

文章编号: 1005-5630(2013)01-0084-05

一种用于 LED 特性检测的实验仪器的研究*

张 倩, 张学典, 常 敏, 毛辰飞

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

摘要: 介绍了一种基于微型光纤光谱仪的 LED 特性检测仪器的设计原理。为了降低积分球测量光通量中所引起的自吸收误差与温度升高对 LED 光通量的影响误差, 选取将 LED 与探测器成 90° 放置的解决方法。同时, 光谱仪模块采取非对称交叉式 Czerny-Turner 分光结构来达到微型化高分辨率的目的。基于正向电流对 LED 光通量的影响, 提出可调可显示的恒流源的设计。研究结果对研制检测 LED 特性的微型检测装置具有一定的指导意义, 由于恒流源电流的可读可调节的设计, 电流变化对 LED 光学特性的影响可以较为清晰地体现出来。

关键词: LED 特性检测; 微型光纤光谱仪; 系统设计

中图分类号: TH 744.1 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1005-5630.2013.01.017

A research of laboratory instrument for LED property measurement

ZHANG Qian, ZHANG Xuedian, CHANG Min, MAO Chenfei

(School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: A design principle of LED features detection equipment based on micro fiber optic spectrometer is introduced. To reduce the self-absorption error caused by measuring luminous flux from integrating sphere and the error of LED luminous flux caused by temperature increasing, the LED is placed with the detector into 90° to solve the problem. Meanwhile, in order to achieve the goal of miniaturization high-resolution, the fiber optic spectrometer module uses non-symmetrical cross Czerny-Turner spectral structure. A design of the adjustable constant current source is purposed based on the influence of LED luminous flux by forward current. The results show that the research has certain guiding significance in developing micro LED features detection equipment. Since the constant current source is adjustable and can be displayed, the influence of LED optical features by current changing can be clearly observed.

Key words: LED features measurement; micro fiber spectrometer; system research

引 言

随着半导体技术的快速发展, LED 在各种光电器件, 自动化设备, 家用电器, 信号指示灯以及照明行业等方面获得了极为广泛的应用。特别是照明行业, 伴随着高亮度的白光 LED 的问世, 使 LED 代替传统

* 收稿日期: 2012-05-31

基金项目: 上海市科委资助项目(10595812300); 上海市教育委员会重点学科建设资助项目(J50505 和 S30502)

作者简介: 张 倩(1987-), 女, 湖北孝感人, 硕士研究生, 主要从事 LED 光电特性检测方面的研究。

白炽灯乃至节能灯成为可能。LED 的节能性,无污染性被广泛认可。只有掌握好了二极管基本物理特性,才能更好地研制和应用二极管。为了在实验中更加清楚地认识和掌握 LED 的结构,发光原理以及光电特性,提出一种能够直观测量 LED 包括正向电流、光通量、主波长、色坐标以及色温等一系列光电特性的检测装置系统。该系统采用非对称的 Czerny-Turner 结构,体积小,便于携带,通过各类器件的选定,可以达到多波段的光谱测量的要求。

1 LED 的主要光电特性以及测试原理

LED 是一种电致发光的器件,其核心是 PN 结,它由半导体构成,具有反向截止、击穿,正向导通的特性。不同的半导体材料可以制成不同颜色的 LED,且发光的强弱与注入电流有关^[1]。同时 LED 的芯片,外形结构,封装技术等也是影响 LED 的各种光学特性的原因。LED 的光电参数主要为伏安特性、光通量、发光强度、峰值波长、主波长、色坐标、显色性及相关色温。

1.1 LED 的伏安特性

当正向电压低于阈值时,正向电流较小,LED 不发光;当正向电压增加到超过阈值电压后,正向电流随电压的增加迅速增加,有指数增长的趋势。不同材质不同颜色的 LED,其阈值电压,伏安特性也会稍有不同。图 1 为一绿光 LED 的 U - I 特性图:

随着通过的正向电流增大,LED 的光亮度也会逐渐变强,故 LED 属于电流控制性半导体器件,其光亮度 L (单位为 cd/m^2)与正向电流 I_F 近似的成正比关系:

$$L = kI_F^m \quad (1)$$

式(1)中, k 为比例系数,在小电流范围内($I_F=1\sim 10\text{ mA}$, $m=1.3\sim 1.5$ 。当 $I_F>10\text{ mA}$ 时, $m=1$,上式可简写为:

$$L = kI_F \quad (2)$$

即 LED 的光亮度与正向电流成正比。在使用 LED 时,应根据所要求的显示亮度来选取合适的 I_F 。这样既保证亮度适中,也不会因为电流过大而损坏 LED。正因为电流对 LED 的亮度有直接的影响,所以 LED 主要采用恒流驱动。

1.2 光通量的测量

国际照明委员会 CIE 定义 LED 光源发射的辐射通量中能引起人眼视觉的那部分辐射通量为光通量 Φ_v ,单位为 lm 。与辐射通量的概念相比,它考虑了人眼对不同波长的可见光的光感受的不一致性,针对这种不一致性,CIE 制定了光谱效率函数,它主要针对人眼对不同波长的单色光的灵敏度作了总结:在明视觉条件下(亮度为 $3\text{ cd}/\text{m}^2$ 以上),会接触人眼标准广度观测者光谱效率函数 $V(\lambda)$,它在 555 nm 上有最大值,此 1 W 辐射通量等于 683 lm 。反之,他们也定义了相关暗视觉条件,如下图所示, $V(\lambda)$ 表示明视觉条件下的光谱效率函数, $V'(\lambda)$ 表示暗视觉条件下的光谱效率函数^[2]。

明视觉条件下,辐射量向光通量的转化表达式可以表示为:

$$\Phi_v = 683 \int_{380}^{780} \Phi_E(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

暗视觉条件下,辐射量向光通量的转化表达式可以表示为:

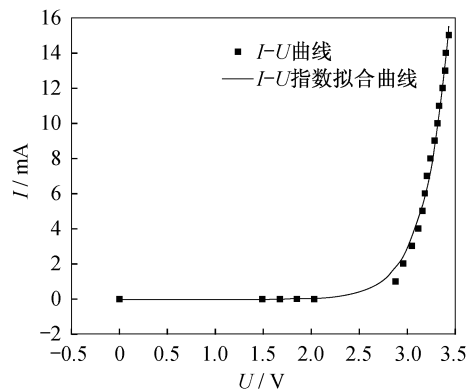


图 1 绿光 LED 的 U - I 特性

Fig. 1 U - I property for green LED

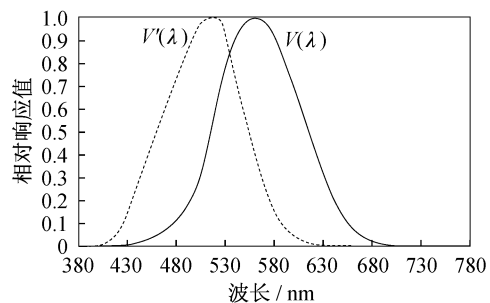


图 2 明暗视觉下光谱效率函数

Fig. 2 Spectrum efficiency function for daylight and darkness

$$\Phi_v = 1700 \int_{380}^{780} \Phi_E(\lambda) V'(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

为了更准确地测量光通量,经常会采用积分球这个装置,主要是在于尽可能多地将 LED 辐射的光收集起来,并通过球内的多次反射得到光照度均匀的光。

1.3 发光强度

发光二极管的发光强度取决于 PN 结中辐射型复合机率与非辐射型复合机率之比,通常是指法线方向上的发光强度。若在该方向上辐射强度为 $(1/683) \text{W/sr}$ (即一单位立体角度内光通量为 1 lm) 时,则称其发光强度为 1 cd。从发光强度的概念中不难发现,该定义实际上要求光源为一个点光源,或者是光源的尺寸和探测器的面积与离光探测器的距离相比足够小(这种要求通常被称为远场条件)。但是由于不同的 LED,形状各有不同,而且通过对 LED 光线追迹可以发现,LED 各个区域发出的光线有不同的聚焦点,因此 LED 不能作为点光源来描述,这给发光强度测量带来了困难。因此,CIE127 文件对于 LED 发光强度的测量做出规定:照射在离 LED 一定距离处的光探测器上的光通量 Φ_v 与由探测器构成的立体角 Ω 的比值,其中立体角 Ω 可将探测器的面积 s 除以测量距离 d 的平方得到,即:

$$I = \frac{\Phi_v}{\Omega} = \frac{\Phi_v}{s/d^2} \quad (5)$$

由上式可知,除了光通量之外,LED 发光强度也与所采用的探测器面积以及测量距离 d 的平方直接相关,为了有一个统一的参考标准,国际照明委员会(CIE 127-1997)在 1997 给出两种试行标准 A 和 B。

这两种标准都要求,所用的探测器有一个面积为 1 cm^2 的(相应直径为 11.3 mm)的圆入射孔径。A 和 B 这两个测量条件并不严格按照发光强度的定义进行测量,因此,称为“平均发光强度”。目前国际上大部分实验室已同意 A 和 B 的测量条件^[3],见表 1。

表 1 发光强度测试的 A 和 B 测量条件

Tab. 1 Condition A and B for luminous intensity test

条件	测量距离/ mm	探测器面积/ mm^2 (直径/mm)	立体角/ sr	平面角/ rad
A	316	100(11.3)	0.001	20
B	100	100(11.3)	0.01	6.5

1.4 LED 的峰值波长 λ_p 、主波长 λ_D 和光谱半波宽 $\Delta\lambda$

峰值波长 λ_p :在 LED 相对光谱能量曲线中,相对光辐射最强处所对应的波长称为峰值波长,它主要由半导体材料的带隙宽度决定。

光谱半波宽 $\Delta\lambda$:在 LED 相对光谱能量曲线中,相对光辐射能量为二分之一最大光辐射能量值处所对应的两个波长的差值称为光谱半波宽。它体现出了光谱的纯度,LED 的发光光谱的半宽度一般为 30~100 nm,光谱宽度窄意味着单色性好,发光颜色鲜明,清晰可见。

主波长 λ_D :任何一个颜色都可以看作为用某一个光谱色按一定比例与另一个参照光(如 CIE 标准光源 A、B、C 等,等能光源 E,标准照明体 D65 等)相混合而匹配出来的颜色,这个光谱色就是颜色的主波长。

1.5 显色指数

光源的显色性指光源照射到物体上,由物体反射或投射后物体显示出的颜色效果,表征光源对物体颜色真实性的一个量,决定着光源的应用范围。CIE 规定显色指数大于 75 的光源为优质光源,越接近于 100,显色性越好;显色性在 50~75 的光源为显色性一般;显色性小于 50 的光源,显色性较差,物体在这一光源下会发生变色或失真^[4]。

1.6 色品坐标

色坐标是以数字方式在坐标图上表示光源发光颜色的量,若知道光源的功率 $P(\lambda)$,就可以计算该光源在 (X, Y) 坐标系中的色坐标。最常用的色品图是 CIE1931-XYZ 坐标系,由色品图可知,RGB 的 LED 能组合产生出白光。通过线性变换也能得到其他坐标系,如 CIE1960 (U, V) 坐标系。

1.7 色温

当某辐射体与绝对黑体在可见光区域具有完全相同的光谱功率分布时,绝对黑体的温度称为该辐射体的色温。在色度图上表现则是某一光源的色坐标 (X, Y) 位于色度图上的黑体迹线上,那么此黑体的绝

对温度即定义为该光源的色温。但是在实际操作中,发现有很多光源的色度坐标并不能完全落在黑体迹线上,因此就引出相关色温的概念。即在色度图上,和某一光源的色度坐标点相距最近的那个黑体的绝对温度就定义为该光源的相关色温。在 LED 产品中,色温是一项较为重要的参考指标,不同的色温给人们的心理和生理带来不同的影响。大功率照明 LED 中常用的色温规格有 3 000 K,4 000 K,5 000 K,根据不同的照明场合需求进行选择。

2 系统设计以及实现



图 3 LED 特性测量系统原理图

微型光纤光谱仪测量 LED 特性系统原理框图如

Fig. 3 Principle diagram for LED property test system

图 3 所示:

系统的工作原理:恒流驱动为 LED 提供稳定的直流电流,同时也可以显示出当前稳定电流的大小以及 LED 两端电压的大小,它保证了 LED 在特定的恒电流下正常发光,同时,也可以完成对 LED 的伏安特性的观测。积分球上有一个开端小圆孔,LED 灯可插入此圆孔进入积分球内,即 LED 的光进入了积分球内,积分球的另一端有一个连接 SMA905 光纤,LED 光通过光纤由光纤光谱仪上的狭缝进入光纤光谱仪,然后再经过准直分光聚焦后到 CCD 探测器上,CCD 将得到的光谱进行由光信号转换为电信号,再将电信号 A/D 转换,进入计算机处理,将光谱以图谱形式显示,并计算出相应的光学特性参数。

2.1 LED 恒流驱动模块

其简化模型如图 4 所示,电流以及电压示数可读。该模块主要负责对 LED 灯驱动,以及实时监测 LED 灯的电流电压值,完成 LED 的 $U-I$ 特性的检测。同时也可计算出 LED 消耗的电功率,为其发光效率的计算奠定基础。

2.2 积分球模块

光纤光学积分球是通过一个 $0.375'$ 的入口将光导入并汇集到光纤上的光学实验装置(见图 5)。它是一个球形空腔,由内壁涂有均匀的白色漫反射层(硫酸钡或氧化镁)的球壳组装而成,被测 LED 置于空腔内。LED 器件发射的光辐射经积分球壁的多次反射,使整个球壁上的照度均匀分布。这里选择将 LED 的点燃位置设定在积分球内壁而非中心,它不仅可以避免 LED 工作中温升所带来的光通量下降问题,而且 LED 点灯装置的外置尽可能满足了积分球原理,将点灯装置的自吸收降到了最低。同时由于光源与探测器在同一平面内成 90° 放置,因此几乎不会有 LED 的光直接摄入探头,挡屏也不再需要了,从而进一步满足了积分球的原理,提高了 LED 光通量测量的精确度^[5]。

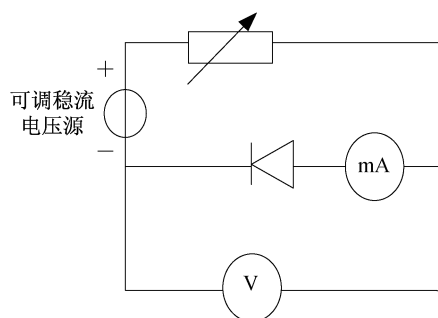


图 4 LED $U-I$ 特性测试电路图

Fig. 4 $U-I$ electricity property test for LED

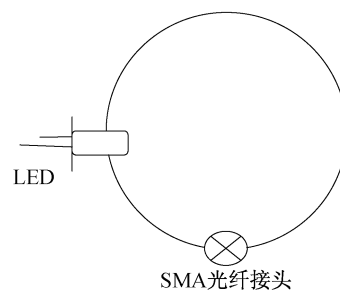


图 5 积分球结构示意图

Fig. 5 Schematic diagram of integrated sphere structure

2.3 光纤光谱仪模块

光谱仪采用非对称交叉式 Czerny-Turner 分光结构,如图 6 非对称交叉式 Czerny-Turner 分光结构所示,这种结构既能缩小光谱仪的整体尺寸,又能使狭缝、光栅、准直物镜与光谱像面的位置在空间上不会产生干涉作用。还可以在有限的空间内增长光线的光程,从而提高微型光谱仪光学系统的分辨率和色散能力^[6]。同时非对称交叉式 Czerny-Turner 分光结构还可以保证光纤的色散发生在光栅的主截面内,

反射镜不存在色差,容易得到更平直的光谱成像谱面,适应更大的光谱范围。该结构的主要构件有 SMA905 光纤接头、狭缝、准直反射镜,闪耀光栅和 CCD。狭缝宽度根据光谱仪的分辨率来确定,光束经狭缝后照射到准直反射镜 A 准直成平行光束投射到闪耀光栅上,光栅将光束中不同频率的成分衍射出来,由聚焦反射镜将不同波长的光汇聚到 CCD 芯片的不同位置,CCD 芯片将探测到的光信号转换为相应的电压信号,再由数据采集模块采集处理与分析。

2.4 控制模块

光纤光谱仪是一个带有 Cypress CY7C68013 微型控制器,该微型控制器主要包括 1 个 8051 处理器,1 个串行接口引擎 SIE,1 个 USB 收发器,8.5K 片上 RAM,4KBFIFO 存储器以及一个通用的可编程接口 GPIF,它拥有一个独特的架构,其中包括一个智能串行结构引擎 SIE,它执行所有基本的 USB 功能,将嵌入式 MCU 解放出来以用于实现专用的功能,并保证其持续的高性能的传输速率。通过使用 USB 接口和应用环境直接共享 FIFO,而微控制器可不参与数据传输,但允许以 FIFO 或 RAM 的方式访问这些共享 FIFO 来实现,从而保证了光谱数据传输的不受微控制器本身工作频率的影响而达到高速传输。微型光纤光谱仪以 CY7C68013 为控制核心,实现所有功能,其控制模块原理图如图 7 所示。

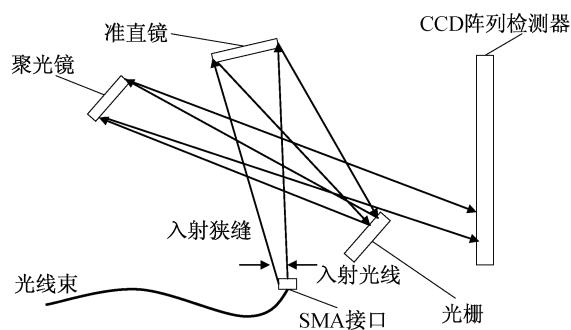


图 6 非对称交叉式 Czerny-Turner 分光结构
Fig. 6 Czerny-Turner beam splitter structure of asymmetric and intersection

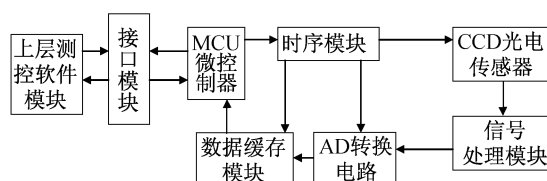


图 7 LED 特性测试系统控制模块原理图
Fig. 7 Principle diagram of control module for LED property test

CCD 将光信号转换为电信号,经过信号处理模块的消噪滤波处理,再利用 A/D 转换将模拟信号转换为数字信号进入 MCU 微控制器。MCU 微控制器利用接口模块来获得 PC 机的通信信息,进而按照 PC 机的通信指示来对光谱仪初始化,设置积分时间,获得特定模式下的光谱数据。然后再通过接口模块将光谱数据输出到 PC 机,利用 PC 机上的各种对光谱数据的算法得出各项光学参数。

3 结 论

主要提出一种基于微型光纤光谱仪的 LED 特性检测实验仪器的原理设计。较以往检测设备而言,其具有体积小,测量范围广,分辨率高等优点。特别是 LED 驱动电流可调可显示的特点,通过测量不同电流下的 LED 光学特性参数,可以直观认识电流对 LED 光学特性的影响。不足之处在于暂未考虑对 LED 光强的测量,以及未涉及温度的检测。因为此类光谱仪设计的实现适用于小功率直插型 LED,即温度对光学特性非常有限的情况,若对温度要求严格,可以采取对待测 LED 粘接热偶线的方法来实现。

参考文献:

- [1] 陈元灯. LED 制造技术与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2007:3-6.
- [2] 吴继宗,叶关荣. 光辐射测量[M]. 北京:机械工业出版社,1992:174.
- [3] 吕 正. LED 光强测量中有待商榷的若干问题[J]. 计量技术,2006,12(7):23-26.
- [4] 何定邦. 印刷色彩学[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2002:22.
- [5] 李文宜. 测量 LED 总光通量的积分球装置中光源位置的探讨[J]. 复旦学报(自然科学版),2007,46(3):356-359.
- [6] 黄振宇. 基于线阵 CCD 的小型光谱仪光度特性研究[J]. 应用光学,2007,28(5):564-568.