

文章编号:1007-2780(2009)03-0350-06

硅基液晶显示器液晶盒贴合工艺研究

代永平,宋丹娜,刘艳艳

(南开大学 光电子薄膜器件与技术研究所;天津市光电子薄膜器件与技术重点实验室;
光电信息技术科学教育部重点实验室(南开大学),天津 300071, E-mail: daiyp@nankai. edu. cn)

摘 要: 研究制备了 LCOS 显示器,重点研究了 LCOS 液晶屏的贴合工艺,基于实际测量数据给出了获得所需液晶盒厚度与施加在基板上的压力关系曲线,并展示出实际 LCOS 液晶盒厚截面的扫描电镜照片。

关 键 词: 硅基液晶;贴合工艺;盒厚;对位标志
中图分类号: O753. 2 **文献标识码:** A

1 引 言

近年来,随着快速响应扭曲向列相液晶和优质铁电液晶材料的问世,用硅基液晶(Liquid Crystal on Silicon, LCOS)技术制作高分辨率光阀的方法逐渐在平板显示界占有一席之地^[1-3]。LCOS 作为新型显示器件具有屏幕大、亮度高、分辨率高和节能省电等诸多优势,其应用前景被消费者和业内人士广为看好。LCOS 显示器将是 HDTV 显示技术发展的主要方向之一,市场潜力无限。

LCOS 显示芯片是大屏幕投影显示系统的核心,本文所设计的用于三片式彩色投影机的 LCOS 显示芯片采用中芯国际(上海)0. 35 μm -4 层金属-双电源 CMOS 工艺设计和制作,空间分辨率为 SVGA (804 $\times$ 604 像素)。

LCOS 屏的制造工序大致可分为 4 段^[4]:

(1)LCOS 硅基晶圆制备。虽然这个阶段属于 CMOS 芯片制备过程,即把各种视频信号处理电路,包括扫描驱动、时钟电路、存储器等周边驱动电路和寻址开关矩阵制造在同一块硅芯片上,但 LCOS 芯片仍有别于普通集成电路芯片,实际上需要具备良好的光学特性,故在工艺后区增加了特别的 CMP 整平工艺和顶层金属镜面化等工艺,而减少了传统 IC 制备后端需要进行的钝化层生长与刻蚀等工艺。

(2) ITO 导电玻璃的制备。通常使用 0. 7 mm 或 1. 1 mm 厚度的浮法玻璃基板,采用溅射工艺在玻璃基板上沉积一层 ITO 透明导电薄膜,导电玻璃的方块电阻随 ITO 薄膜厚度的增加而减小,但光透过率也随薄膜厚度的增加而下降。

(3)LCOS 硅基晶圆与 ITO 玻璃基板贴合制备 LCOS 液晶盒。

(4)灌注液晶形成 LCOS 液晶屏并封装成微型显示器。

其中后两段制造工序统称封盒工艺。本文对 LCOS 液晶屏的贴合工艺进行了研究,给出了液晶盒厚度控制的数学估算公式以及实际测量数据和扫描电镜照片,在本文研究工作的基础上自主研发了 LCOS 显示器,显示效果良好。

2 LCOS 的封盒工艺流程

LCOS 封盒工艺涉及多道工序,主要可分为前后两部分:晶圆级制盒工艺段和芯片级制屏工艺段,其主要工艺流程如图 1 所示。实际上,LCOS 封盒工艺始于 LCOS 硅基晶圆制备工艺之后。通常采用 CMOS 工艺在 150 mm(6 in) 或 200 mm(8 in) 的硅晶圆上制备 LCOS 硅基底。因各类 LCOS 芯片的尺寸不同,每片晶圆上可制造的 LCOS 芯片数目不等。

在制盒工艺阶段,LCOS 硅基晶圆和 ITO 玻璃基板首先都要经过清洗、涂覆液晶取向剂及实

施取向等工艺。接下来密封胶圈既可以布局在 LCOS 硅基晶圆上,也可以涂覆在 ITO 玻璃基板上。考虑到所研制的 LCOS 硅晶圆没有覆盖保护性钝化层,为了降低对芯片的损伤,选择在 ITO 玻璃基板上布局密封胶圈。

接下来使用专制的贴合压力机按照对准标志将 ITO 玻璃基板与 LCOS 硅基晶圆粘合,然后利用真空设备向液晶盒内灌注液晶材料,最后封堵灌注口。

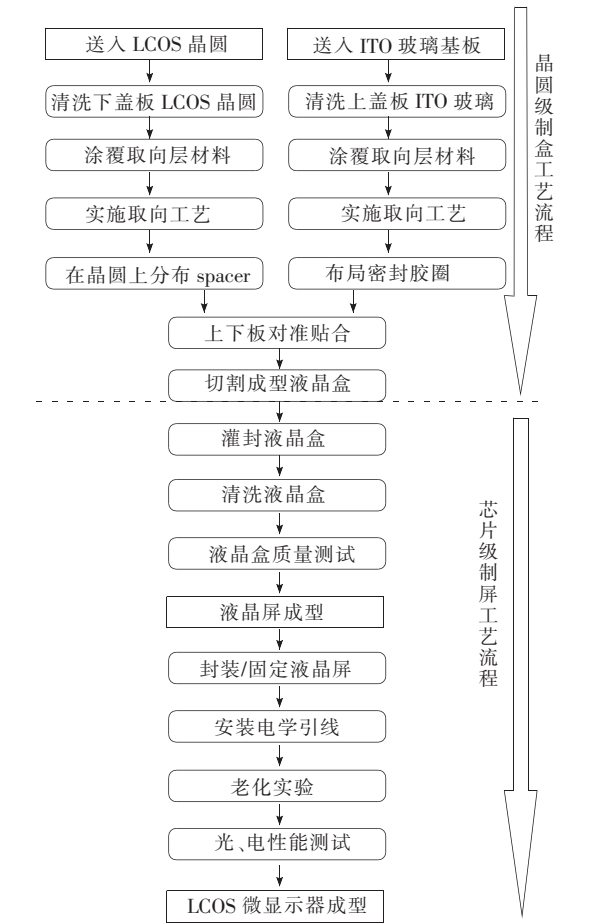


图 1 晶圆级制盒工艺与芯片级制屏工艺流程图

Fig. 1 Flow chart of wafer-scale cell processing and die-scale display processing

3 LCOS 液晶盒的制备

本文所设计的液晶盒间隙(厚度)为 $(3.0 \pm 0.3) \mu\text{m}$ 。为了得到均匀的间隙尺寸,采用 $(3.00 \pm 0.02) \mu\text{m}$ 的玻璃球作为衬垫(Spacer),合适数量的衬垫球经均匀喷撒后可以使液晶盒保持所需要的盒厚。

3.1 贴合区尺寸设计

所采用的 LCOS 芯片的单元截距为 $12 \mu\text{m}$,显示区设计为 804×604 (SVGA) 的像素矩阵,则 LCOS 微显示器的有效显示面积约为: $7.3 \text{ mm} \times 9.7 \text{ mm}$ 。列数据驱动器长约 3.0 mm ,行扫描驱动器长约 0.8 mm 。密封胶线的宽度设计为 1.5 mm ,显示区距离胶线边缘应大于 0.1 mm 。另一方面,上玻璃板与下显示芯片贴合时,在左右方向错开 1.6 mm 的区域,使得 LCOS 芯片上的焊盘和上盖板的 ITO 电极能够同时连接出来。另外,每个显示芯片还设计了 0.25 mm 的宽度用于分割芯片时的刀具空间。总之,需要在显示矩阵之外预留封装区和分割区,同时,可把周边驱动电路布置在封装区。最后,如图 2 所示,整个 LCOS 芯片尺寸为: $15.0 \text{ mm} \times 14.0 \text{ mm}$,对角线约 2 mm (0.8 in)。按照下面的毛芯片数计算公式^[5]:

$$N_{\text{chip}} = \frac{\pi \left(\frac{D}{2} - \sqrt{A} \right)^2}{A} \tag{1}$$

对于 200 mm (8 in) 晶圆: 晶圆直径 $D = 200 \text{ mm}$, LCOS 芯片面积 $A = 15 \text{ mm} \times 14 \text{ mm}$ 。

可以计算出在 200 mm 晶圆上最多可制作 109 个 LCOS 芯片,这个结果与 16M 的 DRAM 相当^[1]。图 3 是半导体芯片生产商(中芯国际)给出的实际流片有效芯片分布,其中每个芯片单元包含两块 LCOS 芯片,结果是在 200 mm 晶圆上共有 104 个 LCOS 芯片有效。

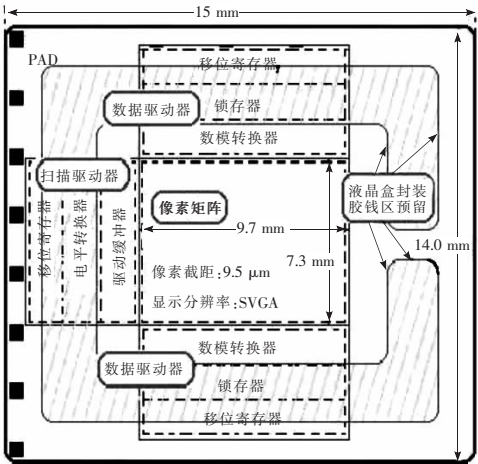


图 2 LCOS 芯片封盒布局示意

Fig. 2 Package-layout for LCOS

3.2 液晶盒贴合

在制备液晶盒之前,清洗是非常重要的工序。

实验中采用丙酮等有机溶剂清洗 LCOS 芯片晶圆和作上盖板之用的 ITO 玻璃。经过干燥处理后,使用绘胶机(Ohmcraft-400 型)把环氧树脂耦合胶绘涂在上盖板的 ITO 一侧。用于绘胶的针孔直径为 $100\text{ }\mu\text{m}$,针头移动速度约 5 mm/s ,涂在玻璃上的胶线由于表面张力作用展开呈 $W=(150\pm25)\text{ }\mu\text{m}$ 宽, $H=(25\pm5)\text{ }\mu\text{m}$ 厚,整个胶圈总线约长 $L=50\text{ mm}$ 。

接着进行“前烘”工艺,在烘箱内烘烤上盖板 5 min ,烘箱温度为 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$,这样可以保证在常温常压下胶膜保持现有形状。预先将玻璃球[直径 $(3.00\pm0.02)\text{ }\mu\text{m}$]分散在异丙醇有机溶剂里,然后向 LCOS 芯片晶圆喷洒该混合液。在常温常压下异丙醇是很容易挥发的有机物,待其充分挥发后,玻璃球就留在晶圆上充当液晶盒间隙衬垫。

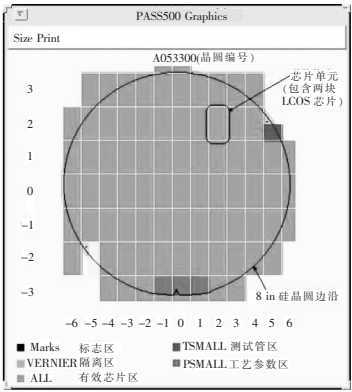


图 3 在 200 mm (8 in)晶圆上的有效 LCOS 芯片分布
Fig. 3 Effective distribution for LCOS dies in an 200 mm (8 in)wafer

在 LCOS 晶圆上不但有芯片单元图形的内容还有生产过程中一些必要的加工标记,主要包括上、下两张版重合时的对位标识(如图 4 所示)、光刻上版时的对位标记、上下基板贴合时的对位标识以及液晶盒分割时的切割标记等。

利用如图 4 所示预先设计好的“对板标记”,将 ITO 玻璃基板与 LCOS 硅晶圆对好位,加以预先设计的压力(70 kPa),经过 14 min 后就形成所需间隙 $(3.0\pm0.3)\text{ }\mu\text{m}$ 的液晶盒。整个成盒工艺在图 5 所示的压合机内完成。

考虑到批量生产时,成盒时间直接影响着生产速度,在改变不同的压力值情形下,测量了盒厚接近 $(3.0\pm0.3)\text{ mm}$ 所需要的时间(如表 1 所示),并绘制出图 6 所示的折线图,可以看到所施

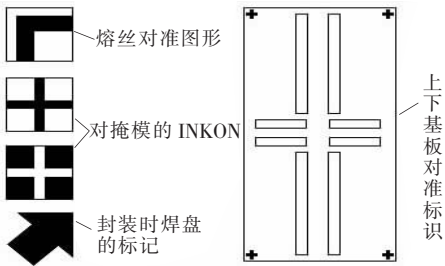


图 4 LCOS 硅晶圆上的主要对位标识
Fig. 4 Marks for aligning at the LCOS wafer

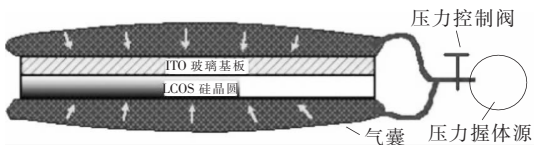


图 5 贴合工艺用压力气囊示意图
Fig. 5 Pressurized gas bag for lamination assembly

表 1 压力与成盒时间测量数据
Table 1 Testing data for pressure vs. time

压力 (kPa)	时间 (min)
40	30
70	14
100	9
130	8

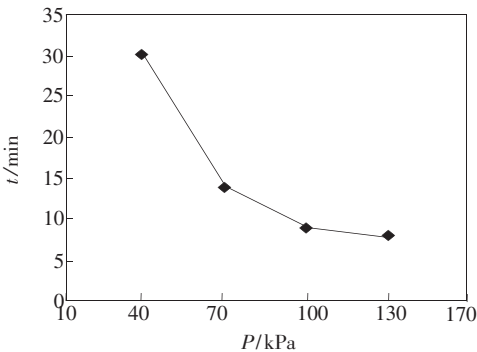


图 6 压力与成盒时间关系曲线
Fig. 6 Curves for pressure vs. time

压力与成盒时间呈反比的非线性关系。在参考相关文献及实验分析的基础上^[6,7],把挤压贴合胶工艺抽象为两个理想刚性面之间流体形变过程,给出了一个简并的数学模型来描述盒后与压力及加压时间的关系:

$$T=\frac{4\mu V_c^3}{5PB^2}\left(\frac{1}{d^5}-\frac{1}{h^5}\right)$$

(2)

其中 μ 为耦合剂胶黏度,这里 $\mu=60\text{ Pa}\cdot\text{s}$; V_c 为“前烘”工艺后耦合剂胶的总体积,这里 $V_c=W\times H\times L=0.19\text{ mm}^3$; P 为所施加的压强(实验中取 70 kPa); B 为“前烘”工艺后耦合剂胶线的宽度($22\text{ }\mu\text{m}$); d 为最终盒厚,这里 $d=3.00\text{ }\mu\text{m}$; h 为耦合剂胶线初始高度,这里为 $25\text{ }\mu\text{m}$ 。可见需要的最少挤压时间与所需盒厚呈 5 次方反比关系,而与所施加的压力呈线性反比关系。代入上述参数,从公式(2)得:在 70 kPa 的压力作用下,经过 8 min 可以得到 $3.00\text{ }\mu\text{m}$ 的液晶盒厚度,实际加压时间为 14 min ,这与计算结果很相近。

3.3 液晶盒厚测量

液晶盒组装之后,采用椭圆偏振仪(Filmetrics F20 型)测量盒厚,并进一步切断液晶盒,用扫描电镜(SEM)进行精确测量,以便与测试结果相互验证。

椭圆偏光法是基于光线被媒质反射或透射时出射光偏振状态会发生改变的原理,偏振状态的变化是被测材料的复合折射率、厚度、入射光波长和相对于相关标准面入射角的函数,这些偏振状态的差别能用椭偏仪测量并计算出液晶盒厚度。所用椭偏仪的装置包括 He-Ne 激光器($\lambda=632.8\text{ nm}$)、起偏器、 $\lambda/4$ 波片以及在反射光路上的检偏器和光电倍增管。有效测量范围为 $10\sim100\text{ }\mu\text{m}$,测量值误差为 $\pm1\text{ nm}$ 。所测数据如表 2 所示,采用 5 点法测量 LCOS 液晶盒厚如图 7 所示。

表 2 采用 5 点法测量 LCOS 液晶盒厚度分布

Table 1 Distribution of LCOS cell-gap measured by 5-point method

样品	盒厚 $d(\mu\text{m})$				
	Corner 1	Corner 2	Corner 3	Corner4	Corner 5
1	3.125	3.019	3.152	3.298	3.178
2	3.085	3.085	3.178	3.191	3.045
3	3.032	3.059	3.045	3.085	2.912
4	3.112	3.271	3.324	3.285	3.072
5	3.045	3.072	3.191	3.112	3.098

把上述用于 5 点法测试中的任意一块液晶盒截断,进行 SEM 测试,得到如图 8 的结果,图中盒厚为 $3.10\text{ }\mu\text{m}$ 。可见这两种测试方法一致性很好。

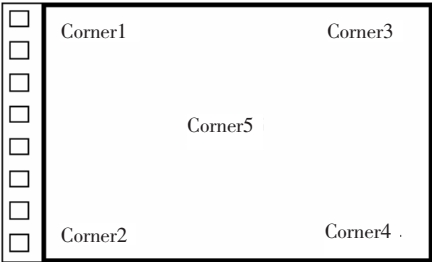


图 7 测试点取样方案图
Fig. 7 Showing the testing pattern

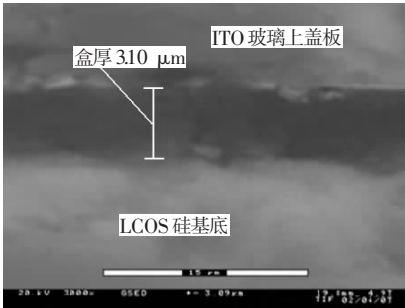


图 8 液晶盒断面的扫描电镜照片
Fig. 8 SEM photograph of cross section of cell

3.4 液晶灌注

灌入液晶前,将空盒与液晶材料置于真空环境,将液晶盒封口处接触液晶面,然后恢复到大气压状态,利用液晶的毛细现象和压力差,平缓地将液晶注入液晶盒内。最后使用 UV(紫外)树脂密封胶封口,即使注入孔被液晶润湿也能较容易地封住注入孔。

4 LCOS 微型显示器的封装

LCOS 微型显示器的封装主要有以下几步工艺流程:首先固置 LCOS 液晶屏,然后完成与 ITO 公共电极、LCOS 芯片上焊盘电极的电学连接,最后嵌套保护框架等机械组件。图 9 是所研制的 LCOS 微型显示器的结构示意图,图 10 是相关的实物照片,图 11 是使用所研制的 3 块 LCOS 微型显示器分别调整 R、G、B 视频信号,通过光学投影

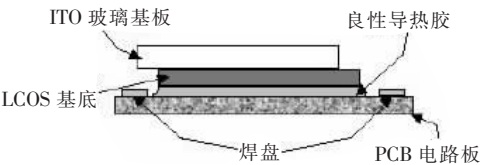


图 9 LCOS 微型显示器结构示意图
Fig. 9 Structure of LCOS microdisplay



图 10 LCOS 微型显示器照片

Fig. 10 Photograph of LCOS microdisplay



图 11 三片式投影系统与彩色视频播放照片

Fig. 11 3-p LCOS projector prototype and photographs of projecting color video

系统实现彩色视频投影显示的照片,从图中可见显示效果良好。

5 结 论

介绍了自主研制的盒厚为 $(3.0 \pm 0.3) \mu\text{m}$ 的

LCOS 微型显示器的封盒工艺技术与流程,根据实际测量结果并参照相关文献给出了盒厚的数学描述公式。最后展示了用所封装出来的 LCOS 微型显示器投影播放的视频图像照片,显示效果良好。

参 考 文 献:

[1] 刘艳艳, 耿卫东, 孙钟林, 等. 时序彩色 LCoS 数据接口的优化设计 [J]. 液晶与显示, 2006, 21(1):53-56.
[2] 崔宏青, 凌志华, 扭曲向列相 LCoS 显示模式的优化设计分析 [J]. 液晶与显示, 2007, 22(4):440-447.
[3] 刘会刚, 耿卫东, 刘艳艳, 等. LCoS 芯片集成参考电压源的设计 [J]. 液晶与显示, 2007, 22(4):482-485.
[4] 耿卫东, 张永利, 代永平, 等. 基于 LCOS 芯片的微型电视系统设计与实现 [J]. 液晶与显示, 2004, 19(6): 458-461.
[5] O'Mara William C, Herring Robert B, Hunt Lee P. Handbook of Semiconductor Silicon Technology [M]. Berkshire, UK: Noyes Publications, 1990: 90-95.
[6] Krusius J P, Seraphim D P, Greene R G, et al. Seamless tiling of AMLCDs for large area displays [J]. Information Display, 2002 Dig. , 2002, 21(1):1-4.
[7] Choubey A. Study of assembly processes for liquid crystal on silicon (LCoS) Microdisplay [D]. New York: New York University, 2003: 42-55.

Assembly Process of LCOS-Cell

DAI Yong-ping, SONG Dan-na, LIU Yan-yan

(Institute of Photo-Electronics Thin Film Devices and Technique of Nankai University;

Key Laboratory of Photo-Electronics Thin Film Devices and Technique of Tianjin;

Key Laboratory of Photo-Electronic Information Science and Technology (Nankai University), Ministry of Education,

Tianjin 300071, Chian, E-mail: daiyp@nankai.edu.cn)

Abstract

The assembly process of LCOS-cell which had been developed by authors was introduced, and a

Key words: LCOS; assembly process; cell-gap; aligning-mark

（上接 349）

电子文献:[序号]主要责任者. 题名:其他题名信息[文献类型标志]. 出版地:出版者,出版年(更新或修改日期)[引用日期]. 获取和访问路径.

例:[14]Online Computer Library Center, Inc. History of OCLC [EB/OL]. [2000-01-08]. <http://www.oclc.org/about/history/default.htm>.

2. 文后参考文献应在正文中引用该文献处进行标注。
3. 关于作者姓名,姓在前,名在后(拉丁文只用缩写);作者 3 人以下应全部列出,4 人以上仅列出前 3 人,其后加“等”(外文加“et al”)。
4. 注意参考文献标注的标点符号、次序,并不得缺项。
5. 参考文献著录不规范的有可能影响文章的录用。

注:文献类型和电子文献载体标志代码:

文献类型和标志代码

文献类型	标志代码	文献类型	标志代码
普通图书	M	报告	R
会议录	C	标准	S
汇编	G	专利	P
报纸	N	数据库	DB
期刊	J	计算机程序	CP
学位论文	D	电子公告	EB

电子文献载体和标志代码

载体类型	标志代码
磁带(magnetic tape)	MT
磁盘(disk)	DK
光盘(CD-ROM)	CD
联机网络(online)	OL