

研究与试制

DOI:10.19453/j.cnki.1005-488x.2022.04.012

液晶盒厚的均一性研究

王兴明*, 杨 军, 黄中浩, 蔡 鹏, 王纯杰, 张 灿, 王 鑫, 李官正

(重庆京东方光电科技有限公司, 重庆 400700)

摘 要: 根据液晶量的计算模型进行了理论模拟, 基于模拟结果对各因子进行实验设计, 并在实际生产中对提升盒厚均一性的方案进行了验证。实验结果表明, 影响液晶盒厚均一性的关键因子是隔垫层、像素间段差和阵列基板侧段差, 对盒厚工程能力指数的影响分别为0.9、0.8和0.6。在阵列基板侧使用有机膜可以将盒厚的工程能力指数提升0.6, 采用交叉隔垫层可以将盒厚的工程能力指数提升0.9。降低彩膜侧段差最有效的方法是导入平坦层进行平坦化, 高平坦性材料和普通材料的平坦层可分别将盒厚的工程能力指数提升0.5和0.2。

关键词: 液晶盒厚; 均一性; 段差; 有机膜; 平坦层; 隔垫层

中图分类号: TN141.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-488X(2022)04-0318-07

Study on Uniformity of Cell Gap

WANG Xingming, YANG Jun, HUANG Zhonghao, CAI Peng, WANG Chunjie, ZHANG Can,
WANG Xin, LI Guanzheng

(BOE Technology Group Co., LTD, Chongqing 400700, CHN)

Abstract: Theoretical simulation was conducted by a model for calculating amounts of liquid crystal, and experiments were carried out for each factor. The measurements for improving uniformity of cell gap were tested on some products. The experiments results showed that PS, altitude difference on array substrate and altitude difference on color film substrate were critical factors affecting uniformity of cell gap, the three factors that could affect the Cpk value of cell gap were 0.9, 0.5 and 0.8, respectively. The Cpk of cell gap could increase 0.6 by using organic on array substrate, while that could increase 0.9 by using XPS. The best way to reduce altitude difference among pixels was using OC, which showed that normal OC and highly flat OC could increase the Cpk of cell gap by 0.2 and 0.5, respectively.

Key words: cell gap; uniformity; altitude difference; organic film; overcoat; spacer

引 言

液晶显示(TFT-LCD)技术已处于非常成熟和

稳定的发展阶段, 在显示器、家电、车载、医疗等领域应用广泛^[1-2]。但近年来在 OLED、Mini/MicroLED、VR/AR 及全息等有着更广阔前景的新型

收稿日期: 2022-07-11

作者简介: 王兴明(1991—), 男, 硕士研究生, 主要从事 TFT-LCD 工艺技术的研究; (E-mail: wangxingming@boe.com.cn)

杨 军(1988—), 男, 硕士研究生, 主要从事 TFT-LCD 工艺技术的研究;

黄中浩(1988—), 男, 博士研究生, 主要从事 TFT-LCD 工艺技术的研究。

* 通讯作者

显示技术的冲击下,液晶显示行业面临产品升级和转型的局面,而在 TFT-LCD 产业内,高世代线的不断新建和投产,产能过剩或许是未来几年 TFT-LCD 行业的常态^[3-5]。因此,伴随着各厂家内部竞争和新显示技术迭代更新的双重压力,TFT-LCD 行业可以说是“内忧外患”,目前各企业取得相对优势的途径是提升 TFT-LCD 显示产品的工艺和品质。

从液晶光学上来讲,液晶盒的形成是影响显示质量的一个重要因素。液晶盒厚包含显示面内的盒厚和显示区域周边的盒厚,关于周边盒厚与面内盒厚的均一性,目前已有比较充分的研究,主要是液晶量与封框胶厚度和宽度的合理搭配,达到面内和周边显示效果一致,减少周边显示不良^[6-8]。而显示面内的盒厚均一性是指整个显示区域内所有点的液晶层厚度均一,针对目前 TFT-LCD 显示面板对色温波动的严格管控需求,液晶盒厚均一性是其重要影响因素之一,现有 8.5 世代线产品,液晶盒厚的波动范围一般管控在 $\pm 0.2 \mu\text{m}$ 。色温需求管控 $\pm 500 \text{ K}$ 的产品,模拟需求液晶盒厚波动在 $\pm 0.1 \mu\text{m}$,对于更高显示质量的产品,液晶盒厚波动范围需求管控在 $\pm 0.05 \mu\text{m}$ 。文章将对影响液晶盒厚均一性的关键因子进行探索和验证,为实际生产提供可参考的提升方向。

1 实验

液晶盒厚的测试设备是大塚电子的液晶层间隙量测设备,RETS 系列,其原理是利用液晶层的相位差。衡量盒厚均一性的参数是工程能力指数(Process Capability Index, Cpk),分析数据的基数是每张玻璃($2\ 500 \text{ mm} \times 2\ 200 \text{ mm}$)基板测试 54~96 个点,测试至少 6 张基板,工程能力指数的计算公式如下:

$$Cpk = \left(1 - \frac{|\bar{X} - Center|}{\left(\frac{USL - LSL}{2} \right)} \right) \times \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (1)$$

其中 \bar{X} 为实测盒厚均值,Center 为设计盒厚值,USL 和 LSL 分别为规格上下限, σ 为方差。以上公式用来评估一定时间内,产品盒厚在规格上下限管控下的实际生产能力,工程能力指数大于 1.33 表示过程能力较好。

像素的微观结构采用光学显微镜拍摄,然后用

SNUMap 软件进行分析,SNUMap 软件是高度分析的软件,它以 4 个绿像素取平面,以蓝像素为基准高,计算像素和隔垫层的相对高和面积。

2 结果与讨论

2.1 影响液晶盒厚因子的理论分析

图 1 为常见 TFT-LCD 结构示意图,它由阵列基板(TFT)和彩膜基板(CF)以及填充于两基板间的液晶层组成,阵列基板主要膜层包括栅极层(Gate)、绝缘层(GI)、源漏极层(SD)、氧化铟锡(ITO)、绝缘保护层(PVX)、有机膜层(ORG),CF 基板主要膜层包括黑色矩阵(BM)、色阻层(RGB)、平坦层(OC)、主隔垫层(main PS)和辅助隔垫层(sub PS),以及用于连接两基板的封框胶(Seal)和填充于两基板之间的液晶。显示区域液晶层的厚度要达到一致,需要阵列基板侧和彩膜基板侧完全平坦。实际上,两侧各膜层导致盒内有比较大的段差,这些段差区域需要填充液晶。另外液晶显示屏包含显示区域与非显示区域,非显示区域即显示区到封框胶内边缘的区域,也需要填充液晶。因此,液晶显示面板的液晶量包含了盒内所有能填充液晶的空间^[9-10]。

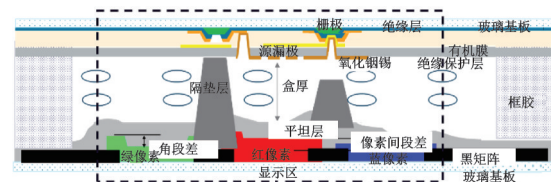


图1 TFT-LCD结构示意图

Fig.1 The structure of TFT-LCD

液晶量的计算过程如表 1 所示,其中 V_{total} 表示整体液晶量的体积,它包含显示区域液晶量 V_{AA} 和非显示区域 $V_{\text{非AA}}$, V_{GG} 是指一个像素对应的显示区域两基板之间的体积,它是以一个单位像素的面积 S_p 为底,以两基板之间的距离为高计算的体积,阵列基板和彩膜侧各膜层的体积亦是以单位像素上各膜层所占面积和各膜层膜厚计算所得。另外彩膜侧的 h_{PW} 是横向黑矩阵与像素交叠产生的角段差, h_{PH} 是竖向黑矩阵与像素交叠产生的角段差, h_{RB} 、 h_{GB} 和 h_{RG} 分别表示红绿蓝像素中心点高度差,色阻层的膜厚以蓝像素的厚度 h_b 为基准,根据红蓝像素的段差 h_{RB} 和蓝绿像素的段差 h_{GB} 得出绿像素和红像素的膜厚,最后取均值。表 1 中部分参数存在依存关系,两基板间的

表 1 理论模拟各参数计算过程

Tab.1 The calculation of each parameter for theoretical simulation

分类	膜层	面积	膜厚	体积
显示区	阵列基板-彩膜基板	S_p	$h=h_5+h_9+h_0$	$V_{GG}=S_p \times h$
	栅极	S_1	h_1	$V_{Gate}=S_1 \times h_1$
	绝缘层	S_2	h_2	$V_{GI}=S_2 \times h_2$
	有源层	S_3	h_3	$V_{Act}=S_3 \times h_3$
	源漏极	S_4	h_4	$V_{SD}=S_4 \times h_4$
	氧化铟锡	S_5	h_5	$V_{ITO}=S_5 \times h_5$
	有机膜过孔	S_6	h_6	$V_{ORG}=S_6 \times h_6$
	保护层过孔	S_7	h_7	$V_{PVX}=S_7 \times h_7$
	黑矩阵	S_8	h_8	$V_{BM}=S_8 \times h_8$
	色阻层	S_9	$h_9=(h_B+h_B+h_{RB}+h_B+h_{GB})/3$	$V_{RGB}=S_9 \times h_9$
	红蓝像素段差	—	h_{RB}	—
	绿蓝像素段差	—	h_{GB}	—
	蓝像素	—	h_B	—
	竖向黑矩阵与色阻交叠	S_{10}	h_{PH}	$V_{PH}=S_{10} \times h_{PH}$
	横向黑矩阵与色阻交叠	S_{11}	h_{PW}	$V_{PW}=S_{11} \times h_{PW}$
	主隔垫层	—	—	$V_{主}$
辅助隔垫层	—	—	$V_{辅}$	
盒厚	—	h_0	—	
显示区液晶体积	$V_{AA}=V_{GG}-V_{Gate}-V_{GI}-V_{Act}-V_{SD}-V_{ITO}+V_{ORG}+V_{PVX}-V_{BM}-V_{RGB}-V_{PH}-V_{PW}-V_{主}-V_{辅}$			
非显示区液晶体积	框胶内边缘-显示区	S_{12}	h_{12}	$V_{非AA}=S_{12} \times h_{12}$
液晶总体积	$V_{total}=V_{AA}+V_{非AA}$			

膜厚 h 为氧化铟锡层、色阻层的膜厚与盒厚的总和，由于有机膜、绝缘层等膜层为整面，不影响液晶量，因此直接省去，另外有机膜和绝缘层有挖孔，所以液晶量计算应加上此部分体积。根据表中计算过程，以各膜层膜厚和面积设计中心值计算出液晶量为参考值 V_0 ，参考工艺波动改变其中某一参数的值后计

算出液晶量为 $V_1, V_2 \dots V_n, V_1, V_2 \dots V_n$ 相对于 V_0 的变化量即是该参数波动对液晶量的影响。各因子工艺波动范围如表 2 所示。

根据上述计算过程，可得单个因子按照其工艺管控的波动范围下，对应的液晶量的变化量。液晶量的变化直接反映盒厚的变化，因此可用来模拟各因子对盒厚的理论影响占比。

文章选择了两类代表性的产品进行模拟，一种是以非晶硅为半导体的常规产品，一种是以氧化物为半导体的低功耗产品，氧化物产品阵列基板侧通常增加一层有机膜。两类产品理论模拟结果如图 2 所示，由图 2(a) 和图 2(b) 可以看出，对盒厚均一性影响最大的因子是像素间段差、角段差和辅助隔垫层的线宽，此三项占比达 70% 以上，对比非有机膜产品和有机膜产品，有机膜产品比非有机膜产品阵列基板侧各影响因子占比降低约 10%，说明有机膜对阵列基板侧的平坦作用较大。

根据以上理论模拟结果，文章主要对隔垫层、阵列基板侧段差、彩膜基板侧段差进行实验验证。评估各因子影响效果是采用液晶盒厚中心值 $\pm 0.1 \mu\text{m}$ 的管控规格下的过程能力指数，文章后续所提到的液晶盒厚均一性达成能力均是此评估标准。

表 2 理论模拟因子的工艺波动范围

Tab.2 The range of each factor for theoretical simulation

分类	参数	波动范围/ μm
阵列基板	栅极膜厚	± 0.3
	源漏极膜厚	± 0.36
	绝缘层膜厚	± 0.25
	氧化铟锡层膜厚	± 0.07
	有机膜过孔	± 1
	栅极线宽	± 1
	源漏极线宽	± 1
	氧化铟锡线宽	± 1
彩膜基板	主隔垫层线宽	± 3
	辅助隔垫层线宽	± 3
	黑矩阵线宽	± 2
	竖向角段差	± 0.1
	横向角段差	± 0.1
	红蓝像素段差	± 0.1
	蓝绿像素段差	± 0.1
	隔垫层膜厚	± 0.05

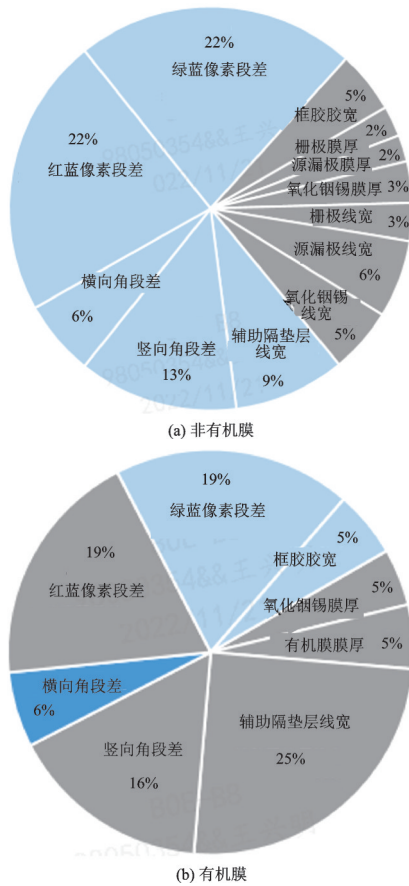


图2 不同产品影响盒厚均一性因子占比理论模拟

Fig.2 Theoretical simulation on factors affecting uniformity of cell gap for different products

2.2 隔垫层对盒厚均一性的影响

隔垫层是阵列基板和彩膜基板间形成盒厚的主要支撑物,对液晶量的多少起着决定性的作用。考虑到面板强度和液晶量波动范围的影响,会设计起主要支撑作用的主隔垫层和起辅助支撑作用的辅助隔垫层,而辅助隔垫层密度远远高于主隔垫层,因此辅助隔垫层的均一性对盒厚均一性影响更大。现有工艺主要有两种隔垫层类型,其一是制作在彩膜侧的普通隔垫层,形貌一般为圆台状,其二是交叉隔垫层,它由制作于阵列基板侧的部分和制作于彩膜基板侧的部分组成,形貌为相交的两个条状。表3中列出两类隔垫层产品对应的盒厚波动情况,实验对象是彩膜侧为低段差的有机膜产品,可以看出交叉隔垫层产品的盒厚波动远远小于普通隔垫层产品的盒厚波动,交叉隔垫层产品盒厚的工程能力指数比普通隔垫层产品盒厚的工程能力指数约高出约1.0,交叉隔垫层搭配有机膜和低段差的组合产品,盒厚管控规格 $\pm 0.1 \mu\text{m}$ 的工程能力指数可达3.1,即使是按照士

0.05 μm 的盒厚管控规格,工程能力指数也在1.33以上。

表3 两种隔垫层产品对应盒厚均一性差异对比

Tab.3 The difference of uniformity of cell gap between normal PS and XPS

样品	隔垫层类型	段差/ μm		盒厚工程能力指数	
		h_{RB}	h_{GB}	$\pm 0.1 \mu\text{m}$	$\pm 0.05 \mu\text{m}$
1	交叉隔垫层	0.05	0.25	3.16	1.58
2	交叉隔垫层	0.25	0.1	3.17	1.58
3	普通隔垫层	0	0.25	2	1.57
4	普通隔垫层	0	0.25	2.06	1.03

两种隔垫层数据分析结果如图3所示,普通隔垫层的高度及线宽在其工艺管控规格内均存在工程能力指数小于1.33的情况,交叉隔垫层的各项指标较普通隔垫层都有提升,尤其是辅助隔垫层的线宽均一性,它的工程能力指数较普通隔垫层高出3以上,达到4.5,说明影响盒厚均一性的关键因子之一是辅助隔垫层的线宽均一性。而交叉隔垫层均一性表现较优的原因,推测主要有两个方面,一是交叉隔垫层分别制作于基板两侧,其高度为普通隔垫层的一半,曝光时间越短,隔垫层顶部和底部的感光差异就越小,因此其形状越规整,均一性更好;二是曝光时全透光比半透光的稳定性更好,而交叉隔垫层在阵列基板侧的部分全部采用全透光曝光,该部分没有主辅之分,而普通隔垫层由于辅助隔垫层全部采用半透光曝光,其稳定性表现较差。图4给出了实际工艺监控到的普通隔垫层和交叉隔垫层形貌图,该图形是用光学显微镜拍摄彩膜

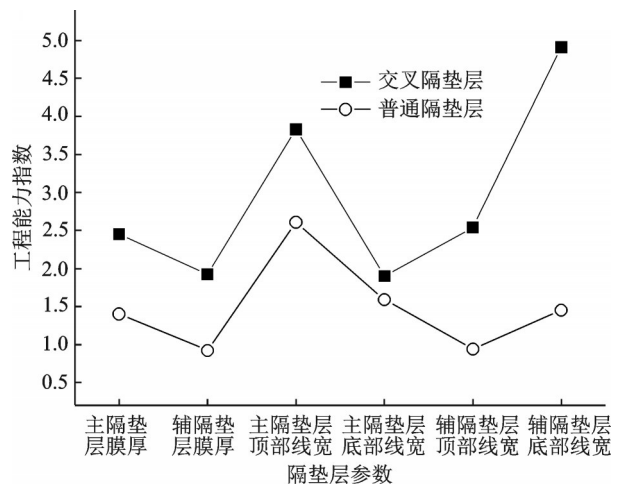


图3 两种隔垫层种类对应实测参数均一性对比

Fig.3 The uniformity of parameters of PS between normal PS and XPS

表面,然后采用 SNUMap 软件处理后得到的模拟图。由图中可以看出,普通隔垫层顶部与底部线宽的差值远远大于交叉隔垫层顶部与底部的差值,普通隔垫层的形貌呈圆台状,而交叉隔垫层的形貌接近于矩形状;还可以看出,对于交叉隔垫层,阵列基板侧的隔垫层高度波动极小,形状规则,对其均一性呈现正相关的影响,两种隔垫层的实测形貌佐证了上述推断。

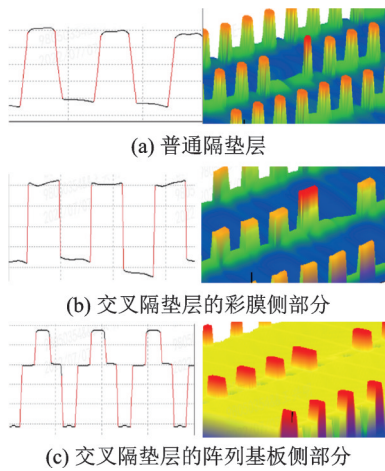


图 4 普通隔垫层,交叉隔垫层分别在彩膜侧和阵列基板侧部分实测高度和形貌

Fig.4 Measurement results of typical surface on normal PS, PSF and PSA

2.3 阵列基板侧段差对盒厚均一性的影响

由理论模拟上可以看出,有机膜对减小阵列基板侧段差十分有效,表 4 是两款彩膜侧低段差且均采用普通隔垫层的产品进行使用有机膜和不使用有机膜的对比实验结果,可以看出有机膜使用可以提升盒厚的工程能力指数约 0.6。另从表 5 中统计的不同段差产品盒厚均一性差异也可以看出,彩膜侧同为低段差的产品,有机膜和非有机膜产品盒厚的工程能力指数的差值也达到 0.5 以上。有机膜的厚度一般为 2.5 μm ,膜厚大是其能将阵列基板侧磨平的主要原因。另外有机膜具有降低功耗,提升产品开口率等优势,目前氧化物产品都搭配了有机

表 4 使用有机膜对盒厚均一性影响对比

样品	条件	盒厚/ μm	工程能力指数	工程能力指数差值
1	有机膜	3.21	2.64	0.65
2	无有机膜	3.32	1.99	
3	有机膜	3.24	2.51	0.6
4	无有机膜	3.57	1.91	

膜^[11-12],因此对于有机膜产品,阵列基板侧段差基本可以忽略。

2.4 像素间段差对盒厚均一性的影响

按照段差结构大致可以将产品分为四类,第一类是非有机膜搭配“零段差”结构,是指红绿蓝像素设计膜厚相同的产品,通常为 NTSC45% 或 NTSC72% 色域的产品;第二类是非有机膜搭配低段差结构,包含两种情况,一是设计像素间段差在 0.1 μm 以下,二是设计像素间段差大于 0.1 μm ,但有两个像素高度相同,成“对称型”结构;第三类是有机膜搭配低段差结构;第四类是有机膜搭配高段差结构,即设计像素间段差大于 0.1 μm ,并且像素结构为“非对称型”。

表 5 统计了四种段差结构产品的盒厚工程能力指数数据,这些产品的隔垫层设计均为普通隔垫层,可以看出对于非有机膜产品,彩膜侧“零段差”和低段差像素结构设计中,其盒厚的工程能力指数相差不大。而彩膜侧高段差与低段差的产品相比,其盒厚的工程能力指数从 2.14 下降至 1.29,即使是阵列基板侧采用有机膜,其工程能力指数也无法达标。彩膜侧越平坦,盒厚波动就越小,“零段差”和第一种低段差结构的盒厚均一性高是很直观的表现。而第二种低段差结构盒厚均一性也较高,对称

表 5 不同段差产品盒厚均一性差异

Tab.5 Effect of altitude difference of pixels on uniformity of cell gap

分类	样品	红绿蓝像素膜厚/ μm	工程能力指数	均值
非有机膜+零段差	1	2.38/2.38/2.38	1.4	1.6
	2	1.72/1.72/1.72	1.47	
	3	2.38/2.38/2.38	1.83	
	4	1.72/1.72/1.72	1.67	
	5	1.72/1.72/1.72	1.61	
非有机膜+低段差	6	2.45/2.4/2.45	1.45	1.63
	7	1.85/1.8/2.0	1.73	
	8	2.8/2.9/2.8	1.7	
有机膜+低段差	9	1.9/1.7/1.7	2.5	2.14
	10	1.85/1.72/2.00	2	
	11	2.0/1.75/2.0	2.06	
	12	1.95/1.75/2.0	2	
有机膜+高段差	13	2.8/2.9/2.85	1.62	1.29
	14	2.0/1.7/1.9	1.39	
	15	2.81/2.95/2.76	1.15	
	16	2.6/2.85/2.85	1.05	
	17	2.98/2.87/2.78	1.24	

结构使其段差呈现规律性的波动,因此整体上液晶量的波动也是很小的。

彩膜侧不同段差结构实际形貌如图5所示,设计为“零段差”和低段差的产品,平坦层后实际段差总和都在 $0.5\ \mu\text{m}$ 以下,图5(b)为对称型结构,可以看出其段差波动也呈现出对称性,因此其盒厚均一性高。但是高段差结构产品平坦层后实际段差波动较大且无规律,其段差之和达到了 $0.92\ \mu\text{m}$,盒厚均一性不达标。综合上述几种结构的对比,可以看出彩膜侧段差对盒厚的工程能力指数影响约0.8。

由于色域需求彩膜侧段差是固然存在的,降低彩膜侧段差最优的办法是平坦层磨平。平坦层的平坦性主要与材料特性相关,文章选取两款平坦材

料进行测试,一种是普通平坦材料,另一种是高平坦性的材料,高平坦性材料具有较优的流动性和涂覆性,但价格较高。表6是两种平坦性材料对盒厚均一性的提升效果,可以看出普通平坦材料对盒厚工程能力指数的提升约0.2,而高平坦性材料对盒厚的工程能力指数提升达到0.5。

表6 两种平坦材料对盒厚均一性的影响

Tab.6 Effect of normal OC and highly flat OC on uniformity of cell gap

样品	条件	盒厚/ μm	工程能力指数	工程能力指数差值
1	无平坦层	3.7	1.23	—
2	普通材料	3.75	1.43	0.2
3	高平坦性材料	3.74	1.74	0.51
4	无平坦层	3.79	1.15	—
5	普通材料	3.76	1.42	0.27
6	高平坦性材料	3.74	1.71	0.56

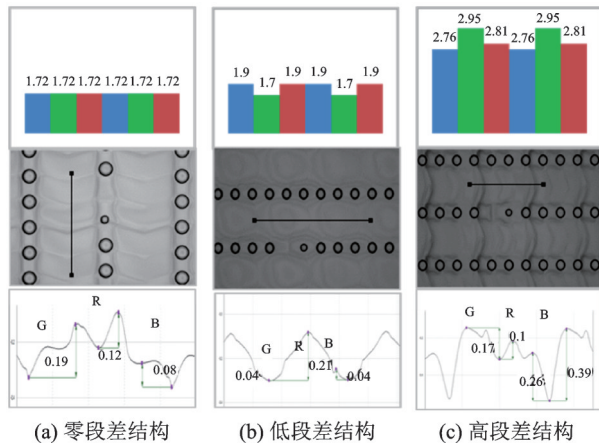


图5 彩膜侧不同像素结构实测形貌

Fig.5 The diagrams of three pixels structure

为进一步验证两种平坦层材料对彩膜侧的平坦效果,选取了彩膜侧高段差、阵列基板侧搭配有机膜、普通隔垫层的产品进行对比实验,结果如表7所示。可以看出,对于普通平坦材料,平坦化前后像素间段差无明显差异,角段差均值也在 $0.4\ \mu\text{m}$ 左右,而对于高平坦性材料,即使是设计段差达 $0.4\ \mu\text{m}$,平坦化后像素间段差也可以降低到 $0.15\ \mu\text{m}$ 以下,角段差也在 $0.2\ \mu\text{m}$ 以下。高段差的产品,搭配普通平坦材料无法将其盒厚的工程能力指数提升至1.33以上,而搭配高平坦性材料,盒厚的工程能力指数都可以达标。

表7 两种平坦化材料对高段差产品的平坦效果和盒厚均一性影响

Tab.7 Effect of two kinds of OC on uniformity of cell gap

平坦层材料	产品	像素设计段差/ μm			平坦化后像素间段差/ μm			角段差/ μm		盒厚工程能力指数
		h_{RB}	h_{GB}	h_{RG}	h_{RB}	h_{GB}	h_{RG}	h_{PH}	h_{PW}	
普通材料	1	0.1	-0.2	0.3	0.07	-0.15	0.22	0.4	0.43	1.33
	2	-0.15	0.2	-0.35	-0.1	0.1	-0.2	0.49	0.46	1.05
	3	0.05	0.19	-0.14	-0.02	0.12	-0.14	0.53	0.51	1.24
高平坦性材料	4	0.05	0.19	-0.14	-0.13	-0.09	-0.04	0.12	0.14	2.05
	5	0.4	0.57	-0.17	-0.02	0.04	-0.06	0.16	0.17	1.67
	6	-1	-0.4	-0.6	0.13	0.08	0.05	0.11	0.22	1.74

既然彩膜侧段差可以通过平坦层来磨平,那么增加平坦层的厚度是否可以进一步提升盒厚均一性。平坦层膜厚增加验证结果如图6所示,可以看出,对于普通材料的平坦层,膜厚由 $1.3\ \mu\text{m}$ 增加到 $2.0\ \mu\text{m}$,像素间段差仅降低 $0.03\ \mu\text{m}$,盒厚的工程能

力指数提升约0.3,说明增加平坦层膜厚对盒厚均一性有轻微提升。对于高平坦性材料的平坦层,膜厚由 $1.5\ \mu\text{m}$ 增加到 $2.0\ \mu\text{m}$,像素间段差降低约 $0.07\ \mu\text{m}$,但盒厚的工程能力指数仅提升约0.05,说明此时彩膜侧段差不是影响盒厚均一性的关键因子。

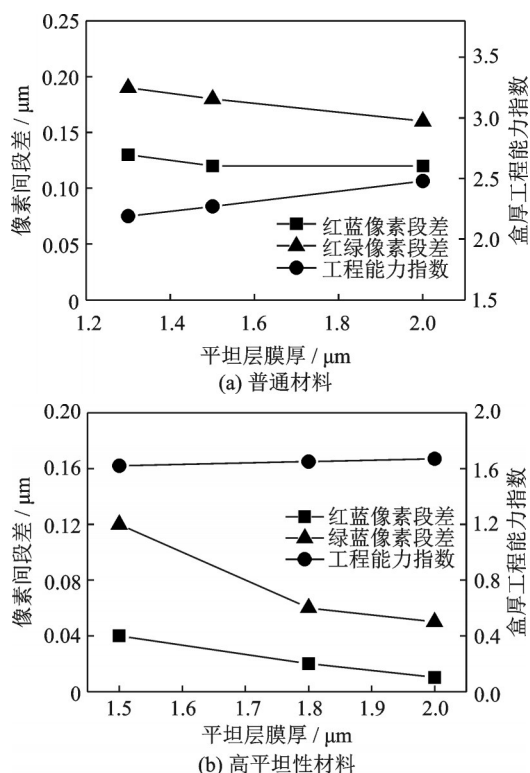


图 6 普通材料和高平坦性材料膜厚增加对像素间段差和盒厚均一性的影响

Fig.6 Effect of thickness of normal OC and highly flat OC on gap between pixels and uniformity of cell gap

3 结 论

文章通过对影响液晶量的因子进行理论模拟,得出对液晶量影响占比最大的因子是阵列基板侧段差、彩膜侧段差和隔垫层,然后对这几个主要因子进行实验验证。结果表明,按照盒厚 $\pm 0.1 \mu\text{m}$ 的规格,关键因子隔垫层、像素间段差和阵列基板侧段差,对盒厚工程能力指数的影响分别为0.9、0.8和0.6,彩膜侧低段差产品基本可达成盒厚 $\pm 0.1 \mu\text{m}$ 的规格。导入交叉隔垫层可将盒厚的工程能力指数提升0.9,而交叉隔垫层可以提升盒厚均一性的主要原因是其辅助隔垫层的线宽均一性高,导入有机膜可将盒厚的工程能力指数提升0.6,导入高平坦性材料和普通材料的平坦层可分别将盒厚的工程能力

指数提升0.5和0.2。平坦层对彩膜侧像素间段差的磨平效果主要体现在材料差异,普通材料对像素间段差磨平效果甚微,高平坦性材料的平坦层可将 $0.4 \mu\text{m}$ 的设计段差磨平至 $0.15 \mu\text{m}$,导入高平坦性材料是减少像素间段差最简单有效的方式,普通材料和高平坦性材料平坦层的膜厚进一步增加对盒厚均一性的提升作用不明显。对高段差产品,导入高平坦性材料的平坦层,按照盒厚 $\pm 0.1 \mu\text{m}$ 的规格,工程能力指数可达1.7,盒厚规格 $\pm 0.05 \mu\text{m}$ 的工程能力指数要达标,可同时导入交叉隔垫层、有机膜、高平坦性材料。以上验证结果为提升产品盒厚均一性提供了改善方向,为高规格产品设计和实际生产提供了指导。

参 考 文 献

- [1] 马群刚. TFT-LCD原理与设计[M]. 北京:电子工业出版社, 2011.
- [2] 李庆明. 国内外液晶技术及相关产业发展现状[J]. 科技与创新, 2022, 5: 161-162.
- [3] 谭玉东. TFT-LCD液晶材料的研究现状及应用[J]. 智库时代, 2018, 49: 182-189.
- [4] 刘建党, 刘攀, 肖子凡, 等. TFT-LCD基板玻璃的市场现状及发展趋势[J]. 玻璃, 2018, 45(2): 16-20.
- [5] 杨柏梁. 世界TFT LCD产业现状[J]. 液晶与显示, 2000, 15(2): 154-158.
- [6] 王建国. VA型液晶屏周边Mura的分析与改善[J]. 液晶与显示, 2013, 28(5): 716-719.
- [7] 吕松. 液晶盒厚影响因素的研究[D]. 上海:上海交通大学, 2015.
- [8] 张晶思. 在液晶滴下工艺中保持盒厚均一性的研究[D]. 上海:上海交通大学, 2008.
- [9] 邱永亮, 李荣玉, 顾筠筠. TFT-LCD制造过程中的盒厚控制工艺研究[J]. 现代显示, 2008, 6: 33-35.
- [10] 李文娟, 郭玉强, 马红梅, 等. 垂直排列硅上液晶显示器件反射率的提升[J]. 液晶与显示, 2021, 36(7): 947-953.
- [11] H ShuChan, Shan H Jy, Liang B, et al. Cell-gap and pretilt-angle determination of a vertically aligned reflective liquid-crystal display [J]. Journal of the Society for Information Display, 2003, 11(4): 114-115.
- [12] Ito M, Kon M, Miyazaki C. Amorphous oxide TFT and their applications in electrophoretic displays[J]. Physica Status Solidi (a), 2008, 205(8): 167-168.