

文章编号:1007-2780(2013)01-0055-04

采用不同透明电极的非晶铟镓锌氧化物薄膜晶体管

詹润泽, 谢汉萍, 董承远
(上海交通大学 电子工程系 TFT-LCD 关键材料与技术国家重点工程实验室, 上海 200240, E-mail: zhanrz@sjtu.edu.cn)

摘 要: 采用透明材料 ITO 和 AZO 为源漏电极, 在室温下利用射频磁控溅射方法制作了底栅结构的非晶铟镓锌氧化物薄膜晶体管。实验发现, 制备的薄膜晶体管均表现出了良好的开关特性。其中采用 AZO 为电极的薄膜晶体管的场效应迁移率为 $1.95\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, 开关比为 4.53×10^5 , 在正向偏压应力测试下, 阈值电压的漂移量为 4.49 V 。
关 键 词: 薄膜晶体管; 透明电极; 非晶铟镓锌氧化物
中图分类号: TN 321⁺.5 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20132801.0055

Amorphous InGaZnO Thin Film Transistors with Different Transparent Electrodes

ZHAN Run-ze, SHIEH Han-ping, DONG Cheng-yuan
(Department of Electronic Engineering and National Engineering Lab for TFT-LCD Materials and Technologies, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China, E-mail: zhanrz@sjtu.edu.cn)

Abstract: Amorphous InGaZnO thin film transistors with bottom gate structure using transparent materials ITO and AZO as drain/source electrodes were fabricated by RF sputtering at room temperature. It was found that the fabricated TFTs exhibited good performance. For TFTs with AZO as electrodes, field effect mobility of $1.95\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, and on-off ratio of 4.53×10^5 , as well as a threshold voltage shift of 4.49 V under positive bias stressing were achieved.
Key words: thin film transistors; transparent electrodes; amorphous InGaZnO

1 引 言

薄膜晶体管(TFT)是电子平板显示行业的核心部件,它的研发是该研究领域中的重点之一。近几年,以非晶铟镓锌氧化物(IGZO)为代表的非晶氧化物半导体因具有高载流子迁移率、可低温沉积、可大面积沉积、均匀性佳、透明性等特点,而引起了学术界和工业界的广泛关注^[1-4]。结合透明电极材料,IGZO 氧化物薄膜晶体管能够提高平板显示器件的开口率从而提高亮度和降低功

耗,还适合应用于透明显示以及柔性显示等技术领域。

目前报道中多采用铟锡氧化物(ITO)透明电极作为 IGZO 薄膜晶体管的源漏极^[5-6]。然而,由于 ITO 薄膜中 In_2O_3 价格昂贵且储量有限,存在生产成本低以及资源可用性问题,因此,如何将可替代 ITO 的新型透明电极材料应用于显示器件中的研究受到关注。其中,掺铝氧化锌(AZO)具有良好的导电性与光穿透度,且制备方法简单,价格相对便宜,因此在透明电极材料的应用开发

收稿日期: 2012-10-30; 修订日期: 2012-11-14
基金项目: 国家自然科学基金(No. 61136004); 上海市自然科学基金项目(No. 09ZR1414800)
作者简介: 詹润泽(1981—),男,广东潮州人,博士后,主要从事氧化物半导体薄膜晶体管器件和工艺的研究。

中备受重视^[7-8]。本文制备并研究了采用 ITO 和 AZO 为源漏极的 IGZO 薄膜晶体管。结果表明, AZO-IGZO 薄膜晶体管具有良好的电学特性以及较好的稳定性。

2 实 验

薄膜晶体管器件制作于硅(Si)片衬底上,采用栅极在下、源漏极在上的底栅极结构,如图 1 所示。有源层和电极层通过掩膜遮挡形成图形,晶体管沟道的长度和宽度分别为 200 μm 和 1 000 μm。采用热氧化的方法在 Si 表面上生长厚度约为 100 nm 的二氧化硅绝缘层。在室温条件下,使用射频磁控溅射方法沉积有源层 IGZO 和源漏极 ITO 及 AZO 薄膜,所用靶材分别为 IGZO 靶、ITO 靶及 AZO 靶。溅射 IGZO 时通入的氩气和氧气的气体流量分别为 10 mL/min 和 0.3 mL/min,反应气压为 400 mPa,溅射功率为 1.76 W/cm²。沉积 ITO 和 AZO 时仅通入气体流量为 10 mL/min 的氩气,反应气压 400 mPa,溅射功率为 1.32 W/cm²。有源层 IGZO 薄膜、源漏极 ITO 和 AZO 薄膜的厚度分别为 30 nm,40 nm 以及 40 nm。最后制备好的 TFT 器件,在 350 ℃ 的氮气环境中退火处理 1 h。

采用分光光度计 Lambda 950 和四点探针法分别测量制备于玻璃上的 ITO 和 AZO 薄膜的透射率和薄膜的导电性。利用 Keithley 4200 半导体参数测试系统测量晶体管电流电压特性。

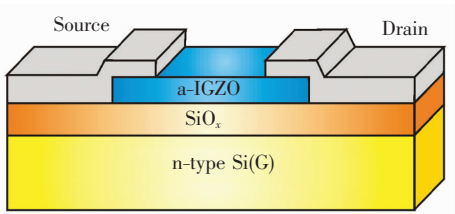


图 1 底栅结构的 TFT 器件示意图
Fig. 1 Schematic diagram of bottom gate structure TFTs

3 结果与讨论

图 2 是制作于玻璃基板上的单层 ITO 和 AZO 薄膜的光学透射谱。可以发现,ITO 和 AZO 单层薄膜可见光(380~780 nm)平均透射率分别为 95.0%和 92.8%(不含玻璃)。此外,由四点探针测试得知 ITO 和 AZO 薄膜的片电阻值

为 0.12 kΩ/□ 和 8.3 kΩ/□。实验发现,ITO 薄膜具有更高的可见光透明度和更好的导电性。

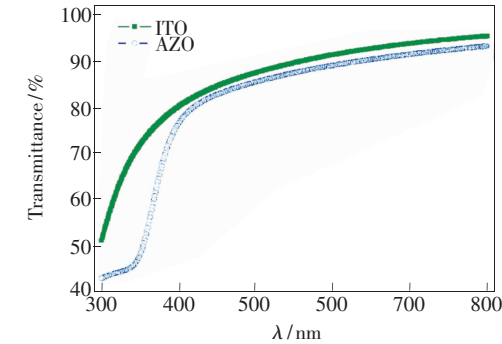


图 2 ITO 和 AZO 薄膜的透射谱
Fig. 2 Optical transmittance spectra of ITO and AZO thin films

采用 ITO 或 AZO 透明电极的 IGZO 薄膜晶体管的转移特性如图 3 所示。由此可见 IGZO 薄膜晶体管为 n 型增强型薄膜晶体管。根据

$$\mu_{FE} = \frac{g_m}{C_i V_{ds}} \frac{L}{W}, S = \left(\frac{d \log I_{ds}}{d V_{gs}} \right)^{-1}$$

(其中 g_m 、 C_i 、 L 、 W 分别为线性区跨导曲线极值、绝缘层的单位电容、沟道的长和宽)和饱和电流^[9]

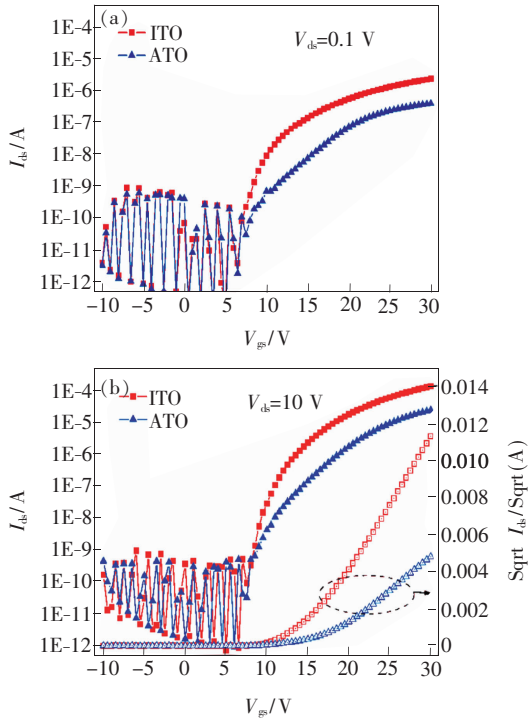


图 3 不同源漏电压下 ITO-IGZO 和 AZO-IGZO TFTs 的转移特性曲线. (a) $V_{ds}=0.1$ V, (b) $V_{ds}=10$ V.
Fig. 3 Transfer curves of ITO-IGZO and AZO-IGZO TFTs at (a) $V_{ds}=0.1$ V, and (b) $V_{ds}=10$ V.

$$I_{ds}^{1/2} = \left(\mu_{sat} C_i \frac{L}{2W} \right)^{1/2} (V_{gs} - V_{th})$$

以及图 3(a)和(b)中实验曲线可以提取出器件的特性参数,结果列于表 1 中。可以得知,ITO-IGZO 和 AZO-IGZO 薄膜晶体管均表现出良好的开关特性,且 ITO-IGZO 薄膜晶体管具有较高器件迁移率和开关电流比,以及较低的阈值电压和亚阈值摆幅。

表 1 不同透明电极 IGZO TFTs 的特性参数
Table 1 Electrical parameters of IGZO TFTs with different transparent electrodes

薄膜晶体管	ITO-IGZO	AZO-IGZO
场效应迁移率/ (cm ² · V ⁻¹ · s ⁻¹)	2.43	1.95
亚阈值摆幅/(dec · V ⁻¹)	1.54	4.23
阈值电压/V	14.36	16.64
开关电流比	2.36 × 10 ⁶	4.53 × 10 ⁵

为了分析以上存在的差异,利用传输线方法(TLM),测量了不同沟道长度下 IGZO 薄膜晶体管总的开态电阻,如图 4 所示。根据

$$R_{total} = \frac{\partial V_{ds}}{\partial I_{ds}} \bigg|_{V_{ds} \rightarrow 0}^{V_{gs}} = r_{ch}L + R_{sd}$$

(其中 r_{ch} 和 R_{sd} 分别为单位长度沟道电阻和有源层与源漏极的接触电阻)^[10],以及图 4 的线性拟合得出 ITO-IGZO 和 AZO-IGZO 薄膜晶体管中的 $R_{s/d}$ 分别为 124 kΩ 和 203 kΩ。可见 ITO 与 IGZO 具有较低的接触电阻,其中的原因主要是由

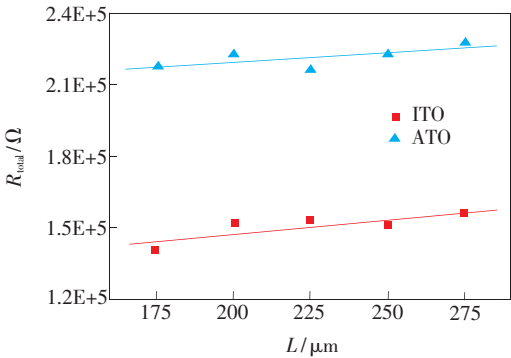


图 4 随着沟道长度变化的 ITO-IGZO 和 AZO-IGZO TFTs 总的开态电阻值($V_{gs}=30$ V)

Fig. 4 Total TFTs ON-resistances as a function of the channel length at $V_{gs}=30$ V for ITO-IGZO and AZO-IGZO TFTs

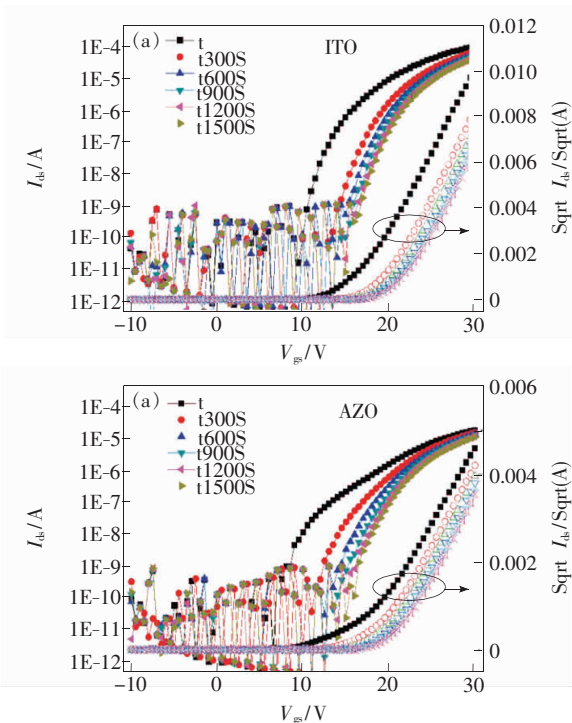


图 5 在直流正向偏压应力 ($V_{gs}=20$ V, $V_{ds}=0$ V) 测试下 ITO-IGZO 和 AZO-IGZO TFT 随时间变化的转移特性曲线 ($V_{ds}=10$ V).

Fig. 5 Transfer curves at $V_{ds}=10$ V for ITO-IGZO and AZO-IGZO TFTs as a function of duration time during positive bias stress ($V_{gs}=20$ V, $V_{ds}=0$ V).

于 ITO 具有较好的导电性。

此外,薄膜晶体管的稳定性是衡量薄膜晶体管品质的重要特性。图 5 是在直流正向偏压应力测试下 ITO-IGZO 和 AZO-IGZO 薄膜晶体管的转移特性曲线。实验发现,在正向偏压作用下,晶体管的转移特性曲线向右漂移。经过 1 500 s 的偏压应力测试之后,阈值电压的变化量分别为 5.23 V 和 4.49 V。AZO-IGZO TFT 具有稍小的阈值电压偏移可能是由于其源漏极/有源层具有较高的接触电阻,抑制了源漏电流的变化。而亚阈值摆幅基本不变,这说明在正向栅压偏置应力下,有源层内未产生缺陷。根据报道,在正向栅压偏置应力作用下,沟道内的电子被有源层/绝缘层界面的缺陷捕获,或是注入到绝缘层,使沟道内电子浓度减小,致使阈值电压变大^[2],这和我们的实验结果吻合。

4 结 论

以非晶 IGZO 为有源层,透明电极 ITO 和

AZO 为源漏极,采用射频磁控溅射技术,制作了底栅结构的非晶氧化物薄膜晶体管。实验发现,制备的非晶 IGZO 氧化物薄膜晶体管具有良好的开关特性。相比与 ITO-IGZO 薄膜晶体管,

AZO-IGZO 薄膜晶体管具有较好的稳定性。结果表明,AZO 透明电极具有应用于透明非晶氧化物薄膜晶体管的潜力。

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, 117: 28-32.

[2] 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.

[3] 徐小丽, 刘如, 郭小军,等. 基于不同 TFT 技术的 AMOLED 像素电路仿真分析 [J]. 液晶与显示, 2010, 25(4): 565-568.

[4] 吴为敬,颜峻,许志平,等. IGZO TFT 与 ZnO TFT 的性能比较 [J]. 液晶与显示, 2011, 26(2): 147-150.

[5] Liu L W, Tsai Y C, Liu P T, *et al*, Integration of surface state and geometry effects on high performance amorphous IGZO thin film transistors [C]//*Proc. SID Dig.*, Los Angeles, USA;SID, 2011;1162-1165.

[6] Yao J K, Xu N S, Deng S Z, *et al*. Electrical and photosensitive characteristics of a-IGZO TFTs related to oxygen vacancy [J]. *IEEE Trans. on Elec. Dev.*, 2011, 58(4):1121-1126.

[7] Minami T. Transparent conducting oxide semiconductors for transparent electrodes [J]. *Semicond. Sci. Technol.*, 2005, 20: S35-S44.

[8] Riedl T, Görrn P, Kowalsky W. Transparent electronics for see-through AMOLED displays [J]. *J. of Disp. Technol.*, 2009, 5(12): 501-508.

[9] Wager J F. Transfer curve assessment of oxide thin film transistors [J]. *J. of Inf. Display*, 2010, 18(10): 749-752.

[10] Kagan C R, Andry P. *Thin-film Transistors* [M]. New York;Marcel Dekker Inc. , 2003.