

TFT-LCD 玻璃基板精细雾化抛光的工艺参数优化*

莫益栋, 李庆忠

(江南大学 机械工程学院, 江苏 无锡 214122)

摘要: 为了研究抛光工艺参数(抛光压力、抛光台转速、抛光液流量)对精细雾化抛光 TFT-LCD 玻璃基板的影响, 实现对玻璃基板的高效、高质量加工, 采用正交试验方法对玻璃基板进行雾化抛光, 以材料去除率(MRR)和表面粗糙度(Ra)为评价指标, 根据实验结果得到最优的工艺参数组合, 并将传统抛光和雾化抛光进行了对比。结果表明: 当压力为 0.055 MPa, 抛光台转速为 65 r/min, 抛光液流量为 8.3 mL/min 时, 雾化抛光的材料去除率为 219 nm/min, 表面粗糙度 Ra 为 1.1 nm, 光学透过率 $\geq 92.6\%$ 。在相同的试验条件下, 传统抛光的去除率和表面粗糙度分别为 335 nm/min 和 1.2 nm, 两种方法的抛光效果相近, 但雾化方法抛光液用量仅为传统的 1/10。

关键词: 化学机械抛光; 玻璃基板; 精细雾化; 正交试验

中图分类号: TG175

文献标志码: A

文章编号: 1007-9289(2015)02-0121-05

Optimizing Process Parameters of Ultrasound Fine Atomization CMP on TFT-LCD Glass Substrate

MO Yi-dong, LI Qing-zhong

(College of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu)

Abstract: To investigate the influence of the polishing pressure, the rotating speed of the polishing pad and the flow rate of polishing fluid on ultrasound fine atomization chemical mechanical polishing (CMP) of TFT-LCD glass substrate, and to realize polishing with high efficiency and quality, an orthogonal design was employed. The material removal rate (MRR) and the surface roughness (Ra) were taken as assessment factors, and the best parameter combination was obtained according to the test result. Then the polishing effects of the traditional polishing and the ultrasonic atomization polishing were compared. The results show that in ultrasonic atomization polishing, the MRR is 219 nm/min and Ra of the glass substrate is 1.14 nm. When polishing pressure is 0.055 MPa, the rotating speed of the polishing pad is 65 r/min and the flow rate of polishing fluid is 8.3 mL/min. Under the same test conditions, the MRR and Ra of the traditional polishing are 335 nm/min and 1.20 nm respectively. Although the polishing effects of these two methods are close to each other, the quantity of the slurry in ultrasonic atomization polishing is only 1/10 of that in traditional polishing.

Keywords: chemical mechanical polishing (CMP); glass substrate; fine atomization; orthogonal experiment

0 引言

TFT-LCD (Thin film transistor liquid crystal display, 薄膜晶体管液晶显示器) 具有图像细腻逼真、重量轻、功耗低、环保性能好的优点, 是唯一可跨越所有尺寸的显示技术, 主要应用于电

视、笔记本电脑、手机、监视器等设备上^[1-2]。

每片 TFT-LCD 显示器面板都需两片玻璃基板, 用作底层玻璃基板和彩色滤光片基板^[3], 显示器的分辨率、透光率等都与玻璃基板有关。因此玻璃基板是液晶显示器的重要部件。

收稿日期: 2014-12-24; 修回日期: 2015-03-01; 基金项目: *国家自然科学基金(51175228)

通讯作者: 李庆忠(1965-), 男(汉), 教授, 博士; 研究方向: 化学机械抛光; Tel: (0510) 8519 7750; E-mail: qingzhongli@163.com

网络出版日期: 2015-03-11 15:07; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20150311.1507.021.html>

引文格式: 莫益栋, 李庆忠. TFT-LCD 玻璃基板精细雾化抛光的工艺参数优化 [J]. 中国表面工程, 2015, 28(2): 121-125. Mo Y D, Li Q Z. Optimizing process parameters of ultrasound fine atomization CMP on TFT-LCD glass substrate [J]. China Surface Engineering, 2015, 28(2): 121-125.

TFT-LCD玻璃基板密度较低,弹性模量较高,热稳定性和化学稳定性好,且表面质量和加工精度要求高^[4],是典型的难加工材料,国内外与之相关的研究报道都较少。要实现玻璃基板的表面质量和加工精度要求,目前常用方法是表面抛光技术^[5]。化学机械抛光(Chemical mechanical polishing, CMP)是利用抛光液中的化学物质与工件表面发生反应再通过磨粒磨削作用去除反应生成的薄膜,并不断重复这一过程,从而获得高精度无损伤的光滑表面。冯振华等^[6]采用化学机械抛光技术,在YM-950研抛机上进行研磨试验,研究抛光垫的粗糙度、研磨盘旋转速度和研磨盘运行轨迹对LCD玻璃表面划痕和异物的去除效果,得到了 $0.03 \mu\text{m}/\text{min}$ 的去除率,表面粗糙度为 0.175 nm ,但文中没有说明抛光前玻璃的表面粗糙度,未对抛光后的表面质量进行评述。目前化学机械抛光是公认的可有效兼顾局部和全部平坦化的技术^[7],但也存在一些问题如抛光液成本较高,消耗较大,而抛光液的

利用率较低,同时抛光液还需进行回收处理,未经处理大量排放到自然会造成环境的污染。

文中提出了精细雾化化学机械抛光的工艺方法,讨论了抛光压力、抛光台转速、抛光液流量等因素对抛光后效果的影响,并进行了加工工艺参数的优化,实现了玻璃基板的高品质加工。

1 原理与方法

1.1 TFT-LCD玻璃基板精细雾化CMP机理

TFT-LCD玻璃基板的化学成分和力学性能如表1所示。TFT-LCD玻璃基板抛光过程中的材料去除机理十分复杂,其本质可以概括为机械磨削和化学反应综合作用的过程。机械磨削过程是磨料通过微小切削去除玻璃表面的凸起部分,化学反应过程是玻璃表面水解生成硅酸凝胶层,硅酸凝胶层随后通过机械作用被去除。Cook^[8]提出氧化铈可以与玻璃中的硅酸盐反应,生成 Si-O-Ce 键,使得 Si-O 键断开,从而实现 SiO_2 的去除。

表1 TFT-LCD玻璃基板的化学成分和力学性能

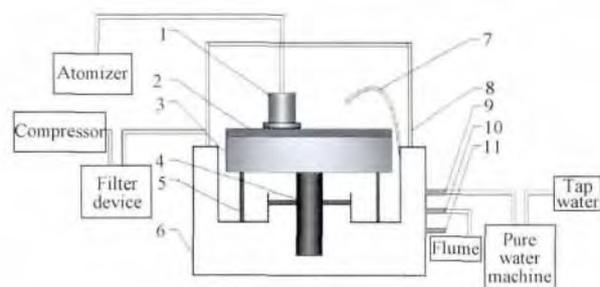
Table 1 Chemical composition and mechanical properties of the TFT-LCD glass substrate

Material	Chemical composition, $w/\%$				Mechanical properties
TFT-LCD glass substrate	SiO_2	B_2O_3	Al_2O_3	CaO	Density ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$): 2.35-2.55
	67-75	5-15	7-13	5-15	Elastic modulus: $\geq 70 \text{ GPa}$
	SrO	BaO	$\text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$		Thermal expansion coefficient ($\times 10^{-7}/^\circ\text{C}$):
	0-5	< 0.1	< 0.1		30-38

1.2 试验方法

选用大小为 $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$,厚度为 0.7 mm ,表面粗糙度为 6 nm 的TFT-LCD玻璃基板作为抛光材料,抛光液由磨料(粒径为 50 nm 的氧化铈和粒径为 $15 \sim 20 \text{ nm}$ 的 SiO_2 溶胶)、pH调节剂(羟乙基乙二胺)和表面活性剂(聚乙烯吡咯烷酮)等组分配置而成,机械搅拌 30 min ,再超声分散 20 min ,得到分散性和稳定性较好的抛光液。实验使用UNIPOL-1502型抛光实验机和聚氨酯抛光垫,抛光时间为 5 min 。

精细雾化CMP的工作原理如图1和图2所示,在箱体内壁与转轴之间和抛光盘与箱体内壁的上端之间进行密封,并在工作台周围安装有机玻璃罩,抛光时,空压机运转,将部分空气从出气



1—Equipment combines shiny applied and pressure; 2—Pad; 3—Work table; 4—Shaft; 5—Sealing device; 6—Body wall of polisher; 7—Pipe; 8—Cover; 9—Influent; 10—Drainage; 11—Emergency stop button

图1 超声精细雾化CMP的工作原理图^[9]

Fig. 1 Principle diagram of the ultrasound fine atomization CMP^[9]

孔抽出,使玻璃罩内气压低于外部大气压,超声波雾化器将抛光液雾化成索太尔直径为 $5 \sim 15 \mu\text{m}$ 的均匀微米级液粒,雾化粒子在负压作用下进入抛光界面,并强吸附在抛光垫上。抛光雾液中的化学物质与玻璃表面发生化学反应,生成容易去除的低剪切强度产物,并通过雾液中磨粒的机械磨削作用将反应物去除,在化学反应和机械磨削的交替作用下,形成超光滑精密表面。未参与反应的抛光雾液在空压机作用下被吸入回收过滤装置,保证了整个试验过程抛光雾液不扩散到空气中。

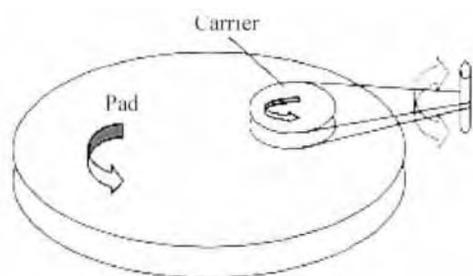


图 2 抛光机工作示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the polishing machine

1.3 抛光性能评价指标

在抛光前后,用精密电子天平(XS205DU型,精度为 0.01 mg)对玻璃进行称重,通过式(1)计算材料去除率。

$$k_{\text{MRR}} = (M_0 - M_1) \times 10^7 / (\rho \times S_1 \times t) \quad (1)$$

式中, k_{MRR} 为材料去除率, nm/min ; M_0 和 M_1 分别为抛光前、后玻璃的质量, g ; ρ 为玻璃基板的密度, g/cm^3 ; S_1 为玻璃表面的面积, cm^2 ; t 为抛光时间, min 。

通过扫描探针显微镜(CSPM5000型)观察玻璃的表面形貌,并测量其表面粗糙度,测试时的扫面区域为 $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ 。

通过紫外-可见分光光度计(UV-1901型)测量玻璃的透过率,测量的波长范围为可见光光谱范围,即 $400 \sim 800 \text{ nm}$ 。

2 结果与讨论

2.1 玻璃基板雾化抛光试验及工艺参数优化

采用正交试验设计的方法,从试验因素的全部水平组合中选出最具代表性的水平组合进行试验,并分析这部分试验结果以找到最优的水平组合。根据雾化抛光的特点,可以确定影响抛光

效果的主要因素有抛光压力、抛光液流量、抛光盘转速等,各因素的范围通过预备实验已确定,为简化试验,在各因素的范围取 3 个有代表性的水平,因此此次正交试验选用的是三因素三水平($L_9(3^3)$)正交表,因素水平表如表 2 所示。

表 2 正交试验各工艺参数的水平和因素

Table 2 Levels and factors of the process parameters in orthogonal experiment

Level	A	B	C
	Pressure/ MPa	Flow/ ($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$)	Speed/ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)
1	0.041	4.3	55
2	0.055	6.3	65
3	0.069	8.3	75

2.2 试验结果分析

试验中有两个评价指标,即材料去除率(k_{MRR})和表面粗糙度,为使这两个指标工艺参数(R_a)能较好组合,故采用综合加权评分法对试验结果进行处理分析。多指标试验的综合加权评分法是根据各项试验指标在整个试验中的重要性,确定出其所占的权重,将多指标的试验结果化为单指标的试验结果,然后按单指标分析方法,对方案进行综合优选的一种方法^[10],综合指标(Overall desirability, OD)的计算公式如式(2)所示:

$$OD = b_{i1}Y_{i1} + b_{i2}Y_{i2} + \dots + b_{ij}Y_{ij} \quad (2)$$

式中, b_{ij} 为权因子系数,表示各项指标在综合加权评分中应占的权重; Y_{ij} 为考察指标; i 为第 i 号试验; j 为第 j 考察指标。

对两种指标的结果进行统一数量级并消除量纲的处理,计算公式如式(3)所示:

$$Y_{ij} = 100 \times (y_{ij} - y_{j\text{min}}) / (y_{j\text{max}} - y_{j\text{min}}) \quad (3)$$

式中, $y_{j\text{max}}$ 为第 j 指标中最大的试验结果, $y_{j\text{min}}$ 为第 j 指标中最小的试验结果。

试验希望得到较高的材料去除率和较低的表面粗糙度,且两者对于玻璃基板抛光效果同等重要,因此设 b_{i1} 为 0.5 , b_{i2} 为 -0.5 。

利用式(2)(3)计算得到的加权综合评分值见表 3,由表 3 可知,第 5 组试验的综合评分最高,其次为第 9 组试验;由极差值 R_j 可以得出

3个因素对综合结果的影响由大到小依次为抛光液流量、抛光盘转速、抛光压力,由此可得到最优工艺参数的组合为A2B3C2。

按照最优工艺参数组合进行雾化抛光试验和传统抛光试验(传统抛光时抛光液流量为80 mL/min),得到的结果如表4所示。从表4中可知,雾化CMP的 k_{MRR} (219 nm/min)比传统CMP略低,两者抛光后的表面粗糙度相近。图3可看出两种方法抛光后的表面形貌较为平坦,但雾化CMP的抛光液流量只有8.3 mL/min,是传统CMP的十分之一。这是由于抛光液被雾化成

微米级液粒,被雾化的液粒扩散性和吸附性极高,因此雾化液粒与玻璃表面发生反应的速率较高,抛光后的表面质量也较好,而消耗的抛光液比使用传统方法的少。对两种方式抛光后玻璃基板的光学性能进行测量,得到图4。从图4中可知,雾化抛光后的玻璃基板透过率大于92.6%,和采用传统抛光方法基本相同,且均满足制作TFT-LCD液晶显示器的光学要求,同时当波长为450~500 nm时,采用雾化方法抛光的玻璃基板透过率明显好于使用传统方法抛光的玻璃基板,说明雾化抛光可以获得很好的表面质量。

表3 雾化抛光正交试验结果

Table 3 Results of the orthogonal experiment with atomization CMP

No.	A	B	C	$k_{MRR}/(\text{nm} \cdot \text{min}^{-1})$	Ra/nm	OD
1	0.041	4.3	55	182.7	1.56	-30.85
2	0.041	6.3	65	192.7	1.27	12.82
3	0.041	8.3	75	203.3	1.44	8.33
4	0.055	4.3	65	195.7	1.53	-10.99
5	0.055	6.3	75	209.3	1.41	19.21
6	0.055	8.3	55	215.0	1.60	6.30
7	0.069	4.3	75	198.7	1.74	-29.49
8	0.069	6.3	55	206.7	1.66	-10.72
9	0.069	8.3	65	221.7	1.59	15.96
K_1	-9.70	-71.33	-35.27			
K_2	14.52	21.31	17.79			
K_3	-24.25	30.59	-1.95			
\bar{K}_1	-3.23	-23.78	-11.76			
\bar{K}_2	4.84	7.10	5.93			
\bar{K}_3	-8.08	10.20	-0.65			
R_j	12.95	33.98	17.69			

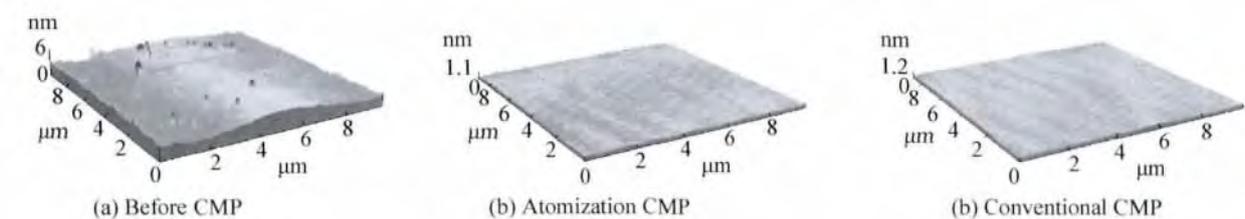


图3 未抛光前、最佳工艺参数雾化CMP和传统CMP后玻璃基板的表面形貌

Fig. 3 Surface morphologies of the glass substrate before CMP, after the ultrasound fine atomization CMP with optimal process parameters and the conventional CMP

表 4 雾化 CMP 和传统 CMP 的抛光效果

Table 4 Polishing effects of the atomization CMP and the conventional CMP

Item	Flow/ (mL · min ⁻¹)	k_{MRR} / (nm · min ⁻¹)	R_a / nm
Atomization CMP	8.3	219	1.1
Conventional CMP	80	335	1.2

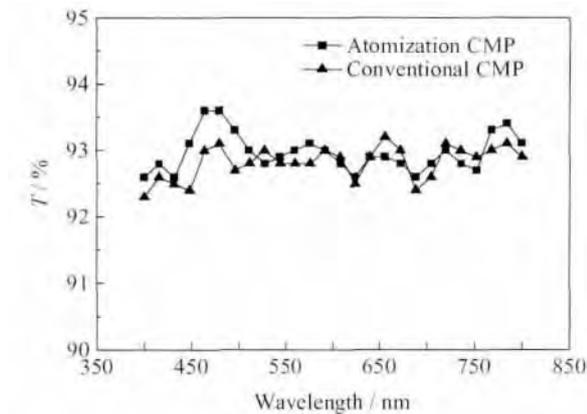


图 4 雾化 CMP 和传统 CMP 后玻璃基板的光学性能

Fig. 4 Optical performance of the glass substrate by atomization CMP and conventional CMP

3 结 论

(1) 3 个因素对综合指标的影响由大到小顺序为抛光液流量、抛光盘转速、抛光压力;最佳的抛光工艺参数组合为抛光压力 0.055 MPa, 抛光液流量 8.3 mL/min, 抛光盘转速 65 r/min。

(2) 采用最佳工艺组合雾化抛光后的材料去除率为 219 nm/min, 表面粗糙度为 1.1 nm, 光学透过率 $\geq 92.6\%$, 和传统抛光方法相比, 两者的抛光效果相近, 但雾化 CMP 的抛光液用量为传统 CMP 的 1/10, 表明精细雾化抛光既能节省大量抛光液, 又能达到较高的抛光效果。

参考文献

[1] 徐美君. 聚焦 TFT-LCD 用玻璃基板发展与市场(连载一)[J]. 玻璃, 2013, 40(10): 39-50.
Xu M J. Focused on market and development of glass plate for TFT-LCD (Part 1) [J]. Journal of Glass, 2013, 40(10): 39-50(in Chinese).

[2] 王玉如. 液晶显示技术的最新进展 [J]. 现代电子技术, 2004, 22: 85-87.
Wang Y R. The new development of TFT LCD [J]. Journal of Modern Electronic Technique, 2004, 22: 85-87(in Chinese).

[3] 田路线, 李国富, 吴光文. TFT-LCD 玻璃基板简介 [J]. 玻璃, 2009, 36(5): 46-49.
Tian X L, Li G F, Wu G W. Introduction of TFT-LCD glass substrate [J]. Journal of Glass, 2009, 36(5): 46-49(in Chinese).

[4] 陆丹, 徐刚. TFT-LCD 玻璃基板材料性能与生产特点 [J]. 新材料产业, 2011(9): 64-67.
Lu D, Xu G. Material properties and production characteristics of TFT-LCD glass substrate [J]. Advanced Materials Industry, 2011(9): 64-67(in Chinese).

[5] 郑圣德. 平板显示技术论坛 第五代 TFT-LCD 生产线的工艺设备和材料 [J]. 电子工艺技术, 2005(2): 114-118.
Zheng S D. Technologies equipments and materials of the fifth generation TFT-LCD production line [J]. Electronics Process Technology, 2005(2): 114-118(in Chinese).

[6] 冯振华, 白变香. LCD 玻璃研磨机的工艺探讨 [J]. 电子工艺技术, 2010, 31(2): 110-111.
Feng Z H, Bai B X. Process discussion of LCD glass lapping machine [J]. Electronics Process Technology, 2010, 31(2): 110-111(in Chinese).

[7] 郭东明, 康仁科, 苏建修, 等. 超大规模集成电路制造中硅片平坦化技术的未来发展 [J]. 机械工程学报, 2003, 39(10): 100-5.
Guo D M, Kang R K, Su J X, et al. Future develop on wafer planarization technology in ULSI fabrication [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2003, 39(10): 100-5(in Chinese).

[8] Cook L M. Chemical processes in glass polishing [J]. Journal of Non-crystalline Solids, 1990, 120-152.

[9] 朱众, 李庆忠, 王陈, 等. 雾化施液 CMP 工艺及实验设备 [J]. 江南大学学报(自然科学版), 2013, 12(6): 698-702.
Zhu B, Li Q Z, Wang C, et al. Study on the process and experimental equipment of atomizing slurry applied chemical mechanical polishing [J]. Journal of Jiangnan University(Natural Science Edition), 2013, 12(6): 698-702 (in Chinese).

[10] 陶菊春, 吴建民. 综合加权评分法的综合权重确定新探 [J]. 系统工程理论与实践, 2001(8): 43-48.
Tao J C, Wu J M. New study on determining the weight of index in synthetic weighted mark method [J]. Systems Engineering-theory & Practice, 2001(8): 43-48 (in Chinese).

(责任编辑: 陈茜)