

文章编号: 1000-7032(2012)10-1149-04

射频磁控溅射低温制备非晶铟镓锌氧薄膜晶体管

信恩龙, 李喜峰*, 陈龙龙, 石继锋, 李春亚, 张建华

(上海大学 新型显示技术及应用集成教育部重点实验室, 上海 200072)

摘要: 利用射频磁控溅射技术室温制备了铟镓锌氧(IGZO)薄膜,采用X射线衍射(XRD)表征薄膜的晶体结构,原子力显微镜(AFM)观察其表面形貌,分光光度计测量其透光率。结果表明:室温制备的IGZO薄膜为非晶态且薄膜表面均匀平整,可见光透射率大于80%。将室温制备的IGZO薄膜作为有源层,在低温(<200℃)条件下成功地制备了铟镓锌氧薄膜晶体管(a-IGZO TFT),获得的a-IGZO-TFT器件的场效应迁移率大于 $6.0 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,开关比约为 10^7 ,阈值电压为1.2 V,亚阈值摆幅(S)约为0.9 V/dec,偏压应力测试a-IGZO TFT阈值电压随时间向右漂移。

关键词: 非晶铟镓锌氧薄膜; 薄膜晶体管; 场效应迁移率

中图分类号: TN321+.5

文献标识码: A

DOI: 10.3788/fjxb20123310.1149

Fabrication of Amorphous Indium Gallium Zinc Oxide Thin Film Transistor at Low Temperature by RF Magnetron Sputtering

XIN En-long, LI Xi-feng*, CHEN Long-long, SHI Ji-feng, LI Chun-ya, ZHANG Jian-hua

(Key Laboratory of Advanced Display and System Applications of Ministry of Education, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

* Corresponding Author, E-mail: lixifeng@shu.edu.cn

Abstract: The indium gallium zinc oxide (IGZO) thin films were fabricated by RF magnetron sputtering at room temperature in this paper. The crystal structure, surface morphology, and optical electrical of the IGZO films were investigated by X-ray diffraction (XRD), atom force microscopy (AFM), and photometry, respectively. The results revealed that the IGZO film was amorphous, the surface of the films was uniform and smooth. A good optical transmittance of over 80% was obtained in the visible light. The IGZO thin film transistors were successfully fabricated at low temperature (<200℃) using the room temperature sputtering IGZO thin film as the active layer. The field effect mobility of a-IGZO TFT was larger than $6.0 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. The device's on/off ratio was 10^7 , threshold voltage was 1.2 V and subthreshold voltage swing is 0.9 V/dec. Constant bias stress testing showed that the a-IGZO TFT threshold voltage exhibited positive shifts as time increased.

Key words: amorphous indium gallium zinc oxide thin film; thin film transistor; field effect mobility

收稿日期: 2012-06-05; 修订日期: 2012-08-01

基金项目: 国家自然科学基金(61006005); 上海市科学技术委员会项目(10dz1100102)资助项目

作者简介: 信恩龙(1988-), 男, 黑龙江肇东人, 主要从事薄膜晶体管的研究。

E-mail: xinenlong@shu.edu.cn, Tel: (021)56334778

1 引 言

2004年, Hosono等在Nature上首次报道了非晶铟镓氧化物薄膜晶体管(a-IGZO TFT)。IGZO是由 $m(\text{In}):m(\text{Ga}):m(\text{Zn})=1:1:1$ 的比例搭配的混合型氧化物,具有较高的迁移率($7\text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$),其TFT制造工艺能够与目前的a-SiTFT工艺兼容^[1-2]。IGZO TFT具有迁移率高、透过性好以及可低温制作等优点^[3-6],已成为大尺寸、高分辨率有源矩阵有机发光二极管(AM-OLED)显示和柔性显示的最佳驱动技术^[7-8]。a-SiTFT虽然能够在低温下制备,但由于其迁移率较低而不适合应用于OLED;p-SiTFT虽然迁移率较高,但由于制备温度较高而无法在不耐高温的柔性衬底上制备。然而,要获得实际应用,a-IGZO TFT仍然存在许多问题需要解决,如稳定性、可靠性^[9]以及器件工艺的优化等^[10]。

本文采用射频溅射方法在室温下制备了a-IGZO薄膜,对其光电性能进行了研究。采用a-IGZO薄膜作为有源层,低温制备a-IGZO TFT。

2 实 验

采用Corning EXG玻璃为基板,直流溅射厚度约为100 nm的金属钼并光刻出栅电极。然后,在化学气相沉积(PECVD)系统中沉积300 nm厚的 SiN_x 薄膜作为栅绝缘层,生长时的气体为 SiH_4 、 N_2 、 NH_3 。接着溅射100 nm厚的ITO,光刻出源漏电极。再射频溅射厚度约为50 nm的有源层InGaZnO薄膜,最后采用 SiH_4 和 N_2O 作为前驱体PECVD生长 SiO_2 沟道保护层,沟道的宽度和长度分别为100 μm 和20 μm 。所有的成膜温度均低于200 $^\circ\text{C}$ 。IGZO TFT器件结构如图1所示。

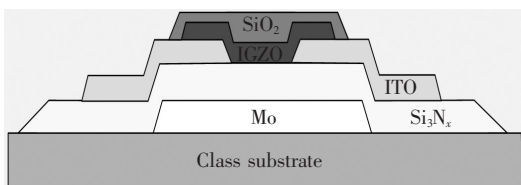


图1 IGZO TFT 截面示意图

Fig. 1 Cross section diagram of IGZO TFT

采用日本理学公司3kW D/MAX2200 X射线衍射仪分析表征IGZO薄膜的晶体结构,U-3900

H紫外可见分光光度计测量和计算薄膜的透过率,Nanonavi SPA-400 SPM接触式原子力显微镜表征薄膜的表面形貌,Agilent HP4155C半导体参数分析仪测试TFT器件的输出和转移特性曲线。所有测试均在室温下进行。

3 结果与讨论

图2是在玻璃衬底上生长的IGZO薄膜的XRD图谱。从图中可以看出只有一个非晶漫射峰,无尖锐的晶体衍射,表明所生长的IGZO薄膜是非晶结构。

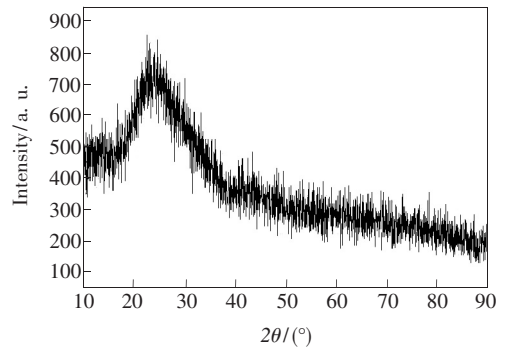


图2 IGZO薄膜的XRD衍射图

Fig. 2 XRD pattern of IGZO film

对所制备的非晶IGZO薄膜进行了AFM测试,工作模式设定为接触式,原子力大小和扫描频率分别设定为2 nN和1 Hz。图2给出了在室温制备的IGZO薄膜的表面形貌。从AFM计算获得的表面均方根粗糙度(RMS)为0.69 nm,表明薄膜的表面非常平整,适合作为薄膜晶体管的有源层材料。

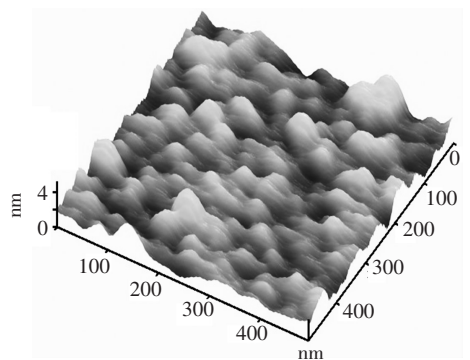


图3 IGZO薄膜的接触式原子力显微镜图片

Fig. 3 AFM image of the IGZO film

在可见光区域具有高透过率是透明氧化物半导体薄膜的一个重要特性。图4给出了非晶IGZO薄膜(包括玻璃基板)在300~900 nm波段的

透射率, 薄膜在可见光区域的平均透射率超过了 80%, 透光性非常好, 满足透明 TFT 器件的需求。

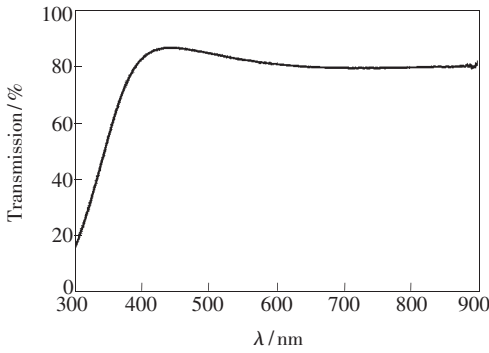


图 4 IGZO 薄膜的透射率

Fig. 4 Optical transmission spectrum of 100 nm IGZO thin film

图 5 是 a-IGZO TFT 的输出特性曲线, 从图中可以看出制备的 TFT 具有较好的夹断与饱和特性, 而且输出电流很大。源漏电流 I_{DS} 随着正栅偏压 V_{GS} 增加而显著增大, 说明该 TFT 为 n 型器件且工作于增强模式。此外, 在 V_{DS} 较低时, I_{DS} 随 V_{DS} 增加呈线性关系, 无电流阻塞现象发生, 说明源漏电极 ITO 与有源层非晶 IGZO 具有良好的欧姆接触特性。

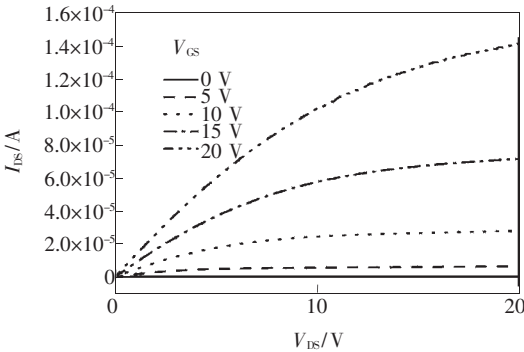


图 5 IGZO TFT 的输出特性曲线

Fig. 5 Typical TFT output characteristics of a-IGZO TFT at different gate voltage with a clear pinch-off and current saturation

图 6 给出了 IGZO TFT 不同源漏电压下的转移特性曲线, 可以看出器件具有低的泄漏电流 (10^{-12} A), 开关比约为 10^7 , 亚阈值摆幅 (S) 约为 0.9 V/dec。亚阈值摆幅与费米能级处的带隙束缚态密度有关, $S < 1$ V/dec 说明有源层具有相对较好的质量。结合饱和和区电流方程(1)与转移特性曲线中 $\sqrt{I_{DS}}$ 与 V_{GS} 、 I_{DS} 与 V_{GS} 的关系可以获得器件的阈值电压、饱和迁移率^[11-12]:

$$I_{DS} = \frac{W}{2L} \cdot \mu \cdot C_i \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2, \quad (1)$$

$$C_i = \frac{\epsilon_0 \epsilon}{d}, \quad (2)$$

$$\mu = \frac{2L}{WC_i} \left(\frac{\partial \sqrt{I_{DS}}}{\partial V_{GS}} \right)^2, \quad (3)$$

其中 I_{DS} 是源漏极电流, W 、 L 分别对应沟道宽度和长度, μ 是器件的饱和迁移率, V_{GS} 是栅极所加电压, V_{TH} 为器件阈值电压, C_i 是栅绝缘层单位面积电容。这里的 SiN_x 绝缘层介电常数为 6.5, 厚度 d 为 300 nm, 根据式 (2) 得到 C_i 约为 19.2 nF/cm²。根据公式 (3) 和 (1) 计算出器件的迁移率为 6.03 cm² · V⁻¹ · s⁻¹, 阈值电压为 1.2 V, 这个迁移率与绝大多数文献报道的相近。

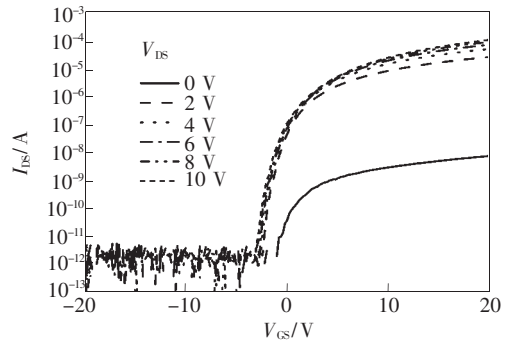


图 6 IGZO TFT 传输特性曲线

Fig. 6 Transfer curves of the as-deposited a-IGZO TFT with continuous gate voltage sweeps from negative to positive values for five times at different drain voltage

对所制备的器件施加 20 V 的栅偏压进行应力测试, 结果如图 7 所示。可以看出阈值电压向正向漂移, 而亚阈值摆幅不变。通常这种现象是由于栅绝缘层或有源层与绝缘层界面的电荷捕获所致^[9,13]。本文中所制备的器件在放置 3 天后,

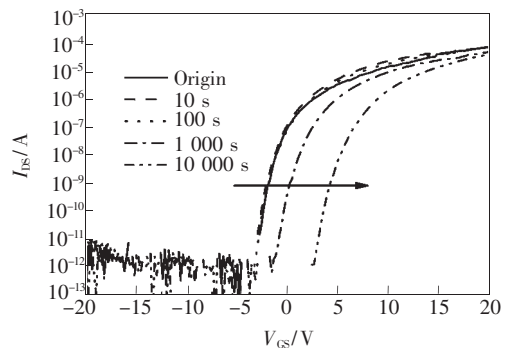


图 7 恒定偏压测试下的 IGZO TFT 传输特性曲线

Fig. 7 Transfer curves before and after constant-gate-voltage bias stress testing over a period of 10⁴

阈值电压就恢复了原来的数值,说明这种阈值漂移不是栅绝缘层电荷俘获所导致,因为该原因导致的阈值偏移难以恢复。因此,可以认为阈值电压偏移是由于绝缘层与有源层之间的界面电荷俘获所致。随着偏压时间的增加,绝缘层与有源层界面之间俘获的电荷越来越多,相当于降低了有效的栅偏压,导致阈值右移。今后需要进一步研究 a-IGZO TFT 的稳定性机制,抑制阈值漂移现象。

4 结 论

采用磁控溅射的方法在低温下制备了迁移率高、均匀性强、透过率好的 a-IGZO 薄膜,并进一步制备了 IGZO TFT 器件。IGZO TFT 器件的阈值电压为 1.2 V,载流子迁移率为 $6.03 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,开关比达到 10^7 以上,满足 OLED、LCD 等平板显示器对开关器件的要求。

参 考 文 献:

- [1] Nomural K, Ohta H, Takagi A, *et al.* Room-temperature fabrication of transparent flexible thin-film transistors using amorphous oxide semiconductors [J]. *Nature*, 2004, 432(7016):488-492.
- [2] Wager J F. Transparent electronics [J]. *Science*, 2003, 300(5623):1245-1246.
- [3] 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.
- [4] Kang D, Lim H, Kim C, *et al.* Amorphous gallium indium zinc oxide thin film transistors: Sensitive to oxygen molecules [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2007, 90(19):192101-1-3.
- [5] 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):093504-1-4.
- [6] Lee J, Park J S, Pyo Y S, *et al.* The influence of the gate dielectrics on threshold voltage instability in amorphous indium-gallium-zinc oxide thin film transistors [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2009, 95(12):123502-1-3.
- [7] Sato A, Abe K, Hayashi R, *et al.* Amorphous In-Ga-Zn-O coplanar homojunction thin film transistor [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2009, 94(13):133502-1-3.
- [8] Sung S Y, Choi J H, Han U B, *et al.* Effects of ambient of atmosphere on the transfer characteristics and gate-bias stress stability of amorphous indium-gallium-zinc oxide thin-film transistors [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2010, 96(10):102107-1-3.
- [9] 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.
- [10] Sato A, Abe K, Hayashi R, *et al.* Amorphous In-Ga-Zn-O coplanar homojunction thin-film transistor [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2009, 94(13):133502-1-3.
- [11] Li J, Zhou F, Lin H P, *et al.* Effect of N₂O plasma treatment on the SiN_x-based InGaZnO thin film transistors [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2012, 33(4):400-404 (in Chinese).
- [12] Kamiya T, Nomura K, Hosono H. Present status of amorphous In-Ga-Zn-O thin-film transistors [J]. *Adv. Mater.*, 2010, 11(4):044305-1-5.
- [13] Cross R, de Souza M. Investigating the stability of zinc oxide thin film transistors [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2006, 89(26):263513-1-3.