

白皮书

如何使用成像色度计校正OLED、MicroLED及其他发光显示器以提高生产效率和良率



A Konica Minolta Company

如何使用成像色度计校正OLED、MicroLED及其他发光显示器以提高生产效率和良率

前言

发光OLED、microLED (μ LED) 和miniLED正在成为显示器市场上的新一波技术浪潮。这非常令人兴奋，因为凭借独立发光的像素元素，这些显示器有望改进显示性能和视觉外观，而且能够比其他显示器技术实现更高的效率。相比传统LCD显示器，OLED和microLED均具有更高的对比度、更清晰的图像、更深的黑画面和更鲜艳的色彩。这些发光显示器无需背光，因此可以实现更薄、更轻质且耗电量更少的显示器。此外，OLED还极大地提高了响应速度，比现有显示器技术快约1,000倍，几乎消除了快速移动和3D视频引起的模糊问题。MicroLED在响应时间和视角性能方面与OLED技术不相上下，但在亮度和坚固耐用性方面均超过OLED，并且功耗更低。

相比LCD显示器，OLED和microLED均具有更高的对比度、更清晰的图像、更深的黑画面和更鲜艳的色彩。它们无需背光，因此可以实现更薄、更轻质且耗电量更少的显示器。



图1 - 三星公司推出的名为“The Wall”的219英寸MicroLED显示器。(来源: 三星)¹

然而，在制造商努力推出商业上可行的发光显示器产品之际，材料价格和制造良率问题导致的高成本阻碍了这些技术的广泛采用，尤其是在大幅面显示器的应用方面，因为这些技术的采用推高了终端客户价格。迄今为止，智能手机市场一直是OLED技术最成功的领域，并且很可能将成为推动OLED和microLED在其他应用领域长期采用的催化剂。显示器供应链顾问机构 (Display Supply Chain Consultants, “DSCC”) 将智能手机列为主要的OLED市场，年产量约占91%，到2022年收入份额将约占79%²。据Yole Développement (Yole) 预测，microLED具有相似的市场趋势，产能提升周期更长，到2025年市场规模将达到3.3亿件产品³。随着市场需求如此快速增长，制造商们需要提高制造效率。

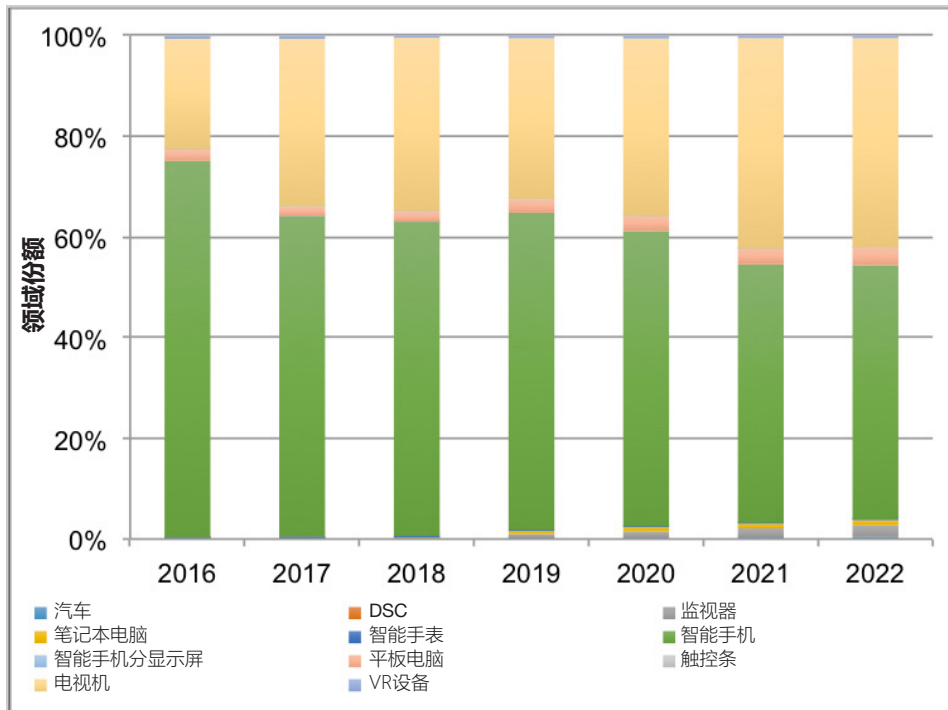


图 2 - 智能手机市场引领OLED技术的采用。[来源：DSCC发布的OLED季度出货量和工厂利用率报告]



图 3 - 同样地，据预测，智能手机也将推动microLED市场。[来源：Yole发布的MicroLED显示器报告]

对于OLED和microLED而言，制造复杂性和制造完成之后的视觉质量问题导致生产良率低，这影响了可行的市场进入时间，并推高了显示面板成品的零售价格。

尽管近期市场规模较小，但据DSCC的分析师们预测，大幅面OLED电视机将仅次于智能手机，到2022年市场份额将上升至42%，最快将在2021年赶超LCD²。三星（The Wall）和索尼（Crystal-LED）等制造商已经展示了少量大幅面microLED显示器样品，而小幅面显示器对于批量生产而言仍然更具可行性。对于OLED和microLED而言，制造复杂性和制造完成之后的视觉质量问题导致生产良率低，这影响了可行的市场进入时间，并推高了显示面板成品的零售价格。目前市场上销售的大幅面OLED电视机的价格为数千美元，而microLED屏幕对于大多数消费者而言仍然价格高昂，这使得价格更低的高清LCD和LED选项更加吸引对价格敏感、预算有限的买家。新型发光显示器和当前技术替代产品的批量市场采用价格点必须显著降低，这要求具备更高的生产效率和生产控制能力。

显示器制造挑战

无论显示器的尺寸如何，OLED和microLED技术都给制造过程带来了一些独特的挑战。

迄今为止，由于用于将有机分子添加到基板上的沉积方法效率低下（新的喷墨印刷方法除外），因此大幅面OLED屏幕的制造成本一直有些高昂，这限制了OLED技术的应用，特别是在智能手机等较小尺寸屏幕领域的应用。同样地，迄今为止，实践已证明，采用microLED芯片生产整个电视机屏幕一直具有挑战性。MicroLED需要新的装配技术、芯片结构和制造基础设施。为了实现商业化，制造商必须找到确保高质量和微观精度的方法，同时还要能够达到批量生产的速度。其中一个比较点是，miniLED背光屏可能由数千个独立的miniLED单元组成；microLED屏幕则由数百万个微型LED组成。

为了制造microLED显示器，必须将每个独立的microLED转移到背板上，以将microLED单元阵列固定在适当的位置。用于放置microLED单元的转移设备必须具有很高的精度，并且放置精度必须保持在 $\pm 1.5\mu\text{m}$ 以内。现有的LED拾放装配设备只能达到 $\pm 34\mu\text{m}$ 的精度（每次转移多个芯片）。虽然倒装芯片接合机通常具有 $\pm 1.5\mu\text{m}$ 的精度，但其一次只能转移一个单元。这两种传统的LED转移方法都不够精确，无法应用于microLED的批量生产。

此外还存在视觉质量和性能问题。OLED和microLED显示器的检测在许多方面都比LCD显示器的检测更具挑战性。采用LED背光的传统LCD显示器可在整个显示屏上产生几乎均匀的亮度（照度）和色度输出。然而，对于发光显示器类型而言，显示器中每个独立的发光器都可能存在高度的变化性。举例来说，尽管microLED也是一种LED，但由于microLED的尺寸仅为传统LED的1/100，因此传统的封装工艺对于microLED而言几乎是不可能实施的。如果没有这些控制措施，要确保microLED的亮度和色度均匀性将极具挑战性。必须能够测量和量化发光显示器的每个像素和亚像素元素，以识别缺陷并确保均匀性，从而生产出消费者期望的与这些显示器的较高零售价格相匹配的质量水平。

必须能够测量和量化发光显示器的每个像素和亚像素元素，以识别缺陷并确保均匀性，从而生产出消费者期望的与这些显示器的较高零售价格相匹配的质量水平。

视觉质量问题

线Mura缺陷

在OLED的制造过程中，需要将材料沉积到基板上，以形成单独的亚像素，而在将微小的microLED转移到背板上时，必须实现极高的精度目标。如果无法以完全一致的方式完成此过程，将会对视觉质量产生影响。其中一个问题就是线Mura缺陷，其在显示器中将显示为定义明确的水平和/或垂直方向。

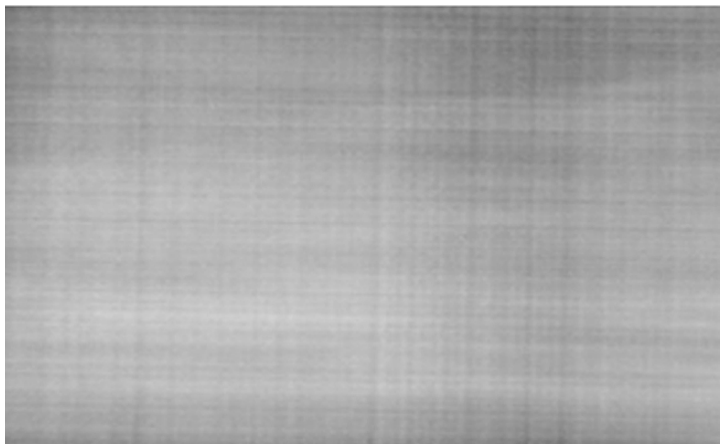


图 4 - 具有线Mura缺陷的OLED显示器图片。

必须以极高的精度将显示器的独立发光元素沉积到基板或背板上，以形成亚像素元素。如果无法以完全一致的方式完成此过程，最终可能会产生线Mura缺陷，其在显示器中将显示为定义明确的水平和/或垂直方向。

亚像素亮度性能

发光显示器的像素由红光、绿光和蓝光亚像素组成。当施加电流时，每个亚像素将会单独点亮，并且每个亚像素的输出也将单独控制。显示器中每个像素的亮度和色度是通过将亚像素输出组合在一起来确定的。由于发光显示器类型的制造过程中存在生产差异，当在显示器上相同光色亚像素的整个充填过程中施加相同的电信号时，亮度可能会有变化。这会导致相同光色的像素之间出现亮度差异。当组合在一起时，每种光色的亚像素（以不同的亮度水平一起输出光线）将产生显示器像素，这些显示器像素的亮度和色度将会呈现更大的变化性，因此，显示器的整体视觉质量看上去将会较差。

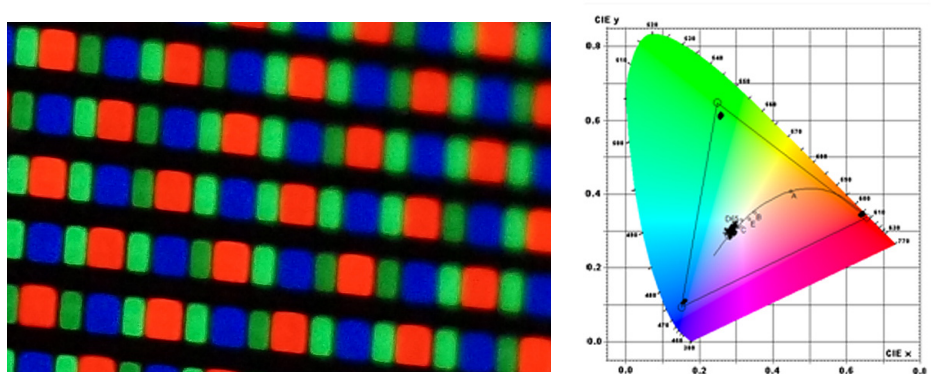


图 5 - 亚像素组合在一起创建出具有不同色度和亮度水平的像素。

OLED和其他发光显示器中的这种亚像素级变化性将会导致与LCD中不同的性能问题。在LCD面板中，所有像素都依赖于来自同一背光源的光线，因此相邻像素通常具有相同的亮度，并且整个显示器的亮度将会非常均匀。

色度不均匀性

显示器亚像素亮度水平不一致的另一个影响在于导致整个显示器的色度精度降低和色彩不均匀性。为了实现准确且均匀的色度，必须严格控制每个相同光色的独立亚像素的亮度。而现实情况是，即使在控制良好的制造过程中，发光显示器的亚像素在亮度水平上也会存在显著的差异。如果这些差异得不到补偿，则可能会在整个显示器上表现为色度不均匀性，这会导致视觉质量降低到潜在的不可接受的水平，进而致使生产良率降低。

为了实现准确且均匀的色度，必须严格控制每个独立亚像素的亮度。

经过校准的“白画面”显示器

未经校准的“白画面”显示器

绿光亚像素的亮度过低，仅为10%

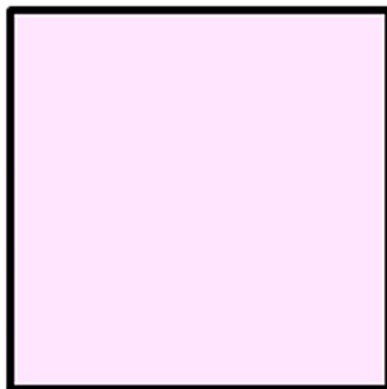
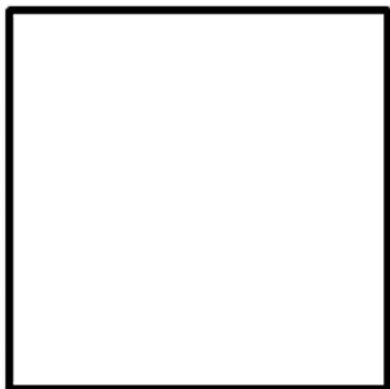


图 6 - 不正确的亮度水平会导致整个发光显示器的色度不均匀。当将各种输出的亚像素组合起来以产生单一的显示颜色（比如白色）时，色度均匀性变化可能会增加。

成像色度计在发光显示器测试领域的应用

事实已经证明，对于传统的LCD和LED显示屏，基于成像色度测量的显示器测试系统能够成功提高产品质量和降低生产成本。测试应用涵盖智能手机、平板电脑、笔记本电脑、电视机和数字标牌。这些经过广泛验证的测试方法也可以适用于发光显示器的生产测试，使制造商能够将该技术整合到相同的设备中，以确保OLED和microLED显示器的视觉质量，并获得相同的积极投资回报。

显示器测试系统的两个主要组件：

1. **成像色度计**，其可以精确测量显示器的视觉性能，确保与人类对亮度、色度和空间（或角度）关系的感知相匹配。高性能成像色度计可以准确测量发光显示器中独立亚像素的亮度（照度）以及整个显示器的亮度和色度均匀性。
2. **测试执行和分析软件**，其为生产线图像分析软件，用于识别缺陷和质量问题，量化缺陷和问题大小，并评估测量结果，以确定通过/未通过。该软件还可以包括显示器性能校正方法，该方法可以进行调整，用于识别亚像素输出变化，计算校正因子，以及校正发光显示器特有的变化。



图 7 - 成像色度计在显示器生产测试中的应用示例。（产品展示：Radiant Vision Systems ProMetric® I系列成像色度计）

改进生产线终端质量以提升客户体验

在传统的制造流程中，显示器视觉性能是由人工检测员进行测试的，这导致制造商对交付产品视觉质量的控制水平很低。由于固有的变化性、极高的分辨率以及对发光显示器更高的质量期望，发光显示器的视觉质量保证正在成为一个更加显著的问题。人工检测员无法以一致且可重复的方式在客观和量化层面评估这些显示器的视觉质量，而这对于确定发光显示器的整体性能是必不可少的。

使用成像色度计进行自动化视觉检测（AVI）（也称为自动化光学检测（AOI））具有多种优点，可以提升质量控制操作，进而提高制造效率，维护品牌声誉，并最终提升用户体验。

使用成像色度计对显示器进行自动化检测的优点包括：

- 由于所有测试系统共享相同的校准和测试定义，因此提高了不同生产线和不同生产场所显示器视觉性能测试的一致性
- 对缺陷进行量化评估，并基于精确的公差范围客观地确定显示器是否合格（通过/未通过）
- 提高测试速度，这使得制造商能够在同一时间间隔内运行更多测试，从而提高生产量，同时确保更仔细的评估和更佳的最终产品
- 同时对整体（整个显示器）质量检测（例如：检查均匀性和色度准确性）和微小细节质量检测（例如：检测像素级和亚像素级缺陷）进行评估

在传统的制造流程中，显示器视觉性能是由人工检测员进行测试的，这导致对交付产品视觉质量的控制水平很低。

当应用于OLED和microLED显示器测试时，基于成像色度计的AVI可以简化测试，同时优化交付产品的质量，并降低生产成本。

校正发光显示器以提高良率

随着显示器尺寸的缩放，良率急剧下降，并且每个组件的成本要高得多。在某种程度上，制造商可以进行校正（电子补偿或校准），以提高显示器的图像质量。这个概念很简单：通过修改发光显示器独立亚像素的输入，可以将先前确定的较暗亚像素调整为一致的亮度水平，从而提高亮度均匀性，并在整个显示器上显示正确的色度。

要校正显示器的像素均匀性，首先，显示器中必须具备电子元件，该电子元件可以控制独立亚像素的亮度，并基于每个亚像素计算得出的校正因子对其进行调整。其次，需要一种测量系统来准确地量化各个亚像素的亮度和色度，并计算每个亚像素的特定校正因子。该方法已广泛用于由单个LED组成的LED显示屏，并且通过使用称为“Demura”的校正方法，该测试方法也适用于OLED和microLED等发光显示器。

随着显示器尺寸的缩放，良率急剧下降，并且每个组件的成本要高得多。在某种程度上，制造商可以进行校正（电子补偿或校准），以提高显示器的图像质量。

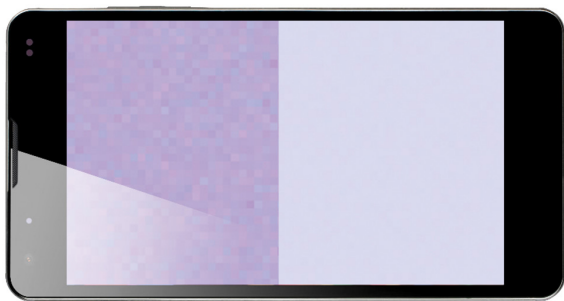


图 8 - 并列测量图像，由Radiant Vision Systems ProMetric I系列成像色度计采集，显示了用于校正发光显示器的Demura方法的结果；Demura之前（左）和之后（右）。

Demura方法采用以下三个不同的步骤：

1. 使用高分辨率成像色度计测量显示器中的每个亚像素，以计算每个像素位置的亮度值（在不同的测试图像上执行，以测量每个相同光色的亚像素系列）。
2. 使用测试分析软件计算所需的校正因子，以使显示器中各个亚像素之间的亮度差异归一化。
3. 使用外部控制IC（集成电路）系统将校正因子应用于显示器信号。

在显示器最终装配完成后，可以将测试图像显示在屏幕上，将特定的输出色度值作为目标。这些图像使得用户能够针对所有这些值计算测量和校准数据。举例来说，我们可以将所有绿光亚像素已开启的“绿色屏幕”用作样本图像，成像色度计可以测量和记录每个单独的绿光亚像素的亮度。对于所有基色以及白色，重复此操作。我们可以在发光显示器的常规质量测试过程中收集这些数据。

然而，要计算像素密度极高的OLED和microLED显示器中每个亚像素的亮度值，可能会具有挑战性。对于全高清（FHD，1920 x 1080像素）和较低分辨率的显示器，单套2900万像素的成像系统可提供足够的分辨率进行测试。然而，对于较高分辨率的显示器（例如，超高清（“QHD”）、4K和现在的8K），即使是超高分辨率的成像系统也可能无法通过单个图像采集所有像素以进行完整分析，尤其是对于如今尺寸越来越大的显示器而言（其中必须测量更大的空间区域）。为了克服这一挑战，并使测量方法适用于任意大小或分辨率的任何显示器，Demura方法可以采用一种测量过程，该过程结合了来自“间隔像素测试图案”分析方法的数据，这是一种获得专利的方法（该专利由Radiant Vision Systems持有，美国专利号：9135851），该方法使用户能够通过单套亮度或色度成像系统完成测量。

为了使测量方法适用于任意大小或分辨率的任何显示器，Demura方法可以采用一种测量过程，该过程结合了来自“间隔像素测试图案”分析方法的数据，这是一种获得专利的方法，其使用户能够通过单套亮度或色度成像系统完成测量。

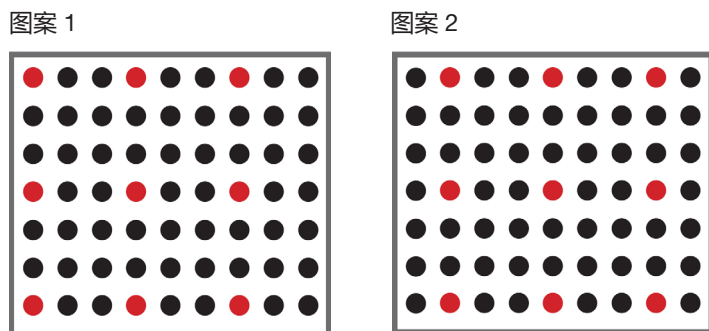


图 9 - 用于极高分辨率显示器的像素级亮度测量的“间隔像素测试图案”方法中使用的前两个图案示例。

使用“间隔像素测试图案”方法时，像素的点矩阵图案将按一定的时间间隔被点亮，并由成像系统在多个通道进行测量。针对所有点矩阵图案，重复执行此测量过程，直到在其点亮状态下分析完每个显示像素为止。当所使用的成像系统的传感器分辨率高于显示器本身时，则可以基于许多传感器像素对每个显示像素进行测试，从而确保相关显示像素的测得亮度值具有最高的精度。

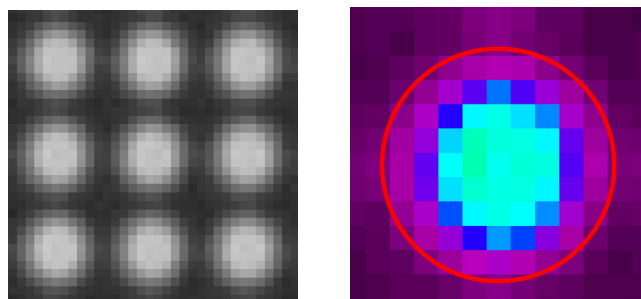


图 10 - 在执行“空间像素测试图案”方法过程中，每个被点亮的显示像素将由分析软件自动注册，并在关注区域（ROI）内进行定义。由于成像系统分辨率远远高于显示器分辨率，因此我们可以在由多个传感器像素采集的整个ROI内对每个显示像素进行测试，在这种情况下，约为10x10传感器像素相对于单个显示像素。

在分析完所有发光像素的图案之后，Demura解决方案的测试和分析软件会将所有测量图像组合为单个“合成图像”，其分辨率与被测显示器的分辨率相同（一个传感器像素相对于每个显示像素）。该图像以行和列描绘了每个显示像素，为每个像素及其相关的亮度值提供了准确的x, y坐标。在Demura过程中，这一步骤能够准确检测不均匀的像素及其精确坐标，其中可以应用亮度校正系数。



图 12 - 软件使用合成图像来定位显示器中的缺陷像素，该合成图像将来自成像系统采集的显示器的多个高分辨率测量图像的数据进行了组合。

在获得每个像素的亮度值之后，就可以计算校正因子，并将其应用于每个独立亚像素的信号输入，从而确保整个显示器的亮度和色度都是准确且均匀的（包括所有灰度级）。当将此Demura校正过程应用于OLED或microLED显示器成品后，显示器的视觉质量将得到显着改进。Demura过程的积极作用是，因未进行电子补偿而未能通过质量检测的显示器现在将能够通过检测，从而减少制造浪费，提高成本效率，并提高生产良率。

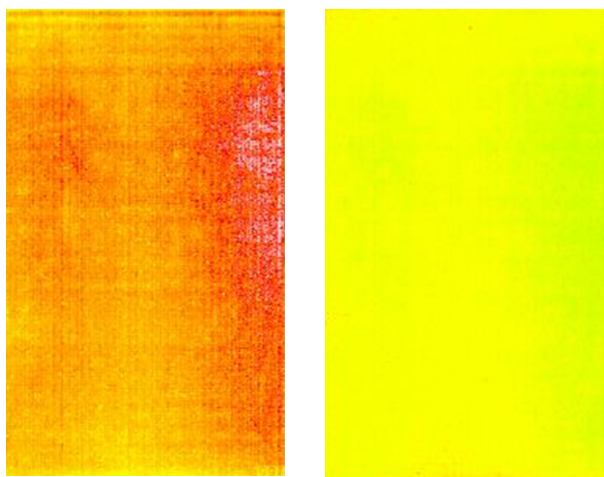


图 13 - 在进行Demura校正之前和之后，OLED显示器上蓝色测试屏幕的测量图像（以伪彩色比例尺显示，以描绘亮度水平）。

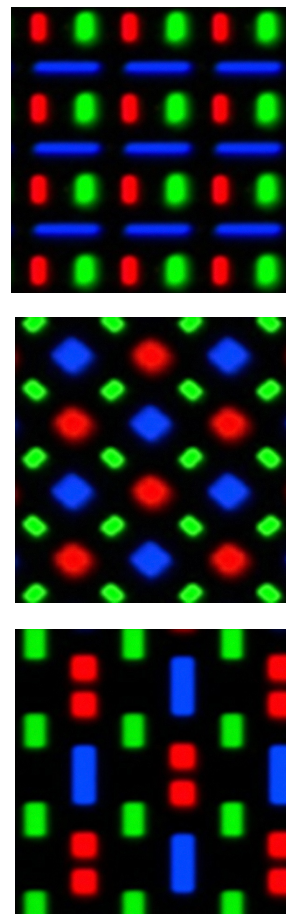


图 11 - 此外，无论OLED亚像素的布局或形状如何，都可以动态定义ROI，这意味着可以测量任何任意像素图案，从而能够将Demura方法应用于任何显示器设计。

Demura过程的积极作用是，因未进行电子补偿而未能通过质量检测的显示器现在将能够通过检测，从而减少制造浪费，并提高生产良率。

Radiant Vision Systems解决方案

从平板显示器到曲面显示器，发光技术正在开启新一代显示器，然而，在OLED和microLED等显示器类型（尤其是大幅面显示器）被认为具有商业可行性之前，制造商需要解决与图像质量和生产良率有关的技术问题。尽管制造商面临的这些问题是发光显示器类型特有的，但这些问题与Radiant Vision Systems在传统LCD生产和LED屏幕测试领域已经解决的技术问题非常相似。

ProMetric®成像色度计

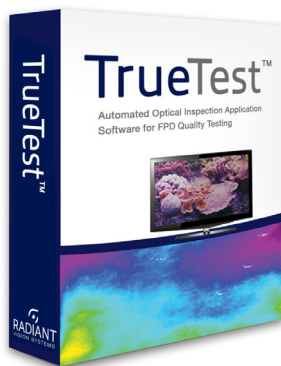
Radiant Vision Systems ProMetric成像色度计是一种高度灵敏、高精度的科学级成像系统，经过标定，可以与人类对亮度和色度的空间和角度分布的视觉感知相匹配。Radiant Vision Systems提供的成像色度计型号是业界竞争解决方案提供商的两倍多，并且具有多种分辨率和灵敏度选项。适用于特定显示器测试场景的系统选择取决于所需的测量精度和分辨率要求。



尽管很独特，但OLED制造商面临的这些问题与Radiant Vision Systems在LCD生产和LED屏幕测试领域已经解决的技术问题非常相似。

TrueTest™软件

准确测量发光显示器的性能十分重要，而同样重要的一个组成部分则是测量数据的分析。Radiant Vision Systems TrueTest自动化视觉检测（AVI）软件通过根据用户定义的通过/未通过标准实施测试序列来完善显示器测试解决方案，并使数据具有可操作性。TrueTest是一个软件测试套件和定序工具，内置多种测试，可用于显示器均匀性测试、线缺陷检测、像素缺陷检测、对比度测量、Mura分析等。TrueTest软件允许用户从测试库中选择测试，并确定任何测试序列中的测试顺序，以快速分析多个特征。此外，用户还可以指定测试参数和通过/未通过标准。TrueMURA™是TrueTest软件的一个许可选项，其增添了JND（“最小可觉差”）Mura和Blob分析方法，可用于评估15种以上的Mura缺陷。



TrueTest软件包含软件对位、显示区域注册和摩尔纹干扰图案去除功能，可用于简化测试设置。在生产线上，该软件可在操作模式运行，在该模式下可以锁定对测试参数的访问，以防止更改。此外，TrueTest软件还存储了多种型号的显示器的配置信息、测试参数和通过/未通过标准；在生产过程中，制造商可以即时应用或更改相应的数据文件。

安装与支持

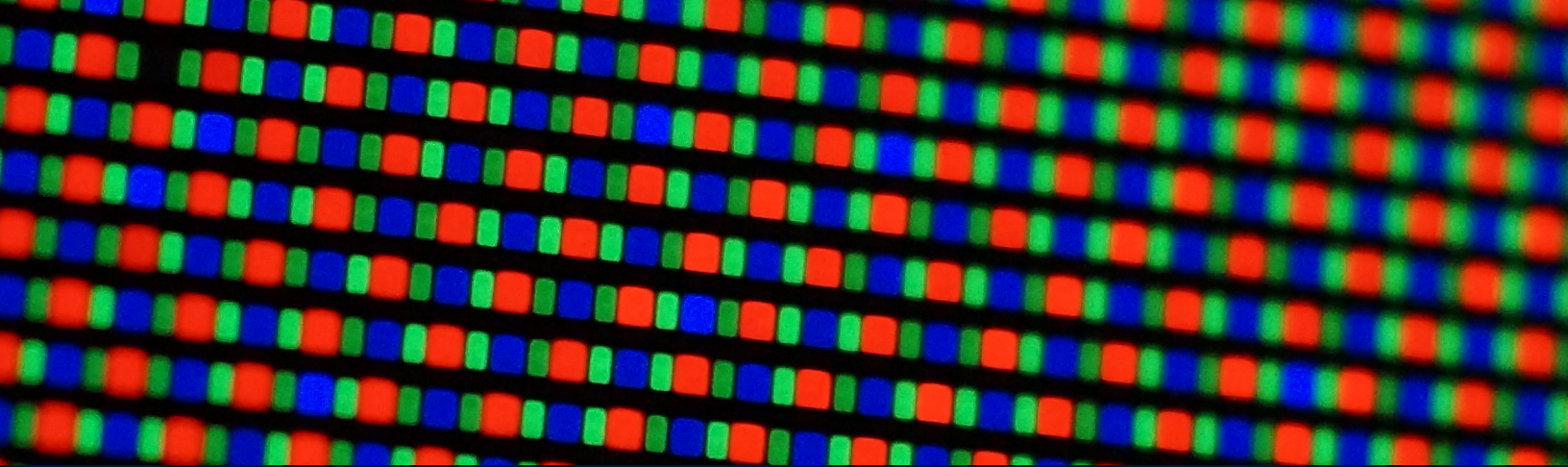
Radiant Vision Systems显示器测试解决方案的实际实施需要在生产线上同时安装硬件和软件。Radiant Vision Systems在与客户选择的治具供应商合作或提供包括治具在内的完整总承包解决方案方面具有丰富的经验。TrueTest软件可以在独立模式下运行，但更为常见的是与制造商生产线的生产控制系统（PCS）搭配使用。这种整合可以提供全自动化测试，其中，Radiant的软件由PCS触发，或者仅提供通过/未通过结果（和测试数据）的报告界面。此外，制造商还可以对TrueTest软件进行设置，用于与视频图案生成器和读码器（或等效设备）搭配使用。

Radiant Vision Systems为所有ProMetric和TrueTest解决方案提供全球支持。支持范围包括工程设计、安装、培训、维护和标定服务。Radiant Vision Systems的支持人员遍布美国、中国大陆，台湾、日本、韩国、亚太地区和欧洲，为目前部署在全球数百条生产线上的数千台成像色度计提供支持。

引用文献

1. 三星。（2019年9月6日）。IFA 2019：三星电子庆祝设计未来50年。检索自：<https://news.samsung.com/ar/ifa-2019-samsung-electronics-celebra-cinco-decadas-de-disenar-el-futuro>
2. DSCC。（2018年3月）。DSCC发布最新OLED市场预测。检索自：<https://www.displaysupplychain.com/blog/dsc-releases-latest-oled-forecast>
3. Yole Développement。（2017年2月）。MicroLED显示器报告。检索自：http://www.yole.fr/MicroLEDDisplays_Market.aspx





事实已经证明，对于LCD显示器和LED显示屏，基于成像色度测量的显示器测试系统能够成功提高产品质量和降低生产成本。Radiant Vision Systems已将这些经过广泛验证的方法扩展到OLED、microLED等其他发光显示器的生产测试。联系我们了解更多有关显示器“Demura”校正方法及其如何能够提高生产效率的信息。

立即联系我们

Radiant在北美，中国和韩国设有直接销售，工程和支持办事处以及人员。在世界其他地区，Radiant则由柯尼卡美能达公司（Konica Minolta）传感事业部当地办事处提供销售和支持。

美洲

全球总部

Radiant Vision Systems
18640 NE 67th Ct.
Redmond, WA 98052 USA
+1 425 844-0152
Info@RadiantVS.com

区域办事处

加利福尼亚库比蒂诺
密歇根州诺维

亚洲

中国总部

中国上海

区域办事处

中国深圳
中国苏州

日本

日本东京

韩国

韩国城南

台湾

台湾竹北

越南

越南海防市

亚太

新加坡

欧洲

欧洲总部

荷兰Nieuwegein

区域办事处

比利时迪海姆
法国巴黎
德国慕尼黑
意大利米兰
波兰弗罗茨瓦夫
瑞典Vastra Frolunda
瑞士Dietikon
土耳其伊斯坦布尔
英国沃灵顿



A Konica Minolta Company

请通过www.RadiantVisionSystems.com与您当地的Radiant办公室联系。

版权所有 © 2021, Radiant Vision Systems LLC. 保留所有权利。规格如有变更、恕不另行通知。Radiant, Radiant Vision Systems, ProMetric, ProSource, VisionCAL 和 Source Imaging Goniometer 是 Radiant Vision Systems LLC 的注册商标。2021/09/12