氧化物半导体; 薄膜晶体管; 有源矩阵有机发光二极管; 有源矩阵电泳显示器; 集约化模型

中图分类号: TN911.72 **文献标识码:** A

1 引 言

显示技术是现代人类社会的智慧之窗、文明之窗, 而薄膜晶体管(TFT)则被誉为现代显示技术的“粮食”^[1]。在几十年的发展历程中, TFT 根据沟道半导体材料的不同, 大致经历了 3 个阶段:

(1) 探索性阶段: CdSe-TFT 和 Te-TFT 是 TFT 研究早期提出的有源驱动方案, 但它们在薄膜形成时的控制性和再现性有困难, TFT 的关态漏电流较大, 可靠性方面也存在问题, 这些缺陷使其最终未能实用化, 但其实验室研究为 TFT 的进一步发展打开了大门。

(2) 硅材料阶段: 主要是大家所熟悉的 a-Si TFT 和 p-Si TFT, 另外还有单晶硅 MOS-FET。

Si 材料 TFT 现在已是成熟的产业化技术, 广泛应用于 LCD、OLED 和 EPD 等显示器件的有源驱动。

(3) 新材料阶段: 主要包括有机 TFT(OTFT)和透明氧化物 TFT(ZnO TFT、IGZO TFT、In₂O₃ TFT 等), 这类 TFT 由于与下一代显示技术紧密相关, 已在国内外相关研究领域得到广泛重视。

下一代的显示技术不但要进一步提高显示质

量, 还将逐步向主动发光型有源矩阵有机发光屏(AMOLED)^[2, 3]和柔性可卷曲型[如有源矩阵电泳显示器(AMEPD)]^[4]方向发展。因此, 迫切需要一种既具有较高的电子迁移率, 又可以在低温下生长于柔性基板上, 同时具有较好的均一性、透明性等诸多优点的半导体材料。近几年出现的透明非晶态氧化物半导体薄膜晶体管(TAOS-TFT)有望成为满足上述要求的、有可能取代 Si 基薄膜晶体管的下一代平板显示有源驱动技术。

2 透明非晶态氧化物薄膜晶体管的概念与发展

2003 年, J. F. Wager, R. L. Hoffman 等人^[5, 6]分别在 Science, Applied Physics Letters 等权威杂志上发表了以 ZnO-TFT 为代表的透明氧化物薄膜晶体管相关研究报告, 并提出透明电子学(Transparent Electronics)^[6, 7]概念。这类氧化物半导体器件具有制备温度低、载流子迁移率高以及在可见光波段全透明等优点, 在一段时间内掀起了研究高潮, 国内外很多研究机构都进行了相关研究。但 ZnO、SnO₂ 等薄膜易形成多晶态, 存在不可忽视的大量晶界和氧缺陷, 并且器件

稳定性差, I - V 特性随时间变化显著,这些都阻碍了其进一步发展。台湾大学的 Hsieh 等人^[8]研究了薄膜厚度与晶化程度的关系,提出通过降低 ZnO 薄膜厚度的办法以限制其晶化,得到了非晶态 ZnO-TFT,但其结果与 J. H. Chung 等^[9]发表的 ZnO 薄膜厚度与 TFT 特性关系的报道存在一定矛盾,有待进一步探讨。2004 年, Nomura 等人^[10]在 Nature 上发表了 $m(\text{In}):m(\text{Ga}):m(\text{Zn})=1.1:1.1:0.9$ 的混合型氧化物薄膜晶体管,即 a-IGZO TFT,在很多方面显示出良好的性能。该文刊登后不久,国外很多研究机构也开始通过磁控溅射^[11-16]、激光脉冲沉积(PLD)^[17]或溶液旋涂(Solution-Processed)^[18, 19]等手段制备出 a-IGZO TFT、a-IZO TFT 等器件。图 1 是一种典型的底栅 a-IGZO TFT 截面图^[15],其中 a-IGZO 层是通过射频磁控溅射在室温下沉积的,无需额外掺杂自然呈 n 型。

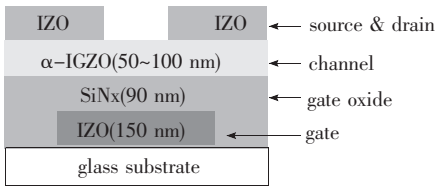


图 1 一种典型的 a-IGZO TFT 界面示意图
Fig.1 Schematic illustration of a typical a-IGZO TFT

国际上对 TAOS-TFT 的研究工作,日本东京工业大学 Hosono 小组的基础理论处于领先地位,台湾大学、美国佛罗里达大学、美国密歇根大学、葡萄牙新里斯本大学、韩国部分高校及三星、LG 公司研发部门等也做了很多优秀的工作,而且三星公司在 2008 年国际信息显示学会(SID)展会上公开展示了 30.7 cm(12.1 in)的 a-IGZO TFT 驱动的 OLED 面板。但国内目前为止还少有 TAOS-TFT 的相关报道。

3 透明非晶态氧化物薄膜晶体管的典型优势

TAOS-TFT 以其优越的电学性质和光学性质,得到研究人员的青睐。与目前仍被广泛研究的其他 TFT 做比较, TAOS-TFT 具有 5 大优势。

3.1 TAOS-TFT 可以在低温条件下制备

柔性可卷曲显示器被认为是下一代的理想显

示器,目前研究比较多的是有源矩阵电泳显示(AM-EPD)技术。AM-EPD 技术最大的难点之一就是柔性基板难以承受传统 Si 系列 TFT 制备工艺的高温。为此,研究人员提出一系列复杂工艺手段以解决该问题^[4],比如基于固定塑料基板的激光释放塑基电子工艺(EPLaR)、激光退火表面释放技术(SUFTLA)等等,但实现都很困难。a-IGZO TFT 等非晶态氧化物半导体薄膜晶体管的制备过程则可以在低温下通过磁控溅射等手段完成。所以 TAOS-TFT 与 AM-EPD 结合,具有很好的发展前景。

Nomura 等^[10, 20]多次成功地在塑料衬底上制备了柔性 TAOS-TFT(如图 2),并获得了良好的器件特性。M. Ito 研究组^[21]也在聚萘二甲酸乙二醇酯(PEN)材料上制备了 a-IGZO TFT,并成功地用于驱动电子墨水(E-Ink)显示。

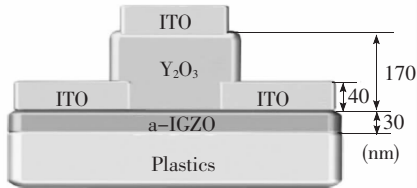


图 2 以 a-IGZO 为沟道的柔性 TFT 结构图
Fig.2 Structure of flexible a-IGZO TFT

3.2 TAOS-TFT 具有较高的均一性

以 p-Si TFT 为代表的多晶态材料制备的器件,由于具有较高的载流子迁移率,一向被认为是驱动电流型 AM-OLED 显示器件的最佳选择。但是, p-Si 薄膜存在大量晶界,导致 TFT 阈值电压均一性较差,使得 OLED 难以实现均一发光,影响显示质量。一系列补偿型像素电路的提出虽然在一定程度上解决了不均一发光问题^[22],但却限制了器件开口率,同时也给实际的工艺实现增加了难度。理论和实验证明,非晶态氧化物薄膜晶体管由于非晶态本身的特性,所制备的器件具有很好的均一性。

Hayashi 等^[23]在 1 cm×1 cm 的面积上制备了 96 个底栅 a-IGZO TFT,有源层采用射频磁控溅射生长,每个 TFT 具有相同尺寸: $W/L=(60/10)$ cm。如图 3 所示,他们在 $V_{DS}=20$ V 的源漏电压下测试了这 96 个 TFT 的转移特性曲线并计算了器件的饱和迁移率(μ_{SAT})、阈值电压(V_{TH})、亚阈值摆幅(S)等关键物理量的统计分布,所得结

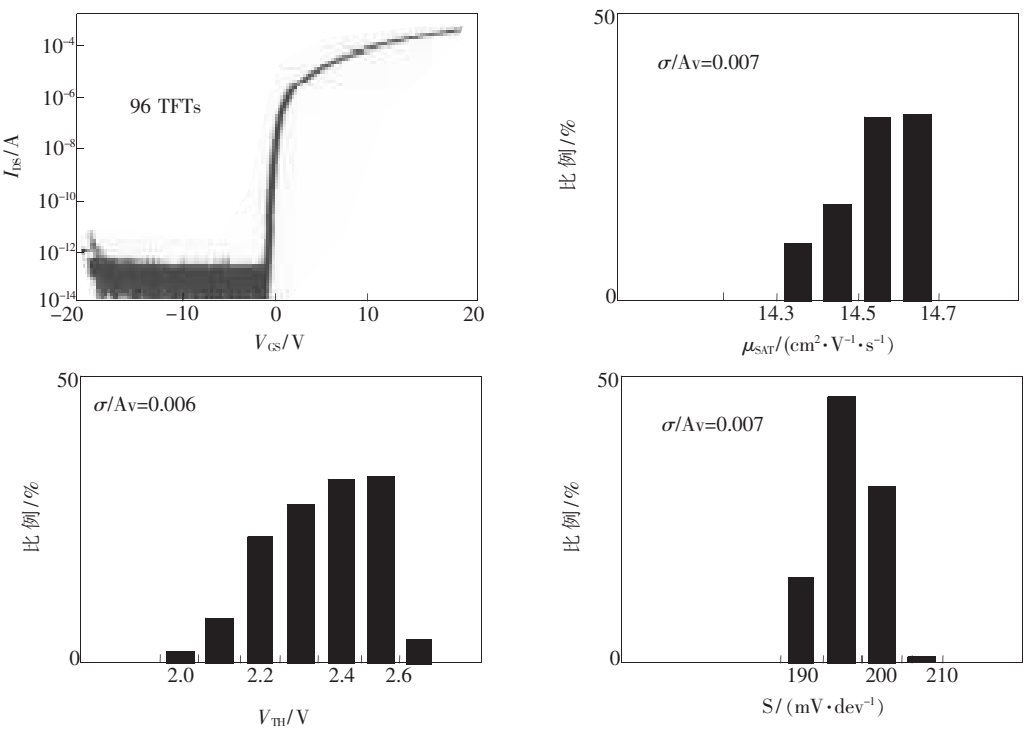


图 3 96 个 a-IGZO TFTs 的转移特性曲线和特性参数柱状统计图

Fig. 3 Transfer characteristics of the 96 a-IGZO TFTs and the histograms of the characteristics

果都具有令人满意的一致性。

3.3 TAOS-TFT 具有较高的载流子迁移率

非晶态 a-Si TFT 具有良好的均一性,但其场致迁移率太低,另外还存在阈值电压漂移问题,所以虽经多方改进却始终无法满足高画质 AM-OLED 的需要。有机薄膜晶体管(OTFT)虽然具有制备工艺简单,制备温度低等优点,但是其除了接触电阻很大、有机材料稳定性差等缺点外,迁移率也较低,严重制约着其发展。从表 1 中看到,非晶态氧化物半导体的电子迁移率高出有机半导体和氢化非晶硅约 1~3 个数量级,足以满足高画质 AM-OLED 的驱动需要。

1996 年, Hosono 等^[24, 25]从化合物中离子的电子结构出发对 a-IGZO 材料的迁移率进行了分析。在元素周期表中, In、Ga、Zn 等金属元素阳离子具有这样的电子结构: $(n-1)d^{10}ns^0$ (其中 $n \geq 4$)。

表 1 几种半导体沟道材料的场效应迁移率比较

Table 1 Field effect mobility of several semiconductor channel materials

沟道半导体材料	非晶共价化合物	有机化合物薄膜	非晶态氧化物
该类材料例子	a-Si:H	并五苯	酞菁铜
迁移率 ($cm^2/V \cdot s$)	<1	<1	<0.1
			10~100

TAOS 的导带底主要由重金属元素的 ns 轨道的未被占据态组成。如图 4 所示, s 态电子云密度呈球对称分布, 且半径较大, 相互交叠形成电子的导通路径, 非常有利于电子的传输。即便当材料处于非晶态时, 原子排布比较杂乱, 但由于 s 态电子云本身是球对称形分布, 对方向的变化不敏感,



图 4 a-IGZO 的电子结构示意图(M 代表金属、O 代表氧)

Fig. 4 Schematic illustration of electronic structure for a-IGZO

电子依然拥有良好的输运路径,这就是非晶态的 TAOS 载流子迁移率仍然很高的本质原因。然而,对于 Si 系列共价型半导体,原子间通过呈哑铃状分布的 sp^3 杂化轨道键合,该轨道对方向特别敏感。所以,当晶体 Si 转变为非晶硅时,迁移率也急剧地下降了 3~4 个数量级,仅有不到 $1\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 。

3.4 TAOS-TFT 对可见光透明

传统 Si 系列薄膜晶体管对可见光不透明,在一定程度上限制了显示器的开口率。而且 a-Si:H 对可见光极为敏感,在阵列设计中必须配备黑矩阵进行保护,这不仅影响开口率,也使生产工艺复杂化。TAOS 大多是宽带隙材料,比如 a-IGZO,带隙约 3.1~3.3 eV,对可见光透明。

Takagi 等人^[26]研究了 a-IGZO 薄膜在不同载流子浓度下的光透过率,如图 5 所示,无论是在高载流子浓度还是在低载流子浓度下,a-IGZO 薄膜对可见光波段的透过率都超过 80%。所以 TAOS-TFT 的应用将显著改善显示器件的开口率和解析度,精简工艺程序,降低成本,还将朝着

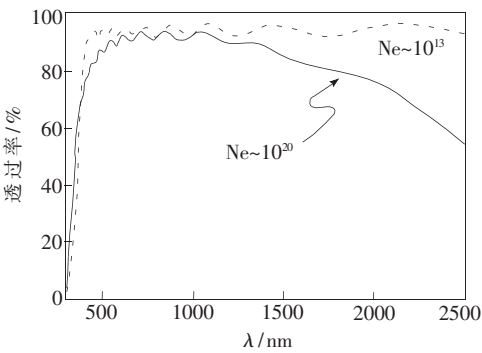


图 5 不同载流子浓度下 a-IGZO 薄膜的光透过率(实线: $Ne\sim 10^{20}/\text{cm}^3$;虚线: $Ne\sim 10^{13}/\text{cm}^3$)

Fig. 5 Transmittance of a-IGZO film with different carrier concentration

理想化的透明显示器、透明电子学^[6, 7, 27]进一步发展,前景十分诱人。

3.5 TAOS-TFT 具有优良的综合器件特性

目前报道的各种 TAOS-TFT 不仅在载流子场效应迁移率、光透过率、均一性等方面具有上述优势,而且还具有理想的特性曲线、阈值电压、源漏电流开关比和亚阈值摆幅(如表 2)。

表 2 最近报道的几个典型 TAOS-TFT 的特性参数

Table 2 Characteristics parameters of several TAOS-TFT reported recently

器件结构、 衬底材料	有源层材料及 制备手段	场效应迁移率 ($\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)	阈值电压 (V)	开关比	亚阈值摆幅 (V/decade)
底栅、玻璃衬底 ^[17]	a-IGZO PLD 方式	11	2	5×10^7	0.2
底栅、玻璃衬底 ^[12]	a-IGZO 磁控溅射	7.18	0.44	$\sim 10^5$	0.25
底栅、硅衬底 ^[13]	a-IGZO 磁控溅射	13.4	3.7	$\sim 10^{10}$	0.47
顶栅、塑料衬底 ^[14]	a-IGZO 磁控溅射	~ 10	3.03	2.9×10^7	0.41
底栅、硅衬底 ^[18]	a-IZO 溶液旋涂	7.3	2.5	$>10^7$	1.47

较高的迁移率和源漏电流开关比,较低的阈值电压、关态电流和亚阈值摆幅,这些都是衡量 TFT 综合性能的关键因素。正是由于 TAOS-TFT 具有优良的综合器件特性,最近才能成功地被研究人员应用于驱动 30.7 cm 的 WXGA AMOLED 面板^[28]和 38.1 cm(15 in)的 XGA AM-LCD 面板^[29]以及 10.16 cm(4 in)的 QVGA AM-EPD^[21]面板,并显示出优质画面。

4 透明非晶态氧化物薄膜晶体管面临的问题

TAOS-TFT 作为极具发展潜力的新型薄膜

晶体管,具备了许多传统 TFT 无法比拟的优点,但是也存在诸多问题有待进一步解决。

4.1 混合型氧化物组分比的问题

目前,关于混合型氧化物组分比对材料和器件特性关系的问题尚未给出系统论述。以 IGZO 为例,Zn、In、Ga 3 种元素在薄膜中所占比例通过工艺手段的控制,可以有很多种组合,比如已发表的成果中,有 5:1:1^[30]、1.0:2.2:2.2^[31]、1:4:4^[32]等等。2007 年,Kumomi 等^[13]也曾通过实验,采用组合型多靶联合溅射等办法对元素组分比问题进行了初步探讨。但是,通过大量实验数据分析器件特性与不同的组分比的关系,并总结出在各

种器件结构下的最佳值,将是下一步很重要的工作。而且,目前对于组分比对器件性能影响的物理解释也还处于定性推断阶段^[7],仍需进一步完善。

4.2 外界环境对器件性能的影响

外界环境对器件性能的影响是电子产品实用化过程中一个非常重要的课题^[33]。既然要将 TAOS-TFT 应用于柔性基板,实现可卷曲显示,就必须细致研究卷曲应力对器件各方面特性及参数的影响。Nomura 等^[10]的文章已经从实验数据的测量对他们在塑料基板上所制备的 a-IGZO TFT 进行了分析。但是,卷曲应力对 TAOS-TFT 性能的影响不但还需要更多的实验数据进一步论证,更重要的是需要结合器件参数,从数学和力学的角度建立方程进行理论分析研究。另外,有关湿度、温度、光照等因素对 TAOS-TFT 器件性能的影响的研究目前也很少,必须进一步细化。

4.3 器件制备工艺有待进一步优化

传统的 TFT 制造工艺已相当成熟,而目前报道的 TAOS-TFT 制造过程与传统工艺之间还存在较大差异。本着为未来大规模产业化考虑,希望能沿用现有的大部分设备而节省成本,因此我们还需要更多地结合目前的制备工艺来制备 TAOS-TFT。再者,为进一步提高器件质量,做到器件参数通过工艺手段有效控制,仍然是一个大课题。另外,器件工作的稳定性和薄膜的沉积温度之间有着必然的关系。研究人员在文献报道中更多地是强调 TAOS-TFT 可以在室温下制备这一优点,而事实上提高沉积温度更有利于器件稳定性。所以,进一步的研究工作中,我们还需要在器件稳定性和薄膜沉积温度之间选择一个折中的最优值,这一点对于柔性器件尤其重要。

4.4 有待建立系统的 TAOS-TFT 物理模型

目前有关 TAOS-TFT 的文献报道中,作者分析器件特性,提取器件参数基本都是粗略地引用传统单晶硅 MOSFET 的模型和近似解析表达式。然而,TAOS-TFT 沟道材料是离子型化合物,与共价结合的 Si 材料在电子结构上存在很大差异,而且相对于有序状态的单晶硅,非晶态的 TAOS 薄膜材料存在局域态。所以笼统地引用单晶硅 MOSFET 的模型不能准确反映 TAOS-TFT 本身的特性。一些二维器件模拟软件(如 ATLAS)已经可以应用于 TAOS-TFT 的模

拟^[34],但是其计算原理基于反复迭代,无法得到解析表达式。所以,为进一步深入研究与实际应用的需要,必须开发一种与器件参数和工艺参数联系紧密的集约化模型(Compact Model),这对工艺过程的控制与改善,电流特性的分析以及计算机辅助设计等方面都具有重要意义。

TAOS-TFT 物理模型的建立,应该从两方面入手。其一是基于伦斯勒理工学院 Shur M 小组的 RPI a-Si TFT model(即 AIM-Spice level 15 model)^[35]的修正改善。因为 RPI a-Si TFT model 已经是业内比较成熟并且商业化的模型,而且 a-Si 和 TAOS 都是非晶态半导体薄膜,存在很多相似点。因此在 RPI 模型的基础上,根据 TAOS 自身特点结合实验数据分析,对其进行修正将是很值得探究的一条道路。其二是基于表面势的 TAOS-TFT 集约模型的研究。基于表面势的模型^[36]出发点具有更多的物理性,能用单一的表达式描述器件在各个分区的 I - V 特性,并且引入参数较少,直观简明。所以,虽然基于表面势的模型不够成熟,但其具备这些典型优点,也是进行 TAOS-TFT 建模的另一重要方向。

4.5 面向大面积化的原材料问题

研究 TAOS-TFT 的最终目的还是要实现大面积实用化。但是,不同于元素的地壳含量丰度达 277 000 g/t 的 Si,TAOS 中常见的金属元素的丰度都相对很小:Zn 约 75 g/t, Ga 约 18 g/t,而 In 只有 0.049 g/t。因此开发 TAOS-TFT 相关原材料以及研究工艺中如何更好地节省原料也将是一个不可忽视的问题。

5 结 论

TAOS-TFT 同时具备了较高的迁移率、较低的制备温度、很好的均一性、全透明等诸多优点,并且具备低的阈值电压、高的电流开关比等综合器件特性,集如此多优势于一身是传统 TFT 所无法比拟的。然而任何新技术的诞生到真正实用化都需要一个过程,TAOS-TFT 目前也还面临很多问题尚待解决。在这些个问题中,建立一个与器件参数和工艺参数联系紧密的解析模型是目前最为迫切的,因为只有对物理本质有足够的认识,才能有效地指导器件制备、改善器件性能,并将模型进一步应用于电路模拟与阵列设计,加快其产业化进程。

参 考 文 献:

- [1] Kagan C R, Andry P. *Thin-Film Transistors* [M]. New York: Marcel Dekker, 2003.
- [2] 黄锡珉. 有源矩阵 OLED [J]. 液晶与显示, 2003, 18(3):157-160.
- [3] 李文连. 有机电致发光显示屏技术 [J]. 液晶与显示, 2003, 17(4):259-264.
- [4] 杨澍, 荆海, 廖燕平, 等. 驱动电子墨水电子纸的柔性 TFT 背板制造技术 [J]. 液晶与显示, 2007, 22(2):167-175.
- [5] Hoffman R L, Norris B J, Wager J F, *et al.* ZnO-based transparent thin-film transistors [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2003, 82(5):733-735.
- [6] Wager J F. Transparent Electronics [J]. *Science*, 2003, 300(5623):1245-1246.
- [7] Wager J F, Keszler D A, Presley R E. *Transparent Electronics* [M]. Berlin: Springer, 2007.
- [8] Hsieh H H, Wu C C. Amorphous ZnO transparent thin-film transistors fabricated by fully lithographic and etching processes [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2007, 91(1):013502(1-3).
- [9] Chung J H, Lee J Y, Kim H S, *et al.* Effect of thickness of ZnO active layer on ZnO-TFT's characteristics [J]. *Thin Solid Films*, 2008, 516(16):5597-5601.
- [10] Nomura K, Ohta H, Takagi A, *et al.* Room-temperature fabrication of transparent flexible thin-film transistors using amorphous oxide semiconductors [J]. *Nature*, 2004, 432(25):488-492.
- [11] Cho D H, Shinhyuk Y, Jaeheon S, *et al.* Post-annealing and passivations of transparent bottom gate IGZO thin film transistors [C]. //SID'08 Digest, San Jose;SID,2008;1243-1246.
- [12] Wantae L, SeonHoo K, Wang Y L, *et al.* High-performance indium gallium zinc oxide transparent thin-film transistors fabricated by radio-frequency sputtering [J]. *J. The Electrochemical Society*, 2008,155(6): H383-H385.
- [13] Kumomi H, Nomura K, Kamiya T, *et al.* Amorphous oxide channel TFTs [J]. *Thin Solid Films*, 2008,516: 1516-1522.
- [14] Hsieh H H, Wu C H, Wu C C, *et al.* Amorphous $\text{In}_2\text{O}_3\text{-Ga}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$ thin film transistors and integrated circuits on flexible and colorless polyimide substrates [C]//SID'08 Digest, San Jose;SID,2008;1207-1210.
- [15] Lim W, Kim S H, Wang W L, *et al.* Stable room temperature deposited amorphous InGaZnO_4 thin film transistors [J]. *J. Vacuum Science and Technology B*, 2008, 26 (3):959-962.
- [16] Wang W L, Lim W, Covert L N, *et al.* Room temperature deposited enhancement mode and depletion mode indium zinc oxide thin film transistors [J]. *The Electrochemical Society*, 2008, 13 (3):159-164.
- [17] Suresh A, Wellenius P, Dhawan A, *et al.* Room temperature pulsed laser deposited indium gallium zinc oxide channel based transparent thin film transistors [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2007, 90 (12):123512(1-3).
- [18] Choi C G, Seo S J, Baz B S. Solution-processed indium-zinc oxide transparent thin-film transistors [J]. *Electrochemical and Solid-State Lett.*, 2008,11(1):H7-H9.
- [19] Kim G H, Shin H S, Kim K H, *et al.* Fabrication of solution processed InGaZnO thin film transistor for active matrix backplane [C]//SID'08 Digest, San Jose;SID,2008;1258-1261.
- [20] Nomura K, Takagi A, Kamiya T, *et al.* Amorphous oxide semiconductors for high-performance flexible thin-film transistors [J]. *Japanese J. Appl. Phys.*, 2006, 45(5B):4303-4308.
- [21] Ito M, Miyazaki C, Kon M, *et al.* Application of amorphous oxide TFT to electrophoretic display [J]. *J. Non-Crystalline Solids*, 2008, 354(19-25):2777-2782.
- [22] 谢强,李宏建,黄永辉,等. 几种 OLED 有源驱动电路中像素单元电路的分析 [J]. 液晶与显示, 2004, 19(6): 462-467.
- [23] Hayashi R, Sato A, Ofuji M, *et al.* Improved Amorphous In-Ga-Zn-O TFTs [C]//SID'08 Digest, San Jose;SID, 2008;621-624.
- [24] Hosono H, Kikuchi N, Ueda N, *et al.* Working hypothesis to explore novel wide band gap electrically conducting amorphous oxides and examples [J]. *J. Non-Crystalline Solids*, 1996, 198-220: 165-169.
- [25] Hosono H, Yasukawa M, Kawazoe H. Novel oxide amorphous semiconductors;transparent conducting amorphous oxides [J]. *J. Non-Crystalline Solids*, 1996, 203:334-344.
- [26] Takagia A, Nomurab K, Ohta H, *et al.* Carrier transport and electronic structure in amorphous oxide semiconductor, a-InGaZnO_4 [J]. *Thin Solid Films*, 2004, 486(1-2):38-41.

- [27] Wager J F. Transparent electronics-display applications? [C]//*SID'07 Digest*, San Jose;SID,2007;1824-1825.
- [28] Jeong J K, Jeong J H, Choi J H, *et al.* 12. 1-Inch WXGA AMOLED display driven by indium-gallium-zinc oxide TFTs array [C]//*SID'08 Digest*, San Jose;SID,2008;1-4.
- [29] Lee J H, Kim D H, Yang D J, *et al.* World's Largest (15-inch) XGA AMLCD Panel Using IGZO Oxide TFT [C]//*SID'08 Digest*, San Jose;SID,2008;625-628.
- [30] 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.
- [31] Chung H J, Jeong J H, Ahn T K, *et al.* Bulk-limited current conduction in amorphous InGaZnO thin films [J]. *Electrochemical and Solid-State Lett.*, 2008, 11 (3): H51-H54.
- [32] Song I, Kim S, Yin H, *et al.* Short channel characteristics of gallium-indium-zinc-oxide thin film transistors for three-dimensional stacking memory [J]. *IEEE Electron Device Lett.*, 2008, 29 (6): 549-552.
- [33] Crawford G P. *Flexible Flat Panel Displays* [M]. New York: John Wiley & Sons, 2005.
- [34] Hsieh H H, Kamiya T, Nomura K, *et al.* Modeling of amorphous InGaZnO₄ thin film transistors and their subgap density of states [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2008, 92(13):133503(1-3).
- [35] Lee K, Shur M, Fjeldly T A, *et al.* *Semiconductor Device Modeling For VLSI* [M]. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993.
- [36] Grabinski W, Nauwelaers B, Schreurs D. *Transistor Level Modeling for Analog/RF IC Design* [M]. Berlin: Springer, 2006.

Research and Progress in Transparent Amorphous Oxide Semiconductor Thin Film Transistors

WANG Zhong-jian^{1,2}, WANG Long-yan^{1,2}, MA Xian-mei^{1,2}, FU Guo-zhu¹, JING Hai¹

(1. North LC Engineering Research and Development Center, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130031, China, E-mail: wangzj2@126.com;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract

Transparent amorphous oxide semiconductor thin film transistor (TAOS-TFT) are attracting interest for its several advantages for applications in the new generation display technology. Especially in recent years it develops rapidly. In this paper, five major advantages about TAOS-TFT are elaborated in detail by means of the contrast of traditional thin film transistors. For example, the low temperature of fabrication, good homogeneity, the high mobility, the full transparency to visible light, the good performance of combination property of devices. Several crucial problems are also indicated about TAOS-TFT, such as, the in-depth study of metals component in mixed-oxide films, the further study of the influence of external environment (including bending stress, temperature, humidity, etc.) upon performance of the device, the further optimization for the preparation of the device, developing compact model with its own characteristics, and the requirements of the development and utilization of the metal element with a low crustal abundance.

Key words: transparent amorphous oxide semiconductors; thin-film transistors; active matrix organic light emitting diode; active matrix electrophoretic display; compact model

作者简介:王中健(1981—),男,四川夹江人,硕士研究生,主要研究方向为平板显示器件物理与模型。