

团 体 标 准

T/ISC XXXX—XXXX

AR 眼镜用单片全彩 Micro-LED 微显示屏 光电性能测试方法

Optoelectronic performance test methods for monolithic full-color Micro-LED
microdisplays used in AR glasses

（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

中国互联网协会 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 测试条件 2

5 试样 2

6 仪器设备 2

7 光度学特性测试 3

8 色度学特性测试 5

9 电学特性测试 6

10 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专利的责任。

本文件由中国互联网协会提出并归口。

本文件起草单位：厦门大学、高创（苏州）电子有限公司、昆明物理研究所、盐城鸿石智能科技有限公司、西安诺瓦星云科技股份有限公司、宁波秋水半导体科技有限公司、利亚德光电股份有限公司、北京显芯科技有限公司、上海新相微电子股份有限公司、重庆康佳光电科技有限公司、深圳市思坦科技有限公司、福州大学、华兴中科标准技术（北京）有限公司。

本文件主要起草人：郭伟杰、张雨、钱鸿飞、王光华、陶金、从洪春、韩剑南、蒋振宇、白建军、严丞辉、林弘峻、马非凡、刘召军、管云芳、陈思果、李华、任国静、张亚栋。

AR 眼镜用单片全彩 Micro-LED 微显示屏光电性能测试方法

1 范围

本文件规定了AR眼镜用单片全彩Micro-LED微显示屏光电性能的测试条件、试样、仪器设备、光学特性测试、电学特性测试及测试报告。

本文件适用于AR眼镜用单片全彩Micro-LED微显示屏光电性能评估。

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 2900.65—2023 电工术语 照明

GB/T 20147.3—2023 色度学 第3部分：CIE三刺激值

GB/T 20147.4—2023 色度学 第4部分：CIE 1976 $L^* a^* b^*$ 颜色空间

GB/T 26178—2010 光通量的测量方法

JJG 211—2021 亮度计检定规程

SJ/T 11394—2009 半导体发光二极管测试方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

单片全彩 Micro-LED 微显示屏 monolithic full-color micro-LED microdisplay

采用单片集成技术，在同一衬底上实现可独立控制的红、绿、蓝三基色最小发光单元阵列驱动与发光，单个像素发光面的任一边长（或直径）在 $1\mu\text{m}\sim 50\mu\text{m}$ 内的微型显示器件。

3.2

光通量 luminous flux; Φ

光源在单位时间内向所有方向发射的、能被人眼感知的可见光总量，按公式（1）计算：

$$\Phi = K_m \int_0^\infty \frac{d\Phi(\lambda)}{d\lambda} \times V(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

式中：

K_m ——光谱光视效能的最大值，单位为流明（lm）；

$V(\lambda)$ ——光谱光视效率；

$d\Phi(\lambda)/d\lambda$ ——辐射通量的光谱分布。

[来源：GB/T 26178—2010，2.1.1，有修改]

3.3

亮度 (L) luminance

光源在给定方向上，单位投影面积、单位立体角内所发出的光通量，是描述光源或物体表面发光强弱的客观物理量，按公式（2）计算：

$$L = \frac{d\Phi}{dA \times \cos \theta \times d\Omega} \quad (2)$$

式中：

L ——亮度，单位为坎德拉每平方米（ cd/m^2 ）

$d\Phi$ ——经过给定点的光束元在包含给定方向的立体角 $d\Omega$ 内传播的光通量，单位为流明（lm）；

dA ——包含给定点的该光束的截面面积，单位为平方米（ m^2 ）；

θ ——是截面法线与辐射束方向之间的夹角，单位为弧度（rad）；

$d\Omega$ ——是指定方向的立体角元，单位为球面度（sr）。

[来源：GB/T 2900.65—2023，845-21-050，有修改]

3.4

正向电压 forward voltage; V_F

通过发光二极管的正向电流为确定值时，在两极间产生的电压降。

3.5

反向电压 reverse voltage; V_R

被测LED器件通过的反向电流为确定值时，在两极间所产生的电压降。

3.6

反向电流 reverse current; I_R

加在发光二极管两端的反向电压为确定值时，流过发光二极管的电流。

3.7

功耗 power dissipation

在工作状态下单位时间内的有功功率。

3.8

能源效率 energy efficiency

在规定条件下，单片全彩Micro-LED微显示屏输出的可见光功率与电源输入的功率的比值。

4 测试条件

4.1 在标准测试环境应符合下列要求：

- a) 温度：15℃～35℃
- b) 相对湿度：48%～52%
- c) 大气压力：86 kPa～106 kPa。
- d) 暗室：测试环境照度小于 1 lx。

4.2 测试前用无尘布和无水乙醇/异丙醇轻擦显示面，确保显示面洁净。

4.3 测试前将微显示屏固定在测试夹具上，连接驱动电路，设置为额定工作参数。

5 试样

5.1 试样应为完整、可正常点亮的单片全彩 Micro-LED 微显示器件，含驱动基板或已绑定驱动芯片。

5.2 表面无划伤、无脏污、无裂纹、无掉膜、无明显色差，电极、焊盘完好。

5.3 试样应未经过非正常老化、冲击、腐蚀、高温高湿等破坏性试验。

5.4 试样点亮后无死灯、无暗点、无亮点、无明显色偏、无闪烁。

6 仪器设备

测试仪器需经计量校准合格，且在校准有效期内，具体要求如下：

- a) 积分球—光谱辐射计系统：积分球系统应满足 SJ/T 11394—2009 中 4.4.2 规定的要求；光谱辐照计至少应覆盖整个可见光波段波长范围（380 nm～780 nm），光谱分辨率 1 nm，波长不确定度 0.5 nm（ $k=2$ ）；
- b) 亮度计：测量范围应覆盖 0.001 cd/m²～单片全彩 Micro-LED 微显示屏峰值亮度，测量精度±5%，符合 JJG 211—2021 中的一级亮度计要求，可选用成像亮度测量设备（ILMD），其测量不确定度需通过与瞄点亮度计对比验证。亮度计标准测试装置如图 1 所示；
- c) 源表一体化设备：电流调节精度不高于±0.1%，电流步长 0.1 mA，供电电源和附近任何电气设备不应影响电学和光学测试设备；
- d) 测试夹具：可精准固定微显示屏，保证显示屏出光面与测试仪器镜头光轴垂直，定位精度误差不超过±10 μm。



图1 亮度计标准测试装置

注：除另有说明外，测试过程亮度计应与微显示屏发光面垂直

7 光度学特性测试

7.1 光通量测试

7.1.1 测试原理

积分球—光谱辐照计系统内部采用高漫反射材料，且对各波长反射一致，微显示屏发出的光线在积分球内多次反射，最终球壁任意点的照度均匀。与标准灯对标可计算出微显示屏的总光通量 Φ 。

7.1.2 测试步骤

光通量测试步骤如下：

- 开启积分球系统，预热 15 min~30 min，等待系统稳定，将已知光通量的标准光源置于积分球中心，使用标准灯对积分球进行定标、校准；
- 将微显示屏固定在测试夹具上，置于积分球中间，确保其位置与标准光源一致，连接驱动电路；
- 关闭积分球门，设置为额定工作参数，并预热至稳定状态；
- 计算 3 次测量结果的算术平均值，作为微显示屏的光通量测试值。

7.2 光谱功率分布

7.2.1 测试原理

光谱辐照度计采用分光元件（如光栅或棱镜等）将输入光信号分解为不同波长的光谱，然后由探测器阵列进行测量。

7.2.2 测试步骤

按7.1.2光通量测试步骤，利用积分球—光谱辐照计系统对微显示屏的光谱功率分布进行测量，得到微显示屏的光谱功率分布曲线

7.2.3 数据处理

7.2.3.1 记录光谱曲线中红、绿、蓝三基色各波段内波峰所对应波长，标记为 λ_R 、 λ_G 、 λ_B 。

7.2.3.2 记录光谱曲线中红、绿、蓝三基色各波段内，强度或振幅降至波峰一半时所对应的光谱宽度，标记为 FWHM_R ， FWHM_G ， FWHM_B ，单位为纳米（nm）。

7.3 亮度测试

7.3.1 测试原理

在规定测试条件下，对微显示屏有效显示区域的平均亮度进行测量与计算。

7.3.2 测试步骤

测试按以下步骤进行：

- 将微显示屏固定在测试夹具上，连接驱动电路，设置为额定工作参数，在暗室中预热至稳定状态；

- b) 调整色彩亮度计/分光辐射亮度计，使其镜头光轴与微显示屏出光面垂直，调整测试距离为亮度计使用距离，并调整六轴测试平台使亮度计测量光斑落在测试区域中心（测试区面积要大于亮度计光斑面积，通常测试区选择 APL10% 画面测试）；
- c) 控制微显示屏显示全白场画面，保持画面稳定 10 s 后，测量显示屏有效显示区域的平均亮度，连续测量 3 次，每次测量间隔 5 s；
- d) 计算 3 次测量结果的算术平均值，作为微显示屏的亮度测试值。

注：依据实际需求确定是否需要进行散热处理。

7.3.3 亮度均匀性

亮度均匀性数据处理要求如下：

- a) 将微显示屏固定在测试夹具上，连接驱动电路，设置为额定工作参数，在暗室中预热至稳定状态；
- b) 控制微显示屏显示全白长画面，稳定 10 s 后，使用成像亮度计测试有效区每个像素点的亮度值，得到全像素点的 CSV 数据；
- c) 选取 9 点圆形区域，分笔记计算每个区域的亮度平均值，记为 L1、L2……L9。按公式 $\text{Uniformity} = L_{\text{Min}} / L_{\text{Max}} \times 100\%$ 计算亮度均匀性 9 点示意图（实际测试为 100% 纯白图，图 2 仅用于表示取点示意）。

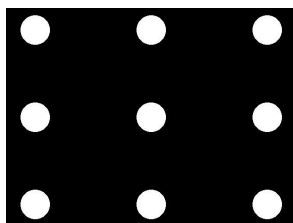


图 2 亮度均匀性数据取点示意图

7.4 对比度测试

7.4.1 测试原理

在规定测试条件下，对微显示屏有效显示区域的对比度进行测量与计算。

7.4.2 测试步骤

7.4.2.1 方案一：棋盘格对比度测试步骤如下：

- a) 控制微显示屏显示区显示 4×4 棋盘格画面，稳定 10 s，测量棋盘格每个黑白方块的亮度；
- b) 设备后台软件计算每个区域的平均亮度，记为 P1、P2……P16；
- c) 按公式（3）计算对比度，连续测量 3 次，取算数平均值作为最终测试结果，示意图见图 3。

$$\text{Contrast} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Bright_P}(i)}{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \text{Dark_P}(i)} \quad (1)$$

式中：

$P(i)$ ——每个棋盘格区域的平均亮度值，如 P1 表示第一个白色棋盘格取框区平均亮度（示意图中 P1 灰色圆区域）， $i=1, 2, 3, \dots, 16$ ；

Bright ——白色棋盘格，对应图中 1, 3, 6, 8, 9, 11, 14, 16 棋盘格， n 的取值即为这些区域；

Dark ——黑色棋盘格，对应图中 2, 4, 5, 7, 10, 12, 13, 15 棋盘格， m 的取值即为这些区域；

Contrast ——对比度。

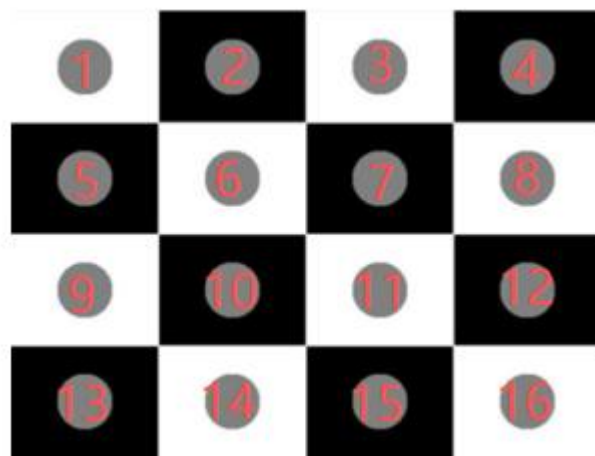


图3 对比度测试示意图

7.4.2.2 方案二：FOFO (Full on/off) 对比度测试：

- 控制微显示屏显示区显示 APL100% 纯白画面，稳定 10 s，使用亮度计测试中心区域亮度值，记为 P_B ；
- 保持亮度计和显示屏位置不动，切换测试图为 APL0 纯黑图，再次测试该位置的亮度值，记为 P_D ；
- 按公式 (4) 计算 FOFO 对比度，连续测量 3 次，取算术平均值作为最终测试结果。

$$Contrast = P_B / P_D \quad (2)$$

式中：

$Contrast$ ——对比度；

P_B ——APL100% 纯白画面稳定 10 s 后，显示屏中心测试点亮度；

P_D ——相同测试位置，APL0 纯黑画面下显示屏中心测试点亮度。

7.5 发光角测试

7.5.1 测试原理

在规定测试条件下，对微显示屏有效显示区域的亮度下降到 50% 对应的角度进行测量与计算。

7.5.2 测试步骤

发光角测试步骤如下：

- 控制微显示屏显示全白场画面，稳定 10 s 后开始测试；
- 旋转亮度计，以 5° 为步长，测试 $-80^\circ \sim 80^\circ$ 视角范围内，测量画面有效显示区域中心点的亮度值 L_0 ；
- 根据不同角度的亮度值绘制发光曲线，拟合出光半值角 θ_{50} ；
- 连续测量 3 次，取算术平均值作为最终测试结果。

8 色度学特性测试

8.1 色域覆盖率测试

8.1.1 测试原理

在规定测试条件下，对微显示屏有效显示区域的色域覆盖率进行测量与计算。

8.1.2 测试步骤

色域覆盖率测试步骤如下：

- 控制微显示屏分别显示全红、全绿、全蓝三基色画面，每次切换画面后稳定 10 s；
- 用亮度计依次测量三基色画面有效显示区域中心点的色品坐标（ u_r, v_r ）、（ u_g, v_g ）、（ u_b, v_b ）；
- 按 GB/T 20147.3—2023、GB/T 20147.4—2023 的规定，在 CIE 1976 色彩空间中，计算三基色构成的色域面积，以及该面积与标准色彩空间（sRGB 或 NTSC）面积的比值，即为色域覆盖率；
- 连续测量 3 次，取算术平均值作为最终测试结果，明确标注所采用的标准色彩空间。

8.2 色度均匀性测试

8.2.1 测试原理

在规定测试条件下，对微显示屏有效显示区域的色度均匀性进行测量与计算。

8.2.2 测试步骤

色度均匀性测试步骤如下：

- 控制微显示屏显示全白场画面，稳定 10 s 后；
- 按图 4 色度均匀性测试点，用亮度计依次测量每个测试点的色品坐标（ x, y ），记录数据，可选 1~9 的九点数据或 1~13 的十三点数据，测试点位的数量需在测试报告中说明；
- 计算所有测试点色品坐标的平均值（ x_{avg}, y_{avg} ）；
- 计算每个测试点与平均值的色差值 ΔE ，取最大色差值 ΔE_{max} 作为色度均匀性的评价指标，连续测量 3 次，取算术平均值作为最终测试结果。

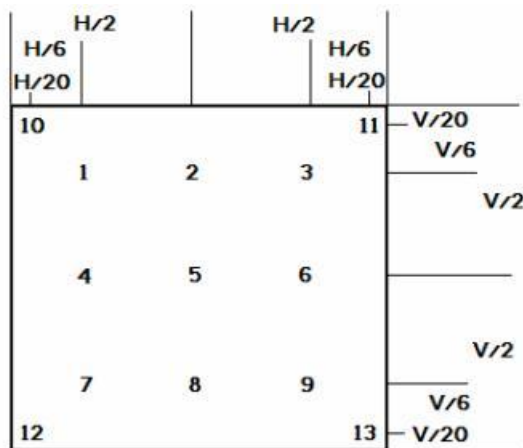


图 4 色度均匀性测试点示意图

9 电学特性测试

9.1 正向电压测试

9.1.1 测试原理

在待测器件规定的正向电流恒定条件下，测量微显示屏两端的稳态电压降。

9.1.2 测试步骤

正向电压测试步骤如下：

- 将微显示屏固定在测试夹具上，通过驱动电路预留的两点模式接口引线出来，并将数字源表连接引线正负极；

- b) 设置源表为额定工作参数，在暗室中预热测试仪器；
- c) 设置数字源表为恒流输出模式，调整源表为规定值电流值，记录输入电流值；
- d) 待读数稳定 1 s 后，记录中心电压 V_{F1} ；
- e) 关闭源表，待器件冷却 2 min 后，重复 b、c、d 步骤，连续记录 V_{F2} 、 V_{F3} …… V_{F9} ，完成 9 点测试，取算术平均值；
- f) 测试结束，关闭输出，取九个测试点电压的算术平均值作为最终测试结果。

9.2 反向电压测试

9.2.1 测试原理

在待测器件规定的反向电流恒定条件下，测量微显示屏两端的稳态电压降。

9.2.2 测试步骤

反向电压测试步骤如下：

- a) 将微显示屏固定在测试夹具上，通过驱动电路预留的两点模式接口引线出来，并将数字源表正负极与引线正负极反接；
- b) 设置源表为额定工作参数，在暗室中预热测试仪器；
- c) 设置数字源表为恒流输出模式，调整源表为规定值电流值，记录输入电流值；
- d) 待读数稳定 1 s 后，记录中心电压 V_{R1} ；
- e) 关闭源表，待器件冷却 2 min 后，重复 b、c、d 步骤，连续记录 V_{R2} 、 V_{R3} …… V_{R9} ，完成 9 点测试，取算术平均值；
- f) 测试结束，关闭输出，取九个测试点电压的算术平均值作为最终测试结果。

9.3 反向电流测试

9.3.1 测试原理

在待测器件规定的反向偏置电压下，测量微显示屏的反向截止漏电流，用于判断其反向击穿特性、缺陷、污染与漏电风险。

9.3.2 测试步骤

反向电流测试步骤如下：

- a) 将微显示屏固定在测试夹具上，通过驱动电路预留的两点模式接口引线出来，并将数字源表正负极与引线正负极反接；
- b) 设置源表为额定工作参数，在暗室中预热测试仪器；
- c) 设置数字源表为恒压输出模式，调整源表为规定值电压值，记录输出电流值；
- d) 待读数稳定 1 s 后，记录中心电流 I_{R1} ；
- e) 关闭源表，待器件冷却 2 min 后，重复 b、c、d 步骤，连续记录 I_{R2} 、 I_{R3} …… I_{R9} ，完成 9 点测试，取算术平均值；
- f) 测试结束，关闭输出，取九个测试点电压的算术平均值作为最终测试结果；
- g) 若出现电流骤增（短路），立即切断输出，标记失效。

9.4 功耗测试

9.4.1 测试原理

测量微显示屏全屏点亮稳态下消耗的电功率。

9.4.2 测试步骤

功耗测试步骤如下：

- a) 将微显示屏固定在测试夹具上，通过驱动电路预留的两点模式接口引线出来，测试设备在暗室中预热至稳定状态；
- b) 配置驱动电路，使屏幕处于全白场模式下，设置源表为恒流输出模式，从最低档位电流开始，点亮并稳定 1 s 以上逐步增加驱动电流至最大额定电流；

- c) 按 0.1 mA 步长逐步提升电流, 被测器件通电时, 保持 1 s 稳定;
- d) 每档稳定后, 读取源表上每个电流值对应的电压数据, 记录总电压 U 、总电流 I 、亮度 L ; 每档重复 3 次, 完成全电流范围测试;
- e) 根据电流 I 、电压 U , 计算功率 $P=U \times I$, 绘制电流—功耗曲线、电流—电压曲线。

9.5 能源效率测试

9.5.1 测试原理

测试全彩微型显示屏模组的能源转化效率, 即模组消耗单位电能时能输出的光通量。

9.5.2 测试步骤

9.5.2.1 能源效率测试步骤如下:

- a) 连接电源和测试设备;
- b) 接通电源, 并适当调整电源电压和频率;
- c) 测试信号为全白场, 测试信号的图像格式应与显示器的固有分辨率一致, 测试信号选择全范围;
- d) 显示白场信号, 在暗室条件下, 将亮度计放置在垂直于发光模块中心的位置进行测试;
- e) 测试显示模组的能耗, 模组测量时间为 15 min;
- f) 测试时, 应将为实现正常显示所需的显示、控制和信号传输等部件的单个或多个供电电源连接在功率计上;
- g) 记录试验条件和测试结果;
- h) 按照公式 (4) 计算能源效率 Eff 。

$$Eff = \frac{S \times L}{P_{on}} \dots \dots \dots (1)$$

式中:

Eff ——能源效率, 单位为坎德拉每瓦特 (cd/W);

P_{on} ——工作状态功率, 单位为瓦特 (W);

S ——有效发光面积, 单位为平方米 (m^2);

L ——屏幕亮度, 单位为坎德拉每平方米 (cd/m^2)。

9.5.2.2 显示模组在标准工作状态下的功率 P 按公式 (5) 计算:

$$P_i = \frac{E_i}{t} \dots \dots \dots (2)$$

式中:

P_i ——显示模组在某种状态下功率, 单位为瓦特 (W);

E_i ——实际测量的能耗, 单位为瓦特时 ($W \cdot h$);

t ——实际测量的持续时间, 单位为小时 (h);

i ——显示模组工作状态。

10 测试报告

测试报告应包括但不限于以下内容:

- a) 测试日期;
- b) 测试单位和人员;
- c) 测试项目名称及本文件编号;
- d) 试样编号、尺寸、外观及数量;
- e) 设备信息, 包括设备型号、数量;
- f) 测试结果。