

文章编号: 1007-2780(2002)05-0323-08

高性能金属诱导单向横向晶化多晶硅 薄膜晶体管技术和应用

王 文, 孟志国, 郭海成

(香港科技大学 电机电子工程系, 香港 九龙, E-mail: eemwong @ee.ust.hk)

摘 要: 低温金属单向诱导横向晶化多晶硅薄膜晶体管技术与常规的固相晶化多晶硅薄膜晶体管相比, 制作工艺简单, 而且提高了场效应迁移率和漏极击穿电压, 降低了漏电电流, 改进了器件参数空间分布的均匀性。我们使用金属单向诱导横向晶化多晶硅薄膜晶体管技术, 成功地制作了有源矩阵液晶显示器和有源矩阵有机发光二极管显示器。

关 键 词: 金属诱导横向晶化; 多晶硅薄膜晶体管; 有源平板显示器
中图分类号: TN141; TN321.5 **文献标识码:** A

1 引 言

便携式计算机具有很大的市场, 薄而轻且低功耗的平板显示器是便携式计算机中不可缺少的。随着显示器解析度的不断增加, 选址方式也从无源矩阵 (PM: passive matrix) 向有源矩阵 (AM: active matrix) 发展。生产低成本的 AM 显示器需要在较廉价的玻璃衬底上制作低温薄膜晶体管 (TFT: thin-film transistor) 的技术。例如, 非晶硅氢合金 (α -Si:H) TFT 技术已经在 AM 液晶显示器中得到广泛的应用。但是, α -Si:H TFT 场效应迁移率 (μ_{FE}) 很低, 仅可作为电压驱动型显示器矩阵基板的选址器件。显然, 具有高 μ_{FE} 、低漏电的低温多晶硅 TFT 技术是制备电流驱动型 AM 和将驱动电路与 AM 集成在同一衬底的系统集成模块 (SoP: system on panel) 所急需的。

现在, 可以通过固相晶化 (SPC: solid-phase crystallization)、准分子激光晶化 (ELC: excimer laser crystallization) 和金属诱导横向晶化 (MILC: metal-induced lateral crystallization) 等多种技术途径获得大晶粒的多晶硅材料。ELC 可以说是低温制备技术, 而且用 ELC 可制备出低缺陷密度的多晶硅材料。可是 ELC TFT 技术的设备昂贵, 制备过程复杂, 而且器件的均匀性不十分理想。常规的 SPC TFT 确实是低成本技术, 但是其缺陷密度高, 而且晶化温度约为 600 $^{\circ}$ C, 对玻璃衬底来说制备温度偏高。使用 MILC 技术^[1], 在 500 $^{\circ}$ C 的温度下所制成的双向晶化的 MILC 沟道和自对准金属诱导 (MIC: metal-induced crystallization) 源漏区的 TFT 已见报道^[2]。这种技术适合于大面积的微电子产品。这种 TFT 的特性参数明显优于常规的 SPC TFT。但是这种器件的缺点是易于

收稿日期: 2002-06-25; 修订日期: 2002-08-14

击穿且漏电较大。产生问题的主要原因是沟道两端存在的 MIC 多晶硅与 MILC 多晶硅界面处和沟道中 MILC 多晶硅与 MILC 多晶硅相接处所形成的横向晶界^[2]。

这里我们提出一种叫做金属诱导单向横向晶化 (MIUC: metal-induced unilateral crystallization) 的 TFT 技术^[3]。MIUC TFT 技术将所有的横向晶界从沟道中去除掉。与通常的双向晶化的 MILC TFT 相比,MIUC TFT 的电子和空穴的 μ_{FE} 有所提高,降低了漏电电流,提高了漏结的击穿电压,同时也改善了器件参数的均匀性。所有这些优势使得 MIUC TFT 技术特别适合于在大面积衬底上制备全集成型 SoP 显示器^[4]。

2 器件的设计与制作过程

低温 MIUC TFT 的制备流程可总览于图 1 中。

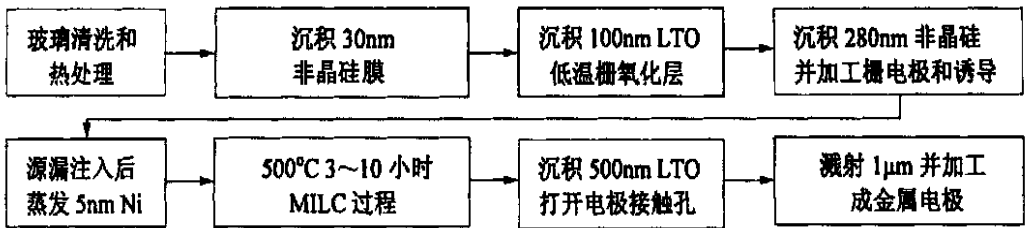


图 1 MIUC TFT 器件制备流程图

Fig. 1 Main fabrication steps of MIUC TFTs

在器件制作过程中,首先选用经过退火的 100mm Corning 1737 玻璃基片,并沉积 800nm 的低温氧化硅(LTO: low temperature oxide)作为本底层用以阻挡玻璃中杂质。之后沉积 30nm 本征的非晶硅膜并加工成有源区图形,100nm LTO 栅绝缘、300nm 低压化学汽相沉积(LPCVD: low pressure chemical vapor deposition)非晶硅膜覆盖其上,加工成栅电极图形。之后,在有源一端位置加工出诱导口(图 2),电子束蒸发 5nm 金属镍(Ni)后,并在 500 氮气气氛下 10h 来完成非晶硅有源以及栅的晶化过程。平均横向晶化的长度为 $40\mu\text{m}$ 。用 120 硫酸和过氧化氢混合液清除残余的 Ni。并以 40keV 能量, $4 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 的剂量完成 P 型 TFT 栅、源、漏区注入并在 500 氮气下 3h 完成掺杂杂质的活化过程。最后,沉积 500nm 的 LTO,打开电极接触孔,溅射 500nm 铝(1%)-硅合金层并加工成相应的金属电极线。在 400 氮氢气体中完成电极的合金化热处理,其时间为 30min。低温 MIUC TFT 不需要做氢化处理即可获得良好性能。

由于制作低温 MIUC TFT 使用了 30nm 的超薄沟道层技术,从而获得了有利于提高器件驱动能力和栅控能力的低阈值电压 (V_{th})。研究中发现,这一现象在 P 型 MIUC TFT 中尤为明显,当沟道层厚度从 100nm 减到 30nm,其 V_{th} 从 -16.8V 下降到 -4.5V, 亚幅摆 (S) 从 1.5 V/decade 下降到 1 V/decade。使用超薄沟道层的另一个好处是降低器件的光伏生电流(图 3)。这样在有源矩阵中就可以不使用挡光的黑矩阵,从而简化有源矩阵的制作过程。

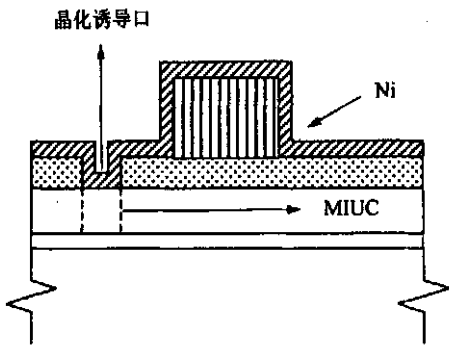


图 2 Ni 晶化诱导口和 MIUC 方向的剖面示意图
Fig. 2 Cross-section of Ni-window and the direction of MIUC

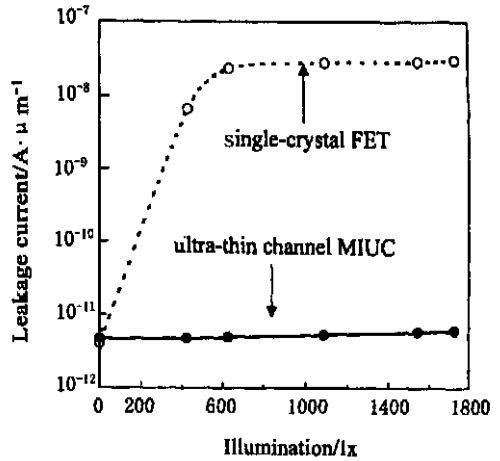


图 3 单晶场效应晶体管 and 超薄沟道 MIUC TFT 漏电流和光照度的关系

Fig. 3 Dependence of leakage current on illumination of single-crystal field-effect transistor and ultra-thin TFT

使用超薄沟道技术可能带来的缺点是源漏串连电阻较大。这一问题已通过增加源、漏层厚度得到解决(图 4)。但这一技术的缺点是会增加一个光刻版。由于金属纵向诱导(MIC)多晶硅的方块电阻较大,矩阵中的长栅电极使用金属与 MIC 多晶硅双层导线结构^[3]来降低栅信号延迟效应。

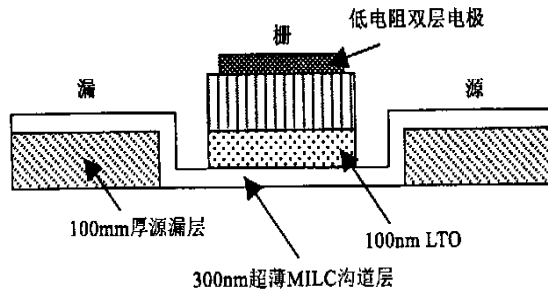


图 4 超薄沟道和厚源、漏层的 MIUC TFT 示意图

Fig. 4 Schematic of an ultra-thin channel MIUC TFT with thick source and drain regions

3 器件特性分析

在 N 型和 P 型的低温 MIUC TFT 中, μ_{FE} 典型值均超过 $100\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, 与非晶硅 TFT 相比, 其 μ_{FE} 值增加了 2 个数量级。我们确实获得了高性能的低温 TFT 技术(表 1)。

图 5 所示的是 MIUC TFT 和常规的双向晶化的 MILC TFT 在不同的漏极电压下 (V_d), 漏极电流 (I_d) 随栅电压 (V_g) 变化的转移特性曲线。从曲线中可以看到, 在任何的 V_d 下, 无论是 N 型还是 P 型的 MIUC TFT 的开态电流 (I_{on}) (定义为最大开态栅压下

的 I_d 都高于 MILC TFT 的 I_{on} 。 I_{on} 的提高有赖于 V_{th} 的降低和 μ_{FE} 的增加。

表 1 30nm 沟道厚度 ($W/L = 10/5$) 的 N 和 P 型 MIUC TFT 器件参数

性能参数	N 型	P 型
$\mu_{EF}(\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s})$	120	108
$V_{th}(\text{V}) \mid V_d = 5\text{V}$	3.2	- 4.5
$S(\text{V}/\text{decade})$	1.1	1.0
$V_{bd}(\text{V})$	20.4	- 55.3
$I_{off}(\text{pA}/\mu\text{m}) \mid V_d = 5\text{V}$	4.8	3.2
$I_{on}(\mu\text{A}/\mu\text{m}) \mid V_d = 5\text{V}$	33.2	32.8

从前期的研究可知, TFT 漏结和 MIC/MILC 晶界的重叠是通常结构的 MILC TFT 高漏电的主要原因^[2]。如图 5 所示, 使用 MIUC TFT 技术, 去掉了沟道中的横向晶界, TFT 的漏电流被明显地降低了。无论是 N 型还是 P 型器件, 在 V_d 绝对值为 5V 的情况下, MIUC TFT 的漏电流比 MILC TFT 的漏电流小 2 个数量级。这样性能优良的 TFT 即可用于有源矩阵中, 同时可制备外围驱动电路, 从而完成平板显示器的 SoP 技术。

MIUC TFT 与 MILC TFT 相比, 不仅明显地降低了漏电流, 而且也明显地改善了器件的均匀性。图 6 所示的是 N 型和 P 型器件的 I_{on} 和 I_{off} 的静态分布曲线。器件分布在 整个 10cm 的玻璃衬底上。对于 MILC TFT 来讲, I_{on} 的分布均匀性明显好于 I_{off} 的分布状况。同样尺寸的 MILC TFT 其 I_{off} 的差异超过 2 个数量级。而 MIUC TFT, 其 I_{on} 保持了均匀分布, 同样尺寸的 MIUC TFT 其 I_{off} 的差异不超过 1 个数量级。

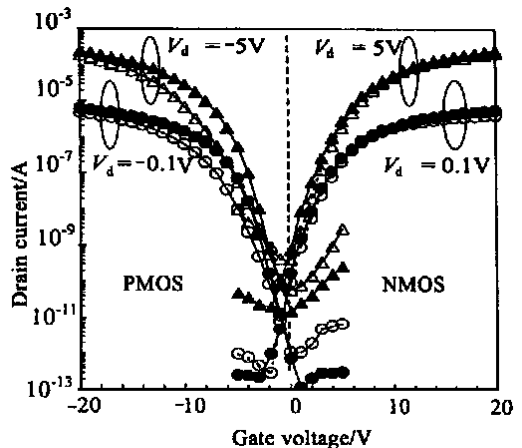


图 5 $W/L = 10/5\mu\text{m}$ 的 N 和 P 型 MIUC、MILC TFT 的转移特性曲线。实线符合代表 MIUC TFT, 虚线符合代表 MILC TFT。

Fig. 5 I_d dependence on V_g for N- and P-type MIUC and MILC devices with $W/L = 10/5\mu\text{m}$. The solid and hollow symbols represent measured data for MIUC and MILC TFTs, respectively.

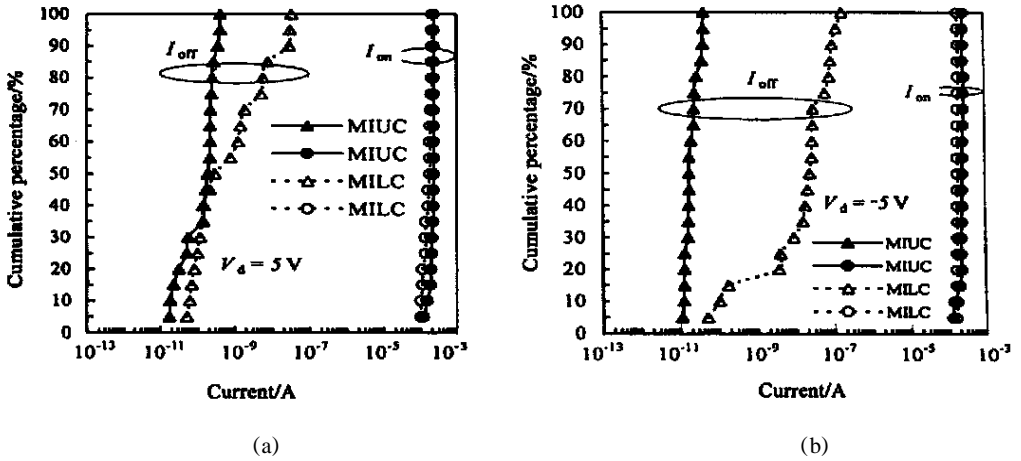


图 6 $W/L = 10/5 \mu\text{m}$, (a) N型和 (b) P型 MIUC 和 MILC TFT 的 I_{on} 和 I_{lk} 的静态分布曲线
 Fig. 6 Statistical distribution of I_{on} and I_{off} for (a) N-type and (b) P-type MIUC and MILC TFTs with $W/L = 10/5 \mu\text{m}$

4 栅控型轻掺杂漏区结构的 MIUC TFT

MIUC TFT 的 I_{off} 在 V_d 小于 5V 的情况下,可以满足 AM 显示器中的寻址器件的要求。但当 V_d 较大时,漏电流 I_{off} 随关态 V_g 的增加而迅速增加。这就是通常所说的栅诱导漏极漏电 (GIDL: gate-induced drain leakage) 现象。降低 GIDL 最有效的方法是在栅边缘下的沟道处做轻掺杂的漏区 (LDD: lightly doped drain)。但是,在 TFT 中使用常规的 LDD 机构,会产生大的寄生源漏电阻,这将导致 I_{on} 的下降。现在所提出的 LDD 结构是在多晶硅栅侧壁层的下面形成 LDD 区^[5],这种情况下,栅电压可以调控 LDD 区的电

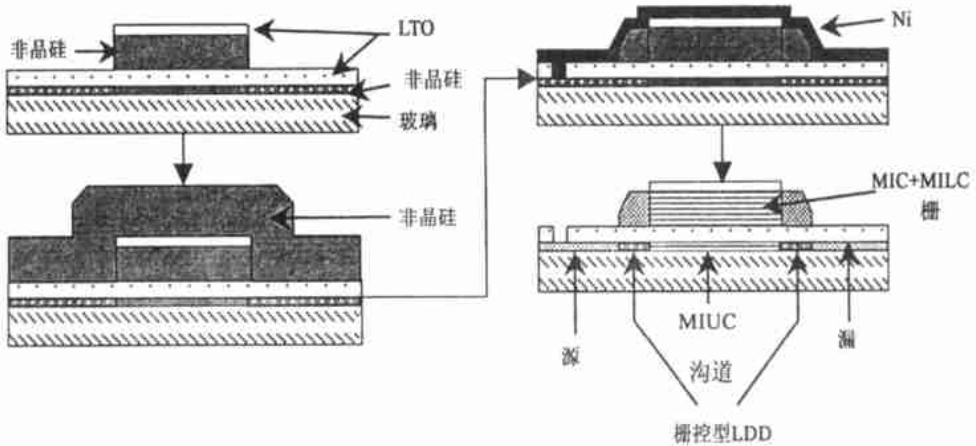


图 7 具有栅控型 LDD 结构的 MIUC TFT 的形成过程示意图

Fig. 7 Cross-section showing the evolution of the device structure during the realization of an MIUC TFT with gamo-LDD

阻。图7是栅控型 (gamo : gate modulated) LDD MIUC TFT 形成过程的示意图。首先制备好顶上盖有 LTO 的非晶硅栅,而后做 LDD 的轻掺杂注入。沉积 500nm 的非晶硅层,并加工出非晶硅侧壁层。金属沉积到诱导层中,接下来完成晶化、源漏注入和掺杂物活化等过程。

图 8 所示的是栅控型 LDD MIUC TFT 和没有 LDD 结构 TFT 的转移特性曲线。从曲线中可以看到,没有 LDD 结构的 TFT 中,其 I_{off} 随关态 V_g 的增加按指数增加,而在栅控型 LDD MIUC TFT 中,关态 V_g 对 I_{off} 的影响已经很弱。栅控型 LDD 结构使 TFT 保持了高的 I_{on} 又控制了 TFT 中的 GIDL。

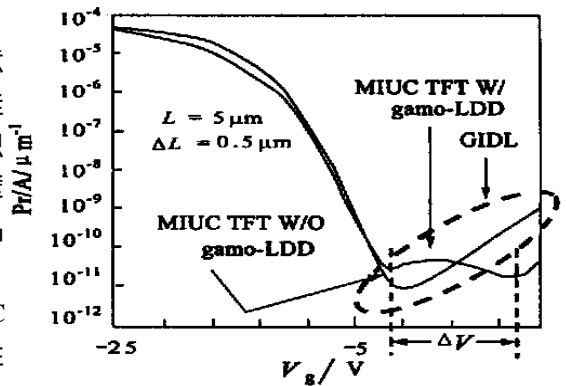


图 8 具有栅控型 LDD 结构和没有 LDD 结构的 MIUC TFT 的转移特性曲线

Fig. 8 Transfer characteristics of MIUC TFT fabricated with and without gamo-LDD

5 MIUC TFT 有源矩阵平板显示器

我们已经将 MIUC TFT 技术成功地应用于有源矩阵反射式液晶显示器^[6]和有源矩阵有机发光二极管显示器^[5]。160 ×120 像素 6.6cm 的反射式液晶显示器的对比度达到 10 1。不仅没有鬼影,更具有驱动电压低、图像视角宽等优点。80 ×120 驱动像素 6.6cm 的有源矩阵有机发光二极管显示器的平均亮度为 50cd/m²。具有超宽视角、自发光和快速响应的特点。以上两种显示器均为低功耗显示器。适合做移动式可视电话,掌上电脑的图像显示器。图 9 是其相应的显示图像。



(a)



(b)

图 9 使用 MIUC TFT 有源矩阵制备的 (a)液晶和 (b)有机发光二极管显示器的单色显示图像

Fig. 9 Typical images captured from the monochrome active matrix (a) LC and (b) OLED displays

6 结 论

本文所展示的是以金属诱导非晶硅单向横向晶化为基础的一种低温多晶硅薄膜晶体管技术。该种器件的良好性能可满足制备液晶和有机发光二极管平板显示器有源矩阵的要求。

致 谢:此项研究得到了香港 Research Grants Council 的资助。金中和博士, G. A. Bhat 博士和王明湘博士在香港科技大学学习和工作期间,在金属诱导晶化多晶硅材料和器件研究中做过大量的工作,对此表示衷心的感谢。

参 考 文 献:

- [1] Jin Z, Bhat GA, Yeung M, *et al.* Nickel induced crystallization of amorphous silicon thin films[J]. *Journal of Applied Physics*, 1997, 44 (11) :958-1964.
- [2] Wong M, Jin Z, Bhat GA, *et al.* Characterization of the MIC/MILC interface and its effects on the performance of MILC thin film transistors[J]. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 2000, 47(5) :1061-1067.
- [3] Meng Z, Wang M, Wong M. High performance offset metal-induced unilaterally crystallized polycrystalline silicon thin film transistors for system-on-panel applications[J]. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 2000, 47(2) : 404-409.
- [4] Meng Z, Wang M, Kwok H S, *et al.* Re-crystallized metal-induced laterally crystallized polycrystalline silicon for system-on-panel applications [A]. *Digest of Technical Papers. 2000 International Symposium of the Society for Information Display* [C]. 2000, 380-383.
- [5] Meng Z, Ma T, Wong M. Suppression of leakage current in low-temperature metal-induced unilaterally crystallized polycrystalline silicon thin-film transistor using an improved process sequence and a gate-modulated lightly-doped drain structure[A]. *Technical Digest of the IEEE International Electron Devices Meeting* [C]. USA, Washington D. C., 2001, 755-758.
- [6] Meng Z, Li C, Kwok H S, *et al.* Application of re-crystallized metal-induced unilaterally crystallized polycrystalline silicon thin-film transistor technology to reflective liquid-crystal display [J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2001, 9(4) :319-323.

High Performance Metal-induced Unilaterally Crystallized Polycrystalline Silicon Thin-film Transistors : Technology and Applications

WANG Wen , MENG Zhi-guo , GUO Hai-cheng

(*Department of Electrical and Electronic Engineering, Hongkong University of Science and Technology, Hongkong, e-mail: eemwong @ee. ust. hk*)

Abstract

Low-temperature metal-induced unilaterally crystallized polycrystalline silicon thin-film transistors (TFTs) have been developed and characterized. These TFTs are better than their solid-phase crystallized counterparts in many process and device performance measures, such as shorter and simpler process flow, higher field-effect mobility, reduced leakage current, better immunity to early drain breakdown and much improved spatial uniformity of device parameters. They have been used to realize active matrices for liquid-crystal and organic light-emitting diode flat-panel displays.

Key words: metal-induced laterally crystallization; poly-Si thin-film transistor; flat-panel displays

作者简介:王文(1959 -),男,北京人。1979 至 1984 年期间,在美国麻省理工学院(Massachusetts Institute of Technology)学习,并获得电气工程学士、硕士学位。1985 至 1988 年在斯坦福大学(Stanford University)系统集成中心从事钨栅 MOS 技术的研究工作,并获得电气工程博士学位。毕业后,在美国德州仪器公司(Texas Instruments, Inc.) 半导体工程和设计中心从事 IC 金属系统技术开发和建立器件模型等工作,并开发干、湿清洗技术。1992 年应聘来香港科技大学电机电子工程系担任教师工作。主要从事器件制备技术、新型器件和材料、薄膜晶体管、有机发光二极管、显示和微机械技术的研究工作。