



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

打印显示 薄膜均匀性测试方法

Print Display - Measuring method of film uniformity

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

征求意见稿

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 方法原理.....	2
5 测试条件.....	2
5.1 环境条件.....	2
5.2 测试设备.....	2
5.3 测试系统.....	3
5.4 测试样品.....	3
5.5 测试步骤.....	4
5.6 结果处理.....	5
6 测试报告.....	8

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由全国半导体设备和材料标准化技术委员会（SAC/TC203）提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

打印显示 薄膜均匀性测试方法

1 范围

本文件规定了利用台阶仪测试打印显示薄膜均匀性的方法，主要包括子像素内均匀性、相邻子像素均匀性、短程均匀性测试方法。

本文件适用于打印显示薄膜制造、质量控制以及开发工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 20871.2-2007 有机发光二极管显示器 第2部分:术语与文字符号

IEC 62899-401 打印电子 第401部分：可印刷型-概述 [Printed electronics – Part 401: Printability – Overview]

IEC 62899-403-1 打印电子 第403-1部分：可印刷型-再现性要求-印刷机的基本图案 [Printed electronics – Part 403-1: Printability – Requirements for reproducibility – Basic patterns for evaluation of printing machine]

3 术语和定义

GB/T 20871.2-2007界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

像素 pixel

能完成必需显示功能的最小显示单元。

注：例如，在基于RGB垂直条的彩色显示中，三个相邻 RGB点组成一个像素。

3.2

子像素 subpixel

组成一个像素的各个点。

注：例如，在基于 R, G, B 垂直条的彩色显示中，每个 R, G, B点是一个子像素。

3.3

子像素均匀性 subpixel uniformity

一个子像素内打印效果的厚度均匀程度，评价子像素成膜均匀性。

注：与打印墨水、子像素界定层的材料和结构或干燥工艺等相关。

3.4

相邻子像素均匀性 adjacent subpixel uniformity

用于表征相邻同颜色子像素的成膜均匀性，以相邻子像素之间的厚度均匀程度表示。

注：与使用的喷嘴相关。

3.5

短程均匀性 short distance uniformity

用于表征一定范围内多个同颜色子像素的成膜均匀性，以规定的范围内打印效果的均匀程度表示。

4 方法原理

对于有机电致发光二极管（OLED）或量子点电致发光二极管（QLED）等电流驱动型器件，通常表现为电流密度大时，亮度高；电流密度小时，亮度低。而电流密度和薄膜厚度之间呈现正比关系。子像素内各处薄膜厚度不均匀时，会出现不均匀的电流密度分布，更容易引起材料老化、裂解，引起器件性能衰退。因此需要对像素内的薄膜厚度均一性进行测试，以实现亮度的均匀性。

测试打印显示薄膜厚度的方法，通常使用台阶仪（或段差计），可通过接触表面形貌而获取薄膜厚度。台阶仪扫描待测样品表面时，探针的扫描路径随着表面形貌而起伏，其运动情况反映了表面轮廓的情况，进而得到打印薄膜的厚度，以计算薄膜均匀性。

5 测试条件

5.1 环境条件

除非另有规定，测试应在下列条件下进行：

——温度：25 °C±2 °C；

——相对湿度：25%~60%；

——大气压力：86 kPa~106 kPa；

——防震等级为1~100Hz频段内；

——水平和垂直方向震动速度≤12.5直方向震，水平和垂直方向加速度≤6.25m/s²。

5.2 测试设备

测试中使用台阶仪的设置要求示例如表1所示。

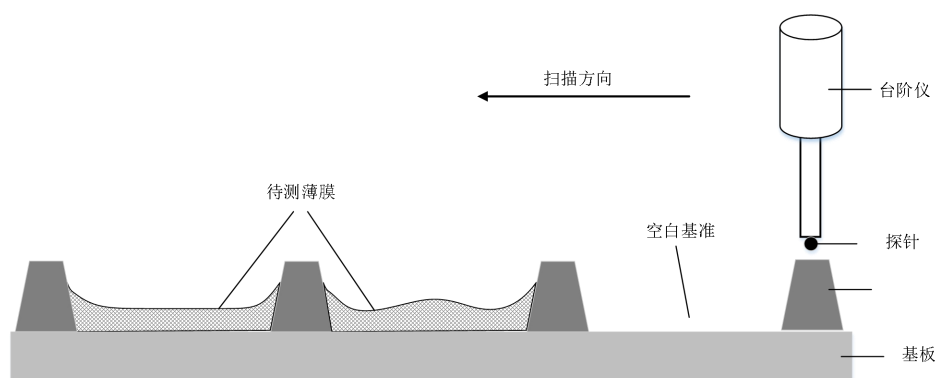
表 1 测试设备设置

序号	项目	规格	单位	备注
1	探针压力范围	0.5~15	mg	
2	探针压力精度	≤0.1	mg	1mg 时
		≤0.5		1~15mg 时
3	探针高径比	≥5		例如 10um×2um 或 200um×20um
4	探针针尖曲率半径	≤2	μm	探针角度为 60°
5	探针量测位置重复性	≤±2	μm	
6	膜厚测试范围	10~10 ⁵	nm	
7	纵向测试分辨率	≤0.1	nm	
8	扫描长度范围	1~5000	μm	
9	扫描速度	5~100	μm/s	
10	横向扫描精度	≤0.1	μm	
11	探针材质	一般为金刚石		

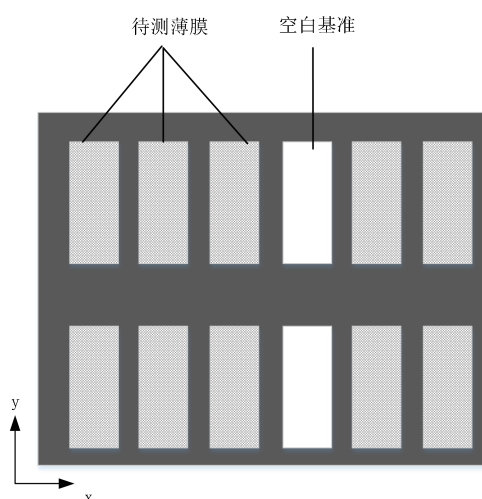
5.3 测试系统

测试系统由台阶仪和待测样品组成，台阶仪探针在基板上按照一定方向进行扫描，系统示例见图1。其中，待测样品包括待测薄膜区和空白基准区。空白基准区未打印薄膜材料，作为测试膜厚的参照基准平面。

对于测试基板，在x-y平面中对齐。台阶仪测试探头和探针应与测试基板表面垂直。测试扫描方向根据待分析目标位置来选择，通常是沿x轴和y轴方向。



(a) 测试示意图（侧视图）



(b) 测试示意图（俯视图）

图1 测试系统示意图

5.4 测试样品

5.4.1 测试样品预处理

被测试的打印显示薄膜样品（简称被测样品）在测试前需依次经过喷墨打印、成膜干燥和高温烘烤三个工艺流程。

选择经过高温烘烤的被测样品直接进行均匀性测试。

如果制备的被测样品是经过长时间放置大于5h，测试前需要对样品在 $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，10min 的条件下再次进行高温烘烤处理。

5.4.2 测试样品初始基准状态

进行形貌测试的样品和厚度测试的样品，喷墨打印时在测试点位置预留一个对应颜色的子像素不进行墨水打印，以此作为测试初始基准。

5.4.3 测试样品参数设置

根据测试项目不同，选择下列参数进行设置：

——测试范围：根据被测样品的台阶高度进行选择，推荐设定为 5 范围；

——测试压力：根据被测样品的致密性，选择不同的压力，测试有机薄膜时，推荐压力值从下列值中选取：0.5mg，1mg，2mg，5mg；

——被测样品测试长度 L ：根据测试项目的不同进行设置，形貌测试的被测样品长度为 100-1000 不同，厚度测试的样品长度为 100-1000 长度或根据实际子像素数量选取；

——扫描精度（记录数据的步长）：一般扫描精度为 0.1 描精，通常扫描精度由测试长度和测试时间决定，按公式（1）计算：

$$P = \frac{L}{T \times A} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

A ——1s内收集数据点的个数；

L ——测试长度；

P ——扫描精度。

5.5 测试步骤

5.5.1 子像素均匀性

子像素均匀性测试步骤如下：

按照测试设备规范安装测试样品，确保测试系统稳定；

- 按照 5.2、5.3 和 5.4 的要求设置测试设备和测试样品；
- 选择测试点：当探针接触到最低点后，探针会自动抬起一段距离，此时在放大视野下通过样品台左右和前后旋钮，使探针与测试台阶的相对位置保持稳定；
- 测试轨迹：扫描路径探针应沿着 x 轴子像素 $1/2$ 宽(w)或 y 轴子像素 $1/2$ 长(H)位置进行扫描；
- 分别对 RGB 子像素的 x 轴和 y 轴进行厚度测试并记录，示例如图 2 所示。测试数据的扫描精度不小于 0.1 μm 。

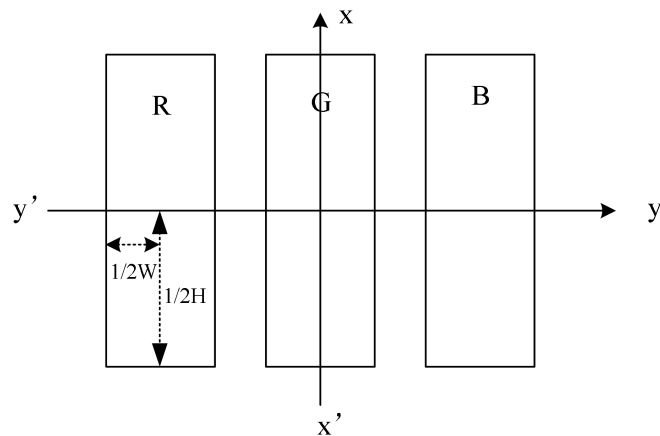


图 2 子像素均匀性测试示例

5.5.2 相邻子像素均匀性

相邻子像素均匀性测试步骤如下：

- 按照测试设备规范安装测试设备，确保测试系统稳定。
- 按照 5.2、5.3 和 5.4 的要求设置测试设备和测试样品；
- 测试对象应选择与空白基准不相邻的像素，测试相邻同颜色子像素的薄膜厚度 T_i ($i=1, 2, 3\sim n-1$)， n 通常不大于 4，测试示例如图 3 所示。

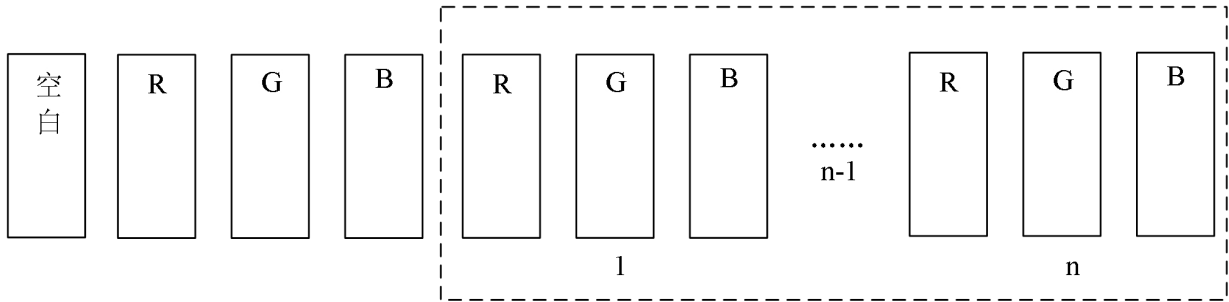


图 3 相邻子像素均匀性测试示例

5.5.3 短程均匀性

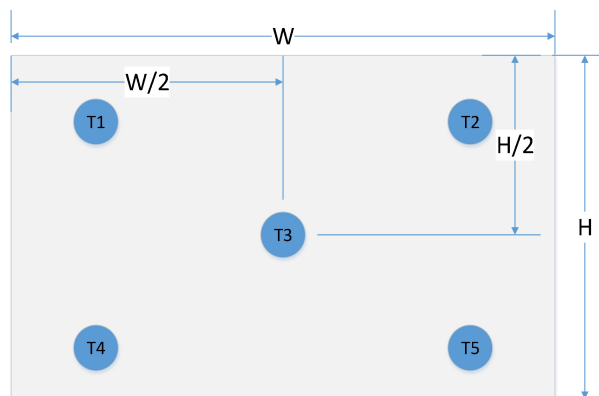
测试步骤如下：

- 将被测样品放入测试系统中，保持待测台阶与探针移动方向垂直放置，示例如图 1；
- 按照 5.2 要求设置测试设备；
- 按照 5.3 规定设置被测样品初始基准状态，要在测试点位置预留一个像素不进行墨水打印，作为厚度测试基准（图 1）；
- 读取距离预留的空白像素第四个子像素的薄膜厚度，记为 T_1 ，往后依次记为 T_2 ， T_3 ， T_n ，推荐 n 等于 8，示例如图 3 所示。

5.6 结果处理

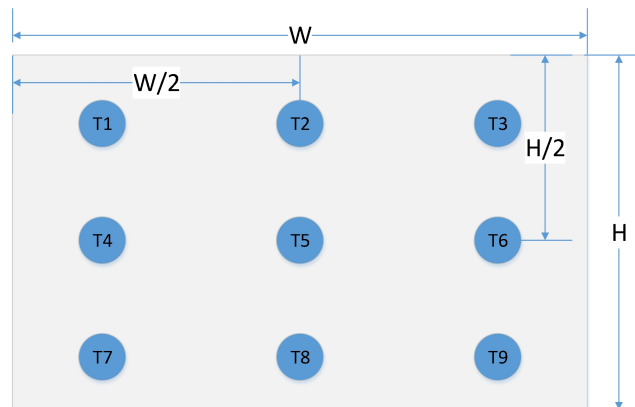
5.6.1 测试位置

子像素均匀性在一个子像素的范围内进行，相邻子像素均匀性、短程均匀性按照要求选取在包含多个像素的区域内进行。当被测显示屏为矩形时，推荐上述测试采用 5 点或 9 点进行，如图 4 和图 5 所示。



注：H：显示屏的高度，W：显示屏的宽度

图4 标准测试位置（5点）



注：H：显示屏的高度，W：显示屏的宽度

图5 标准测试位置（9点）

5.6.2 结果处理（多次测试，平均化处理，数据的重复性要求）

5.6.2.1 子像素均匀性

子像素均匀性的结果处理步骤如下：

a) 子像素均匀性根据薄膜厚度数据计算得出，主要包括以下2种情况：

1) 子像素形貌如图6(a)时，子像素内均匀性，按公式（2）计算：

$$U = \frac{(B - B')}{(A - A')} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$B - B'$ ：代表子像素内打印后薄膜宽度，与 ΔH （分析的关注点高度相对于形貌最低点的差值，一般推荐5nm，10nm）数值大小有关；

$A - A'$ ：代表子像素实际宽度，通常指无薄膜的像素宽度；

U ：子像素均匀性。

2) 子像素形貌如图6(b)时，子像素内均匀性，按公式（3）计算：

$$U = \frac{(D - D') + (E - E')}{(A' - A)} \times 100\% \quad \dots\dots\dots 3)$$

式中：

$D - D'$ 、 $E - E'$ ：代表子像素内拱起区外的薄膜宽度，宽度与 ΔH （分析的关注点高度相对于形貌最低点的差值，一般推荐5nm，10nm）数值大小有关；

$A' - A$ ：代表子像素实际宽度，通常指无薄膜的像素宽度；

U ：子像素均匀性。

b) 依次计算 5.6.1 中规定的测试点位子像素均匀性，最小值作为子像素均匀性结果。

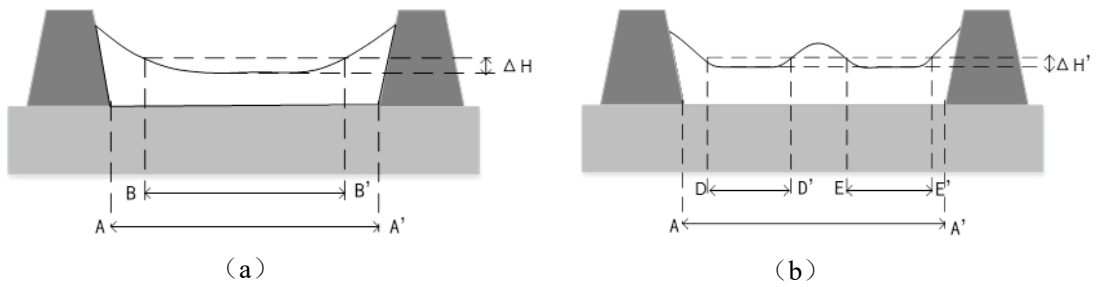


图6 子像素均匀性示意图

5.6.2.2 相邻子像素均匀性

相邻子像素均匀性的结果处理步骤如下：

a) 按照公式（4）和（5）计算相邻子像素均匀性：

$$\Delta T_i = |T_{i+1} - T_i| \dots\dots\dots (4)$$

$$U_d = (1 - \frac{\Delta T_i}{T_i}) \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

式中：

T_i 、 T_{i+1} ——分析区域内子像素打印薄膜的最低点厚度及与之相邻子像素打印薄膜的最低点厚度。

b) 依次计算 5.6.1 中规定的测试点位相邻子像素均匀性，最小值作为相邻子像素均匀性结果。

相邻子像素均匀性测试示例如表2所示。

表 2 相邻子像素均匀性测试示例

测试点	厚度 T_i (nm)	短程均匀性
1	15.1	100.0%
2	15.1	98.0%
3	14.8	100.0%
4	14.8	98.7%
5	15.0	99.3%
6	14.9	99.3%
7	15.0	98.7%
8	14.8	98.0%
9	15.1	—

5.6.2.3 短程均匀性

短程均匀性的结果处理步骤如下：

a) 按照公式 (5) ~ (7) 计算测试样品的短程均匀性:

$$T_{av} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \dots\dots\dots(6)$$

$$\Delta T_i = |T_i - T_{av}| \dots\dots\dots(7)$$

$$SRU = (1 - \frac{\Delta T_i}{T_{av}}) \times 100\% \dots\dots\dots(8)$$

式中:

T_i ——测试点的薄膜厚度;

T_{av} ——打印的平均厚度;

ΔT_i ——测试点与平均厚度的偏差;

SRU ——测试样品的短程均匀性。

b) 依次计算5.6.1中规定的测试点位短程均匀性, 最小值作为短程均匀性结果。
短程均匀性测试示例如表3所示。

表 3 短程均匀性测试示例

测试点	厚度 T_i (nm)	均匀性
1	15.2	99.7%
2	15.4	98.4%
3	15.5	97.7%
4	15.2	99.7%
5	15.2	99.7%
6	15.1	99.6%
7	15.4	98.3%
8	14.8	97.7%
9	14.6	96.3%

6 测试报告

测试报告应至少包括以下内容:

- a) 样品信息, 包括送样单位、样品编号等;
- b) 测试日期、时间;
- c) 测试人员;
- d) 测试设备型号;
- e) 测试环境条件;

- f) 测试结果，包括测试点位，扫描精度，测试压力，扫描长度，测试像素数，薄膜厚度数据，子像素均匀性，相邻子像素均匀性，短程均匀等数据。
-