

## 源漏电极的制备对氧化物薄膜晶体管性能的影响\*

徐华 兰林锋 李民 罗东向 肖鹏 林振国 宁洪龙† 彭俊彪

(发光材料与器件国家重点实验室, 华南理工大学材料科学与工程学院, 广州 510640)

(2013年9月27日收到; 2013年10月26日收到修改稿)

本文采用钼-铝-钼(Mo/Al/Mo)叠层结构作为源漏电极, 制备氧化铟锌(IZO)薄膜晶体管(TFT). 研究了Mo/Al/Mo源漏电极中与IZO接触的Mo层溅射功率对TFT器件性能的影响. 随着Mo层溅射功率的增加, 器件开启电压( $V_{on}$ )负向移动, 器件均匀性下降. 通过X射线光电子能谱(XPS)深度剖析发现IZO/Mo界面有明显的扩散; 当Mo层溅射功率减小时, 扩散得到了抑制. 制备的器件处于常关状态(开启电压为0.5 V, 增强模式), 不仅迁移率高( $\sim 13 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ), 而且器件半导体特性均匀.

**关键词:** 氧化铟锌, 源漏电极, 溅射功率, 薄膜晶体管

**PACS:** 85.30.Tv, 81.15.Cd, 73.40.Cg

**DOI:** 10.7498/aps.63.038501

## 1 引言

氧化物薄膜晶体管(Oxide TFT)由于其显示领域的潜在应用而得到了广泛的关注. 和传统的硅基薄膜晶体管相比, 其具有较高迁移率, 可见光透明及低温制备等特点<sup>[1-5]</sup>. 多晶硅存在晶界, 故器件均匀性较差; 虽然可采用多个TFT的像素设计改善, 但会导致低开口率、工艺复杂和高成本. 非晶硅由于迁移率较低( $< 1 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ), 限制了其在显示领域特别是在AMOLED显示中的应用<sup>[6,7]</sup>.

随着平板显示的尺寸增加、分辨率和刷新频率的提高, 低阻值的布线是必不可少的<sup>[8]</sup>. 铜的电阻率低, 但是铜在热或电应力下容易扩散, 这会降低显示器件的可靠性<sup>[9]</sup>. 铝具有较低的电阻率和价格便宜的优势, 但是铝的热稳定性较差, 在高温下容易起小丘<sup>[10]</sup>. 钼在显示领域应用广泛, 而且和氧化物半导体的接触良好<sup>[11]</sup>. 但钼的电阻率相对较高, 采用钼-铝-钼(Mo/Al/Mo)的叠层结构既具有低电阻, 又具有良好接触, 同时又能改善薄膜高温下

的稳定性. 因此通常采用Mo/Al/Mo叠层结构作为氧化物TFT的源漏电极. 我们曾研究了使用不同材料作为氧化铟锌(IZO)TFT的源漏电极<sup>[12]</sup>, 发现使用Mo电极时, IZO/Mo界面扩散非常严重, 易造成TFT阵列的均匀性下降. 因此, 研究如何降低IZO/Mo界面扩散具有重要的现实意义.

本文研究了接触层Mo薄膜的溅射功率对氧化物薄膜晶体管性能的影响, 通过X射线光电子能谱对其产生的原因进行分析; 发现了IZO/Mo界面的扩散现象, 并找到抑制IZO/Mo界面扩散的方法; 解决了基于Mo/Al/Mo源漏电极氧化物TFT的阈值电压较负以及均匀性差的问题.

## 2 实验

本研究采用底栅IZO-TFT结构, 如图1所示. 首先在玻璃基底上直流溅射沉积300 nm的铝合金薄膜, 通过湿法刻蚀形成栅极. 采用阳极氧化在栅极表面形成一层厚度为200 nm的氧化铝栅绝缘层<sup>[13]</sup>. 在室温下通过射频磁控溅射方法沉积40

\* 国家高技术研究发展计划(863计划)(批准号: 2011AA03A110)、国家重点基础研究发展计划(973计划)(批准号: 2009CB623600和2009CB930604)、国家自然科学基金重点项目(批准号: 61204087, 51173049, U0634003, 61036007和60937001)和广东省平板显示项目(批准号: 20081202)资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: ninghl@scut.edu.cn

nm的氧化铟锌薄膜, 溅射气体为 Ar/O<sub>2</sub>混合气体, 溅射气压为 5 mTorr(1 Torr=1.33322×10<sup>2</sup> Pa), 溅射功率为 500 W, 并利用稀盐酸刻蚀形成沟道层. 通过 lift-off 方式制备 Mo/Al/Mo 源漏电极, 其中 Mo, Al, Mo 薄膜的层厚度分别为 50 nm, 100 nm 和 50 nm. 和沟道层接触的 Mo 采用不同的溅射功率 50 W, 100 W, 500 W 和 1000 W, 分别制备四种不同条件的器件. 然后, 通过等离子增强型化学气相沉积 (PECVD) 生长一层 200 nm 的 SiO<sub>2</sub> 作为钝化层, 并采用干法刻蚀图形化. 最后, 器件在 300 °C 空气气氛下退火 30 min. 利用半导体参数分析仪 (Agilent B1500A) 和探针台测试器件的输出和转移特性.

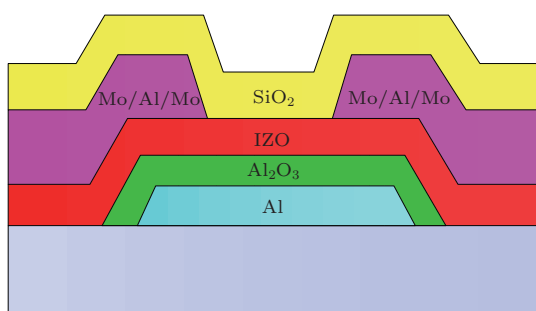


图1 IZO-TFT 结构示意图

### 3 结果与分析

不同 Mo 溅射功率制备的 TFT 器件的转移特性曲线如图 2 所示. 四种器件具有相同的宽长比  $W/L = 100/20 \mu\text{m}$ , 测试时源漏电压  $V_{\text{DS}}=5.1 \text{ V}$ , 栅极电压由  $-20 \text{ V}$  正向扫描至  $+20 \text{ V}$ . 从图 2 中可以看出, 1000 W 的器件的开启电压 ( $V_{\text{on}}$ ) 较负, 约为  $-15 \text{ V}$ , 随着 Mo 溅射功率的减小,  $V_{\text{on}}$  正向移动. 100 W 和 50 W 制备的器件具有大致相同的  $V_{\text{on}}$ , 约为  $0.5 \text{ V}$ .

开启电压  $V_{\text{on}} \approx 0 \text{ V}$  是薄膜晶体管应用的理想状态. 在有机发光二极管 (AMOLED) 显示中, 如果  $V_{\text{on}} < 0 \text{ V}$ , 则需要额外加负向电压才能使器件完全关闭, 驱动设计复杂, 能耗高 [14]; 如果  $V_{\text{on}} > 0 \text{ V}$ , 则在相同电压下其所提供的开态电流较小, 即需要较大的电压才能达到所需的亮度. 由图 2 可知, Mo 的溅射功率在 100 W 和 50 W 时, 器件的  $V_{\text{on}}$  接近于  $0 \text{ V}$ . 另外, 如表 1 所示, 器件在低功率溅射时有效迁移率相比于高功率溅射时的大, 这和 Mo 与沟道层的接触电阻有关. 因为当接触电阻较大时,

在接触区域形成一定高度的势垒, 抑制了载流子 (电子) 的顺畅传输, 从而致使迁移率下降 [15].

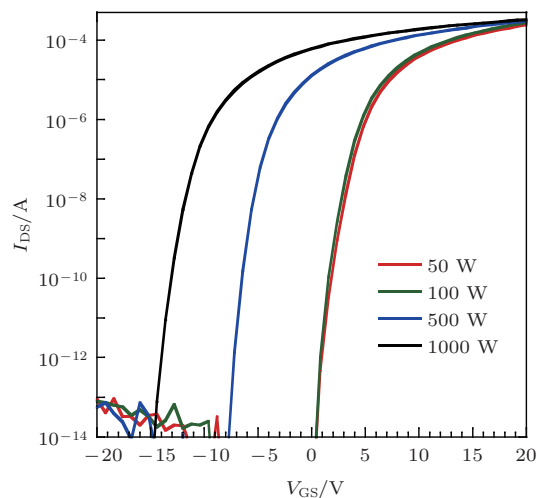


图2 不同 Mo 溅射功率 IZO-TFT 器件的转移特性曲线

表 1 不同 Mo 溅射功率 IZO-TFT 电学性能参数

溅射功率 $P/\text{W}$	开启电压 $V_{\text{on}}/\text{V}$	有效迁移率 $\mu_{\text{eff}}/\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$	亚阈值摆幅 $SS/(\text{V}/\text{Decade})$
50	0.5	12.42	0.54
100	0.5	13.16	0.52
500	-7.8	7.73	0.52
1000	-15	5.95	0.50

源漏电极和沟道层的接触电阻可以通过传输线方法提取 [11]. 在该方法中, 总的电阻是沟道层电阻和源漏电极接触电阻的总和, 如 (1) 式所示:

$$R_{\text{tot}} = \frac{V_{\text{DS}}}{I_{\text{DS}}} = R_{\text{SD}} + \frac{L - \Delta L}{\mu_{\text{eff}} C_{\text{ox}} W (V_{\text{GS}} - V_{\text{th}})}, \quad (1)$$

其中,  $\mu_{\text{eff}}$  为有效迁移率,  $C_{\text{ox}}$  为单位面积栅绝缘层电容.  $\Delta L$  是器件沟道长度和有效沟道长度的差值. 宽度归一化的总电阻 ( $R_{\text{tot}}W$ ) 和沟道长度 ( $L$ ) 的关系如图 3 所示, 沟道宽度固定为  $100 \mu\text{m}$ ,  $V_{\text{GS}}$  分别取  $10 \text{ V}$ ,  $15 \text{ V}$  和  $20 \text{ V}$ . 由图 3 可知, 相对低功率下溅射 50 W 和 100 W 的器件具有较小的  $\Delta L$  和较低的接触电阻, 分别为  $4.8 \mu\text{m}$ ,  $5.1 \mu\text{m}$  和  $15.2 \Omega \cdot \text{cm}$ ,  $25.1 \Omega \cdot \text{cm}$ . 而相对高功率下溅射的 500 W 和 1000 W 器件具有较大的  $\Delta L$  和较高的接触电阻, 分别为  $10.7 \mu\text{m}$ ,  $11.3 \mu\text{m}$  和  $97 \Omega \cdot \text{cm}$ ,  $97.3 \Omega \cdot \text{cm}$ . 这和表 1 中相对低功率制备的器件具有较高的有效迁移率对应.

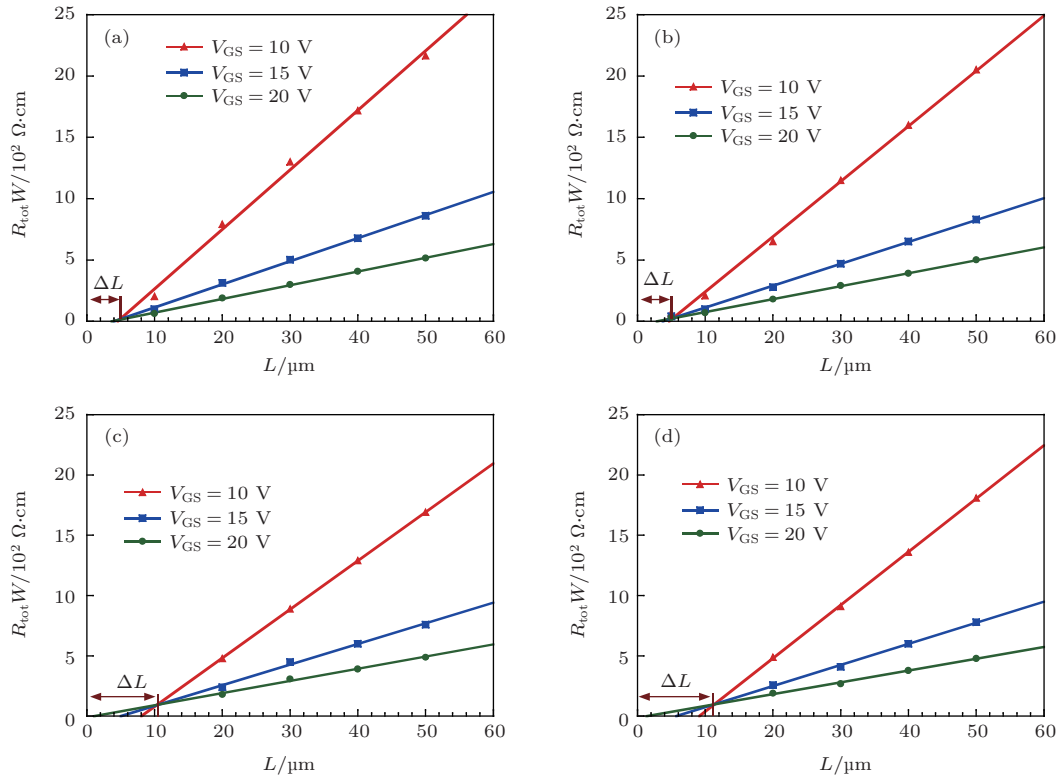


图3 不同Mo溅射功率器件的  $R_{tot}W$  与  $L$  关系 (a) 50 W; (b) 100 W; (c) 500 W; (d) 1000 W

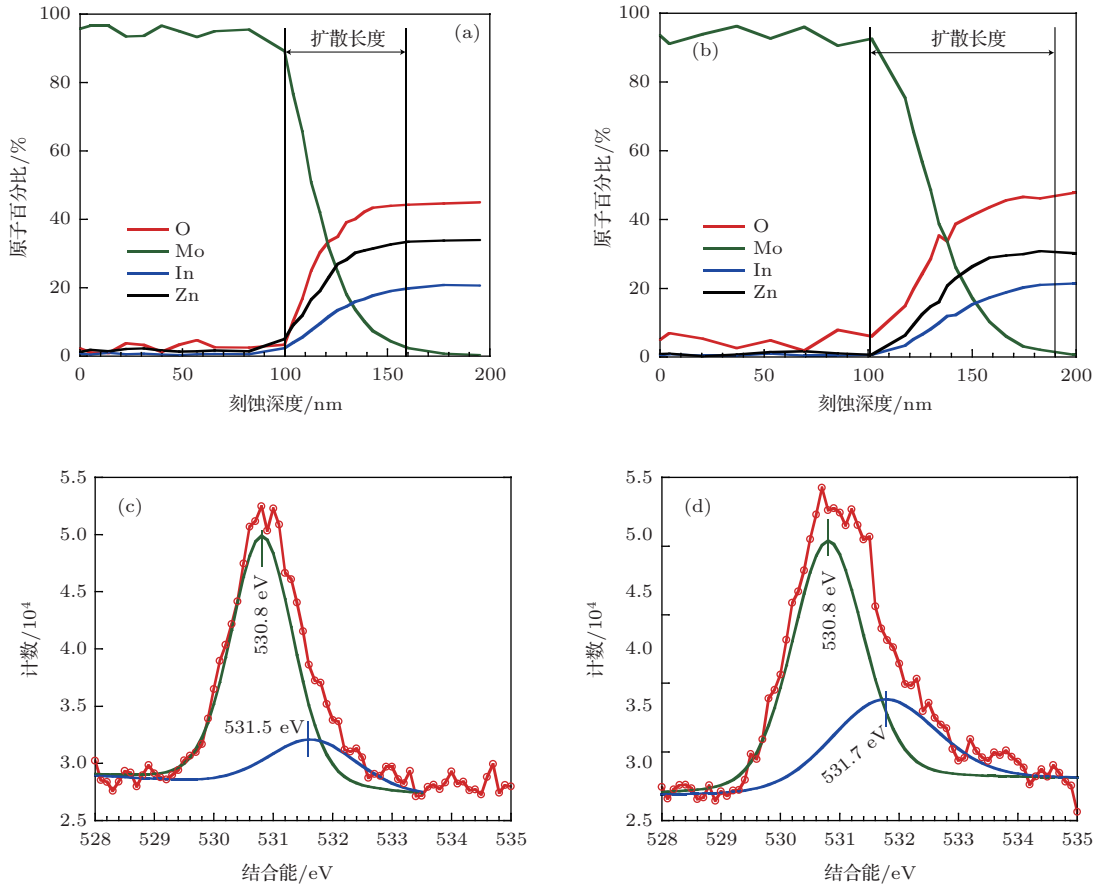


图4 XPS深度剖析不同功率溅射 Mo (a) 50 W; (b) 1000 W 在 IZO 薄膜上的深度分布及对应的界面处 (IZO/Mo) O1s XPS 图谱; (c) 50 W; (d) 1000 W

为进一步研究不同功率下溅射 Mo 薄膜对 IZO 薄膜的影响, 我们首先分别在两片玻璃衬底上以相同的条件沉积一层 200 nm 的 IZO 薄膜, 然后分别在这两个基片上以 50 W 和 1000 W 的功率溅射一层 100 nm 的 Mo 薄膜. 对所制备的样品进行 X 射线光电子能谱 (XPS) 深度剖析. 图 4 (a), (b) 分别是 Mo 膜溅射功率为 50 W 和 1000 W 所对应的样品元素深度分布情况. 在 IZO/Mo 的界面上, 低功率溅射的 Mo 膜具有较短的扩散距离 (~58 nm); 而高功率溅射的 Mo 膜具有较长的扩散距离 (~90 nm). 图 4 (c), (d) 分别是对应的 Mo 膜溅射功率为 50 W 和 1000 W 的 IZO/Mo 界面处的 O1s XPS 图谱. 对 XPS 图谱进行高斯拟合, 对应氧空位 (~531.5 eV) 的含量分别为 21.9% 和 32.7%. 众所周知, 氧空位是金属氧化物薄膜载流子的主要来源, 而且氧空位是可以移动的 [16,17]. 因而, 高功率下溅射 Mo 膜的器件, 在源漏电极和沟道层接触区域具有较高的氧空位浓度, 故具有较高的载流子浓度. 经热退火后, 载流子向沟道区扩散, 在相同栅压下, 沟道区载流子浓度较高的器件提前开启, 致使阈值电压负向移动, 这和图 2 所示的结果对应. 已有报道指出 [12], Mo 只会以原子态形式存在于 IZO/Mo 界面,

这和我们所测得的界面处只观察到 228.1 eV (Mo 3d<sub>5/2</sub>) 和 231.2 eV (Mo 3d<sub>3/2</sub>) 峰位的情况一致 (数据未列出). 因此, 氧空位的产生主要是高功率溅射的 Mo 具有较高的动能, 在向 IZO 薄膜沉积时使 M-O (M 为 In 或 Zn) 键断裂, 形成氧空位. 因此, 一方面 IZO/Mo 界面扩散使沟道的有效长度变短 (短沟道效应), 如图 3 中的  $\Delta L$ ; 另一方面, 氧空位的产生使得载流子浓度增加, 器件的阈值电压负向移动, 如图 2 所示.

众所周知, 器件均匀性对显示效果具有重大的影响, 不均匀的 TFT 性能会造成模糊的画面 [18]. 图 5 示出了不同 Mo 膜溅射功率下 TFT 器件的转移曲线的均匀性 (在约为  $1 \times 1 \text{ cm}^2$  范围内测试 9 个器件, P<sub>1</sub> 至 P<sub>9</sub>). 很明显, 低功率溅射的器件具有较好的器件均匀性 (转移特性曲线几乎重合), 而高功率溅射的器件均匀性较差 (转移曲线偏差很大), 甚至在 1000 W 时有器件出现导通的情况. 这里进一步证实了 XPS 深度剖析的结果——高功率溅射下 IZO/Mo 界面的扩散会增强并引起更多氧空位的产生及移动, 使得器件的有效沟道长度不一致, 从而器件均匀性差.

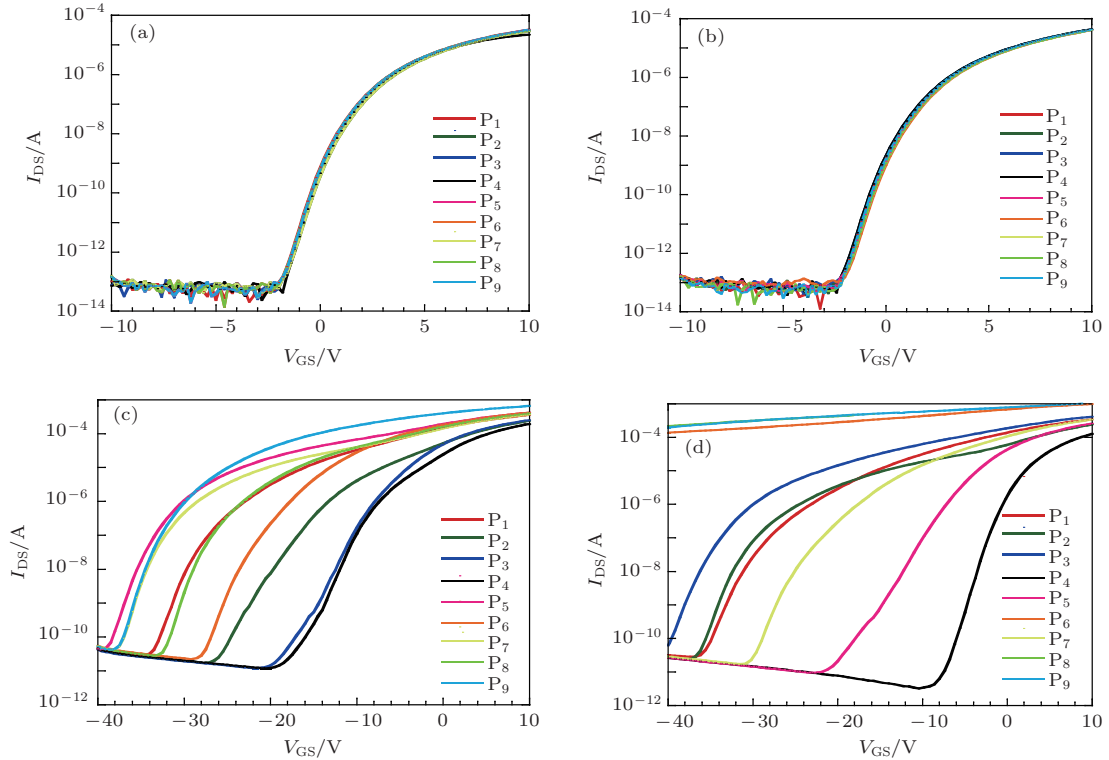


图 5 不同 Mo 溅射功率器件转移特性的均匀性 (a) 50 W; (b) 100 W; (c) 500 W; (d) 1000 W

## 4 结 论

本文研究了在不同溅射功率下制备 Mo/Al/Mo 源漏电极对薄膜晶体管器件性能的影响. 随着 Mo 膜溅射功率的增加, 器件的阈值电压负向移动. 利用 XPS 深度剖析, 发现造成高功率下制备的器件阈值电压较负的主要原因是: Mo/IZO 的界面扩散以及源漏电极区域更多氧空位的产生及移动. 研究表明, 低功率制备的器件具有较适合的开启电压 ( $\sim 0.5$  V)、较高的饱和迁移率 ( $\sim 13 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 及较佳的器件均匀性.

## 参考文献

- [1] Carcia P F, McLean R S, Reilly M H, Nunes G 2003 *Appl. Phys. Lett.* **82** 1117
- [2] Li X F, Xin E L, Shi J F, Chen L L, Zhang C Y, Zhang J H 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 108503 (in Chinese) [李喜峰, 信恩龙, 石继锋, 陈龙龙, 李春亚, 张建华 2013 物理学报 **62** 108503]
- [3] Nomura K, Ohta H, Takagi A, Kamiya T, Hirano M, Hosono H 2004 *Nature* **432** 488
- [4] Hoffman R L, Norris B J, Wager J F 2003 *Appl. Phys. Lett.* **82** 733
- [5] Li M, Lan L F, Xu M, Wang L, Xu H, Luo D X, Zou J H, Tao H, Yao R H, Peng J B 2011 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **44** 455102
- [6] Liu Y R, Wang Z X, Yu J L, Xu H H 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 8566 (in Chinese) [刘玉荣, 王智欣, 虞佳乐, 徐海红 2009 物理学报 **58** 8566]
- [7] Wang X, Cai X K, Yan Z J, Zhu X M, Qiu D J, Wu H Z 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 037305 (in Chinese) [王雄, 才玺坤, 原子健, 朱夏明, 邱东江, 吴惠桢 2011 物理学报 **60** 037305]
- [8] Lee Y W, Kim S J, Lee S Y, Lee W G, Yoon K S, Park J W, Kwon J Y, Han M K 2012 *Electrochemical and Solid-State Letters*. **15** H126
- [9] Hwang S S, Jung S Y, Joo Y C 2007 *J. Appl. Phys.* **101** 074501
- [10] Luo D X, Lan L F, Xu M, Xu H, Li M, Wang L, Peng J B 2012 *J. Electrochem. Soc.* **159** H502
- [11] Xu H, Lan L F, Xu M, Zou J H, Wang L, Wang D, Peng J B 2011 *Appl. Phys. Lett.* **99** 253501
- [12] Lan L F, Xu M, Peng J B, Xu H, Li M, Luo D X, Zou J H, Tao H, Wang L, Yao R H 2011 *J. Appl. Phys.* **110** 103703
- [13] Lan L F, Xiong N N, Xiao P, Li M, Xu H, Yao R H, Wen S S, Peng J B 2013 *Appl. Phys. Lett.* **102** 242102
- [14] Kamiya T, Nomura K, Hosono H 2010 *Sci. Technol. Adv. Mater.* **11** 044305
- [15] Kim H, Kim K K, Lee S N, Ryou J H, Dupuis R D 2011 *Appl. Phys. Lett.* **98** 112107
- [16] Hosono H 2006 *Journal of Non-Crystalline Solids* **352** 851
- [17] Ryu B, Noh H K, Choi E A, Chang K J 2010 *Appl. Phys. Lett.* **97** 022108
- [18] Suzuki T 2006 *J. Appl. Phys.* **99** 111101

# Effect of source/drain preparation on the performance of oxide thin-film transistors\*

Xu Hua Lan Lin-Feng Li Min Luo Dong-Xiang Xiao Peng Lin Zhen-Guo  
Ning Hong-Long<sup>†</sup> Peng Jun-Biao

(State Key Laboratory of Luminescent Materials and Devices, School of Materials Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

( Received 27 September 2013; revised manuscript received 26 October 2013 )

## Abstract

Indium-zinc-oxide thin-film transistors (IZO-TFTs) are prepared with the multilayer structure of molybdenum-aluminum-molybdenum (Mo/Al/Mo) as the source/drain (S/D) electrode. Experiment demonstrates that the sputtering power of Mo (bottom layer of Mo/Al/Mo S/D) influences the performance of TFTs significantly. As the sputtering power increases, the  $V_{on}$  runs negative shift, and the device uniformity degrades. XPS depth profile shows that the diffusion at the interface (IZO/Mo) occurs seriously. By decreasing the sputtering power, the diffusion can be suppressed and the devices are shown in normal off state ( $V_{on} \sim 0.5$  V, enhanced mode), with higher mobility ( $\sim 13$  cm<sup>2</sup>·V<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>) and improved uniformity.

**Keywords:** indium-zinc-oxide, source/drain electrode, sputtering power, thin-film transistor

**PACS:** 85.30.Tv, 81.15.Cd, 73.40.Cg

**DOI:** 10.7498/aps.63.038501

---

\* Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China (Grant No.2011AA03A110), the National Basic Research Program of China (Grant Nos. 2009CB623600, 2009CB930604), the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 61204087, 51173049, U0634003, 61036007, 60937001), and the Flat Display Foundation of Guangdong Province, China (Grant No. 20081202).

<sup>†</sup> Corresponding author. E-mail: [ninghl@scut.edu.cn](mailto:ninghl@scut.edu.cn)