

文章编号:1007-2780(2015)05-0813-06

一种实用的 PECVD 腔体检漏工具设计方法

周 梁*, 韩大伟, 孙泉钦, 王丹名, 李 华, 陈 垚
(成都京东方光电科技有限公司 设备技术部, 四川 成都 611731)

摘要:在 TFT-LCD 行业, PECVD 设备主要用于 Array TFT 基板工艺中的气相沉积;产生的非金属膜层,为金属电路提供保护、开关作用;在 PECVD 工艺制程中,腔体设计复杂,反应条件苛刻,产生的制程物会造成产品不良,故需要定期进行 PM(pre maintenance 预防性维护)。本文以 PECVD PM 作业为背景,针对设备 PM 耗时长的问题,制定了改善方法,并着重介绍了腔体检漏工具的设计过程。设计制作了一台国产化检漏工具,成功运用于量产。通过测试,检漏工具 3 min 内达到 10 mT(1 mT=0.133 Pa),漏率为 0.45 mT/min,基本符合设备 Spec.(标准)要求。

关 键 词: TFT-LCD; PECVD; 腔体检漏工具; 自主设计

中图分类号: TN141 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/JYXJS20153005.0813

Practical design method of PECVD cavity check-up tool

ZHOU Liang, HAN David, SUN Quan-qin, WANG Dan-ming, LI Hua, CHEN Yao

(Equipment Technology Department of Chengdu BOE Optoelectronics Technology CO., LTD,
Chengdu 611731, China)

Abstract: In TFT - LCD industry, PECVD equipment is mainly used for the vapor deposition in the process of Array TFT to produce non-metal film layer, which protects and switches metal circuit . In PECVD process, cavity design is complex and reaction conditions are harsh, the process will lead to bad products, so we need to do pre-maintenance on a regular basis. On the background of PECVD PM, we improved the method and emphatically introduced the cavity check-up leak tool design process because of the time-consuming of PM. We designed a domestic leak detection tool, and applied it into mass producing successfully. Final test results showed that pressure reached to 10 mT in 3 min and the leakage rate is 0.45 mT/min, which accord with the equipment standard.

Key words: TFT-LCD; PECVD; cavity check up tools; independent design

1 引 言

近年来,随着液晶面板产业的兴起, TFT-LCD 产品的应用越来越广泛,伴随着智能手机、PAD、电脑、电视产业的迅速发展,各世代产线的相继投产,业内竞争逐步凸显,各个工厂设备的生

产能力、故障率、PM 效率都面临着严峻考验^[1-3]。尤其 LTPS 技术日趋成熟,复杂的 10~12 Mask 工艺,对设备的稳定性提出了更高的要求,其中 PECVD PM 最为明显。目前, TFT-LCD 行业内 PECVD 的 PM 方式存在 PM 耗时长、产能低下、无法应对设备突发 Down 机等问题,已逐步引起业内重视,虽然国外已提出概念 Dummy Cham-

收稿日期:2015-01-15; 修订日期:2015-03-07.

* 通信联系人, E-mail:zhouliangcd@boe.com.cn

ber(检漏工具),但国内尚未进行尝试,更无法用于量产,但这种将串行作业转换为并行作业的 PM 方式已被行业认可^[4]。

TFT-LCD 面板制程中,降低 PECVD PM 时间尤为重要,最理想的方式是将 PM 串行作业转化成并行作业,需要自主设计制作检漏工具。设计过程中牵涉因素众多,且互相关联。首先,需要针对 PECVD PM 作业进行分解(本文以 G4.5 45k 产能为例),单次 PM 耗时约 7 d,其中人员参与作业为 3 d,其余是设备升降温时间;其次,根据设备参数,选择真空泵、阀门、真空计数系统、铝材、表面处理方式等等。最终使设计的检漏工具功能最大化。

2 传统 PECVD PM 作业

传统模式下,工程师结合设备保养手册和实际操作经验,整理成 PECVD PM 作业指导书,根据设备使用情况,制定设备大小 PM 等级计划,定期据作业指导书按部就班进行 PM 作业。(这里以的 G4.5 产能 45k)为例,PECVD PM 频次 21 次/年,单次耗时 155 h,在 Array(阵列)工段耗时最高。业内传统的 PM 方式(如图 1):设备停机后,拆解 LID(腔体盖子)和 CVD 腔体,清洁、更换 Parts,组装 LID,最后进行检漏作业,确保漏率在 Spec.(规格)以内。测试无异常后,才能启动设备进行生产。它的优势是时间充裕(工作等待多)、出错率低。然而,这种方式不具灵活性,也无法保证设备 PM 效率,更无法应对 PM 作业中,其它设备出现的紧急 Down 机。

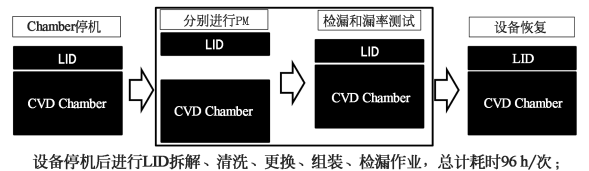


图 1 传统 PM 作业原理图

Fig.1 Image of traditional PM operation

正常情况下,大型 PM(排除设备升降温时间)耗时 96 h/次。如果 PM 过程中,出现备件不足或损坏、检漏多次返检、其它设备突发 Down 机等情况,则耽误恢复生产,造成产能损失,直接导致公司重大的经济损失。因此优化 PECVD

PM,提高设备稼动率已迫在眉睫。

3 理想 PECVD PM 作业^[5]

通过对 PM 作业分析,整理 PM 时序表,将 PM 细化到每个执行动作。我们发现,如果采用精益生产的快速换模理念,将 LID 拆装、Parts 更换、组装、检漏等项目在设备停机前完成(即利用检漏工具提前完成 LID 备件的组装检漏测试),设备停机后,快速切换,可实现将内部作业转化成外部作业(内部作业指设备停机时,PM 耗时;外部作业指设备运行时,PM 耗时),减少 PM 时设备停机时间,提升设备稼动率。

若想按此理想方式进行 PM,需要一套腔体检漏工具,模拟真空环境进行检漏作业^[6]。腔体检漏工具本底真空和漏率要求与 PECVD 设备相当,故需设计制作人员了解设备参数和运行原理。通过市场调研发现,国内真空技术能力、真空检测手段,以及机加工能力发展迅速,可以满足设备制作精度、真空度等多项参数要求,故考虑联合现地厂家自主设计制作腔体检漏工具。

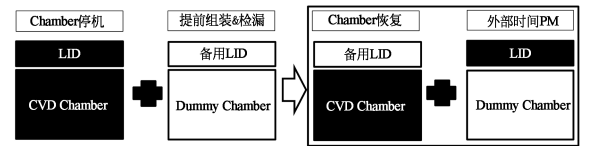


图 2 理想 PM 作业原理图

Fig.2 Image of PM ideal operation

4 机械结构设计

4.1 腔体设计

腔体检漏工具根据 G4.5 (730 mm × 920 mm)玻璃基板尺寸,通过参与设备 PM 现场,对 LID 内部尺寸进行精确测量,确保与设备 LID 尺寸完全吻合。

检漏工具主要功能是对 LID 进行检漏作业,因此要保证自身无漏点。故需慎重考虑 O-ring (密封圈)的选型,确保后续检漏工具完全密封,不影响其使用,而且便于维护。

检漏工具腔体采用了硬度较 LID(5083 铝材)略小的 5052 铝材,防止其与设备 LID 接触时造成 LID 磨损。进行了阳极氧化,增强了检漏工具的硬度及耐磨性;增加了柱销,便于 LID 对位,允许误差 2 mm;设计了 LID 堵孔凸台和对应的

O-ring(密封圈),降低漏气的可能性,提高本底真空能力。为了实现检漏、抽真空、破真空、真空显示功能,在腔体底部还进行开孔设计,增加了滤网,防止粉尘进入泵体,造成堵塞、致损。

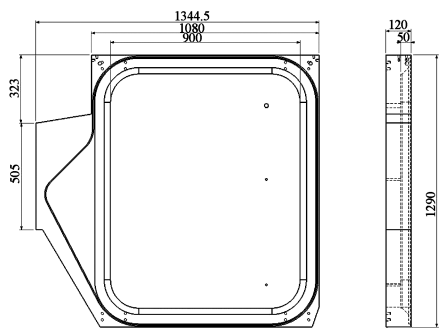


图 3 腔体尺寸实测图
Fig. 3 Cavity size drawing

4.2 钢架结构设计及校验

腔体的重量约 1 t,为支撑腔体,采用了 60 mm×60 mm×3 mm 型的方钢焊接制作,根据受到的应力,通过软件模拟,对钢架进行强度校验,钢架负载最大为 5 t,整体外观如图 4 所示。考虑到在洁净间使用检漏工具,Particle 需要严格管控,故在钢架表面进行了喷黑处理,防止掉色、产生 Particle(大气中大于 0.3 μm 的颗粒)。还设计了可进行切换的脚轮和地脚,便于在产线频繁进行移动和固定切换,使用更方便、快捷。

强度验证^[7]:

(1)负载加载:底座设计负载如图所示,主要收受到向下压力 F ,设计 $F_1=2.5\times10^4\text{ N}$,根据业内安全系数为 2,则总负载 $F=55\times10^4\text{ N}$;

(2)支撑选择:底座主要工作支撑为 4 个地脚,选择支撑面如图 4 所示。

(3)建立模型求解:底座在 2.5 t 的载荷下最大应力为 $2.99\times10^7\text{ Pa}\leq1.95\times10^8\text{ Pa}$ (Q195 屈服极限),满足设计要求。

4.3 真空系统设计

真空系统属于检漏工具中最核心的部分,它的设计是检漏工具实现功能的关键因素。主要由三通接口、手动高真空挡板阀、进气过滤器、手动阀、真空泵及电器控制箱组成,整套系统的噪声为 70 dB 左右,故不需要增加降噪装置;由于抽真空过程中,会产生杂质气体,故在抽真空阀门处增加过滤器,减少杂质对泵体的影响。^[8]而且,更换滤芯也比较方便。追加设计了电气控制柜,可以直观显示腔体内的真空状态和漏率,便于实时跟进检漏状

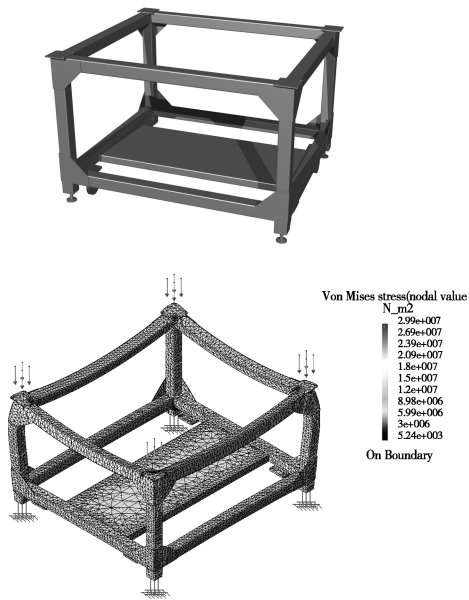


图 4 钢架和脚轮强度校核图
Fig. 4 Image of steel frame and casters intensity

态。系统的整体构成如图 5 所示。



图 5 真空系统图
Fig. 5 Image of vacuum system

4.3.1 Spec. 要求

- (1)抽气时间: $t\leq3\text{ min}$;
- (2)本底压力: 10 mT;
- (3)真空泵只需要接电,不需要接冷却水和 N_2 (氮气),检漏阀接口型号采用 NW40;
- (4)检漏工具漏率 $<1\text{ mT/min}$;

4.3.2 真空泵选型

主要根据检漏工具腔体容积与 Spec. 要求(时间要求)来选择真空泵,其计算过程如下:

通过测量,已知,检漏工具腔体容积为 100 L,要求 3 min 抽到 10 mt,真空泵抽速的计算公式如下^[9-10]:

真空抽速=体积(m³)×Ln[大气压(mbar)]
×时间(h)×最终压强(mbar)= 0.1(m³)× Ln
[1013 (mbar)]× 3/60 (hr)× 1.333/100 (mbar)

(1mbar=100Pa)= 22.5 m³/h

以上计算出来的是理论抽速,考虑到系统漏气因素,通常还要乘以安全系数 2 以确保可以在指定时间内达到指定的真空度,得到真空泵抽速= 22.5 m³/h× 2= 45 m³/h。因此选用莱宝 D40C 型真空泵(理论抽速 40 m³/h)。

表 1 真空泵选型表
Tab.1 Vacuum pump selection table

指标	单位	D8C	D16C	D30C	D40C	D60C
抽速(50 Hz)(按照 RNEUROP)	m²·h ⁻¹	8.11	17.01	32.24	42.99	64.37
抽速(60 Hz)(按照 RNEUROP)	m²·h ⁻¹	9.65	20.33	36.64	51.78	72.23
关气镇极限分压强	mbar	4·10 ⁻⁴	4·10 ⁻⁴	4·10 ⁻⁴	4·10 ⁻⁴	4·10 ⁻⁴
开气镇极限分压强	mbar	6·10 ⁻³	6·10 ⁻³	6·10 ⁻³	6·10 ⁻³	6·10 ⁻³
水蒸气允许压强	mbar	30	20	40	20	25
连接口、进气口、排气口	DN(mm)	25KF	25KF	40KF	40KF	40KF
噪音(当气镇关/开时,距离 1 m 处声压电平值)	dB(A)	54/56	56/58	58/60	58/60	58/60
注油量(最大/最小)	L	1.1/0.7	1.5/1.0	3.7/3.2	5.0/4.5	5.0/4.5
重量(未注油)	kg	27	31	69	83	84
工作环境温度(最高/最低)	℃	40/10	40/10	40/10	40/10	40/10
电机功率(单相)(220 V,50 Hz)	W	550	750			
泵总长度	mm	471	560			
产品号		310 46	310 50			
电机功率(三相)(380V,50/60Hz)	W	550	550	1500	1500	2200
泵总长度	mm	500	540	650	760	760
产品号		310 18	310 86	311 08	311 59	311 58

4.3.3 阀门选型

Spec. 要求本底压力能达到 10 mT(1.33 Pa),漏率<1 mT/min,故需要选择中真空以上的阀门。

进口阀门可满足设备需求,甚至可以达到超高真空,但价格较贵,采购周期较长。相比之下,国产阀门可以达到中高真空,也能满足使用要求,价格便宜,故选择国产阀门。起初考虑采用自动中真空挡板阀,但是自动化的设计较为复杂、稳定性不够,且价格昂贵。因此,考虑采用手动阀 GDC-J16b 和 GDC-J40b^[11]。

快卸法兰连接(GB 4982/ISO-KF)
Fast Release Fiange Connection(GB 4982/
ISO-KF)

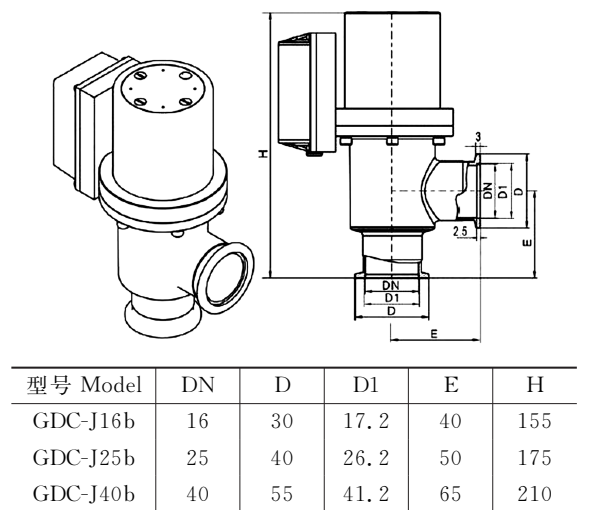


图 6 真空阀门尺寸图
Fig.6 Figure of vacuum valve size

表 2 真空阀门参数表
Tab.2 Vacuum valve parameters

适用范围	$10^5 \sim 6.7 \times 10^{-5} \text{ Pa}$
阀门漏率	$\leq 1.3 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{L/s}$
介质温度	$\leq 65 \text{ }^\circ\text{C}$
启闭时间	$\leq 1 \text{ s}$
电源	AC220V $\pm 10\%$ /50 Hz
安装状态	任意
工作频次	$\leq 6 \text{ 次/min}$
功耗	启动舜间 $\leq 2\ 000 \text{ W}$, 维持 $\leq 10 \text{ W}$ 。
开启压差	$\leq 0.11 \text{ MPa}$ (可反顶大气)
○主要零件材料	
阀体、阀板	不锈钢
密封件	氟橡胶、波纹管

4.3.4 真空检测系统设计

检测系统主要由真空计与数显仪构成。根据设备压力要求(1.33 Pa~1 MPa),选择 TR91 真空计,对 PECVD 腔体内部真空进行实时监控。同时考虑到与设备计量单位的一致性,将真空计显示的单位从 mbar 变更到 mtorr,便于使用时观察腔体压力变化。

真空计为真空规管传感器,考虑到破真空会对真空计示数形成冲击,故选用 KF16 口径,减少冲击保护真空计^[12]。

真空计通过 KF16 接口与 PECVD 腔体底座连接,通过数据线与控制箱连接。检测范围为: $2.8 \times 10^{-4} \text{ Torr} \sim 750 \text{ Torr}$,大于使用范围,符

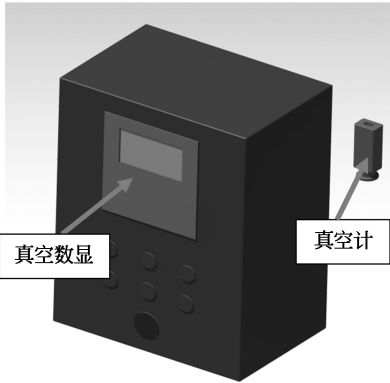


图 7 控制系统和真空计
Fig.7 Control system and vacuum gauge

合使用要求;真空数显仪集成与电器控制箱上,显示范围为: $3.8 \times 10^{-9} \text{ Torr} \sim 1\ 500 \text{ Torr}$,满足设备使用的要求范围。

5 测量实验与结果

2014 年 1 月,制作完成的腔体检漏仪进入测试阶段,实现了将 LID 的拆解、清洗、更换、组装、检漏等 PM 作业,从内部作业转换成外部作业,实现了快速换模。与 2012 年相比,PECVD PM 时间从 155 h/次,降低到 107 h/次,单次 PM 时间减少近 48 h,每年 PM 时间减少 1 008 h,PM 效率提升 30.9%。经过 3 个月测试,PECVD 腔体本底压力 3 min 可达到 5 mT,漏率检测约 0.45 mT/min,均达到 Spec. 要求,实现腔体检漏仪顺利导入。

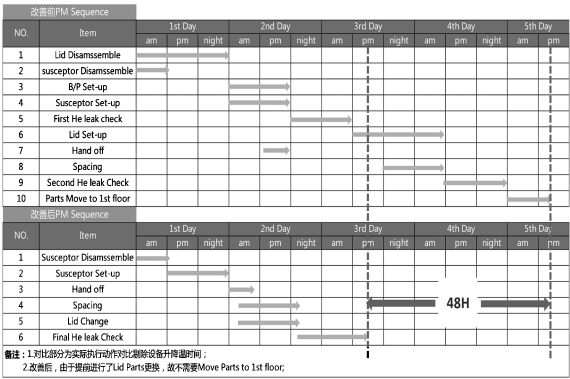


图 8 测试前后对比图
Fig.8 Test before and after contrast figure

由上述测试结果可知,自主设计制作腔体检漏工具,解决了业内 PECVD PM 效率低,PM 耗时高、工作强度大等难题,目前已在行业内进行推广、使用。

6 结 论

本文主要阐述在 TFT-LCD G4.5(年产能 45k)产线中,通过增加检漏工具实现 PECVD PM 耗时降低。着重介绍了 PECVD 传统 PM 作业的弊端,分析了 PM 作业方式不足及改善方向,设计了腔体检漏工具本体。并根据设备参数进行真空系统选型,成功制作完成自主设计的腔体检漏工具,并经过多次测试,都能达到设备 Spec. 要求,最终成功导入量产。

参 考 文 献:

- [1] 谢振宇. A-Si TFT 用氮化硅薄膜的制备及其性能研究[D]. 成都:电子科技大学, 2007, 10: 31-33.
Xie Z Y. A - Si TFT made with thinfilm of silicon nitride and researched its properties [D]. *Chengdu: University of electronic Science and Technology*, 2007, 10: 31-33. (in Chinese)
- [2] 陶涛, 苏辉, 谢自力, 等. PECVD 法氮化硅薄膜生长工艺的研究[J]. 微纳电子技术, 2010, 19(5): 223-228.
Tao T, Su H, Xie Z L, et al. The research of growth process technique of Silicon nitride by PECVD[J]. *Journal of Micro-nano Electronic Technology*, 2010, 19(5): 223-228. (in Chinese)
- [3] 张晓情, 李沛林, 王敬松, 等. PECVD 淀积 Si_3N_4 作为光刻掩膜版的保护膜[J]. 半导体技术, 2009, 13: 123-127.
Zhang X Q, Li P L, Wang J S, et al. Si_3N_4 deposition by PECVD as the protective film of photolithography mask version [J]. *Semiconductor technology*, 2009, 13: 123-127. (in Chinese)
- [4] 翟军华, 苏通. 液晶面板制造业中制造执行系统的设计与实现[J]. 液晶与显示, 2014, 29(3): 60-64.
ZHAI J H, Su T. Design and implementation of manufacturing execution system for TFT LCD manufacturing enterprises [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(3): 60-64. (in Chinese)
- [5] 王卫刚, 周炳海. 快速换模技术的实践研究[J]. 机床与液压, 2007, 15(5): 235-240.
Wang W G, Zhou B H. The practice research of the fast changing mould technology[J]. *Journal of Machine Tools and Hydraulic*, 2007, 15(5): 235-240. (in Chinese)
- [6] 姜波. 真空检漏在维修中的应用[J]. 机械制造, 2006, 17(3): 323-330.
Jiang B. The application of vacuum leak detected in maintenance [J]. *Journal of Mechanical Manufacturing*, 2006, 17(4): 323-330. (in Chinese)
- [7] 唐柱才. 冲击载荷下结构动态屈曲的数值研究[D]. 大连:大连理工大学, 2004, 16(4): 189-192.
Tang Z. The dynamic buckling numerical studies of the structure under impact load [D]. *Dalian: Dalian university of technology*, 2004, 16(4): 189-192. (in Chinese)
- [8] 刘洋. 平板式 PECVD 设备布气系统的分析和优化[D]. 沈阳:东北大学, 2009: 64-67.
Liu Y. The analysis and optimization for the gas system of the plate type PECVD equipment [D]. *Shenyang: Northeastern university*, 2009: 64-67. (in Chinese)
- [9] 陈素君, 杨静. 真空镀膜设备真空系统主泵的配置[C]. 真空工程学术交流会, 2009, 33: 156-163.
Chen S J, Yang J. The configuration of main pump of vacuum system for vacuum coating equipment [C]. *Vacuum Engineering Academic Communication*, 2009, 33: 156-163. (in Chinese)
- [10] 陈素君. 真空镀膜设备抽气系统的性能要求及主泵的选择[D]. 中国真空学会第六届全国会员代表大会暨学术会议论文摘要集, 2004, 13: 156-163.
Chen S J. The performance requirements of extraction system for vacuum coating equipment and the selection of main pump. [C]. *Member of Chinese vacuum society the sixth national congress and academic conference paper sets of*, 2004, 13: 156-163. (in Chinese)
- [11] 闫建云, 张俊锋, 李邵亮. 介绍一种新型真空阀[J]. 中国铸造装备与技术, 2007, 9: 117-119.
Yan J Y, Zhang J F, Li S L. The introduction of a new type of vacuum valves [J]. *China Casting Equipment and Technology*, 2007, 9: 117-119. (in Chinese)
- [12] 陈同沛. 新型的真空阀门与真空零部件[J]. 真空与低温, 1988, 18(5): 170-173.
Chen T P. New types of vacuum valves and components [J]. *Journal of Vacuum and Low Temperature*, 1988, 18(5): 170-173. (in Chinese)

作者简介:周梁(1987—),男,四川达州人,工程师,主要从事 TFT-LCD 液晶显示面板制造行业的设备维护、保养。E-mail:zhouliangcd@boe.com.cn