

文章编号: 1000-7032(2015)11-1320-05

## 负电荷层对 a-IGZO TFT 阈值电压的影响

丁 磊\*, 张方辉

(陕西科技大学 理学院, 陕西 西安 710021)

**摘要:** 采用脉冲直流磁控溅射的方式沉积 In-Ga-Zn-O (IGZO) 膜层作为 TFT 的有源层。在 TFT 沟道处的有源层和绝缘层的界面上, 通过溅射法制作一定厚度的负电荷层对阈值电压 ( $V_{th}$ ) 进行调制, 使得  $V_{th}$  由  $-3.8$  V 升高至  $-0.3$  V, 器件由耗尽型向增强型转变。通过增加  $Al_2O_3$  作为负电荷层, 可有效地将  $V_{th}$  控制在  $0$  V 附近, 并且提高其器件稳定性, 得到较好的电学特性; 电流开关比  $I_{on}/I_{off} > 10^9$ , 亚阈值摆幅  $SS$  为  $0.2$  V/dec, 阈值电压  $V_{th}$  为  $-0.3$  V, 迁移率  $\mu$  为  $9.2$   $cm^2/(V \cdot s)$ 。

**关键词:** a-IGZO 薄膜晶体管; 磁控溅射法; 负电荷层; 平带电势; 阈值电压

中图分类号: TN304 文献标识码: A DOI: 10.3788/fjxb20153611.1320

## Effects of Negative Charge Layer on The Threshold Voltage of a-IGZO TFT

DING Lei\*, ZHANG Fang-hui

(College of Science, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

\* Corresponding Author, E-mail: dinglei@sust.edu.cn

**Abstract:** TFT device with In-Ga-Zn-O (IGZO) film as the active layer deposited by pulse DC sputtering was fabricated. An  $Al_2O_3$  film which was also deposited by sputtering was sandwiched between the active layer and an insulating layer. The  $Al_2O_3$  acted as a negative charge layer for threshold voltage modulation ( $V_{th}$ ). It raised the  $V_{th}$  from  $-3.8$  V to  $-0.3$  V, enhancing the formation of a depletion mode device. The application of  $Al_2O_3$  as a negative layer can effectively control  $V_{th}$  around  $0$  V and enhance the stability of the device. Improved device characteristics such as; on/off current ratio ( $I_{on}/I_{off}$ )  $> 10^9$ , sub-threshold slope ( $SS$ ) of  $0.2$  V/dec,  $V_{th}$  of  $-0.3$  V, and mobility ( $\mu$ ) of  $9.2$   $cm^2/(V \cdot s)$  were therefore achieved.

**Key words:** a-IGZO TFT; MS sputtering; negative charge layer; flat band potential; threshold voltage

### 1 引 言

近年来,金属氧化物因具有更高的电子迁移率<sup>[1-2]</sup>而得到平板显示业界的广泛关注和深入开发。非晶氧化铟镓锌薄膜晶体管(a-IGZO TFT)是当前最具产业化潜力的金属氧化物 TFT 技术之一,是最被业界看好的有源有机电致发光(AMOLED)

驱动方式。

然而,由于 IGZO 制作过程中受环境等的影响,a-IGZO TFT 存在稳定性问题<sup>[3-4]</sup>。TFT 的  $V_{th}$  漂移是其中的主要问题之一。TFT 的  $V_{th}$  是使半导体表面产生反型层(即沟道)时所需要加载的栅极电压。由于氧化物半导体的耐热性不高,在 TFT 制造过程的热处理期间,可能会形成氧空位

收稿日期: 2015-08-10; 修订日期: 2015-09-14

基金项目: 国家自然科学基金(61076066); 陕西省科技统筹创新工程计划(2011KTCQ01-09); 陕西科技大学学术带头人专项(2013XSD14)资助项目

等,从而导致形成晶格缺陷,产生载流子陷阱,引起 TFT 的  $V_{th}$  漂移<sup>[5]</sup>。因此,将氧化物半导体用于 TFT 的沟道会引起正常的导通操作(其中,没有施加流过栅电压的特定漏极电流)或耗尽型操作。此外,除了上述的晶格缺陷引起的杂质能级外,通过混合诸如氢的特定元素而产生了相似的杂质能级<sup>[6]</sup>,使 TFT 的  $V_{th}$  在负方向上偏移。

目前为止,为了使 TFT 的  $V_{th}$  控制在 0 V 附近,研究者们分别进行了退火条件<sup>[5,7-8]</sup>、在电路设计上进行补偿<sup>[9-10]</sup>、改变 TFT 沟道的长度<sup>[11]</sup>、改变镀膜方式<sup>[12-13]</sup>、镀膜参数<sup>[14-16]</sup>、沟道钝化<sup>[17-18]</sup>等的研究,来改进氧化物 TFT 的电学特性。

本文通过在有源层和绝缘层之间增加一个低平带电势的膜层,使得半导体表面表现出反型层,由此控制 TFT 器件的工作方式由耗尽型向增强型转变。本文基于采用脉冲直流溅射法制作的顶栅结构 a-IGZO TFT,根据不同材料的平带电势,选择  $Al_2O_3$  作为负电荷层薄膜,通过对膜层制备技术及器件性能的研究,以改善 TFT 器件电学特性及其稳定性。

## 2 实 验

### 2.1 材料平带电势的测量

在考察材料的平带电势时,制作了  $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$  和  $SiN_x$  3 种薄膜进行对比研究,其制作条件均与器件中绝缘层的制备条件相同。不同的半导体材料,电极电位不同;同一种半导体材料,不同的溶液,或者 pH 值不同,电极电位也不同。根据不同材料的平带电势不同,可以从平带电势的值来估计所采用材料制备的薄膜晶体管  $V_{th}$  是在正方向上偏移还是在负方向上偏移。

首先将要考察的薄膜材料制作在导电的玻璃衬底上,然后制作所需测量的材料膜层,接着再其上蒸镀金属电极。采用电化学方法测量膜层的平带电势,其中,工作电极为所测薄膜电极(是指所测薄膜/溶液这样一个整体),对电极为铂对电极,参比电极为饱和甘汞电极。实验中由 254 nm 紫外波长提供一固定波长的单色光。由上海辰华仪器有限公司生产的 CHI604D 型电化学工作站给电极施加扫描电压,电压的扫描范围为  $-2 \sim 2$  V,频率为 1 000 Hz,振幅为 5 mV。电解液为 0.5 mol/L 的硫酸钠水溶液。实验中,为了保证测量

的准确性以及避免上一次测试条件对下一次测试结果的影响,每做一次测量都要更换新的工作电极和电解液。

### 2.2 a-IGZO TFT 器件制作

本研究采用脉冲直流(Pulsed DC, ENI RPG-50)方式在常温下溅射沉积 IGZO 膜和绝缘层,制作顶栅顶接触的 TFT 器件,结构如图 1 所示,沟道尺寸  $W/L = 0.5 \text{ mm}/0.1 \text{ mm}$ 。首先,在玻璃基板上溅射 Ar-IGZO 和  $O_2$ -IGZO<sup>[19]</sup>,厚度分别为 20 nm 和 5 nm,并使用湿法刻蚀得到沟道图形。之后,在 350 °C 干氧环境中退火 1 h。在 IGZO 膜上采用常温脉冲直流反应溅射具有低平带电势的  $Al_2O_3$  20 nm 作为负电荷层, $Al_2O_3$  膜的溅射功率为 100 W,溅射气体中氧的体积分数为 13%,制作气压为 0.5 Pa。并于负电荷层  $Al_2O_3$  上再溅射制作  $SiO_2/SiN_x$  (20 nm/300 nm) 绝缘层。然后,在绝缘层上采用脉冲直流溅射制作 Mo (100 nm) 栅电极。栅绝缘层与栅电极的图案相同,采用  $SF_6$  干法刻蚀一次性实现图形化制作。接着,采用 SU-8 光刻胶在有源层上定义出源漏电极接触区。最后,采用脉冲直流溅射及干法刻蚀得到 Mo 源漏电极(100 nm)。

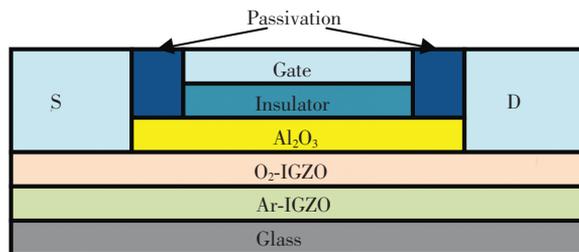


图 1 顶栅顶接触器件结构示意图

Fig. 1 Schematic of top-gate & top-contact TFT structure

实验中使用 LCRMeter (GWINSTEK LCR-819) 测量栅绝缘层退火前后的电容和损耗,采用 Keithley2420/2635 源表组成的测试系统,测量栅绝缘层退火前后的耐压性能,采用 Agilent B1500A 半导体测试仪测量 TFT 器件的电学特性。

## 3 结果与讨论

### 3.1 材料平带电势的分析

为了选择合适的平带电势,首先采用电化学法测试  $Al_2O_3$  和  $SiN_x$  的平带电势,结果如图 2 所示。其中  $SiO_2$  相对于标准氢电极的平带电势为  $-0.36$

V,  $\text{SiN}_x$  为  $-0.21$  V,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的平带电势值最小为  $-1.43$  V, 这意味着当 IGZO 界面处增加具有低平带电势的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜层时,  $V_{\text{th}}$  将朝正向偏移。

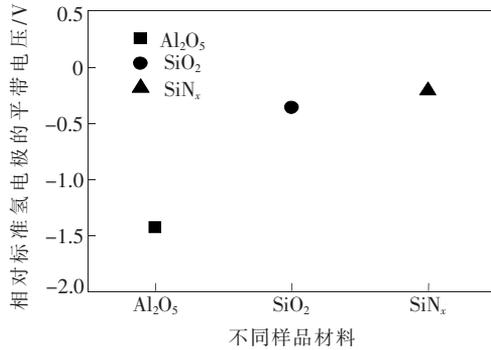


图 2 不同样品材料相对标准氢电极的平带电势

Fig. 2 Flat potential of different materials with relative standard hydrogen electrode

### 3.2 a-IGZO TFT 器件的分析

实验中,按上述实验条件制作了两种器件结构:无  $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜层的器件 A 和有  $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜层的器件 B。

表 1 两种 TFT 器件的特性参数值

Table 1 Parameters of two kinds of TFT devices

器件	亚阈值摆幅/( $\text{V} \cdot \text{dec}^{-1}$ )	阈值电压/V	迁移率/( $\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )	开关比
A	0.3	-3.8	8.2	$10^9$
B	0.2	-0.3	9.2	$10^9$

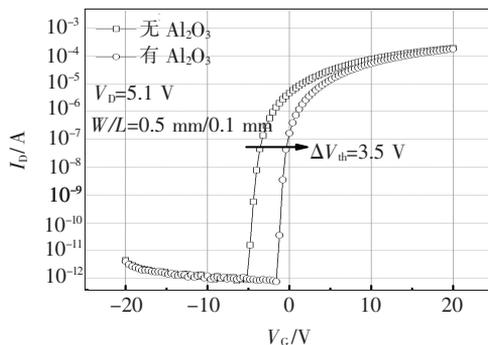


图 3 两种 TFT 器件的转移特性曲线

Fig. 3 Transfer characteristics of two kinds of TFT devices

### 3.3 含负电荷层的 a-IGZO TFT 器件稳定性分析

图 4 为器件 B 的回滞曲线,图 5 为空气放置 52 h 前后的器件稳定性测试转移曲线。通过对比图中上升和下降曲线,可以看出 TFT 器件的稳定性变化情况。由图 4 和图 5 可知,对于增加了负电荷层的 a-IGZO TFT 器件,其回滞曲线中  $V_{\text{th}}$

假设对应器件工作在饱和区 ( $V_{\text{D}} \geq V_{\text{G}} - V_{\text{th}}$ ), 此时源漏电流 ( $I_{\text{D}}$ ) 的表达式为:

$$I_{\text{D}} = \frac{1}{2} \mu_{\text{FE}} C_{\text{i}} \frac{W}{L} (V_{\text{G}} - V_{\text{th}})^2, \quad (1)$$

由公式(1)可以推出:

$$\mu_{\text{FE}} = \frac{2L}{WC_{\text{i}}} \left[ \frac{\partial I_{\text{D}}}{\partial V_{\text{G}}} \right], \quad (2)$$

其中,  $L/W$  为沟道的宽长比,  $V_{\text{th}}$  为阈值电压,  $C_{\text{i}}$  为单位面积栅电容,  $\mu_{\text{FE}}$  为场效应迁移率。因此 TFT 的场效应迁移率  $\mu_{\text{FE}}$  可由饱和区域的  $V_{\text{GS}}-I_{\text{D}}^{1/2}$  对应特性曲线的斜率带入到式(2)中得到,即从图 3 两种器件的转移特性曲线对比图的曲线斜率得到。  $V_{\text{GS}}-I_{\text{D}}^{1/2}$  曲线的直线段延伸出的直线与横坐标的交点为器件的阈值电压  $V_{\text{th}}$ 。实验制备器件对应电学特征曲线参数见表 1。根据上述计算可知,器件 B 的  $V_{\text{th}}$  相对于器件 A 要往正向偏 3.5 V,同时器件 B 的迁移率也高于器件 A 的迁移率。因此,加入  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的 TFT 器件具有更好的电学特性。

往负向偏 0.7 V, SS 上升 1 V/dec,  $\mu$  上升  $1 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ ;而在空气中放置 52 h 后,器件转移曲线往负向偏 0.4 V, SS 不变,  $\mu$  上升  $2.6 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 。实验结果表明,增加了  $\text{Al}_2\text{O}_3$  负电荷层的 a-IGZO TFT 器件具有良好的电学稳定性。

综合而言,我们认为  $V_{\text{th}}$  的变化,是由具有低平带电势的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜层相当于被负充电所引起的。

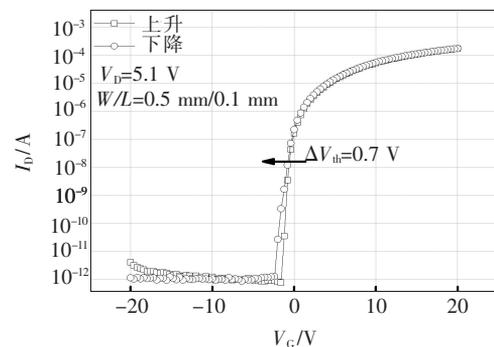


图 4 器件 B 的回滞曲线

Fig. 4 Hysteresis curve of device B

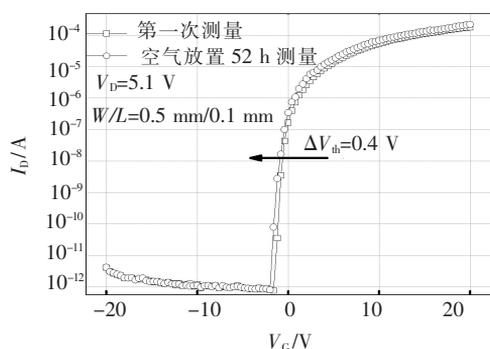


图 5 空气中放置 52 h 前后的器件 B 的转移曲线

Fig. 5 Transfer characteristics before and after aging of 52 h in the air ambience of device B

器件中,由于存在  $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜层这一较低带电势,当给器件加栅电压时,在总的  $V_{th}$  中增加了这一个平

带电势部分,对器件的  $V_{th}$  进行了调制,所以得到的器件  $V_{th}$  往正向偏,器件由耗尽型向增强型转变。

## 4 结 论

采用脉冲直流方式,在常温下溅射制作了顶栅顶接触结构的 a-IGZO TFT 器件,并在有源层和绝缘层之间增加了具有低平带电势的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜作为负电荷层。实验发现,通过在有源层与绝缘层间增加负电荷层,可以有效地使阈值电压往正方向偏,并提高器件稳定性,得到较好的电学特性:  $I_{on}/I_{off} > 10^9$ , SS 为 0.2 V/dec,  $V_{th}$  为  $-0.3$  V,  $\mu$  为  $9.2 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 。

## 参 考 文 献:

- [ 1 ] Kamiya T, Nomura K, Hosono H. Present status of amorphous In-Ga-Zn-O thin-film transistors [J]. *Sci. Technol. Adv. Mater.*, 2010, 11(4):044305-1-6.
- [ 2 ] Park S J, Maen W J, Kim H S, et al. Review of recent developments in amorphous oxide semiconductor thin film transistor devices [J]. *Thin Solid Films*, 2012, 520(6):1679-1693.
- [ 3 ] Conley J F. Instabilities in amorphous oxide semiconductor thin-film transistors [J]. *IEEE Trans. Dev. Mater. Reliab.*, 2010, 10:460-476.
- [ 4 ] Kikuchi Y, Nomura K, Yanayi H, et al. Device characteristics improvement of a-In-Ga-Zn-O TFTs by low-temperature annealing [J]. *Thin Solid Films*, 2010, 518(11):3017-3021.
- [ 5 ] Dao V A, Trinh T T, Jang K S, et al. Trapping time characteristics of carriers in a-InGaZnO thin-film transistors fabricate [J]. *J. Electron. Mater.*, 2013, 42(4):711-715.
- [ 6 ] Kilic C, Zunger A. N-type doping of oxides by hydrogen [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2002, 81(1):73-75.
- [ 7 ] Trinh T T, Van Nguyen D, Ryu K, et al. Improvement in the performance of an InGaZnO thin-film transistor by controlling interface trap densities between the insulator and active layer [J]. *Semicond. Sci. Technol.*, 2011, 26(8):085012-1-6.
- [ 8 ] Park S, Bang S, Lee S, et al. The effect of annealing ambient on the characteristics of an indium-gallium-zinc oxide thin film transistor [J]. *J. Nanosci. Nanotechnol.*, 2011, 11:6029-6033.
- [ 9 ] Tsujimura T.  $V_{th}$  compensation circuit for AMOLED displays composed of two TFTs and one capacity [J]. *IEEE Xplore*, 2007, 54(3):462-467.
- [ 10 ] Jankovic N D, Brajovic V.  $V_{th}$  compensated AMOLED pixel employing dual-gate TFT driver [J]. *Electron. Lett.*, 2011, 47(7):456-457.
- [ 11 ] Dong H K, Ji U H, Mallory M, et al. Threshold voltage dependence on channel length in amorphous-indium-gallium-zinc-oxide thin-film transistors [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2013, 102(8):083508-1-3.
- [ 12 ] Aoi T, Oka N, Sato Y, et al. DC sputter deposition of amorphous indium-gallium-zinc-oxide (a-IGZO) films with  $\text{H}_2\text{O}$  introduction [J]. *Thin Solid Films*, 2010, 518(11):3004-3007.
- [ 13 ] Seo D, Shin S, Cho H, et al. Drastic improvement of oxide thermoelectric performance using thermal and plasma treatments of the InGaZnO thin films grown by sputtering [J]. *Acta Materialia*, 2011, 59:6743-6750.
- [ 14 ] Jung C H, Kim D J, Kang Y K, et al. Transparent amorphous In-Ga-Zn-O thin film as function of various gas flows for TFT applications [J]. *Thin Solid Films*, 2009, 517(14):4078-4081.
- [ 15 ] Chiu C J, Pei Z W, Chang S T, et al. Effect of oxygen partial pressure on electrical characteristics of amorphous indium

- gallium zinc oxide thin-film transistors fabricated by thermal annealing [J]. *Vacuum*, 2011, 86(3):246-249.
- [16] Chiang H Q, McFarlane B, Hong D, *et al.* Processing effects on the stability of amorphous indium gallium zinc oxide thin-film transistors [J]. *J. Non-Cryst. Solids*, 2008, 354:2826-2830.
- [17] Liu S, Yu M, Lin C, *et al.* Influence of passivation layers on characteristics of a-InGaZnO thin-film transistors [J]. *IEEE Electron Dev. Lett.*, 2011, 32:161-163.
- [18] Antonis O, Pedro B. Insight on the SU-8 resist as passivation layer for transparent  $\text{Ga}_2\text{O}_3\text{In}_2\text{O}_3$  ZnO thin-film transistors [J]. *J. Appl. Phys.*, 2010, 108(6):064505-1-6.
- [19] Zhang G, Wang J, Xiang G H. Effect of various sputtering gas on the characteristics of a-GZO TFT [J]. *Chin. J. Electron Dev.* (电子器件), 2012, 35(2):125-129 (in Chinese).



丁磊(1985 -),男,河北衡水人,博士,讲师,2015年于苏州大学 FUN-SOM 研究院获得博士学位,主要从事有机电致发光器件的研究。  
E-mail: dinglei@sust.edu.cn

## 欢迎订阅 2016 年《人工晶体学报》

——EI 核心期刊(物理学类,化学类,材料科学类)

《人工晶体学报》(ISSN 1000-985X, CN11-2637/O7)是由中材人工晶体研究院有限公司主办,是国内唯一一本专门刊登人工晶体材料这一高新技术领域研究热点的国际性刊物。

《人工晶体学报》以论文和简报等形式报道我国在晶体材料:半导体材料、超导材料、红外材料、发光材料、新能源材料(太阳能电池材料、锂离子电池材料、固体氧化物燃料电池材料)、纳米材料、超硬材料和和高技术陶瓷在理论研究、生长技术、性能表征、加工以及生长设备等方面的最新科研成果,已成为世界了解我国人工晶体材料研究领域的重要窗口。《人工晶体学报》为中文核心期刊、中文科技核心期刊,美国“工程索引”(EI)核心期刊。全文电子版被“中国知网”、EI、美国《化学文摘》(CA)等收录。

《人工晶体学报》现为月刊出版,大十六开,每期约 300 页,2016 年每册定价 100 元,全年定价 1200 元,订阅本刊请直接与编辑部联系。

欢迎广大作者和读者踊跃投稿和订阅!

地 址:北京市朝阳区东坝红松园 1 号《人工晶体学报》编辑部 邮 编:100018

电 话:010-65491290

E-mail: jtxbbjb@126.com

网 址: www.jtxb.cn