

Accurate and cost-effective testing is critical to ensure device reliability and quality. LED testing involves different types of test sequences at various stages of production, such as during design R&D, on-wafer measurements during production, and final tests of packaged parts. Although testing LEDs typically involves both electrical and optical measurements, this article focuses on electrical characterization, including light measurement techniques where appropriate.

精确而高性价比的测试对于确保 LED 器件的可靠性和质量至关重要。LED 测试在生产的不同阶段具有不同类型的测试序列，例如设计研发阶段的测试、生产过程中的晶圆级测试、以及封装后的最终测试。本文着重探讨电气特征分析，而在适当的时候介绍部分光学测量技术。

## Testing High Brightness LEDs Accurately and Cost-Effectively in a Production Environment

### 确保高亮度 LED 生产测试的精度与性价比

作者：Dave Wyban  
Jerry Janesch  
吉时利仪器公司

可见光 LED 兼具高效率和长寿命的特点。目前，它们的应用十分广泛。制造商们通过对 LED 器件的深入研究已经研制出具有更高光通量、更长寿命、更多色彩和更高每瓦流明数的新器件。精确而高性价比的测试对于确保 LED 器件的可靠性和质量至关重要。

LED 测试在生产的不同阶段具有不同类型的测试序列，例如设计研发阶段的测试、生产过程中的晶圆级测试、以及封装后的最终测试。LED 的测试一般包含电气和光学测量，而本文着重探讨电气特征分析，只在适当的时候介绍部分光学测量技术。图 1 给出了典型二极管的电气 I-V 曲线。完整的测试应该包含大量的电压值与对应的电流工作点，但是一般情况下有限的采样点就足以测试出器件的品质因数。

很多测试需要提供已知的电流然后测量电压，而另外一些测试需要提供电压然后测量产生的电流。因此，具有集成的、同步的源和测量功能的高速测试仪器对于这类测试是非常理想的。

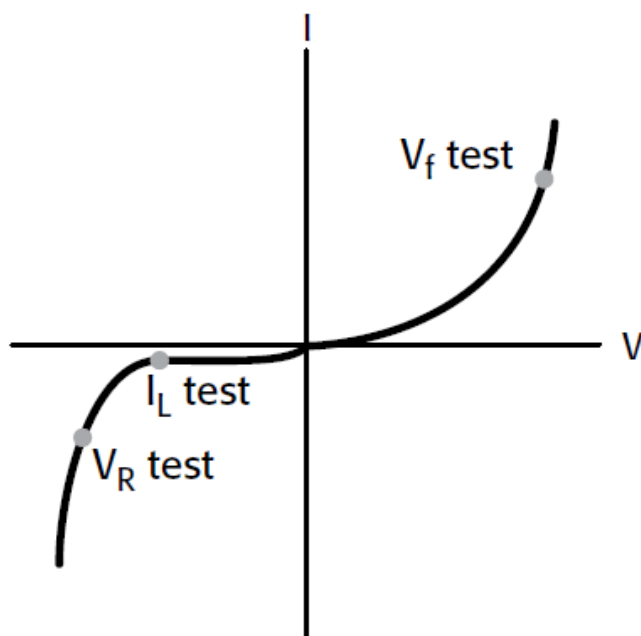


图 1：典型 LED 的直流 I-V 曲线和测试点(不可缩放)

## 正向电压测试

在 LED 测试序列中，正向电压( $V_F$ )测试检验的是可见光 LED 上的正向工作电压。当在二极管上加载一个正向电流时，它开始导通。刚开始在低电流下，二极管上的电压降快速上升，

但是随着驱动电流的增加,电压斜率开始变平。二极管一般工作在这个电压相对恒定的区域。在这些工作条件下对二极管进行测试也非常有用。 $V_F$  测试需要提供一个已知的电流然后测量二极管上产生的电压降。典型的测试电流范围从几十毫安到几安,而产生的电压大小通常在几伏的范围。有些制造商利用这种测试的结果进行器件分拣,因为正向电压与 LED 的色度(由色彩主波长或者互补波长及其纯度共同表征的色彩品质)相关。

## 光学测试

正向偏置电流也用于光学测试,因为电子电流与发光的强弱密切相关。通过在待测器件附近放一个光电二极管或者累计球捕捉发出的光子可以测出光强度(optical power)。然后将光转换成电流,利用安培计或者源测量仪器的一个通道测量电流的大小。

在很多测试应用中,二极管的电压和发出的光可以利用大小固定的电流源同时测出来。此外,利用分光计可以在同样大小的驱动电流下测出诸如光谱输出之类的详细参数。

## 反向击穿电压测试

对 LED 加载一个反向偏置电流可以测出反向击穿电压( $V_R$ )。测试电流的大小应该设置为当电流稍微增加时测出的电压值不再明显增大的位置。当电压高于这个电压值时,反向偏置电流的大幅增加导致反向电压变化不明显。这个参数指标通常是一个最小值。在测试  $V_R$  时要在一定的时间内加载一个小的反偏电流,然后测量 LED 上的电压降。测量结果的大小范围通常为几十伏。

## 漏电流测试

一般地,漏电流( $I_L$ )的测量使用中等大小的电压(几伏到几十伏)。漏电流测试测量的是当加载的反向电压低于击穿电压时 LED 上泄漏的小电流。在生产过程中确保漏流不超过一定的阈值是漏流测量的常用做法,也是隔离测量更普遍的做法。其中有两个原因。第一,低电流测量需要较长的稳定时间,因此它们需要更长的时间才能完成。第二,环境干扰和电噪声对

低值信号具有较大的影响，因此需要额外的屏蔽措施。这些额外的屏蔽措施增加了测试夹具的复杂性，并且可能干扰自动机械手的操作。

## 智能仪器提升 LED 生产测试能力

过去，在很多 LED 生产测试系统中人们常常采用 PC 机控制测试的各个方面。换句话说，在测试序列的每个组成部分中，每个测试必须对信号源和测试仪器分别配置，执行所需的操作，然后将数据返回给控制 PC。控制 PC 然后进行 pass/fail 判断并执行相应的操作对 DUT 进行分拣。发送和执行的每条命令都浪费了宝贵的测试时间，因此降低了处理能力。显然，在这类以 PC 为中心的测试结构中，大部分测试序列时间都被 PC 和测试仪器之间的通信所消耗了。

相反，当前很多智能仪器，例如 2600A 系列数字源表，通过减少通信总线上的通信量，使得大幅提高复杂测试序列的能力成为可能。在这些仪器中，测试序列的主要部分嵌入在仪器内部。测试脚本处理器(TSP)是一种全能的测试序列引擎，能够利用内置的 pass/fail 判据、数学和计算公式控制测试序列和数字 I/O 端口。TSP 能够将用户自定义的测试序列保存在存储器中然后根据命令执行它。这样就限制了测试序列中每一步的设置和配置时间，通过最大限度减少与 PC 和仪器的通信而提高了测试产能。这类仪器的编程过程相对简单：1)创建脚本；2)将脚本下载到仪器中；3)调用脚本执行。对于 2600A 系列仪器，用户可以利用仪器本身提供的 Test Script Builder 软件编写或者下载脚本，或者从用 Visual Basic 或 LabVIEW 等语言编写的用户应用程序中下载到仪器中。

## 单 LED 器件测试系统

图 2 是测试单个 LED 的测试系统简化模块图。对于自动化测试，通常包含一台 PC 和一个元件机械手(晶圆级测量需要一个探针台)。

在这个测试结构中，PC 机的主要作用是将测量数据保存在数据库中用于资料记录。第二个

作用是针对不同的部件重新配置测试序列。2600A 系列的独特之处在于它们能够独立于 PC 控制器单独工作。每台仪器上内嵌的 TSP 支持用户编写能够在仪器本身上执行的完整测试规划。换句话说，用户可以编写完整的 pass/fail 测试序列脚本，无需仪器重编程即可通过仪器面板运行它。

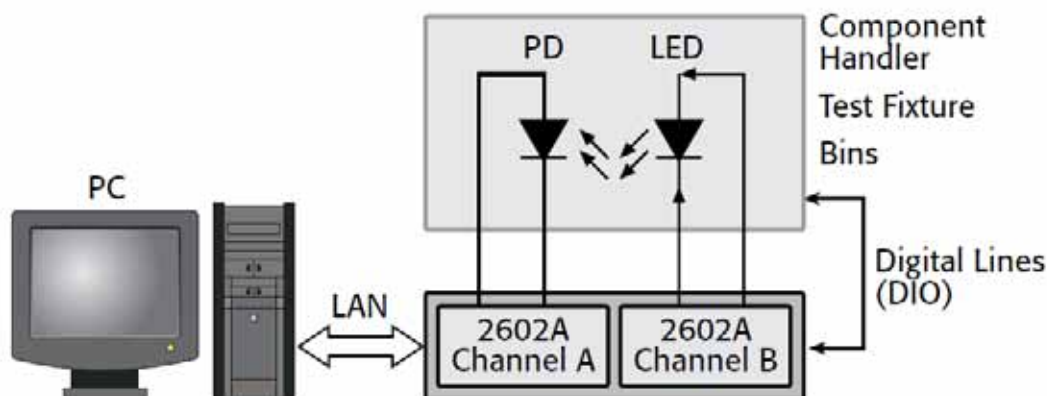


图 2：基于数字源表的单 LED 测试系统模块图

生产测试系统可以利用元件机械手将单个 LED 传送到测试夹具上，进行电气接触。该夹具屏蔽了环境光，并且安装了光电探测器(PD)进行光学测量。在如图 2 所示的配置中，使用了一台 2602A 型双通道数字源表实现两种连接。其中，源测量单元 A(SMUA)为 LED 提供测试信号并测量其电响应，而 SMUB 在光学测量过程中用于监测光电二极管。

测试序列在编程开始时利用元件机械手的一条数字线作为“测试启动(SOT)”信号。当数字源表检测到这个 SOT 信号后，LED 特征分析测试就开始了。

在所有的电气和光学测试都完成之后，系统为元件机械手设置一条标志“测量完成”的数字线。此外，仪器本身的智能功能执行所有的 pass/fail 操作，通过仪器上的数字 I/O 端口向元件机械手发送一条数字命令，根据 pass/fail 判据对 LED 进行分拣。然后，可以设定两个操作同时执行：将数据传输到 PC 进行统计过程控制，同时将一个新的 DUT 传送到测试夹具上。

## 多器件/阵列的 LED 测试系统

在多器件测试情况下，例如涉及老化的测试，我们要在规定的时间内同时测量多个部件。驱动 DUT 通常需要连续的电流，但是多个光学探测器可以通过开关系统复用同一个电流计。用户可以根据所测电流的动态量程选择合适的开关系统和电流计。

多 LED 器件测试可以选择多种类型的开关。例如，3706 型开关/万用表具有 6 个开关模块插槽，因此它最多可支持 576 个复用通道或者 2688 个矩阵交叉点。与 2600A 系列仪器类似，它也内置了板载 TSP 和 TSP-Link 设备间通信/触发总线，利用这套总线可以快速而方便地将这些仪器集成到一个系统中。这种集成支持紧密同步的仪器间操作，并且能够让它们在一个测试脚本的控制下进行操作。图 3 给出了具有一个光电二极管通道的三 LED 器件测试系统结构。

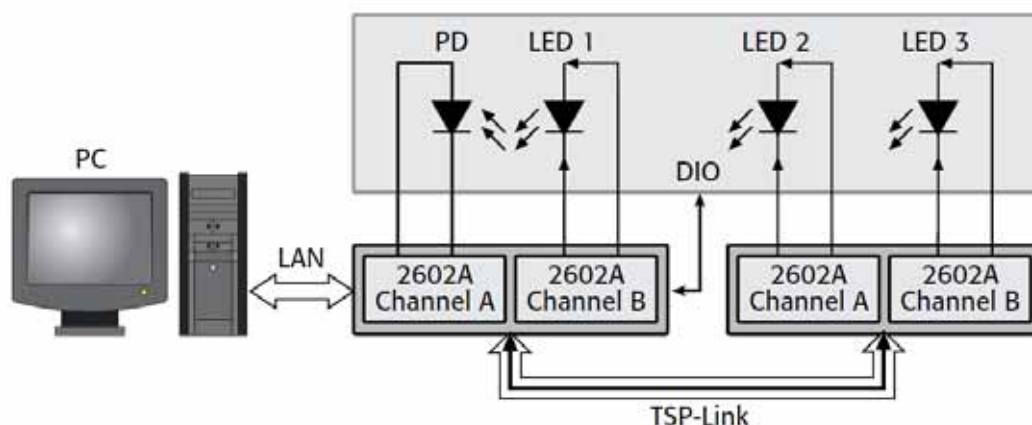


图 3：采用可扩展 2602A 数字源表通道构建 LED 阵列测试系统的模块图

## 最大限度减少 LED 测试误差

LED 生产测试中的常见测量误差源包括引线电阻、漏电流、静电干扰和光干扰，但是结自热是最重要的误差源之一。对结发热最敏感的一种测试是正向电压测试和漏电流测试。当半

导体结发热时，电压将会下降，更重要的是，在恒压测试过程中漏电流会增大。因此，在不影响测量精度或稳定性的情况下尽可能缩短测试时间是非常重要的。

具有板载测试脚本引擎的智能仪器能够简化配置测量前器件的持温时间(soak time)以及采集输入信号的时间。在保温时间内所有的电路电容在测量开始前稳定下来。测量积分时间取决于电源线周期数(NPLC)。如果输入电源是 60Hz，那么 1NPLC 测量就需要 1/60 秒，即 16.667ms。积分时间决定了 ADC 采集输入信号的时间，它要在测量速度和精度之间进行折中。

$V_F$  测试的典型保温时间从不到几百微秒到 5 毫秒， $I_L$  测试的保温时间从 5 到 20 毫秒。通过利用这些极短的测试时间，就能够减少由于结发热导致的误差。此外，通过执行一系列测试并只检验测试时间，可以对结发热的特征进行分析。

为了进一步缩短测试时间，减少结自热效应，2600A 系列仪器支持脉冲操作。在这种模式下，它们能够在指定的周期内在输出端产生精密的信号源。1 微秒的脉宽分辨率能够精确控制器件的加电时间。这类仪器在脉冲操作模式下还能够输出大大超出其直流能力的电流值。例如，2602A 在 6V 下能够输出 3A 的直流电流。而在脉冲模式下，它能够在 20V 下输出 10A 的电流。