

# TFT-LCD 一种条纹 Mura 的研究与改善

张正林<sup>1</sup>, 曹淑辉<sup>1</sup>, 王 炎<sup>1</sup>, 吕 琛<sup>1</sup>, 封振宇<sup>2</sup>

(1. 南京京东方显示技术有限公司, 南京 210033; 2. 山东大学 化学与化工学院, 济南 250100)

**摘 要:** 针对 A 机种生产过程中发生的一种条纹 Mura 问题, 通过不良品的解析和数据统计分析, 发现 Mura 异常区的黑色矩阵层 (BM) 图案边缘有内切 (Undercut) 问题, 是因为制造过程中显影机导轮与玻璃接触部分发生静电累积, 静电干扰使 BM 光阻与玻璃之间的接触角变小, 造成显影后背面曝光工艺中 BM 未固化层发生热融溢流 (Melt Flow) 现象, 固化工艺后形成 BM 边缘内切。研究发现, 通过优化背面曝光工艺参数和关闭曝光上灯可以有效改善条纹 Mura 的程度; 且将显影机导轮“平行式”排列改造成“之字式”排列, 可以进一步改善条纹 Mura 现象。改善后条纹 Mura 的发生率由 0.8% 降至 0, 改善效果显著。

**关键词:** 条纹缺陷; 内切; 背面曝光; 静电积累; “之字式”排列

**中图分类号:** TN383 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-488X(2022)01-0047-06

## Analysis and Improvement of Stripe Mura in TFT-LCD

ZHANG Zhenglin<sup>1</sup>, CAO Shuhui<sup>1</sup>, WANG Yan<sup>1</sup>, LYU Chen<sup>1</sup>, FENG Zhenyu<sup>2</sup>

(1. Nanjing BOE Display Technology Co., Ltd., Nanjing 210033, CHN; 2. School of Chemistry and Chemical Engineering, Shandong University, Jinan 250100, CHN)

**Abstract:** Aiming at a kind of stripe Mura problem in the production process of A type, and through the study of defective products and the statistical analysis of the data, it was found that the black matrix layer (BM) pattern in Mura abnormal area had an undercut problem. Because of the accumulation of static electricity in the contact part between the developing machine guide wheel and the glass, the contact angle between BM light resistance and glass became smaller due to the electrostatic interference, and then melt flow occurred in the BM uncured layer in the back exposure process after developing, causing the BM undercut edge after curing process. It was found that the degree of stripe Mura could be effectively improved by optimizing the back exposure process parameters and turning off the exposure lamp. Besides, the Parallel arrangement of the guide wheel was changed into Zigzag arrangement, which could furtherly improve the bad phenomenon of stripe Mura. The incidence of stripe Mura decreased from 0.8% to 0, so the improving effect was remarkable.

**Key words:** stripe Mura; undercut; backside exposure; electrostatic accumulation; Zigzag arrangement

收稿日期: 2021-07-25

作者简介: 张正林(1988—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事 TFT-LCD 面板的研究和改善工作; (E-mail: zhangzhenglin-b18@boe.com.cn)

曹淑辉(1983—), 男, 工程师, 主要从事 TFT-LCD 面板的研究和改善工作; (E-mail: caoshuhui-b18@boe.com.cn)

王 炎(1984—), 男, 博士, 开发副总监, 主要负责 TFT-LCD 面板开发工作。(E-mail: wangyan-hf@boe.com.cn)

## 引 言

TFT-LCD是目前主流的显示技术之一,人们日益增长的高端显示需求对提升TFT-LCD的显示画质的要求也越来越高<sup>[1]</sup>。Mura是TFT-LCD产品制造中常见的一种显示缺陷<sup>[2]</sup>,主要现象为显示亮度和颜色不均匀,其成因多种多样,与玻璃原材、光阻原材、液晶原材、设备工艺参数都有相关性。行业内一般认为有电致Mura和光致Mura两种<sup>[3]</sup>,其中,电致Mura是由于局部区域亚像素的电压与面板其他位置上亚像素的电压存在明显差异,导致目视可见的灰度不均匀;而光致Mura是指由液晶分子排布、液晶纯度、液晶盒厚或彩色滤光片颜料纯度、比例及树脂材料和厚度等光学因素,导致背光穿透率差异而造成的画面灰度不均匀现象。膜层厚度均一性差就会直接影响显示画面的画质,是导致光致Mura发生的一种常见原因<sup>[4]</sup>。但高世代线生产使用的玻璃原材尺寸较大,确保膜层的均匀性变得极具挑战性。

针对京东方G8.5工厂产品制造过程中发生的一种条纹状Mura,通过不良品解析和数据统计的研究,发现导致不良发生的原因是黑色矩阵(BM)制程中玻璃与显影机导轮接触时发生静电累积,静电吸附造成BM光阻与玻璃基板的接触角变小,显影后背面曝光过程中BM光阻未固化层发生快速溢流,在热固化后形成膜层边缘内切异常。实验探究BM制程背面曝光工艺和显影机导轮静电影响条纹Mura状况。通过优化背面曝光工艺参数和改善玻璃与导轮接触位置防静电累积的措施,明显降低条纹Mura的发生率。

## 1 不良现象介绍与不良品解析

### 1.1 不良现象和不良率

A产品在模组点亮过程中,发现48、64、127灰阶下画面可见间隔3mm亮暗相间纵条纹Mura,如图1,异常在面板上的位置不完全固定。通过偏置调整公共电压( $V_{com}$ )信号,确认Mura现象无明显变化,可以排除电致Mura。该Mura被点亮测试持续检出,经调查无明显批次集中性,但产品检出率高达0.8%,将造成良率损失。

### 1.2 不良品解析

将TFT和CF(Color Filter)分离,灯下发现条纹

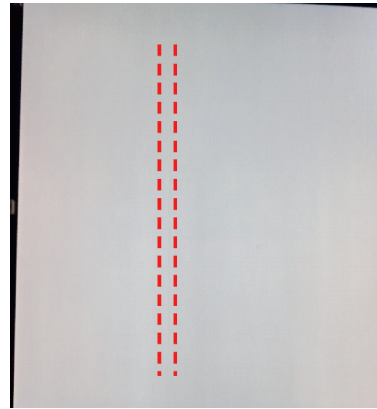


图1 条纹Mura

Fig.1 Phenomenon of stripe Mura defect

Mura在CF侧可见(如图2),TFT侧不可见,将CF侧表面的聚酰亚胺层(PI)去除后仍有异常,初步判定条纹Mura与CF制程相关。如图3所示,通过扫描电镜(SEM)对CF侧各层膜厚检测正常区和异常区,确认R/G/B膜厚合规,无明显差异。通过数据统计分析,图4中,条纹Mura在大板上的分布相对集中在基板中部位置,且位置与CF各制程显影机的导轮匹配,表明条纹Mura很可能与CF显影机的导轮相关。

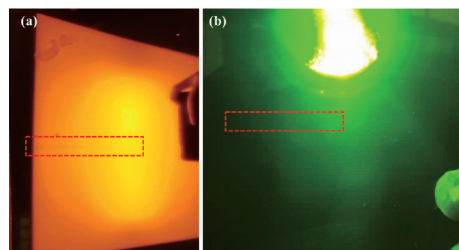


图2 拆片后CF侧条纹Mura现象

Fig.2 CF Glass phenomenon of stripe Mura defect after tear-down

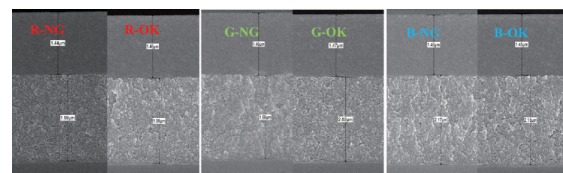


图3 正常区 vs 异常区R/G/B膜厚

Fig.3 R/G/B film thickness of OK area and NG area

### 1.3 生产履历调查

CF厂内排查确认,在钠灯特定角度下,部分基板可检出轻微条纹Mura。同步排查A产品各制程后的外观检查,结果见表1:条纹Mura在BM制程就首次检出,到R/G制程仍然可以100%检出。而在

纵条纹	00	01	02	03	
AA	0	3	4	2	
AB	3	5	6	3	
AC	2	7	5	3	
AD	1	3	5	5	
AE	2	3	4	2	
AF	2	8	4	2	
AG	1	7	5	2	
AH	2	7	3	3	

图4 不良产品发生率和玻璃板位置对应

Fig.4 Panel ratio and glass mapping

后制程 B/OC/PS 就很难被目视检出,是由于玻璃表面全部覆盖光阻,光的透过率降低导致目视难以发现该 Mura。同时,厂内还验证 A 产品使用 B 产品工艺参数投入 BM 制程,外观检查机确认未检出异常 Mura,理清异常 Mura 与 BM 制程具有强相关性。

表1 CF各制程条纹 Mura 外观检查状况

Tab.1 Macro inspecting results of CF each layer

制程	抽检数量/Pcs	Mura 发生率/(%)
BM	4	100
R/G	4	100
B	4	0
OC	5	0
PS	5	0
Final Macro	30	303

### 1.4 BM 特性值测定

BM 膜厚和线宽 (CD, Critical Dimensions) 是 BM 制程的两个主要特性值。对 BM 检出的 Mura 异常区的 BM 膜厚和线宽进行密集点量测,结果如图 5 所示。BM 膜厚在 Mura 区域(NG 区)与正常区(OK 区)无明显波动差异,BM 线宽也均在  $6.5 \mu\text{m}$  左右波动,未见明显的异常趋势。数据表明 BM 膜层的特性值没有异常,不是造成 Mura 发生的原因。

### 1.5 BM 截面 SEM 形貌分析

通过 SEM 对 BM 制程后的产品进行截面分析,从图 6 可见 Mura 区域 BM 层边缘有轻微的内切现象,正常区域则无明显的内切现象;测量 Mura 区 BM 的坡度角( $56.3^\circ$ ),比正常区( $73.2^\circ$ )的角度小(产品坡度角规格  $\geq 60^\circ$ ),推测 Mura 区域的内切是条纹 Mura 发生在微观上的原因。内切现象在宏观上会表现为显影后图案线性稍差,图案边缘粗糙,同

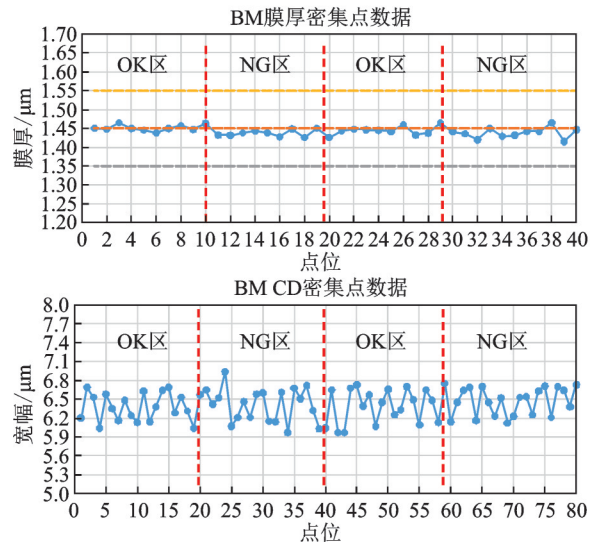


图5 BM膜厚和线宽密集点数据

Fig.5 The density point data of BM film thickness and CD

时还会造成膜层与玻璃之间的附着性差,甚至可能导致产品发生轻微混色。

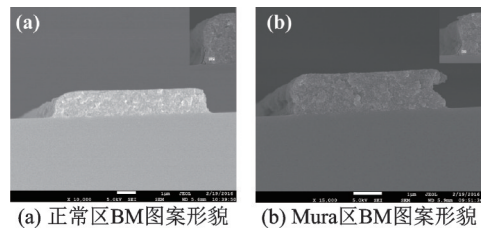


图6 BM层 SEM 图

Fig.6 The SEM images of BM layer

### 1.6 BM 制程差异性调查

调查 CF 各机种条纹 Mura 与 BM 制程的差异性,对比分析光阻、背镀 ITO、显影背面曝光状况,如表 2 所示。从 CF 厂内实验理清状况来看,可以检出条纹 Mura 的产品均无背镀 ITO 或采用背面曝光工艺,BM 光阻均是高阻抗特性。条纹 Mura 与显影机传动的导轮排布相同,基板行进过程中同一位置不断与导轮摩擦接触,另外条纹 Mura 发生在无背镀 ITO 膜和高阻抗 BM 的 A 机种上,而有背镀 ITO 层和采用低阻抗 BM 的 B 机种设计则无条纹 Mura,推测导轮上因摩擦产生静电,A 机种因玻璃是电绝缘体,高阻抗 BM 光阻也容易积累静电,都造成了导轮接触区域局部静电电荷残存;相比而言,B 机种的背镀 ITO 层具有良好的导电性能,低阻抗的 BM 光阻也不易积累静电,玻璃基板上难以形成电荷残存。

表 2 CF BM 制程差异性调查

Tab.2 The difference of CF BM manufacturing procedures

机种	BM 光阻	背面 ITO	背面曝光上灯	背面曝光下灯	BM 后条纹 Mura	备注
A	高阻抗	无	开	开	有	客诉机种量产条件
B	高阻抗	有	开	开	无	
C	高阻抗	无	开	开	有	
D	低阻抗	无	开	开	很轻微	
D	低阻抗	有	开	开	无	对照背镀 ITO 层影响
B	高阻抗	有	关	关	很轻微	对照背面曝光工艺影响

## 2 不良机理研究

CF 显影工艺是负性光阻曝光处理后,未接受曝光图案部分完全溶解于氢氧化钾(KOH)显影液中,接受曝光的光阻则因发生交联反应形成交联体,不会溶解于 KOH 溶液,在基板上形成需要图案的过程<sup>[5]</sup>。如图 7,显影反应的本质是一个溶解过程,过程中显影液消耗 KOH 中的 OH<sup>-</sup> 离子与活性剂。

BM 光阻在曝光后只会在表面形成一层曝光固化层,这是因为 BM 本身是黑色碳黑不透光,紫外(UV)光难以穿透到达 BM 下层,下层接受到的曝光

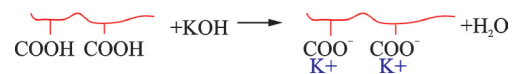


图 7 显影反应

Fig.7 Development reaction

量低则无法彻底固化。如图 8 所示,显影后的底部松软倒梯形结构,传统工艺是直接进行热固化,此时图案边缘发生热融溢流(Melt Flow)现象,最终形成坡度角较小的正梯形;相比而言,固化前增加背面曝光工艺(即显影后,对下层 BM 未固化层从背面继续 UV 光照),先固化下层柔软的 BM 层,可有效抑制热融溢流的发生,确保 BM 图案的坡度角足够陡峭,对最终的液晶显示产品是有利的。

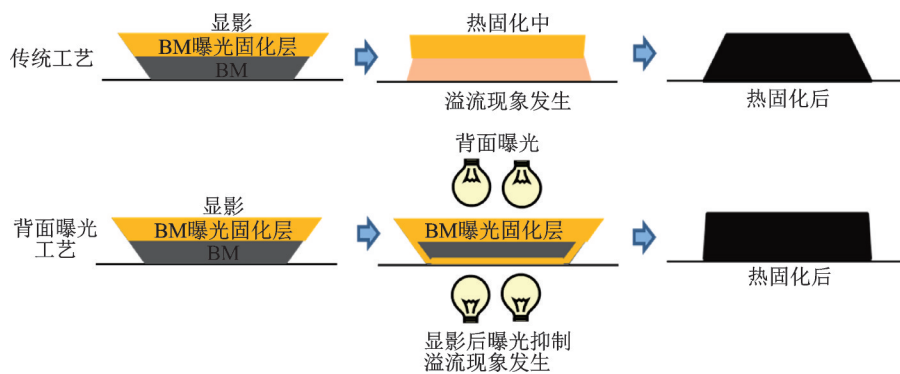


图 8 背面曝光工艺示意图

Fig.8 Mechanism analysis diagram of backside exposure technology process

然而,导轮和玻璃是绝缘体的本质特性,造成静电在导轮与玻璃接触的区域累积,导轮与玻璃的接触区域和非接触区域存在电荷水平差异。按照图 9 的实验方法,模拟生产滚轮摩擦玻璃,转速设为 1 000 rpm(转/min),摩擦速度为 30 mm/s,量测接触角统一在滴下 BM 光阻后 1 s 完成,静电荷测定也是 30 s 内完成。图 10 是量测的数据结果,表明摩擦会导致玻璃和 BM 光阻之间发生静电累积,摩擦后 BM 光阻与玻璃的接触角会缩小。

如图 11,接触区域带有静电会导致光阻层与玻璃的接触角变小<sup>[6]</sup>,对于精细化程度更高的高阻抗

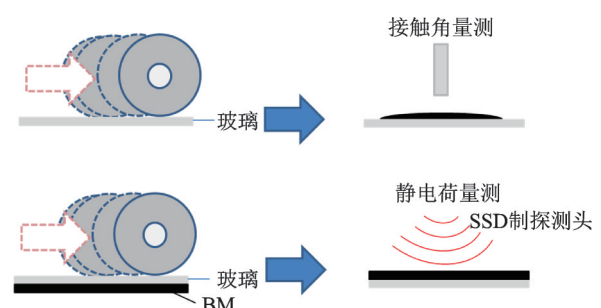


图 9 接触角测试方法和静电荷测试方法示意图

Fig.9 Schematics of measurement of contact angle and measurement of static electricity



BM 光阻干扰尤为明显。在背面曝光前,下层未固化的部分容易溢流下来(如图 12),经过热固化后则形成内切的图案。

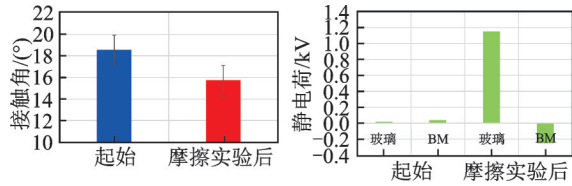


图 10 接触角测试方法和静电荷测试结果

Fig.10 Results of measurement of contact angle and measurement of static electricity

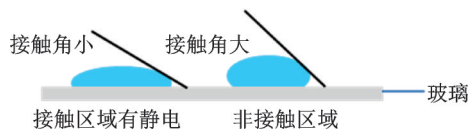


图 11 静电干涉

Fig.11 Schematic of electrostatic interference

### 3 改善实验与结果

从不良的分析结果可知,纵条纹发生的原因是导轮与玻璃接触区域形成静电累积,该区域 BM 层有内切不良现象,所以解决纵条纹 Mura 位置的 BM 截面形貌是改善不良的总体方向。因此文章主要从优化背面曝光参数和导轮调整两个方面进行改善验证,寻找出最优的生产工艺参数。以下测试均是在使用正常量产的 A 机种生产工艺参数上进行调整改善。

#### 3.1 BM 背面曝光影响

随着对显示品质的高端追求,BM 线宽要求也越来越细。实验表明线宽在 5 μm 以下产品容易发生色阻混色不良;使用背面曝光(显影后二次曝光)技术可以使 BM 的断面形状更加陡峭<sup>[6]</sup>,能有效改善视差混色现象和内切现象。背面曝光的核心是控制正面和背面曝光的曝光量,正面曝光可以选择适度降低曝光量,然后再由背面曝光增加一个合适的

曝光量,以达到正面和背面共同均匀的固化光阻的效果。实验分别调整背面曝光工艺参数,如表 3 数据。实验结果表明背面曝光只开下灯的时候,条纹 Mura 不良消失;同步测试发现降低上灯的曝光量,条纹 Mura 也相应变得轻微。

表 3 背面曝光工艺调整的影响

Tab.3 Influence of backside exposure process

机种	背面曝光 上灯	背面曝光 下灯	条纹 Mura	备注
A	开	开	有	客诉机种量产条件
A	开	关	有	
A	关	开	无	
A	关	关	无	CD 超规 NG

#### 3.2 导轮静电影响

TFT-LCD 工厂内消除静电的方法主要有接地、静电消除器(Ionizer)、增加环境湿度和改善材料的导电性能等。传输玻璃的导轮采用“平行式”排布,玻璃与导轮接触位置呈固定直线样式,该位置将不断与玻璃摩擦并累积静电。将导轮的“平行式”分布变更为“之字式”分布,可以有效降低因相同位置持续发生摩擦造成静电不断累积的可能性。“之字式”排列如图 13 所示。实验表明,将导轮变更为“之字式”排列传送,条纹 Mura 也可以有效改善。

其次,静电受环境湿度因素影响较大,湿度越低越容易积累静电<sup>[7]</sup>。在显影机干燥腔室里,风刀吹出高流量的空气能快速干燥基板表面,同时也大大降低了基板表面的环境湿度,增加了静电累积的风险。生产过程中有效监控显影机干燥段环境的湿度,确保湿度不会降低至 70% 以下同样是必要的措施<sup>[8]</sup>。

通过上述的改善措施,重新使用 SEM 观察之前异常区域的 BM 图案,如图 14,可见改善后的 BM 图案形貌完整,坡度角陡峭边缘无内切,膜厚和 CD 均在设计规格内。

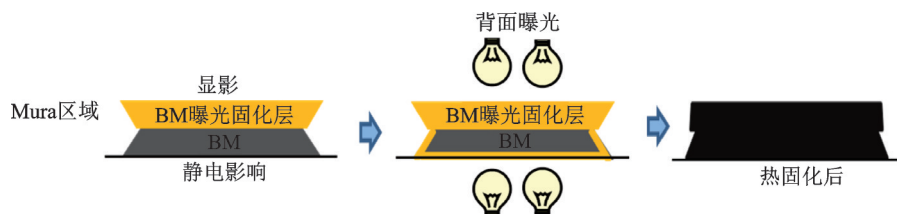


图 12 内切机理分析示意图

Fig.12 Analysis diagram of undercut mechanism

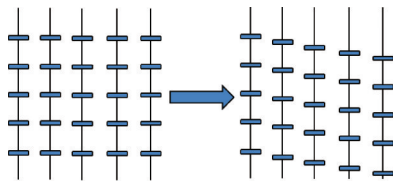


图 13 “平行式”调整为“之”字式”排布

Fig.13 Parallel arrangement changed into Zigzag arrangement

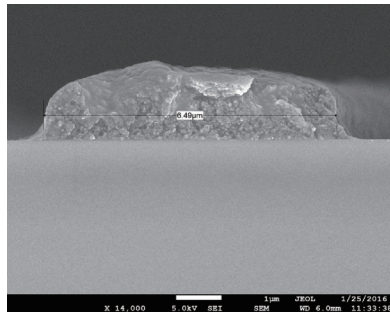


图 14 改善后 BM 端面图

Fig.14 Cross-sectional schematic of BM after improvement

## 4 结 论

针对 TFT-LCD 面板制造过程中一种条纹 Mura 进行了探究。通过不良品的调查和解析确认到条纹 Mura 不良品的异常区 BM 图案的内切异常,导轮与玻璃接触部分发生静电累积,静电干扰减小了 BM 光阻在玻璃表面的接触角,造成图案在显影后

背面曝光工艺中发生未固化层热融溢流形成内切。推理出条纹 Mura 的发生机理和改善原理。通过实验得出:优化 BM 显影后背面曝光工艺的曝光参数,改造显影机导轮为“之”字式”分布,且规避在生产过程中同一位置不断累积静电的风险,可有效改善这种条纹 Mura。量产良率数据表明条纹 Mura 不良率由 0.8% 降低至 0,产品的良率提升明显。对未来 TFT-LCD 产品制造过程中,膜层因静电积累而形变造成 Mura 的改善具有一定的借鉴意义。

## 参 考 文 献

- [1] 刘 莎,王 丹,杨照坤,等.液晶 TFT-LCD 技术发展趋势浅析[J].液晶与显示,2018,33(6): 457-463.
- [2] 张 鹏,马婷婷,杨叶花,等.液晶显示器 Mura 缺陷及测量方法浅析[J].电子测试,2017,6: 50-52.
- [3] 操彬彬,刘幸一,陈 鹏,等.TFT-LCD 四角发黑 Mura 的研究与改善[J].液晶与显示,2020,35(2): 122-127.
- [4] 陈维诚,林 强,江 桥,等.TFT-LCD 配向膜涂覆工艺中膜厚不均改善研究[J].电子世界,2019,6: 51-52.
- [5] 董小春,杜春雷.负性光刻胶刻蚀工艺研究[J].光子学报,2003,35(12): 1422-1425.
- [6] 靳福江,卢 兵,朱凤稚,等.新型 TFT-LCD 黑矩阵的细线化研究[J].液晶与显示,2014,29(4): 521-526.
- [7] 彭志龙,王 威.关于 TFT-LCD 工艺过程中 ESD 改善的研究[J].液晶与显示,2006,9: 24-26.
- [8] 杨宗顺,陶 雄,钟 野,等.一种 GOA 产品静电失效的研究及改善[J].液晶与显示,2019,34(2): 155-159.

## (上接第 46 页)

- [9] Ramzan M, Khan T M, Bolat S, et al. Terahertz bandpass frequency selective surfaces on glass substrates using a wet micro-machining process [J]. Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, 2017, 38(8): 945-957.
- [10] Reynolds J E, Munk B A, Pryor J B, et al. Ohmic loss in frequency-selective surfaces [J]. Journal of Applied Physics, 2003, 93(9): 5346-5358.
- [11] Jahani S, Jacob Z. All-dielectric metamaterials[J]. Nature Nanotechnology, 2016, 11(1): 23-36.
- [12] Liu X, Fan K, Shadrivov I V, et al. Experimental realization of a terahertz all-dielectric metasurface absorber [J]. Optics Express, 2017, 25(1): 191-201.
- [13] Ueda T, Michishita N, Akiyama M, et al. Dielectric-resonator-based composite right/left-handed transmission lines and their

application to leaky wave antenna [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2008, 56(10): 2259-2269.

- [14] Zhao Q, Kang L, Du B, et al. Experimental demonstration of isotropic negative permeability in a three-dimensional dielectric composite [J]. Physical Review Letters, 2008, 101(2): 027402.
- [15] Lepetit T, Akmansoy E, Ganne J P. Experimental evidence of resonant effective permittivity in a dielectric metamaterial [J]. Journal of Applied Physics, 2011, 109(2): 023115.
- [16] Du B, Wang J, Xu Z, et al. Band split in multiband all-dielectric left-handed metamaterials [J]. Journal of Applied Physics, 2014, 115(23): 234104.
- [17] Chen X, Gregorczyk T M, Wu B I, et al. Robust method to retrieve the constitutive effective parameters of metamaterials [J]. Physical Review E, 2004, 70(1): 016608.