

文章编号:1007-2780(2013)06-0860-08

## TFT-LCD 网点 Mura 的研究和改善

张定涛<sup>1,2</sup>, 李文彬<sup>1\*</sup>, 姚立红<sup>1</sup>, 郑云友<sup>2</sup>,  
李 伟<sup>2</sup>, 宋泳珍<sup>2</sup>, 袁 明<sup>2</sup>, 张光明<sup>2</sup>

(1. 北京林业大学 工学院, 北京 100083; 2. 北京京东方显示技术有限公司, 北京 100176)

**摘 要:** 为解决 116.8 cm(46 in)广视角边缘场切换技术 4mask 面板生产中的阵列工艺中,发生的一种网点色斑缺陷,应用扫描电子显微镜、聚焦离子束、能谱仪、宏观微观观测仪和线宽测量仪等检测设备进行 Mura 及其结晶物成份分析,比较了 TFT 膜厚,进行了 GI 和 PVX 膜玻璃正反面 1%HF 酸腐蚀试验、下部电极温度升高 10 °C 试验、工艺 ash、n<sup>+</sup> 刻蚀的后处理步骤和有源层 BT 试验。研究了沟道 n<sup>+</sup> 掺杂 a-Si 层的厚度对于 Mura 的影响。确定了 Mura 的发生源和影响因素,结果发现 Mura 形成机理,一为基板背部划伤,二为接触和不接触电极区域的温差异,三是刻蚀反应的生成物在有源层工艺黏附在基板背部,之后经过多层膜沉积、湿刻和干刻、剥离工艺后促使缺陷进一步放大。最后采用平板粗糙面下部电极、控制剩余 a-Si 厚度和升高温度的方法,消除了网点 Mura,并使得整体 Mura 发生率降为 0.08%。

**关 键 词:** 色斑; 薄膜晶体管; 非晶硅; 缺陷分析

**中图分类号:** TN312.18 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20132806.0860

## Research and Improvement of TFT-LCD Node Mura

ZHANG Ding-tao<sup>1,2</sup>, LI Wen-bin<sup>1\*</sup>, YAO Li-hong<sup>1</sup>, ZHENG Yun-you<sup>2</sup>,  
SONG Yong-zhen<sup>2</sup>, LI Wei<sup>2</sup>, YUAN Ming<sup>2</sup>, ZHANG Guang-ming<sup>2</sup>

(1. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Beijing BOE Display Technology Co., LTD., Beijing 100176, China)

**Abstract:** To resolve a kind of node Mura of 116.8 cm(46 in) Fringe Field Switching panel in array actual 4mask etching process, scanning electron microscopy, focused ion beam, energy dispersive spectroscopy Macro/Micro and critical dimension are used to verify the compositions and crystals. Also GI test, PVX layer's front and backside in 1% HF corrosion experiment, elevating 10 °C in lower electrode, varying ash and AT(after treatment) of n<sup>+</sup> step and active BT conditions are carried out. In addition, the effect of the n<sup>+</sup> doped a-Si thickness is studied. So the Mura sources, influencing factors and the Mura mechanism are revealed: First factor is its first formation on the substrate back scratch, the other is the film changes between contact and non-contact electrode layer etching regional in temperature changes, the third is by-products adhesion to the substrate backside in active layer dry etch, followed by a multi-layer film deposition and amplified after wet etch-strip process. Finally the flat and rough lower electrode is adopted, remaining a-Si thickness is restricted between 210 nm and 230 nm, and temperature is elevated to 50 °C, then node Mura has not been found and the overall Mura ratio is less than 0.08%.

**Key words:** Mura; thin film transistor; amorphous silicon; defect analysis

收稿日期: 2013-06-27; 修订日期: 2013-08-18

作者简介: 张定涛(1977—),男,河南南阳人,博士研究生,从事等离子加工设备与工艺研究。

\* 通信联系人, E-mail: leewb@bjfu.edu.cn

## 1 引言

Mura 是造成薄膜场效应晶体管液晶显示器(TFT-LCD)产品缺陷,如亮线、薄亮线等的常见缺陷,是所有显示缺陷中最难检测的种类之一。在同一光源相同灰阶的画面下,因视觉感受到光源有不同的频率响应而感受到的颜色差异称之为 Mura。目前对 TFT-LCD Array 工艺 Mura 的成因研究结果归因为 3 种:(1)污染和损伤,(2)膜差异,例如膜厚不均匀、薄膜应力差异和厚度大小的影响以及交叠(overlap)造成,因 TFT 的主要构成是层与层之间的相连关系,若某一层或者几层当中有产生异常,可能影响 TFT 电气特性而造成 Mura。例如金属膜层在玻璃基板上的应力差异造成横线 Mura。通过改变栅电极膜层结构可以有效降低横线 Mura 的发生率<sup>[1-4]</sup>。(3)检测手段差异,Mura 缺陷特点为边缘模糊、对比度低、图像中存在重复纹理背景和整体的亮度不均匀。由于具有重复的纹理背景,图像采集过程中易发生频率混叠而误检<sup>[2]</sup>。

FFS(Fringe Field Switching)技术是将 IPS 的不透明金属电极改为透明的 ITO 电极以增加透光率。另一方面,正负电极不再间隔排列,而是将正负电极通过绝缘层分离重叠排列,这样在电场作用下电极间和电极上的液晶分子均在平行于面板的面内旋转,保证在各个方向上光均穿过液晶分子的短轴,没有方向依赖性而扩大视角。FFS 技术是独有的兼备广视角和光高透过率的技术<sup>[3]</sup>,因此在这种模式下,细微的 Mura 和缺陷都容易被观测到。

## 2 现象和试验思路

### 2.1 不良现象

实际开发生产 116.8 cm(46 in)广视角 FFS 4mask 阵列工艺中,宏观和微观观测到发生一种类似网点状阵列白色 Mura,发生率 27.2%。在 127 灰阶清晰可见。用无膜白玻璃测试,成膜基板上下表面均可清晰观测到 Mura 点,因此无法直接判断是基板膜层侧还是基板玻璃侧发生。Mura 点间距 5 mm,和下部电极上凸起的 490×440 个阵列凸头分布基本一致,如图 1。Mura 大小不等,直径最大 0.56 mm。样片采用超声清洗、IPA 和去离子纯水擦拭玻璃基板正反面均无

法去除。模组工艺观测到 Mura 点最大直径变大到 0.88 mm。用丝网布浸润 55℃去离子纯水擦拭下部电极后,可以维持 672 h 内的 Mura 发生率低于 3.27%,但 810 h 左右发生率就超过 10%。

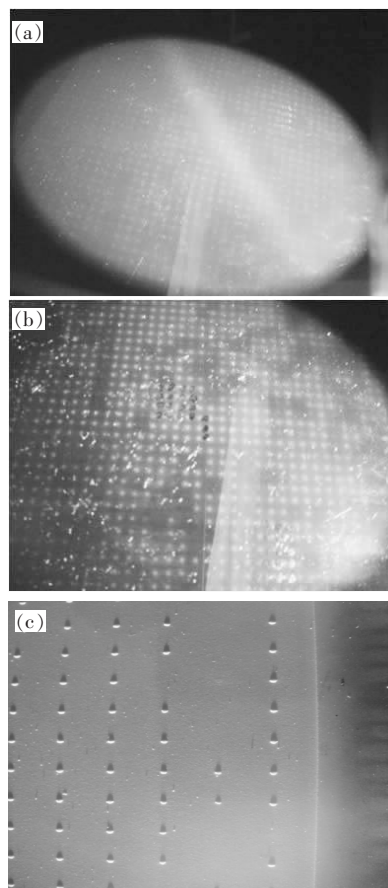


图1 Mura发生的基板正面(a)、背面(b)和下部电极表面粗头(c)图。

Fig.1 Mura glass front(a),back(b)and lower electrode emboss dots(c).

更换新的下部电极后,仅能维持 420 h 内发生率不高于 1.43%,新的下部电极凸头表面为平面,粗糙度 Ra 1.5。使用 420 h 以上的凸头表面平滑但是高度不一,甚至部分凸点磨损消失,粗糙度小于 Ra 1.0。

将正在使用的下部电极温度从 40℃升高到 50℃,260 h 以内发生率不超过 2.25%。

### 2.2 试验思路

Mura 如果发生在玻璃上表面,考虑膜厚和膜质、生成物的残留<sup>[4]</sup>以及温度差异<sup>[5]</sup>。栅极绝缘层(Gate Insulator,GI)尤其是 GI:L 层和 PVX 层受温度影响较大,所以应分析这 2 层受到的外部温度变化。文献[6]表明,在 TFT 自加热条件下,沟道温度变化最大,沟道是 TFT 电学和光学

最重要的影响膜层,因此要考察沟道的厚度差异。化学气象沉积和物理气象沉积成膜工艺在各设备差异影响膜厚和形状、粗糙度从而影响透光性<sup>[7]</sup>,因此要分析 TFT 膜厚和表面特性,进行 SEM 和 MM 宏观测试对比判断有无差异。从工艺上,因 Mo/AL/Mo 结构存在小丘(hillock)<sup>[8]</sup>、金属腐蚀和残留<sup>[9]</sup>,影响 TFT 电气特性从而影响光特性,可尝试将 BT 步骤时间延长将残留 Mo 沉积物去除。因 CD 偏移过大造成金属过早外露而被刻蚀,从而引起金属被刻蚀后生成物残留,因此要控制 Data CD。最后要进行折射测试,考察各层对 Mura 观测范围的影响。

Mura 如果发生在玻璃下表面,应考虑玻璃自身特性、玻璃受力和湿刻 HF 划伤和腐蚀因素<sup>[10-11]</sup>。首先考虑玻璃在下部电极上受到凸点的支撑力。干刻反应室的下部电极凸头直径( $0.5 \pm 0.05$ ) mm,凸头表面粗糙,支撑起玻璃基板,容易划伤玻璃基板。下部电极通过静电吸附(TC)来固定基板,防止基板被下电极孔吹出的冷却氦气(BC)吹起而移位。生产实际中由于电极凸头黏附大量的生成沉积物,使得 TC 吸引力下降,因此 TC 吸附力是一个非线性逐渐下降的过程,难以保持恒定的 TC 和 BC 组合。目前新电极 TC 3 000 V/BC 400 Pa;合理的力平衡方程式为: $G + F_{TC} = (S - S_{dam} - S_e - S_{emb})P_{BC} + F$ 。

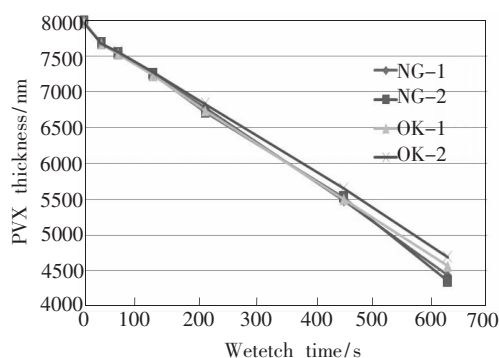


图 2 116.8 cm(46 in)PVX 膜层刻蚀率对比图

Fig. 2 116.8 cm(46 in) etch rate contrast of PVX layer

其中  $G$  为基板的重力,  $F_{TC}$  为 TC 向下的吸附力,  $S$  为基板面积,  $S_{dam}$  为下部电极边沿的没有凸头的平滑边框面积,  $S_{emb}$  为凸点的头部面积,因为凸头经常磨损和生成物积聚在这两个区域造成接触面的不均匀,  $S_{dam}$  和  $S_{emb}$  两个参数随着时间变化而不同。  $S_e$  为基板超出下部电极平滑边框不受任何支撑力的面积,因为基板送进下部电极的

位置不可能每次完全一致,  $S_e$  也是有微小变化的参数。  $F$  为下部电极凸头对基板向上的支撑力。由于  $S_{dam}$ 、 $S_{emb}$  和  $S_e$  的变化,  $F$  也是一个变化数值。因此基板背部可能出现局部划伤,可以改变 TC/BC 的组合减小基板受到的凸头支撑力。也可以考虑下部电极凸头的高度、直径形状、间距和粗糙度改变以改善基板应力分布。

### 3 试验和分析

#### 3.1 检测试验和分析

##### 3.1.1 电学参数差异分析

在电学特性方面,对比其他产品的曝光漏电流,116.8 cm(46 in)FFS 较大;对比其他产品漏电流对宽长比的比值,116.8 cm(46 in)漏电流相对于其宽长的比值比其他产品大( $I_{off}/$ 宽长比,约为其他产品两倍),因此要考虑改善沟通均匀性和 a-Si 剩余厚度控制降低漏电流。

##### 3.1.2 $V_{gl}/V_{gh}$ 变化实验

将  $V_{gl}$  外接后,从  $-3 \sim -15$  V 变化驱动电压,网点 Mura 现象随着电压绝对值的增加,从无到有,从轻到重。此结果说明  $V_{gl}$  大小对于此款产品凸点 Mura 现象的观察有较大影响。  $V_{gh}$  外接,从  $15 \sim 30$  V 变化,网点 Mura 在  $15$  V 时不可见,出现异常点亮,在  $18 \sim 30$  V 轻重程度无变化。可见在  $V_{gh} 18 \sim 30$  V 范围内 TFT 充电能力对此不良现象的观察影响不明显。

##### 3.1.3 翻转实验

在 L127 灰阶画面下,分别从 TFT 侧和彩膜侧观察不良玻璃基板,CF 侧观察网点 Mura 现象明显;TFT 侧观察,不同  $V_{gl} -5.5 \sim -11.5$  V 均不可见。由于正反面光照对 TFT 的影响程度不同,导致正反面 TFT 漏电流大小产生区别,此实验结果验证了漏电流大小对于网点 Mura 有较大影响。

##### 3.1.4 变频实验

$25 \sim 85$  Hz 范围变化频率,在低频下现象严重,高频下轻微,在  $85$  Hz 下现象消失。TFT 在高频下充电一般漏电都会减少,相反在低频下漏电会增加。在忽略充电影响的情况下,此不良在低频下较易观察进一步验证了漏电流大小对于此款产品网点 Mura 现象有较大影响。

##### 3.1.5 背光源亮度变化实验

从  $30 \sim 35$  V 变化背光源电压,从而改变背光

源亮度,在较低亮度下现象不可见。实验结果说明背光源亮度的大小对网点 Mura 观测存在一定影响。

3.2 膜质特性试验

椭偏仪膜厚测试,发现 Mura 发生区与正常区的 GI 分别为 402.2 nm 和 404.7 nm、PVX 膜厚分别为 393.6 nm 和 385.7 nm,无差异。折射率测试 Mura 发生区与正常区折射率无差别。GI:L 从 40 nm 改为 60 nm 和 80 nm,发现 Mura 形状和程度没有任何改变。GI:H 厚度较大,对光特性和膜质差异影响较小,因此网点 Mura 不是 GI 膜质差异所致。

PVX 表面粗糙度测试,Mura 发生区与正常区分别为 Ra 2.053 和 Ra 1.857 nm。无明显差异。

PVX 膜质确认,用 1% HF 进行 PVX 和 GI 湿刻。由图 2 斜率可以看出,2 张正常区(OK-1, OK-2)与 2 张 Mura 发生(NG-1,NG-2)区刻蚀速率基本一致,差别不大,由此可见正常区域 MURA 发生区 PVX 膜质无差异。

GI 和 PVX 总厚度 750 nm,40 min 湿刻后 PVX 完全刻蚀,GI 剩余 121 nm,胶带保护基板玻璃背部,此时 Mura 亮度变弱,但是仍比较清晰,Mura 大小和数量无变化。因此网点 Mura 亮度强弱受 PVX+GI 组合膜厚度影响,总厚度小,Mura 亮度随着减小。厚度大则亮度较强。可见膜层一侧不产生 Mura 但是影响透光性。

玻璃基板上表面沉积 ITO、GI 和 PVX 层,经过干刻反应后,出现 Mura 的区域切割下 10 cm×10 cm 的方块;用 1% 的 HF 酸液刻蚀玻璃基板侧,胶带保护 PVX 成膜侧。结果发现刻蚀 3.5 min 后玻璃基板侧 Mura 中心白色更亮,但是之后随着腐蚀时间变化 Mura 大小和数量无变化。12.5 min 后,玻璃基板背面 Mura 点中心有残留凸起物质(如图 3 第 1、2 张图片)。EDX 分析凸起物主成分是 Al、Si,和少量 O、C、Ca,这些成份属于下部电极陶瓷成分和生成物残留,可能存在玻璃成分。正常区氧含量是 45%,残留点的氧含量 23%,残留点的含氧量明显低,说明玻璃背部黏附有含氧量比玻璃低的生成物残留。

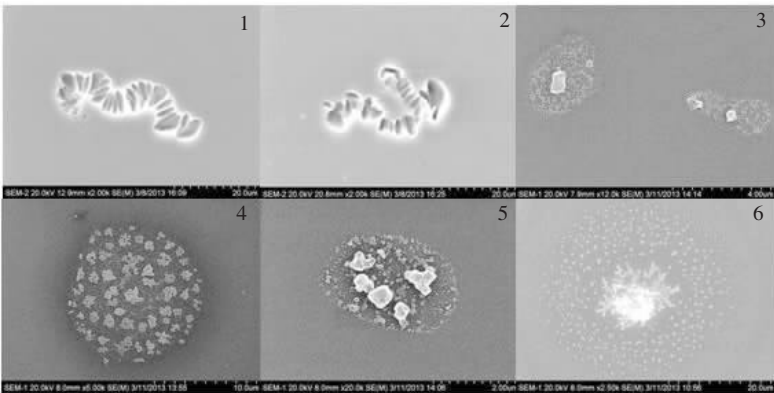


图 3 PVX 膜和 GI 膜玻璃背面 Mura 湿刻后残留物 SEM 图  
Fig. 3 Residuals SEM result of PVX layer and GI layer after glass back wet etch

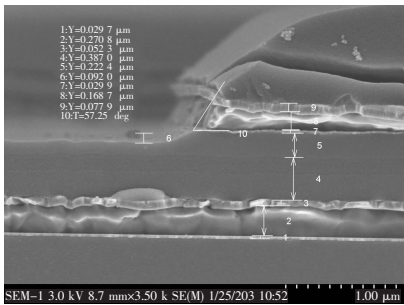


图 4 116.8 cm(46 in)TFT 处各膜层测量位置图  
Fig. 4 Measurement positions of 116.8 cm(46 in) TFT

SEM 观察背部 Mura 区残留的凸起物附近,发现类似晶体异物(如图 3 第 3~6 张图片)。无 Mura 区未发现此种异物;EDX 分析结果,异物中 Al 含量偏高,表明是凸点的陶瓷和下部电极的氧化铝成份残留的晶体。晶体异物处原子百分含量氧含量为 23.03%,晶体周边玻璃的原子百分含量氧为 64.45%。这是含有的氧化生成物被 HF 酸腐蚀去氧后的结果,可见背部 Mura 区包含反应生成物。

3.3 膜厚度分析

全层膜基板刻蚀后观测 SEM 切片,测试网点 Mura 发生位置和正常位置正面的沟道和数据膜厚及 CD 值。

如表 1, 比较 TFT 处各层膜厚, T-Mo (Gate)、TFT a-Si 和 Al(Data)有较大差异,比较数据线处各层膜厚,Al 层也有较大差异,但是金属差异应和 ESD 及其他电参数和特性有关,和网状点 Mura 没有直接关联。

控制沟道 n<sup>+</sup> etch AT 时间使 TFT 下 a-Si 剩余厚度分别为 170 nm、197 nm、211 nm、243 nm 和 258 nm,结果发现除 211 nm 和 187 nm 厚度 Mura 发生程度减轻外,其他尺寸没有变化,因此网点 Mura 和剩余 a-Si 厚度存在关联。

比较 116.8 cm(46 in)不良和正常区域的数据线宽度和栅栏, Mura 发生的位置和不发生位置的没有明显差别。数据线宽在(8±0.05) μm, 左右,栅栏均为(1.1±0.06) μm。

表 1 116.8 cm(46 in)不良和正常区域 TFT 处各层膜厚表  
Table 1 Thickness of 116.8 cm(46 in) abnormal and normal area TFT layers

| 区域    | 序号  | B-Mo<br>(Gate)/<br>nm | Al<br>(Gate)/<br>nm | T-Mo<br>(Gate)/<br>nm | Gl<br>nm | TFT<br>a-Si/<br>nm | Channel<br>a-Si<br>Loss/nm | B-mo<br>(Data)<br>nm | Al<br>(Data)/<br>nm | T-Mo<br>(Data)/<br>nm | Slope<br>Angle/(°) |
|-------|-----|-----------------------|---------------------|-----------------------|----------|--------------------|----------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|
| NG    | 1   | 32.5                  | 250.9               | 75.0                  | 389.8    | 247.9              | 106.2                      | 24.2                 | 165.9               | 97.7                  | 59.59              |
|       | 2   | 26.1                  | 257.4               | 85.6                  | 399.1    | 250.0              | 108.3                      | 24.9                 | 252.8               | 87.3                  | 64.13              |
|       | 3   | 24.0                  | 268.0               | 69.3                  | 392.7    | 245.1              | 103.6                      | 21.2                 | 265.1               | 103.4                 | 42.17              |
|       | Ave | 27.5                  | 258.7               | 76.6                  | 393.8    | 247.6              | 106.0                      | 23.4                 | 227.9               | 96.1                  | 55.30              |
| OK    | 1   | 24.2                  | 250.8               | 72.4                  | 386.8    | 231.1              | 95.0                       | 24.0                 | 120.6               | 94.9                  | 55.35              |
|       | 2   | 29.7                  | 270.8               | 52.3                  | 387.0    | 222.4              | 92.0                       | 29.9                 | 168.7               | 77.9                  | 57.25              |
|       | 3   | 21.2                  | 265.1               | 69.3                  | 384.2    | 225.2              | 109.0                      | 27.0                 | 182.7               | 95.0                  | 65.20              |
|       | Ave | 25.0                  | 262.2               | 64.6                  | 386.0    | 226.2              | 98.6                       | 26.9                 | 157.3               | 89.2                  | 59.27              |
| NG—OK |     | 2.5                   | 3.467               | 11.9                  | 7.8      | 21.4               | 7.3                        | 3.5                  | 70.6                | 6.8                   | 3.97               |

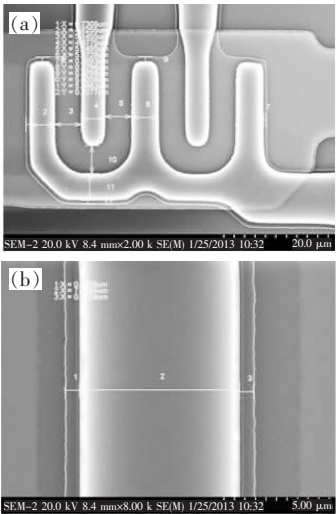


图 5 116.8 cm(46 in)TFT(a)和 data line(b) CD 测量位置图  
Fig.5 CD measurement positions of 116.8 cm(46 in) TFT (a) and data line (b)

SEM 测量 116.8 cm(46 in)不良和正常区域 CD 值,正常区域数据线 CD 平均高于 Mura 发生区域 0.18 μm;此差距是导致 Mura 和宏观可见 Mura 的可能原因之一。

将干法刻蚀原气体 SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> 的流量分别由 200 cm<sup>2</sup>/min、12 000 cm<sup>3</sup>/min 降低为 300 cm<sup>2</sup>/min、9 000 cm<sup>3</sup>/min,增加了 500 cm<sup>3</sup>/min 氦气 (He)用于等离子体均匀化。将 RF 源功率/偏置功率从 15 kW/15 kW 降到 9 kW/9 kW,PR Ash 的速度从 1 000 nm/min 降到 920 nm/min,均一性从 12%改善到小于 8%,发现 CD 漂移从 2.4 μm 减小到 1.8 μm。网点 Mura 发生率也略有下降,从 27.6%下降到 23.7%。

3.4 Mura 的成份分析

对基板背部 Mura 点和下部电极凸头黏下的附着物进行 FIB 和 EDX 成份分析。

表 2 116.8 cm(46 in)TFT 处 CD 表

Table 2 Critical dimensions of 116.8 cm(46 in) TFT section

| 区域    | 序号  | 位置<br>1/ $\mu\text{m}$ | 位置<br>2/ $\mu\text{m}$ | 位置<br>3/ $\mu\text{m}$ | 位置<br>4/ $\mu\text{m}$ | 位置<br>5/ $\mu\text{m}$ | 位置<br>6/ $\mu\text{m}$ | 位置<br>7/ $\mu\text{m}$ | 位置<br>8/ $\mu\text{m}$ | 位置<br>9/ $\mu\text{m}$ | 位置<br>10/ $\mu\text{m}$ | 位置<br>11/ $\mu\text{m}$ | 位置<br>12/ $\mu\text{m}$ |
|-------|-----|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| NG    | 1   | 0.720 9                | 4.487 0                | 5.383 6                | 4.289 0                | 5.383 6                | 4.884 3                | 0.767 2                | 0.919 3                | 1.018 5                | 5.727 5                 | 4.887 6                 | 0.916 0                 |
|       | 2   | 0.935 8                | 4.222 9                | 5.797 0                | 3.826 1                | 5.747 4                | 4.520 5                | 0.849 9                | 1.094 6                | 1.144 2                | 6.197 1                 | 4.368 4                 | 1.441 8                 |
|       | 3   | 0.806 9                | 4.179 9                | 5.691 1                | 4.031 1                | 5.591 9                | 4.527 1                | 0.757 3                | 1.081 3                | 1.180 6                | 6.111 1                 | 4.504                   | 0.952 4                 |
|       | Ave | 0.821 2                | 4.296 7                | 5.623 9                | 4.048 7                | 5.574 3                | 4.644 0                | 0.791 5                | 1.031 7                | 1.114 4                | 6.011 9                 | 4.586 7                 | 1.103 4                 |
| OK    | 1   | 0.605 2                | 4.702 4                | 5.218 3                | 4.454 4                | 5.168 7                | 5.049 6                | 0.783 7                | 0.978 8                | 1.078                  | 5.370 4                 | 5.046 3                 | 0.658 1                 |
|       | 2   | 0.730 8                | 4.725 5                | 5.145 5                | 4.477 5                | 5.145 5                | 5.072 8                | 0.509 3                | 0.879 6                | 0.978 8                | 5.820 8                 | 5.046 3                 | 0.707 7                 |
|       | 3   | 0.707 7                | 4.798 3                | 5.271 2                | 4.351 9                | 5.072 8                | 5.195 1                | 0.681 2                | 1.078                  | 1.028 4                | 5.668                   | 4.847 9                 | 1.005 3                 |
|       | Ave | 0.681 2                | 4.742 1                | 5.211 7                | 4.427 9                | 5.129 0                | 5.105 8                | 0.658 1                | 0.978 8                | 1.028 4                | 5.619 7                 | 4.980 2                 | 0.790 4                 |
| NG-OK |     | 0.140 0                | 0.445 3                | 0.412 2                | 0.379 2                | 0.445 3                | 0.461 9                | 0.133 4                | 0.052 9                | 0.086 0                | 0.392 2                 | 0.393 5                 | 0.313 0                 |

3.4.1 玻璃基板背面 Mura 点 FIB 和 SEM 分析

如图 6,一个样品 3 个点位,分析其成份。结果三点元素及其含量类似,3 个样品均含有 C、O、Al、Cl、Si 等生成物成份以及下部电极表面凸头成份 Ca、O、AL。点位 3 还含有下部电极表面凸头成份 Zr,可见 Mura 成份含有反应生成物和下

部电极凸头陶瓷。

如图 7,样品含有 C、O、Si、S、Al、Cl 等反应生成物及下部电极表面凸起的凸头成份 Ca、Zr,以上结果与 FIB 测试结果在很大程度上相似,进一步验证了网点 Mura 含生成物成份和下部电极凸头脱落成份组成。

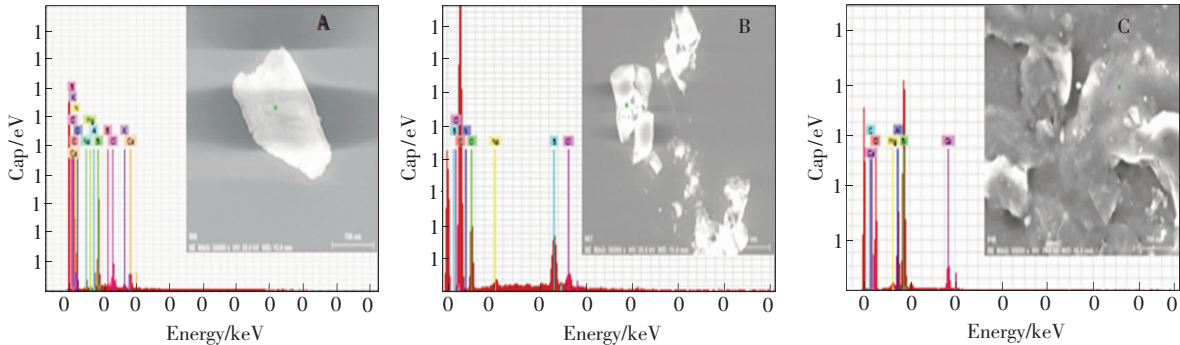


图 6 116.8 cm(46 in)背面 Mura 点 SEM 图和 FIB 成份百分比

Fig. 6 SEM and FIB compositions ratio of 116.8 cm(46 in)

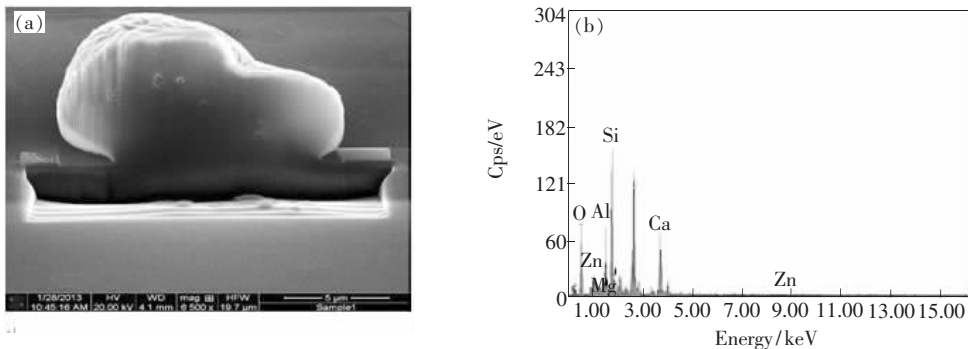


图 7 116.8 cm(46 in)背面 Mura 位置 SEM 图和 EDX 成份百分比

Fig. 7 SEM and FIB compositions ratio of 116.8 cm(46 in)s mura happened glass back

### 3.4.2 Mura 发生的凸点粘下物 EDX 和 SEM 分析

用胶带粘贴下部电极表面凸头,然后对粘下物进行成份分析。如图 8 所示主要含有 C、O、Cl、Si 等反应产物,含有少量下部电极凸头成份 Zr,但是不含 Ca。这是因为生成物堆积在下部电极大部分凸头,凸头没有接触基板背部。这解释了温水擦除生成物后在短期能维持低 Mura 发生率的原因。含有的 K 是玻璃基板的成份,表明基板背部存在接触划伤。

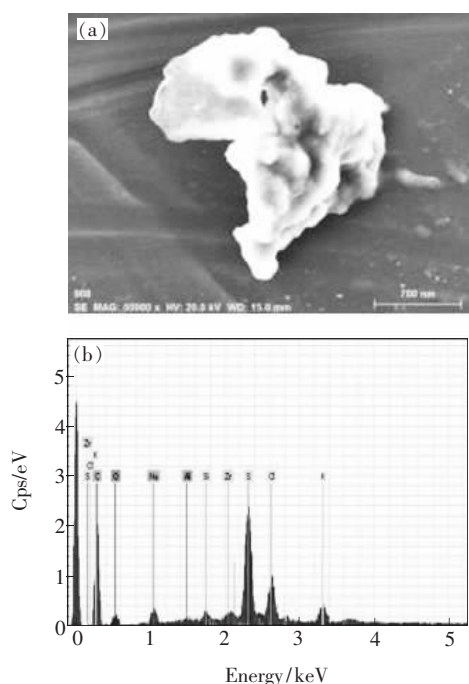


图 8 下部电极凸点胶带黏下物 SEM 图和 EDX 成份百分比

Fig. 8 SEM and EDX compositions of emboss dot peeled from lower electrode

### 3.5 基板伤痕腐蚀测试

基板材料是无碱铝硼硅酸盐玻璃,玻璃热膨胀系数( $\alpha$   $50/300 = 30 \times 10^{-7} \text{ m}/^\circ\text{C} \sim 38 \times 10^{-7} \text{ m}/^\circ\text{C}$ ),因此在  $30^\circ\text{C}$  以内的温度变化范围,可以

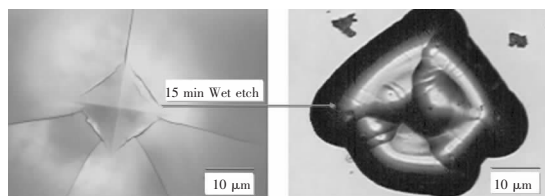


图 9 HF 酸腐蚀后的玻璃伤痕点扩大图

Fig. 9 Enlarged size of glass scratch after HF acid corrosion

不考虑温度对于玻璃划伤的影响。玻璃显微维氏硬度等于  $640 \text{ N}/\text{mm}^2$ 。在玻璃基板背部用硬度测试仪探头施加  $10 \text{ N}$  的压力出现边长  $15 \mu\text{m}$  的近似矩形划伤。经  $1\% \text{ HF}$  浸泡后  $4 \text{ min}$  后放大为  $40 \mu\text{m}$  的伤痕,从基板背部和上部均清晰可见,之后形状不再变化(图 9)。可见湿法刻蚀导致 Mura 直径变大。

### 3.6 TC 和 BC 组合改变试验

为了评价基板背部接触力的影响,我们调整 TC/BC 组合进行实验。TC  $2500 \text{ V}/\text{BC } 400 \text{ Pa}$  和  $2200 \text{ V}/400 \text{ Pa}$ ,结果发生率明显降低,分别为  $14.7\%$  和  $9.2\%$ 。但是在后者组合下,基板位置偏移,BC 流量达到  $26 \text{ cm}^3/\text{min}$ ,触动  $12 \text{ cm}^3/\text{min}$  的设备安全界限而报警停止,重复试验进行到第 17 张时发生下部电极异常冠状放电,这是因为基板位置偏移后,等离子体内带电粒子直接轰击下部电极表面造成的。因此  $2200 \text{ V}/400 \text{ Pa}$  只能用作测试,无法量产。BC 设置为  $467 \text{ Pa}$  后基板温度不均匀,红外测温仪测试显示基板四角表面温度为  $70.3 \sim 80.0^\circ\text{C}$ ,中心区域基板表面为  $35 \sim 55^\circ\text{C}$ ,温度差大于  $10^\circ\text{C}$  导致刻蚀率不均匀,有源层刻蚀的均一性也从  $15.7\%$  劣化到  $27.0\%$ 。因此无法通过 TC 降低和 BC 加大来完全消除 Mura。

综合以上实验结果,得出网点 Mura 发生的结论为:基板背部材质不均匀,接触凸头后划伤,凸头接触部位和玻璃未接触区域因干法刻蚀中温度差异,导致 TFT 剩余 a-Si 膜厚差异而发生 Mura;经过湿法刻蚀和 PR 剥离,使 Mura 扩大,产生大面积大尺寸网点 Mura 发生。

## 4 措施和结果

为了减少 Mura 发生,我们将水平面的凸头改为圆头、凸头的高度分别尝试  $50 \mu\text{m}$  和  $150 \mu\text{m}$  两种试验,2 枚下部电极都在 15 d 内发生率低于  $1.02\%$ ,但是  $15 \sim 30 \text{ d}$  发生率又高达  $3.65\%$ 。

我们制作无表面凸头粗糙平面下部电极,(粗糙度  $R_a 3.5$ ),TC/BC 组合为  $2500 \text{ V}/400 \text{ Pa}$ ,沟道  $n^+$  刻蚀时间从  $30 \text{ s}$  减为  $26 \text{ s}$ ,剩余的 a-Si 厚度在  $210 \sim 230 \text{ nm}$  之间,下部电极温度设置为  $50^\circ\text{C}$ ,结果不再发生此种 Mura,总体 Mura 的不良率控制在  $0.08\%$  以下。

## 5 结 论

TFT 沟道 a-Si 剩余的厚度在 210~230 nm 之间,Mura 的发生率最低。这是下部电极凸头和其他区域的温差造成的沟道剩余 a-Si 厚度差异,a-Si 厚度影响了  $I_{\text{on}}/I_{\text{off}}$  特性,从而使 Mura 难以在某些扫描频率下观测。

Mura 玻璃背面成份是反应生成物 C、O、Si、S、Cl 和下部电极表面的凸头陶瓷 Ca, O, Zr 成份,这些物质附着在基板背部,不易被清洗和吹扫干净。Mura 颜色和形状与下部电极表面凸起的凸头形状、成份分析能相互印证。电极凸点黏下物含有 Al、Ca 和 Zr(下部电极表面凸起的凸头材料),证实下部电极表面凸头有磨损和老化脱落现象。Mura 区背面结晶物氧含量低于玻璃的氧

含量,证明氧化生成物堆积在 Mura 区。EDX 结果发现含有 K 元素证明是玻璃成份被划伤残留。因此,网点 Mura 发生重要原因为玻璃背面被干刻工艺下部电极表面凸起的凸头划伤,另一个来源是下部电极表面凸起的凸头碎屑粘附在玻璃背面形成。

网点 Mura 经湿刻腐蚀和 PVX 沉积、PR 去除后被放大,这是 HF 酸造成背部划痕腐蚀变大。

采取降低玻璃和下部电极接触点压力的办法,减少沟道刻蚀时间 4 s,并且在下部电极改为平板电极、下部电极升温 10 °C 后,根除了网点 Mura 并使整体 Mura 的基板发生率降低到 0.08%。说明凸头是导致网点 Mura 的特有结构。高温下生成物不易附着在电极表面,减少了 Mura 来源。

## 参 考 文 献:

- [1] 周哲. 横线 Mura 的分析与改善 [J]. 液晶与显示, 2012, 27 (5): 649-653.
- [2] 车春城. 广视角 FFS 技术 CELL 研究与设计 [D]. 成都: 电子科技大学, 2007: 24-27.
- [3] 毕昕. 面向 TFT-LCD 制程的 Mura 缺陷机器视觉检测方法研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2009: 7-11.
- [4] 徐伟, 彭毅雯, 肖光辉. 未确认 Mura 分析及改善对策 [J]. 液晶与显示, 2011, 26 (5): 612-615.
- [5] 何银.  $\text{SiN}_x/\text{H}$  薄膜的制备及研究 [D]. 上海: 上海师范大学, 2012: 45-48.
- [6] 强蕾, 姚若河. 非晶硅薄膜晶体管沟道中阈值电压及温度的分布 [J]. 物理学报, 2012, 12(8): 409-414.
- [7] 贺德衍. 多晶硅薄膜低温生长中的表面反应控制 [J]. 物理学报, 2001, 50(4): 779-783.
- [8] 王刚, 刘宏宇, 赵超, 等. 表面无小丘 Al 双层栅电极结构研究 [J]. 液晶与显示, 2000, 15(2): 93-100.
- [9] 李丽, 秦伟, 薛建设, 等. TFT-LCD 阵列腐蚀性缺陷分析 [J]. 液晶与显示, 2010, 25(1): 29-33.
- [10] 陈晓苹, 王朋, 李俊峰, 等. 玻璃质光学元件表面微裂纹的研究 [J]. 中国光学与应用光学, 2010, 3(4): 318-324.
- [11] 戴子华, 朱永伟, 王建彬, 等. K9 玻璃亚表面损伤的分步腐蚀法测量 [J]. 光学精密工程, 2013, 21(2): 287-293.