

125mm 彩色 AMOLED 的多晶硅 TFT 基板*

孟志国^{1,†} 郭海成² 吴春亚¹ 王 文² 熊绍珍¹

(1 南开大学信息学院光电子所, 教育部光电子信息科学与技术重点实验室(南开大学, 天津大学),
天津市光电子器件与技术重点研究室, 天津 300071)
(2 香港科技大学电机与电子工程系, 香港)

摘要: 用化学法在非晶硅表面形成 Ni 源, 经金属诱导晶化(MIC)得到了大晶粒碟型多晶硅. 为改善以此材料作有源层的多晶硅 TFT 的漏电特性和均匀性, 采用动态杂质吸除方法对 MIC 过程所残留的 Ni 进行了吸除. 通过流程简化, 采用 6 块版工艺, 研制出 125mm QVGA 有源选址有机发光显示的多晶硅 TFT 选址矩阵基板.

关键词: 大晶粒; 碟型多晶硅; 薄膜晶体管; 有机发光像素电路; 有源选址矩阵

PACC: 7360; 7360F; 7360L

中图分类号: TN321⁺. 5

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2006)08-1514-05

1 引言

有机发光显示(OLED)以其主动发光、快速响应(μs 量级)、宽视角、低功耗及其他特色, 日益显示出其诱人的风采和可与液晶显示一争高低的能力, 成为人们企盼的下一代新型显示技术. 能够赋予它如此优势的关键在于, 薄膜晶体管(TFT)驱动的有源选址技术(active matrix technology). 在中小尺寸、低功耗、高信息显示密度的产品方面, 多晶硅(poly-Si) TFT, 又以其高迁移率带来的高驱动能力与高占空比的优势, 更为引人注目^[1,2]. 科技部“十五”规划“863”高新技术项目中, 列入了多晶硅 TFT 的 OLED 有源驱动选址技术研究, 集中反应了推进当前国际显示行业发展的前瞻性的方向. 南开大学光电子所在承接国家“863”项目任务中, 在发展以 TFT 为代表的大面积薄膜微电子学学科研究的同时, 面对企盼将多晶硅 TFT 转化为产业化技术的问题, 努力简化制备流程, 以减少到可与非晶硅 TFT 产业化常规制程光刻板数相当为目标, 以便使多晶硅 TFT 驱动显示技术能够在我国高新显示技术行业的生产中发挥效力. 力图在简化工艺、降低成本的同时不会引起性能下降.

多晶硅 TFT 具有高于非晶硅 TFT 两个数量级以上的迁移率, 以及较高的工作频率与良好的稳定性, 这完全依赖于多晶薄膜材料的结构有序化. 我们降低成本、简化流程的研究, 即是从高质量的晶化材料开始. 金属诱导晶化(MIC)比准分子激光退火

(ELA)设备投资低, 又无需后续昂贵而有毒(如 XeCl)工作气体的不断消耗; 加之, MIC 采用“批处理”工艺, 易于操作、产率高, 因此有利于降低成本, 是很有发展前途的薄膜多晶硅的制备方法之一. 另外我们选用化学法获得诱导金属源. 用化学方法获得的诱导 Ni 源^[3], 无需在真空条件下进行, 又多采用简单的旋涂法或浸沾法, 可免除物理气相沉积(PVD)需要真空、加热等繁琐、耗时、耗材等工艺, 故而是简单而成本低的技术^[4-5].

鉴于金属诱导横向晶化(MILC)或金属诱导单一方向晶化(MIUC)工艺, 都需要先在 $\alpha\text{-Si}$ 上的氧化硅内开诱导口, 以使金属源能和 $\alpha\text{-Si}$ 接触, 然后再在 500~590 °C 下进行数小时乃至十数小时的退火. 这种长时间的高温过程, 无论如何都会不同程度地引起衬底玻璃的形变, 而导致随后光刻工序中对版的困难. 简化流程的第二步, 即放弃现时最流行的 MILC 或 MIUC 法, 直接采用 MIC 大晶粒碟形多晶硅材料进行 TFT 的制作. 这样不仅省略一次光刻板, 更重要的是避免了长时间加热带来的后续光刻对版的困难, 有利于提高成品率. 显然这将对薄膜晶化材料的均匀性提出了很高的要求.

2 大晶粒碟型多晶硅薄膜材料

对于 poly-Si TFT, 为获得尽可能优良的器件性能, 要求尽可能大的晶粒尺寸. 图 1 是多晶硅 TFT 迁移率与晶粒尺寸的关系^[6]. 由图可见小晶粒尺寸下, 晶界散射为主, 迁移率低. 只有当晶粒尺寸

* 国家高技术研究发展计划(批准号: 2004AA303570)及国家自然科学基金(批准号: 60437030)资助项目

† 通信作者. Email: eemzg@ust.hk

大到微米量级以后,晶粒间界的影响才会逐渐消除.因此,对薄膜多晶硅材料的研究,大晶粒技术是主要方向之一.

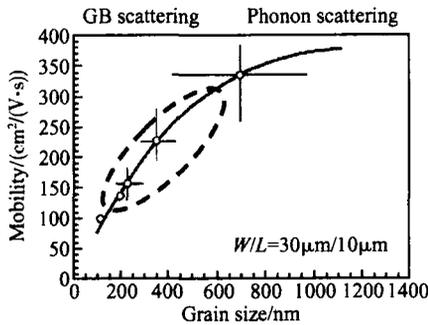


图 1 多晶硅 TFT 迁移率与晶粒尺寸关系

Fig. 1 Correlation of the TFT mobility and the grain size

对化学源 MIC,要想获得大晶粒,其关键是如何在晶化先驱物中形成分散的、数量有限的镍硅化物的晶核^[6].通过控制调节表面 Ni 源的制备方法,我们可以得到结构不同、晶粒大小不同的多晶硅薄膜,其结果如图 2 所示,该图显示我们可以获得最大尺寸达 400µm 的碟型晶粒的 poly-Si 薄膜.对这些材料掺杂特性的研究表明,我们得到 n 型材料的霍尔迁移率(μ_H)达到 46.5cm²/(V·s)的优质材料,其结果如图 3 所示.

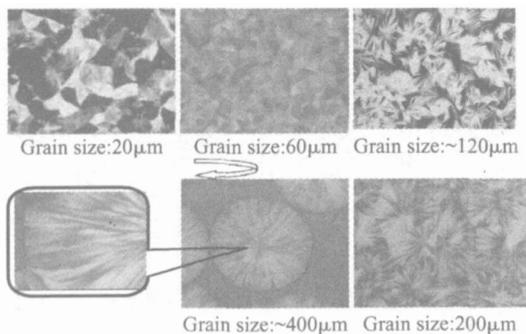


图 2 晶粒尺寸不同的多晶硅薄膜形貌图

Fig. 2 Morphology of the poly-Si thin films with different grain sizes

为了控制所获得 poly-Si 的均匀性,我们采用多种方法予以实现.已知,影响多晶硅特性的关键是晶粒尺寸大小与晶粒间界的作用.对晶粒大小,是通过晶化先驱物上 Ni 粘附条件的有效控制,以获得晶粒大小比较均匀的多晶硅材料;而对晶粒间界,我们则采用动态 Ni 吸除的办法,尽量消除晶界处 Ni 引入的缺陷态的影响(已申请美国发明专利和中国发明专利),这是因为从 MIC 晶化原理可知,Ni 主要存在于其晶化前峰,Ni 含量高的晶化前峰相互碰撞后容易形成较明显的对撞晶界^[6].除此之外,我们还

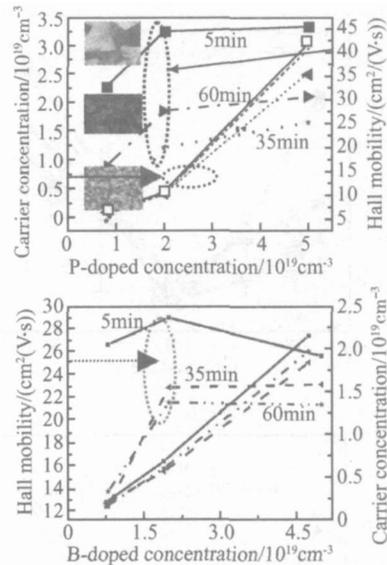


图 3 在不同工艺条件下获得的多晶硅薄膜 μ_H 及 n_o 与掺杂浓度关系

Fig. 3 μ_H and n_o of the poly-Si thin films as a function of the doped concentration under different fabrication conditions

通过器件结构的设计,例如最简单的双栅 TFT,经过检测晶粒间界的平均尺度和与 Ni 源涂敷方式的关系,总结出一系列规律,以选定双栅的间距.我们提出“用 TFT 器件设计去‘平均’掉晶粒影响”的概念来达到某些补偿的效果,并且这也正是我们拟建立器件设计原则的依据(其结果以后报道).有关 MIC 的多晶硅内残余 Ni,前述动态吸除过程,能有效予以消除.我们将在另文详述研究原理及其结果,此处仅给出 Ni 杂质吸除对改善 TFT 漏电特性的效果.图 4 是吸除后与其吸除前的 I-V 曲线的比较,除看到图 4(b)中的漏电电流明显降低之外,用 4 栅 TFT 的漏电流改善更佳.另外更为清晰的是,图 4(a)中漏电流的起伏(测量 100 个 TFT 的 I-V 曲线,用其漏电流分布差值范围来标记)非常明显,而图 4(b)的则小了很多.说明杂质的吸除,不仅改善了漏电流的大小,同时改善了均匀性,而 4 栅结构(图中的空心方块)的 TFT,较之单栅的 TFT(实心菱形),改善效果更为明显.

3 多晶硅 TFT 及其用于 AMOLED 选址矩阵基板

在上述优质多晶硅材料研究基础上,我们进行了简化流程的用于 125mm QVGA AMOLED 的 TFT 及其矩阵基板的研究.在简化流程方面,改多晶硅栅为金属栅,则可减少一次多晶硅的制备及光刻;另外,选用常规的两层铝 (Al) 金属互联工艺.

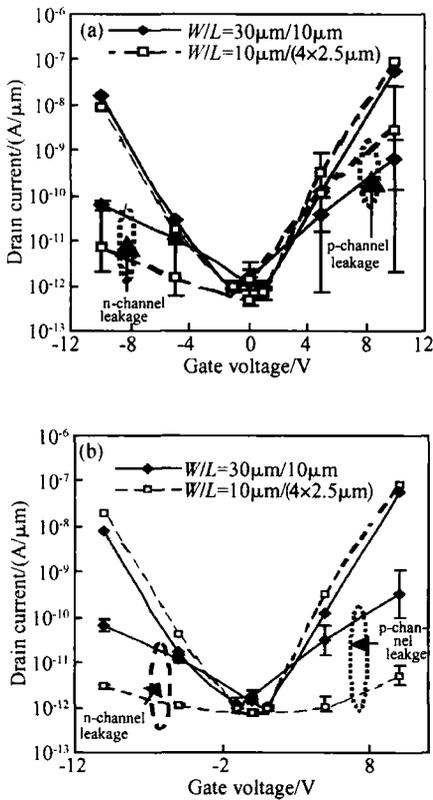


图 4 吸杂前(a)、后(b) I-V 特性的比较

Fig. 4 I-V characteristics before (a) and after (b) Ni gettering treatment

我们研制的 p 沟 TFT 的场效应迁移率为 $88\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 。2005 年 SID '05 国际会议上,由韩国 LG-PHILIPS 公司报道的 p 沟 TFT 的场效应迁移率为 $68\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ ^[7]。由此可见,我们研制的器件特性,完全可与国际著名公司的研究结果相比拟。

为驱动 OLED,我们采用顶栅的全 p 沟的双管 TFT 的像素电路结构。采用顶栅,可采用自对准工艺,能减小栅漏和栅源电极图形的重叠量,以减小寄生电容效应。全 p 沟的像素电路结构,又可减少两次注入所需的光刻与注磷工序。图 5 是双管像素电路图及其版图结构。每个像素尺寸为 $315\mu\text{m}\times 105\mu\text{m}\times 3$,开口率达 50%。寻址 TFT 选双栅 TFT,其 $W/L = 3\mu\text{m}/(5\mu\text{m}\times 2)$;驱动管为单栅 TFT,其 $W/L = 16\mu\text{m}/5\mu\text{m}$,储存电容用 0.3pF 。总结所用 TFT 与相应像素设计,可用 6 版工艺实现用于 OLED 驱动的 TFT 基板的制作。图 6 为其基板的版图,它为单边栅引线、分奇、偶列上下双边数据引线的结构。图 7 给出了具体工序流程,同时给出了与非晶硅 TFT 常规工艺的比较。由上述器件特性看出,经过不断改进之后的工序,不但将流程简化到可与非晶硅的流程相当,而且器件的特性与均匀性也得到了

改善。

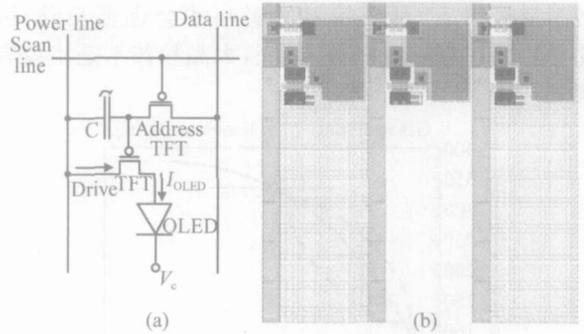


图 5 像素电路(a)和彩色子像素的版图(b)

Fig. 5 Pixel circuit (a) and its color pixel layout (b)

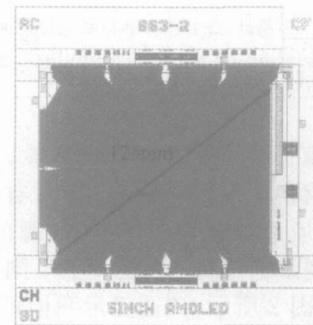


图 6 125mm QVGA 为 AM-OLED 的多晶硅 TFT 矩阵的版图

Fig. 6 Layout of 125mm QVGA poly-Si TFT array for AMOLED

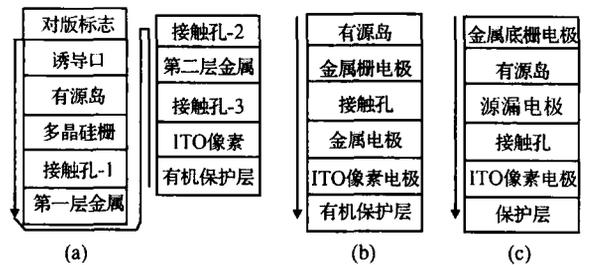


图 7 不同流程的比较 (a) 原流程;(b) 现流程;(c) 非晶硅 TFT 流程

Fig. 7 Comparison of different process (a) Original processing ;(b) Current processing ;(c) Processing of a-Si TFT

我们在香港科技大学常规微电子加工的工艺线上,在 150mm 玻璃衬底上,制备显示面积对角线 125mm 的选址矩阵(光刻掩模板的尺寸为 175mm),属于薄膜微电子器件的研制。为达到彩色 OLED 显示的目的,鉴于在国内难于在 125mm 上用“Shadow Mask”精确得到三基色 OLED,因此只有采用白光分色的彩色化技术路线,这给 TFT 基板又增加了难度,必须在 TFT 矩阵基板上分别进行三基色彩色滤色膜及其室温 ITO 阳极的制备。用

此技术制成的矩阵基板,与项目合作单位——信利半导体有限公司合作,进行矩阵基板上白光 OLED 的匹配研制,并与华中科技大学合作进行控制驱动显示的研究.为获得尽量好的显示效果,我们提出采用分场式的数字驱动方式,以期能够在一定程度上避开多晶硅 TFT 一些由 V_{th} 或 μ_{eff} 不均匀引起的影响,研制出的具有动态显示功能的 125mm 彩色 QVGA poly-Si TFT AMOLED 显示模块,显示效果如图 8 所示。(由于本刊所有图示均为黑白灰度,因此图 8 无法显示出其彩色效果。)

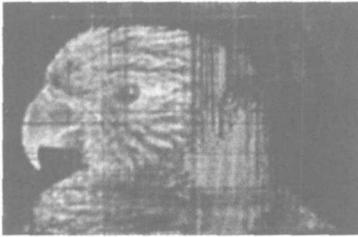


图 8 对角线为 125mm,用多晶硅 TFT 选址矩阵驱动显示的 AMOLED 模块上显示的图像

Fig. 8 photography of 125mm AMOLED display module driven by poly-Si TFT active-matrix

4 结语

介绍了用化学法的 Ni 诱导源,金属诱导晶化制备出大晶粒碟型多晶硅的研究.用此材料,结合动态杂质吸除以及双栅 TFT 结构,获得了漏电流低、特性较为均匀的多晶硅 TFT.通过废除开诱导口,改多晶硅栅为金属栅,采用全 p 沟像素电路(省却 n 型掺杂工序)以及顶栅结构,用 6 道工序即可完成以前需要 11 道工序才能完成的矩阵制作,首次在国内获得了尺寸为 125mm QVGA 格式的多晶硅 TFT AMOLED 矩阵基板.而且器件性能还可与近期国际水平相当.通过与项目合作单位(信利半导体有限

公司和华中科技大学)的合作得到的显示屏模块,具有良好的动态显示功能.

致谢 衷心感谢 863 项目合作单位——信利半导体有限公司的苏初邦、谢凡、王东岳等高级工程师协同配合,为本文所显示的 125mm 多晶硅 TFT 有源选址基板上蒸镀白光 OLED;衷心感谢 863 合作单位——华中科技大学尹盛副教授为 AMOLED 模块制作外围控制电路,使动态显示得以成功.

参考文献

- [1] Wu Chunya, Meng Zhiguo, Li Juan, et al. Display driving circuits made with miuc poly-Si TFTs on glass substrate. Acta Electronica Sinica, 2005, 33(8): 1349 (in Chinese) [吴春亚, 孟志国, 李娟, 等. 玻璃衬底上 MIUC Poly-Si TFT 显示驱动电路. 电子学报, 2005, 33(8): 1349]
- [2] Liu Chuanzhen, Yang Bailiang, Yuan Jianfeng, et al. Preparation and characterization of poly-crystalline Si films obtained by metal induced crystallization at low temperature. Chinese Journal of Semiconductors, 2001, 22(1): 61 (in Chinese) [刘传珍, 杨柏梁, 袁剑峰, 等. 金属诱导法低温多晶硅薄膜的制备与研究. 半导体学报, 2001, 22(1): 61]
- [3] Zhao Shuyun, Wu Chunya, Li Juan, et al. The research on metal induced crystallization with chemical source. Acta Physica Sinica, 2006, 55(2): 825 (in Chinese) [赵淑云, 吴春亚, 李娟, 等. 化学源金属诱导多晶硅研究. 物理学报, 2006, 55(2): 825]
- [4] Jin Zhonghe. Comparison study of metal induced lateral crystallized and solid-phase crystallized polycrystalline silicon thin film transistors with different channel thickness. Jpn J Appl Phys, 2001, 40: 6325
- [5] Chen Y C, Wu Y C S, Chao C W, et al. Electroless plating Ni induced crystallization of amorphous silicon thin films. Jpn J Appl Phys, 2001, 40: 5244
- [6] Kim J C, Choi J H, Kim S S, et al. Stable polycrystalline silicon TFT With MICC. IEEE Electron Device Lett, 2004, 25(4): 182
- [7] Park Y I, Lee D Y, Yoo J S, et al. LTPS PMOS four-mask process for AMOLED. SID Digest, 2005: 361

Fabrication of a 125mm Poly-Si TFT Active-Matrix Driving Color AMOLED*

Meng Zhiguo^{1,†}, Kwok Hoising², Wu Chunya¹, Wong Man², and Xiong Shaozhen¹

(1 *Key Laboratory of Opto-Electronic Information Science and Technology of the Ministry of Education, Tianjin Key Laboratory for Photoelectronic Thin Film Devices and Technology, Institute of Photoelectronic Thin Film Devices and Technology, College of Information, Nankai University, Tianjin 300071, China*)

(2 *Department of Electrical & Electronic Engineering, Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, China*)

Abstract: Disk-like large grain poly-si is formed using solution-based MIC (metal-induced crystallization). A Ni gettering treatment technique is adopted to improve the poly-Si material quality. Using this poly-Si material as the active layer, the leakage and uniformity characteristics of TFTs are improved. Additionally, the pixel circuit and their layout of the two TFTs are demonstrated. Adopting a 6 μ m mask process similar to that of the normal a-si TFT AMLCD product line, 125mm QVGA poly-si TFT active matrix panels for OLED are fabricated. A 125mm QVGA AMOLED panel, which can display color video image, is implemented using the active matrix panel.

Key words: large grain size; disk-like poly-Si; TFT; OLED pixel circuit; active-matrix

PACC: 7360; 7360F; 7360L

Article ID: 0253-4177(2006)08-1514-05

*Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China (No. 2004AA33570) and the National Natural Science Foundation of China (No. 60437030)

†Corresponding author. Email: eemzg@ust.hk

Received 10 May 2006

©2006 Chinese Institute of Electronics