

文章编号:1007-2780(2010)04-0542-04

塑料基底 a-Si:H TFT 制备技术

姚建可,许宁生,邓少芝*,陈 军,余峻聪,王 彬

(中山大学 光电材料与技术国家重点实验室 广东省显示材料与技术重点实验室,广东 广州 510275)

摘 要:采用 PECVD 工艺,在 300 ℃下在 50 μm 厚的 Kapton E 高分子塑料片上制备了底栅结构 a-Si:H TFT 阵列(20×20)。用傅里叶变换红外光谱仪表征了 a-Si:H 薄膜的结构,用二探针法和四探针法分别表征了 a-Si:H 薄膜和 n⁺ a-Si:H 薄膜的电导率。a-Si:H 薄膜中的 H(原子数分数)约为 15.6%,H 主要以 SiH 和 SiH₂ 基团的形式存在,其电导率为 8.2×10⁻⁷~8.8×10⁻⁶ S/cm;n⁺ a-Si:H 薄膜的电导率为 3.8×10⁻³ S/cm。所制备的 TFT 具有以下性能: $I_{\text{off}}\approx 1\times 10^{-14}$ A, $I_{\text{on}}\approx 1\times 10^{-9}$ A, $I_{\text{on}}/I_{\text{off}}\approx 10^5$, $V_{\text{th}}\approx 5$ V, $\mu\approx 0.113$ cm²/(V·s), $S\approx 2.5$ V/dec,满足 TFT-LCD 等平板显示器件的开关寻址电路要求。

关 键 词:塑料基底;a-Si:H TFT;柔性显示

中图分类号:O753.2 文献标识码:A

Fabrication Techniques of a-Si:H TFT on Plastic Substrate

YAO Jian-ke, XU Ning-sheng, DENG Shao-zhi*, CHEN Jun, SHE Jun-cong, WANG Bin

(State Key Lab of Optoelectronic Materials and Technologies, Guangdong Province

Key Laboratory of Display Materials and Technologies, SunYat-Sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Bottom gate structure a-Si:H TFT array was deposited by standard PECVD process at 300 ℃ on Kapton E plastic substrate with thickness of 50 μm. The structure of a-Si:H film was characterized by IR spectrum. The electrical conductivity of a-Si:H film and n⁺ a-Si:H film is measured by two probes and four probes method, respectively. The H atom is of 15.6% content in a-Si:H film and mainly appeared in SiH and SiH₂ group. The electrical conductivity of a-Si:H film is 8.2×10⁻⁷~8.8×10⁻⁶ S/cm, and that of n⁺ a-Si:H film is 3.8×10⁻³ S/cm. The TFTs have a threshold voltage of ~5 V, sub threshold slope of ~2.5 V/dec, linear mobility of ~0.113 cm²/(V·s) and on/off current ratio of ~10⁵. The results show that the a-Si:H TFTs on plastic substrate fabricated in this process can be used in TFT-LCD and some other switch addressable circuits of flat panel display.

Key words:plastic substrate; a-Si:H TFT; flexible display

1 引 言

柔性显示器件是倍受显示领域关注的新型平板显示器件技术之一,而柔性 TFT 电路阵列的实现,是实现有源驱动柔性显示器件的关键。目前,柔性 TFT 实现主要基于两种衬底:不锈钢衬

底和塑料衬底。塑料衬底具有重量轻、弹性好、可折叠和成本低廉等优点^[1]。某些塑料(例如 Kapton E 塑料)的玻璃转化温度可以达到 350 ℃,能够满足 a-Si:H TFT 各结构层制备工艺温度的要求,无须改变现有的 TFT 工艺即可在塑料衬底上制造 TFT 阵列,并且性能不差于玻璃衬底的

收稿日期:2010-03-18; 修订日期:2010-05-12
作者简介:姚建可(1976—),男,浙江诸暨人,博士,主要从事薄膜晶体管制备技术研究。
* 通讯联系人, E-mail: stdsdz@mail.sysu.edu.cn

TFT [2]。

本文对塑料衬底 a-Si:H TFT 器件制备技术进行了研究,所制备的 TFT 器件能够满足 TFT-LCD 等平板显示器件的开关寻址电路要求。

2 实 验

衬底采用 50 μm 厚的 Kapton E 高分子塑料片,在 $5\times 5\text{ cm}$ 的衬底上制备 20×20 的 TFT 器件阵列。TFT 器件采用底栅结构(图 1),沟道宽度 $W=180\text{ }\mu\text{m}$,长度 $L=20\text{ }\mu\text{m}$,每层薄膜的厚度见图 1 所注。器件结构层制备技术如下:采用 PECVD 在 Kapton E 高分子塑料衬底制备 200 nm SiN_x 缓冲层,衬底的上下两面均制备有 SiN_x 缓冲层;采用磁控溅射方法制备栅极、源/漏极薄膜,材料体系采用金属 Cr;采用标准的 $300\text{ }^\circ\text{C}$ PECVD 工艺制备 300 nm SiN_x 绝缘层、150 nm 本征 a-Si:H 沟道和 30 nm $\text{n}^+\text{ a-Si:H}$ 欧姆接触层。

SiN_x 绝缘层的制备采用 SiH_4 和 NH_3 气体, SiH_4 和 NH_3 的气体流量比为 $(170:140)\text{ mL/min}$;a-Si:H 薄膜的制备采用 Ar 气稀释的 5% SiH_4 ; $\text{n}^+\text{ a-Si:H}$ 薄膜的制备采用 Ar 稀释的 5% SiH_4 和 Ar 稀释的 5% PH_3 , SiH_4 和 PH_3 的气体流量比为 $(1\text{ }000:50)\text{ mL/min}$ 。

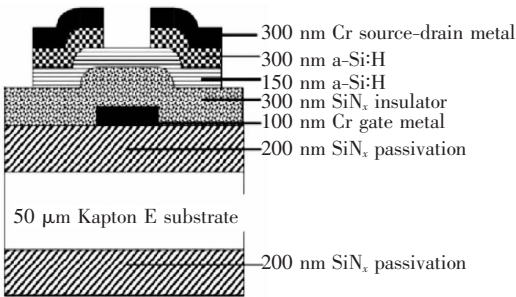


图 1 a-Si:H TFT 结构剖面图

Fig. 1 Cross section of a-Si:H TFT on plastic

为了计算 a-Si:H 薄膜中 H 的含量,采用 EQUINOX 55 傅里叶变换红外光谱仪对采用上述工艺条件制备的 a-Si:H 薄膜进行表征。测试样品用两面抛光的硅片为基底,先在基底制备 300 nm 的 SiO_2 作缓冲层,再制备 300 nm 的 a-Si:H 薄膜。

为了测试 a-Si:H 和 $\text{n}^+\text{ a-Si:H}$ 薄膜的电导率,分别采用 RTS-9 四探针方块电阻仪和

HP4155C 半导体参数分析仪结合两探针方法进行测量。

TFT 特性采用 HP4155C 半导体参数分析仪进行测量。

3 结果与讨论

3.1 a-Si:H 薄膜结构

图 2 是所制备的 a-Si:H 薄膜样品典型的红外光谱曲线。其中 $1\text{ }000\text{ cm}^{-1}$ 处为 SiO_2 峰; $2\text{ }000\text{ cm}^{-1}$ 处为 SiH 、 SiH_2 伸展模; $800\sim 900\text{ cm}^{-1}$ 处为 SiH_2 、 SiH_3 摇摆模,该峰很弱; 630 cm^{-1} 处为 SiH 、 SiH_2 弯曲模。薄膜中 H 含量计算结果约为 15.6%(原子比)。根据文献报道[3],满足 TFT 器件应用要求的 a-Si:H 薄膜 H 原子数分数为 10%~30%,并且要求 $800\sim 900\text{ cm}^{-1}$ 处的峰要很弱,因此所制备的 a-Si:H 薄膜满足 TFT 器件应用要求。

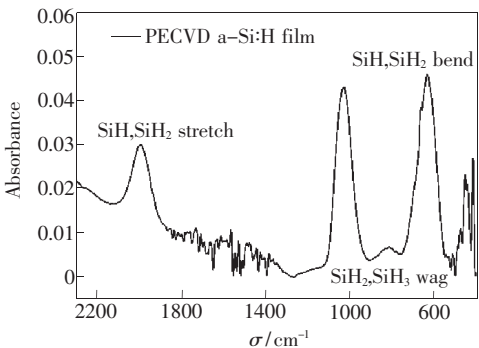


图 2 a-Si:H 薄膜红外光谱

Fig. 2 IR spectrum of a-Si:H film

3.2 a-Si:H 薄膜电导率

由于 a-Si:H 薄膜电导率过小,超出四探针测试仪的量程($>10^{-5}\text{ S/cm}$),因此采用 HP4155C

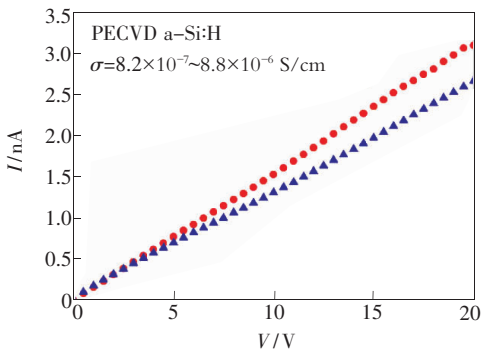
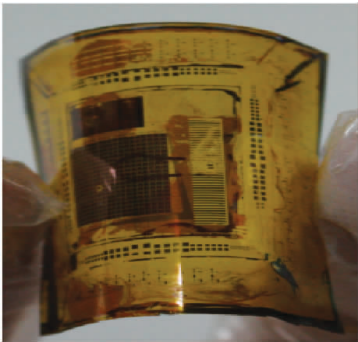


图 3 a-Si:H 薄膜电导率

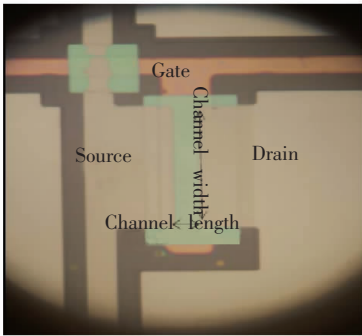
Fig. 3 Electrical conductivity of a-Si:H film

半导体参数分析仪结合两探针方法进行测量,即:在薄膜上用导电银浆间隔 1 cm 点上长度为 1 cm 的电极,测试电极间样品的 I - V 曲线再计算。图 3 是 a-Si:H 薄膜典型的 I - V 曲线,从曲线计算得到的 a-Si:H 薄膜电导率约在 8.2×10^{-7} S/cm $\sim$ 8.8×10^{-6} S/cm。

n^+ a-Si:H 薄膜电导率采用四探针法,测量得到的数值为 3.8×10^{-3} S/cm。



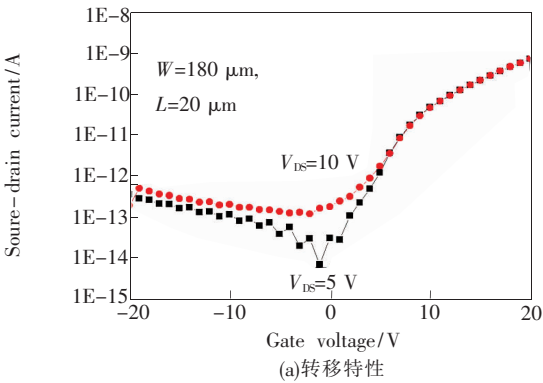
(a)塑料基底 TFT



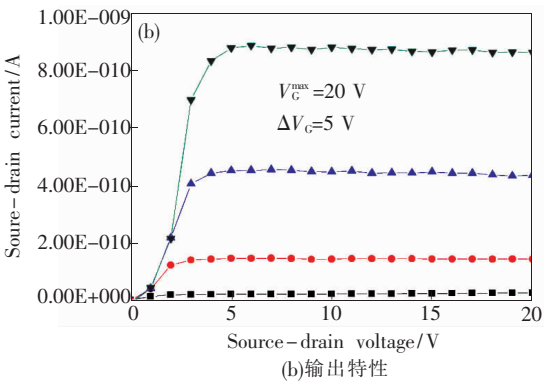
(b)阵列中的单个 TFT

图 4 20×20 TFT 阵列和测试结构样品的显微形貌

Fig. 4 Optical micrograph of 20×20 TFT array



(a)转移特性



(b)输出特性

图 5 单个 TFT 器件特性

Fig. 5 Characteristics of single TFT

3.4 讨论

由于 a-Si:H 薄膜呈短程有序的非晶结构,在 a-Si:H 的禁带中存在大量的局域态;另外,H 通过钝化作用可以降低悬挂键和带尾态密度。因此,在 a-Si:H 薄膜制备中,随着 H 含量提高,a-Si:H 薄膜的无序度将下降,电子迁移率将提高,从而提高 TFT 器件的开态电流。此外,提高 n^+ a-Si:H 薄膜的电导率,可以减小源/漏电极间的接触电阻,也可以提高 TFT 器件的开态电流。

所制备的 TFT 器件的关态电流 $I_{\text{off}} \approx 1 \times 10^{-14}$ A,具备 a-Si:H TFT 低关态电流(<1 pA)

3.3 TFT 特性

图 4 是所制备的 20×20 TFT 阵列和测试结构样品的显微形貌图,图 5 是对应的单个 TFT 特性。从转移特性可见,当 $V_{\text{DS}}=5$ V 时,TFT 关态电流 $I_{\text{off}} \approx 1 \times 10^{-14}$ A,开态电流 $I_{\text{on}} \approx 1 \times 10^{-9}$ A,开关比 $I_{\text{on}}/I_{\text{off}} \approx 10^5$,阈值电压 $V_{\text{th}} \approx 5$ V,线性区场效应迁移率 $\mu \approx 0.113$ cm²/V·s,亚阈值摆幅 $S \approx 2.5$ V/dec。

的优点。但是开态电流 $I_{\text{on}} \approx 1 \times 10^{-9}$ A,数值偏小。所制备的器件之所以表现出较低的开态电流 I_{on} ,其可能的影响因素有以下几方面:

(1) n^+ a-Si:H 薄膜和源/漏电极薄膜间的接触电阻较高。

(2)SiN_x 薄膜和 a-Si:H 薄膜间的界面结构状态。通常,在 SiN_x 薄膜和 a-Si:H 薄膜之间的界面要求采用变速率沉积的工艺,目的是提高界面处薄膜的致密性和减少界面缺陷。在 TFT 器件制备工艺中,SiN_x 薄膜层附近的 a-Si:H 薄膜采用低速速率沉积工艺,所获得的薄膜结构致密

性好,它是 TFT 器件的导电主要通道。 SiN_x 薄膜制备采用低速速率沉积工艺并且通过等离子体处理,薄膜表面粗糙度低。根据文献报道^[4], SiN_x 薄膜的表面粗糙度降低 1 nm,TFT 电子迁移率将提高 $0.5\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 。在所制备的 TFT 器件中, SiN_x 薄膜和 a-Si:H 薄膜均没有采用变速率方法制备,这可能是电子迁移率较小的一个原因。

(3) 在 n^+ a-Si:H 薄膜和源/漏电极薄膜上未镀 SiN_x 保护层。a-Si:H 薄膜的光照和环境稳定性较差,根据文献报道,a-Si:H TFT 器件的开关比 $I_{\text{on}}/I_{\text{off}}$ 在光照条件下会降低 1~4 个数量级^[5]。

参 考 文 献:

[1] MacDonald W A, Looney M K, Mackerron D, *et al.* Latest advances in substrate for flexible electronics [J]. *J. SID*, 2007, 15(12):1075-1083.

[2] Gleskova H, Wagner S,Suo Z. a-Si:H TFT made on polyimide foil by PECVD at 150 ℃ [J]. *Flat Panel Display Material*, 1998, 508:73-78.

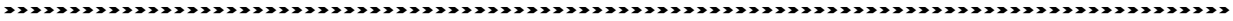
[3] Raupp G B, Shawn M O, Moyer C,*et al.* Low-temperature amorphous-silicon backplane technology development for flexible displays [J]. *J. SID*, 2007, 15(7):445-454.

[4] Kim J H, Oh E Y, Ahn B C, *et al.* Performance improvement of a-Si:H TFT with SiO_2 insulator by N_2 plasma treatment [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, 64(6):775-776.

[5] Gallezot J D, Martin S, Kanicki J. Photosensitivity of a-Si:H TFT [C]//*Asia Display/IDW01*,Nagoya, Japan: SID, 2001:407-410.

4 结 论

采用 PECVD 300 ℃工艺温度,在 50 μm 厚的 Kapton E 高分子塑料上制备了 20×20 的 a-Si:H TFT 阵列。所制备的 TFT 器件的关态电流 $I_{\text{off}}\approx 1\times 10^{-14}\text{ A}$, 开态电流 $I_{\text{on}}\approx 1\times 10^{-9}\text{ A}$, 开关比 $I_{\text{on}}/I_{\text{off}}\approx 10^5$, 阈值电压 $V_{\text{th}}\approx 5\text{ V}$, 线性区场效应迁移率 $\mu\approx 0.113\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, 亚阈值摆幅 $S\approx 2.5\text{ V/dec}$ 。器件满足 TFT-LCD 等平板显示器件的开关寻址电路要求,但是仍需进一步改进工艺,以提高 TFT 的开态电流。



文章编码的识读

为了便于期刊文章的检索、查询、全文信息索取和远程传递以及著作管理,凡具有文献标识码的文章均可标识一个数字化的文章编号,其中 A(理论与应用研究学术论文(包括综述报告))、B(实用性技术成果报告(科技)、理论学习与社会实践总结(社科))、C(业务指导与技术管理性文章(包括领导讲话、特约评论等))三类文章必须编号。

文章编号由期刊的国际标准刊号、出版年、期次号及文章的篇首码和页数五段共 20 位数字组成,其结构为:XXXX-XXXX(YYYY)NN-PPPP-CC,其中 XXXX-XXXX 为文章所在期刊的国际标准刊号(ISSN),YYYY 为文章所在期刊的出版年,NN 为文章所在期刊的期次,PPPP 为文章首页所在期刊页码,CC 为文章页数,“-”为连字符。该编号在全世界范围内是该文章的惟一标识。

文章编号由各编辑部给定,中文文章编号的标识为“文章编号:”或[文章编号]。如:文章编号;1007-2780(2003)02-0097-04 为发表在《液晶与显示》2003 年第 2 期第 97~100 页(共 4 页)上题为“液晶中聚合物网络的形貌研究”(作者:杨文君等)一文的文章编号。