

有机介质层铟锌氧化物薄膜晶体管

李桂锋, 冯佳涵, 周俊, 张群*

(复旦大学材料科学系, 上海 200433)

摘要: 利用直流磁控溅射方法在玻璃基板上室温制备非晶铟锌氧化物半导体薄膜, 薄膜表面平整。采用旋涂法室温制备聚四乙烯苯酚有机介质层。以铟锌氧化物薄膜作为沟道层、聚四乙烯苯酚作为介质层, 成功制备了顶栅结构的薄膜晶体管。测试结果表明, 所制备的薄膜晶体管具有饱和特性且为耗尽工作模式, 薄膜晶体管的阈值电压为 3.8 V, 迁移率为 $25.4 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 开关比为 10^6 。

关键词: 薄膜晶体管; PVP 有机介质层; 铟锌氧化物

中图分类号: TN321+.5 **文献标识码:** A

Organic Dielectric Indium Zinc Oxide Thin Film Transistors

LI Gui-feng, FENG Jia-han, ZHOU Jun, ZHANG Qun*

(Department of Materials Science, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: Amorphous indium zinc oxide thin films were prepared by direct current magnetron sputtering on glass substrates at room temperature. The organic dielectric layer poly(4-vinylphenol) were prepared by spin coating method. With IZO films as channel layers, poly(4-vinylphenol) as dielectric layers, thin film transistors were fabricated at room temperature, showing depleted mode operation with good saturation characteristics, threshold voltage of 3.8 V, mobility of $25.4 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ and on/off ratio of 10^6 . This shows organic dielectric layer indium zinc oxide thin film transistor can be prepared at low temperature.

Key words: thin film transistor; dielectric layer; indium zinc oxide

1 引言

薄膜晶体管(TFT)在平板显示领域有着广泛的应用。透明氧化物薄膜如 In_2O_3 和 ZnO 等具有迁移率较高并可室温制备的特点, 以其制备的薄膜晶体管在显示领域能够满足响应速度快、亮度高、清晰度高需求。此类薄膜的透明性能能够提高开口率从而提高亮度和降低功耗, 可室温制备的优点使其适合应用于柔性显示。马仙梅等人利用 MOCVD 方法研究了 ZnO 薄膜及 ZnO -TFT^[1]。铟锌氧化物(IZO)薄膜具有高迁移率和

电阻率可控等特点, 是一种有前景的氧化物半导体材料, 已被用于制备氧化物薄膜晶体管^[2-3]。

目前, IZO-TFT 沟道层常用磁控溅射方法^[4]和溶液工艺方法^[5]制备, 介质层常用氧化硅^[4]、氮化硅^[6]等无机物薄膜。有机材料具备良好的绝缘性、成本低和易制备等优点, 有机介质层氧化物薄膜晶体管的研究还很少见。

本文制备了顶栅结构有机介质层非晶 IZO 薄膜晶体管。IZO 沟道层采用直流反应磁控溅射方法室温制备; 介质层为聚四乙烯苯酚(PVP), 采用旋涂法室温制备。TFT 测试结果表明器件具

收稿日期: 2010-01-13; 修订日期: 2010-04-25

基金项目: 国家自然科学基金(No. 60671041); 博士点基金(No. 20070246032); 上海重点学科项目(No. B113)

作者简介: 李桂锋(1982-), 男, 山东菏泽人, 博士研究生, 主要从事有关透明氧化物半导体薄膜及晶体管器件方面的研究。

* 通讯联系人, E-mail: zhangqun@fudan.edu.cn

有良好的场效应特性及饱和特性。

2 实 验

IZO 薄膜使用 ZJT-300 型直流反应磁控溅射镀膜机室温制备。靶材选用 51 mm 直径的铜锌合金靶(In、Zn 的原子比为 0.59),靶与基板距离为 100 mm。用清洁的玻璃基片作为衬底,在本底压强低于 2×10^{-3} Pa 的条件下,通过调节针阀将 O_2 和 Ar 气依次通入反应室,氧分压为 5×10^{-2} Pa,总压强为 3.0×10^{-1} Pa。在溅射电流 100 mA 和溅射电压为 350~360 V 的条件下溅射 15 min 制备 IZO 薄膜。

顶栅 IZO-TFT 的结构为:Al(80 nm, 门电极)/PVP(200 nm, 介质层)/Al(80 nm, 源、漏电极)/IZO(100 nm, 沟道层)/玻璃。Al 电极通过热蒸发的方法制备,其形状和大小由掩膜尺寸确定。沟道的宽和长分别为 400 μm 和 40 μm 。配制 PVP(分子式为 $[\text{CH}_2\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_4\text{OH})]_n$)浓度为 20 mg/mL 的四氢呋喃溶液,将样品在 800 r/min 转速下室温旋涂制备有机介质层。

使用岛津 UV2450 型 UV/VIS 分光光度计测量 IZO 薄膜的透射率,利用 Kosaka ET3000 型表面轮廓仪测量各层薄膜的厚度,采用 Bruker D8 X 射线粉末衍射仪(Cu-K α)分析 IZO 薄膜的晶格结构,用 LEO 1530VP 扫描电子显微镜对 IZO 薄膜进行 SEM/EDS 测试,用 Agilent E4980A 测试 PVP 薄膜的介电常数,用 Keithley 4200 半导体参数测试系统测试晶体管电流电压特性。

3 结果与讨论

图 1 为在室温下制备的 IZO 薄膜的 X 射线衍射图和 SEM 表面形貌图。由 XRD 包峰可知,室温制备的薄膜为非晶结构,这主要是由于室温条件下不足以使沉积的 IZO 薄膜形成晶体结构。插图为 a-IZO 薄膜样品的 SEM 表面形貌图,可以看出薄膜表面非常平整。在薄膜晶体管中,平整的沟道层和绝缘层有利于在它们之间形成良好的接触界面,从而减小电荷在界面的散射,优化 TFT 的电学性能。采用能谱仪(EDS)对 IZO 薄膜的成分进行了分析,发现薄膜中的铜锌原子比与合金靶材中基本一致。

IZO 薄膜的电阻率 $> 1 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 。高电阻率的原因是由于 IZO 薄膜制备时高的氧分压减

少了薄膜中的氧空位,进而减少了 IZO 薄膜中的自由载流子。IZO 和 PVP 双层薄膜的光学透射谱如图 2 所示。IZO 和 PVP 双层薄膜可见光(400~700 nm)平均透射率分别为 85.8%。实验发现,透明 IZO 薄膜和透明 PVP 薄膜构成的双层结构薄膜具有增透效应,其透射率大于 IZO 薄膜的透射率。

图 3 是 Al/PVP/Al 结构的电容-电压(C-V)

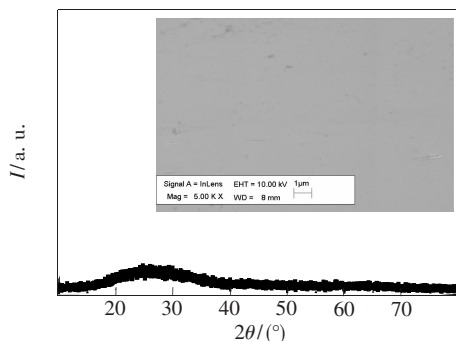


图 1 室温制备 a-IZO 薄膜的 XRD 图谱和 SEM 表面形貌图(插图)

Fig. 1 X ray diffraction pattern and SEM image (inset) of the a-IZO film deposited at room temperature

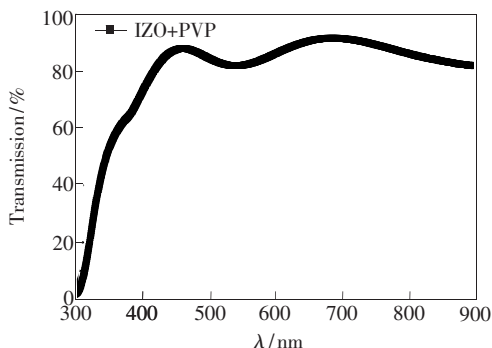


图 2 a-IZO+PVP 双层薄膜的透射谱(含玻璃)

Fig. 2 Optical transmission spectra of IZO + PVP thin films

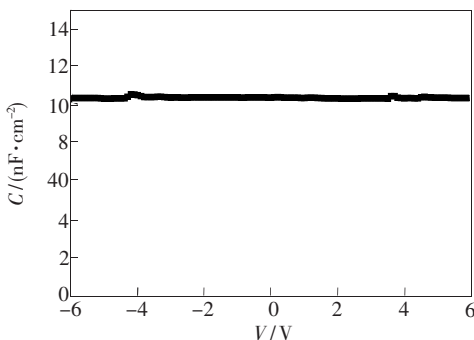


图 3 Al/PVP/Al 结构的电容-电压(C-V)特性曲线

Fig. 3 C-V characteristic of Al/PVP/Al structure

特性曲线。该结构中介质层 PVP 的厚度是 350 nm, Al/PVP/Al 结构的电容是 10.3 nF/cm^2 。由以上数据可得介质层 PVP 的相对介电常数是 4.0, 与文献报道数据很接近^[7]。

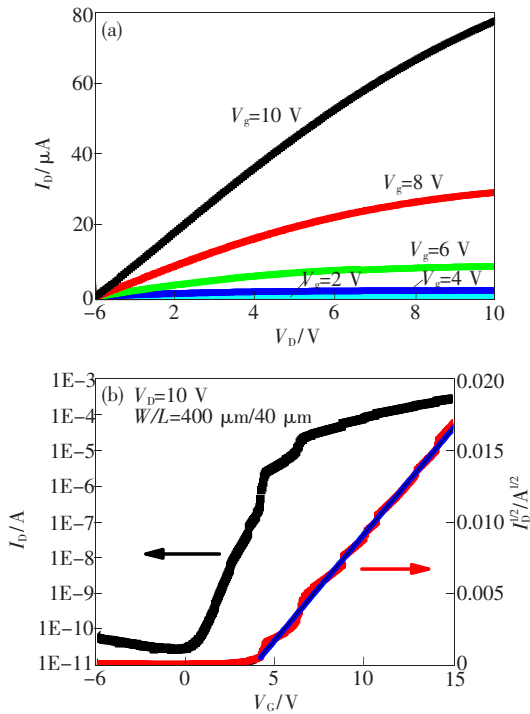


图 4 PVP 介质层非晶氧化钢锌薄膜晶体管的输出 (a) 和转移 (b) 特性曲线

Fig. 4 Output (a) and transfer (b) characteristics of the fabricated TFTs with a-IZO channel layer and poly (4-vinylphenol) dielectric layer

PVP 介质层钢锌氧化物薄膜晶体管的输出特性和转移特性曲线分别如图 4(a) 和 (b) 所示。图 4 中漏电流显示出良好的截止和饱和特性, 说明器件和传统金属氧化物半导体场效应晶体管具有相同的电流电压特性。钢锌氧化物薄膜晶体管为 n 型增强型薄膜晶体管。在薄膜晶体管饱和区域, 饱和电流可表达为: $I_D = \mu C \frac{L}{2W} (V_G - V_T)^2$, 其中 I_D 、 μ 、 C 、 V_G 、 V_T 、 W 和 L 分别为饱和电流、饱和迁移率、介质层电容、门电压、阈值电压、沟道的宽和长。由式 $I_D^{1/2} = \left(\mu C \frac{L}{2W} \right)^{1/2} (V_G - V_T)$ 和图 4 (a) 中拟合曲线可知, 器件迁移率和阈值电压分别为 $25.4 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 3.8 V。器件的开关比为 10^6 , 亚阈值摆幅为 0.88 V/decade。

4 结 论

以 IZO 薄膜为沟道层、PVP 为介质层, 室温制备了顶栅结构的薄膜晶体管。IZO 薄膜采用直流磁控溅射法室温制备, 表面平整, 薄膜电阻率 $> 1 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$; PVP 介质层采用旋涂方法制备。IZO 和 PVP 双层薄膜的可见光平均透射率为 85.8%。器件迁移率为 $25.4 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 阈值电压为 3.8 V, 开关比达到 10^6 , 亚阈值摆幅为 0.88 V/decade。实验结果表明, 室温下制备的有机介质层 IZO-TFT 性能良好, 具有较好的应用前景。

参 考 文 献:

- [1] 马仙梅, 荆海, 马凯, 等. ZnO 薄膜及 ZnO-TFT 的性能研究 [J]. 液晶与显示, 2009, 24(3): 393-395.
- [2] Barquinha P, Pimentel A, Marques A, et al. Influence of the semiconductor thickness on the electrical properties of transparent TFTs based on indium zinc oxide [J]. *J. Non-Crystalline Solids*, 2007, 352(9-20): 1749-1752.
- [3] Song J I, Park J S, Kim H, et al. Transparent amorphous indium zinc oxide thin-film transistors fabricated at room temperature [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2007, 90(2): 022106(1-3).
- [4] Paine D C, Yaglioglu B, Bailey Z, et al. Amorphous IZO-based transparent thin film transistors [J]. *Thin Solid Films*, 2008, 516(17): 5894-5898.
- [5] Choi C G, Seo S J, Bae B S. Solution-processed indium-zinc oxide transparent thin-film transistors [J]. *Electrochemical and Solid State Lett.*, 2008, 11(1): H7-H9.
- [6] Lim W, Wang Y L, Ren F, et al. Indium zinc oxide thin films deposited by sputtering at room temperature [J]. *Appl. Surface Science*, 2008, 254(9): 2878-2881.
- [7] Choi J H, Khang D Y, Myoung J M. Fabrication and characterization of ZnO nanowire transistors with organic polymer as a dielectric layer [J]. *Solid State Communications*, 2008, 148: 126-130.