

Experimental Research of Electro-Optic Efficiency of LED Light Sources

Lina Zeng, Haibin Jing, Lin Li*, Zaijin Li, Hong Yang, Gongjie Li, Zhibo Li, Yi Qu, Hongyan Peng

College of Physics and Electronic Engineering, Hainan Normal University, Haikou Hainan
Email: *licust@126.com

Received: Jul. 17th, 2020; accepted: Jul. 30th, 2020; published: Aug. 6th, 2020

Abstract

The luminous flux of red, green and blue light source was measured with integrating sphere as the light receiver, and then the electro-optic conversion efficiency was calculated. The electro-optic conversion efficiency of LED decreases with increasing of current. The factors affecting the conversion efficiency of LED light sources are analyzed.

Keywords

LED, The Efficiency of Converting, Light Source

LED光源电光效率测量实验研究

曾丽娜, 景海彬, 李林*, 李再金, 杨红, 李功捷, 李志波, 曲轶, 彭鸿雁

海南师范大学, 物理与电子工程学院, 海南 海口
Email: *licust@126.com

收稿日期: 2020年7月17日; 录用日期: 2020年7月30日; 发布日期: 2020年8月6日

摘要

利用积分球作为光接收器来测量出红光、绿光和蓝光三种LED待测光源的光通量, 由光通量算出电光转换效率。LED的电光转换效率随着电流的增大而出现了不同程度的衰减, 分析LED光源电光转换效率的影响因素。

*通讯作者。

关键词

发光二极管(LED), 电光转换效率, 光源

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

发光二极管(LED)具有占有空间小、稳定性好、节能无污染和环保等多个优点。LED 是新一代的光源, 具有低能耗、高效率、高稳定性等多个特点, 被广泛应用于光照明、光通信等多个领域[1] [2] [3] [4]。由电光转换效率定义可知, 需测量 LED 的光通量与电功率。目前常用的光通量测量方法有两种: 一是分布光度计法, 二是积分球法。分布光度计法主要是通过测量待测 LED 在空间的光强或照度分布, 然后进行全空间积分, 从而得到待测 LED 的总光通量。该方法精度高, 但是测量复杂。和分布光度计法相比, 积分球法测量相对简单, 在测量精度要求不高的场合得到广泛的应用[5] [6] [7] [8]。通常, 测试光源时采用积分球法; 测试灯具时采用分布光度计。本实验采用的是积分球法测量待测 LED 的总光通量。积分球法是一种相对测量方法, 对系统进行定时标定时, 必须使用光通量标准灯。为了使积分球能达到比较精准的测量数据, 尽可能使用同类型的标准 LED 标准灯来标定积分球系统, 可以大大提高测量精度。使用积分球法测 LED 光通量时有比较严格的条件要求, 首先, 当测量对象是单一 LED 时, 要求积分球的最小直径不能小于 20 cm, 球越大, 空间一致性误差越小, 对自吸收的敏感性更小, 信号也就更弱; 其次, 标准灯的尺寸和结构往往和被测灯不同, 因此会对积分球内漫射光的吸收情况会产生不同的影响, 为消除光源尺寸不同而造成的测量误差, 通常采用辅助灯法, 来减小由于光源的尺寸、封装不同所引起的测量误差。本文利用积分球作为光的接收器来测量待测光源的光通量, 分析电光转换效率的影响因素。

2. 积分球测试原理

光线由入光孔入射后, 在球体的内部被均匀的反射和漫反射, 因此输出孔所得到的光线相当于均匀的漫反射光束。如图 1 所示, 在理想条件下, 球的内表壁的各点漫反射是均匀反射的, 设球的半径为 r , 设在 B 点区域 dS 上产生的直接照明数值为 E_1 , M 处的总照度为

$$E_M = E_1 + \frac{\rho}{1-\rho} \cdot \frac{\Phi}{4\pi r^2} \quad (1)$$

式中, Φ 为光源的总光通量, E_1 为光源 S 直接照射在 M 点上的光照度, E_1 的大小不仅与 M 点的位置有关, 也与待测 LED 在球内表面的位置有关, 如果在光源 S 和 M 点之间放置一块挡板, 挡住光源 S 直接射向 M 处的光源, 则 $E_1 = 0$ 。因此 M 点的光照度为

$$E_M = \frac{\rho}{1-\rho} \cdot \frac{\Phi}{4\pi r^2} \quad (2)$$

式中, r 为积分球半径; ρ 为积分球内壁反射率。

由此可见, 球壁内表面上任意位置的照度 E_M 与光源 S 的总光通量 Φ 成正比, 通过测量球壁上的出光孔的照度 E_M 来计算光源的总光通量 Φ 。

由于积分球内壁反射率不易获得,本文采用比较法算出光通量。比较法的优点是减少了由球壁材料、入射孔大小等不确定因素所带来的影响。将已知光通量 Φ 的标准 LED 放入积分球的入射孔内,灯亮后在输出孔测量其照度值为

$$E_s = \frac{\rho}{1-\rho} \cdot \frac{\Phi_s}{4\pi r^2} \quad (3)$$

再将待测 LED 放入积分球内点亮,测得的照度为

$$E_c = \frac{\rho}{1-\rho} \cdot \frac{\Phi_c}{4\pi r^2} \quad (4)$$

由上述二式可得被测光的光通量为

$$\Phi_c = \frac{E_c}{E_s} \cdot \Phi_s \quad (5)$$

式中 Φ_s 为标准 LED 的光通量; Φ_c 为待测 LED 的光通量。

算出电功率即可求出 LED 等电光转换效率。

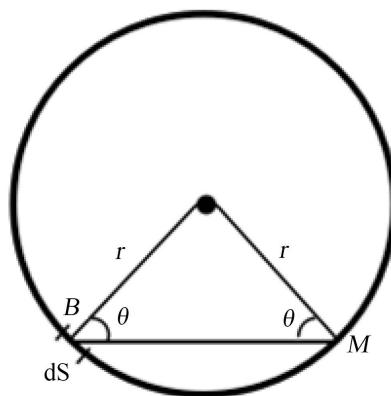


Figure 1. Schematic diagram of integrating sphere luminous flux principle
图 1. 积分球光通量原理示意图

3. 实验

调节直流稳压电源的驱动电流,点亮标准白光 LED 后,将标准灯的灯头完全放入积分球的入光孔,确保 LED 发出的光全部照进积分球,LED 灯光通量测量实验框图如图 2 所示。将照度计的光度头放置在靠近积分球出光孔处。测量过程需固定积分球与照度计光度头的相对位置不变,并选择与其数值相适合的量程,读取照度计上显示的数值 E_s ,记录数据。换上待测 LED,将待测 LED 装入转接头(LED 的长脚为正,短脚为负,分别插入转接头的红、绿色孔),点亮 LED,待照度计显示数值稳定后,读取照度计显示数值 E_1 ,并记录电源电压 U_1 数据;根据积分球比较法公式(5)求出被测 LED 的光通量(Φ_s 为标准光通量 LED 的光通量);根据电光转换效率 $\eta = \text{LED 光通量}/\text{电功率}$,计算 LED 光源的电光转换效率。

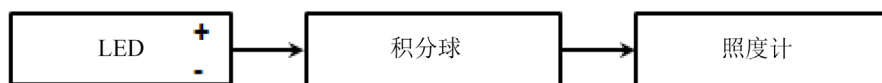


Figure 2. Experimental diagram of LED light flux measurement
图 2. LED 灯光通量测量实验框图

4. 数据分析

当二极管的正向电压小于某一开启电压阈值时,此时通过二极管的电流就会变得非常小,当电压超过某一阈值后,二极管的电流随着电压的增大而迅速增高,此时 LED 发光变亮,称为阈值电压或导通电压值。

根据公式(5)求出被测 LED 灯的光通量(Φ_s 为 LED 灯的标准光通量)。

根据电光转换效率测量原理公式:

$$\eta_1 = \frac{\Phi_1}{U \cdot I_1} \quad (6)$$

由公式(6)计算 LED 灯光源的电光转换效率 η_1 , 改变待测 LED 灯的电压, 测量在不同电压下的电光效率。

不同颜色和材料的 LED 的导通电压也大不相同,如红光 LED 的导通电压大致为 1.9 至 1.95 伏之间,绿光 LED 的导通电压大致为 2.4~2.5 伏之间,蓝光 LED 的导通电压大致为 2.6~2.7 伏之间,其中红光的波长为 622~760 nm、绿光的波长为: 492~577 nm、蓝光的波长为 435~450 nm。我们从图 3 中可知,光的波长越长其导通电压越低。

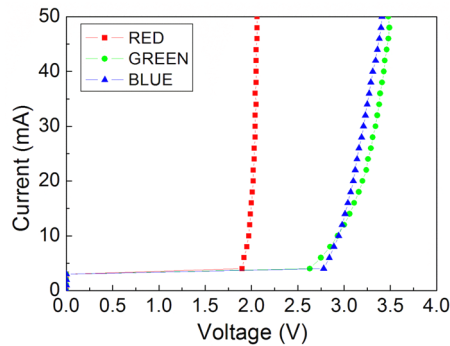


Figure 3. Volt versus current curve of different types of LED

图 3. 不同种类 LED 伏安特性曲线

图 4 为不同种类 LED 光通量与电流关系曲线,由图 4 可知,随着电流的逐渐增加,LED 的亮度也会逐渐变亮,其各自的光通量也会逐渐增大。当取相同电流时,绿光 LED 的光通量要远远大于红光和蓝光的光通量。绿光 LED 最亮,红光次之,蓝光最暗。

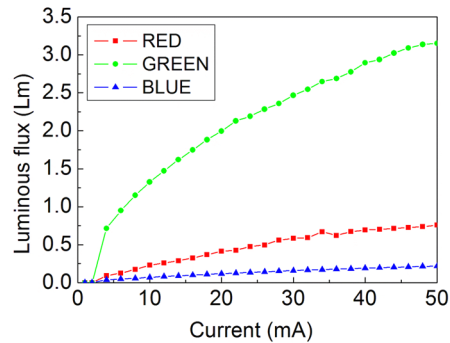


Figure 4. Relation curve of luminous flux versus current of different types of LED

图 4. 不同种类 LED 光通量与电流关系曲线

在电流比较小时,各个LED的电光转换效率随着电流的增大而出现了不同程度的衰减。图5为不同种类LED电光效率与电流关系曲线,由图5可知,当相同电流下,绿光LED的电光效率最高,其次是红光,蓝光的电光效率最低。通过电光转换效率数据曲线可以清晰地看到,随着电流增大时,蓝绿光LED的光电转换效率迅速下降,衰减更严重。LED的电光转换效率随着电流的增大而不断降低的原因有以下几点:一是LED随着电流的增大,导致其芯片发热的程度比较高,使得部分电能转换成了大量的热能,也影响了LED芯片的发光效率[9]。二是LED的芯片结构、材质以及封装对LED芯片的发光效率影响较大[10][11]。三是LED芯片中的PN结中电子和空穴复合降低,形成无效的电流注入,造成发光效率降低[12]。

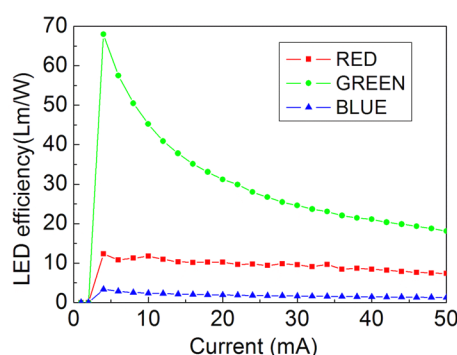


Figure 5. Relationship between electro optic efficiency and current of different types of LED
图5. 不同种类LED电光效率与电流关系曲线

5. 结论

在绿光、红光和蓝光三种LED中,当工作电流相同时绿光LED的电光效率最高,其次是红光,蓝光的电光效率最低,绿光LED的电光效率衰减更严重。改善LED材料电子与空穴的复合率,改进LED的封装结构提高其热特性,使其受温度的影响降至最低,从而能进一步提高LED的电光转换效率。

基金项目

2019年海南省基础与应用基础研究计划(自然科学领域)高层次人才项目(2019RC190, 2019RC192); 海南省自然科学基金(2018CXTD336, 618QN241), 海南省高等学校科学研究项目(Hnky2020ZD-12, Hnky2020-24)资助。

参考文献

- [1] Dupuis, R.D. and Krames, M.R. (2008) History, Development and Applications of High-Brightness Visible Light-Emitting Diodes. *Journal of Lightwave Technology*, **26**, 1154-1171. <https://doi.org/10.1109/JLT.2008.923628>
- [2] Niu, N., Wang, H., Liu, J., et al. (2007) Enhanced luminescence of InGaN/GaN Multiple Quantum Wells by Strain Reduction. *Solid State Electronics*, **51**, 860-864. <https://doi.org/10.1016/j.sse.2007.04.007>
- [3] 张晶晶, 张涛, 郑奇, 孟杰. 大功率LED在线性及PWM调光下的电光转换效率及热分析[J]. 光电子·激光, 2013, 24(1): 50-55.
- [4] 陈风, 袁银麟, 郑小兵. 发光二极管在光学辐射测量中的应用及进展[J]. 激光与光电子学进展, 2008(4): 57-62.
- [5] 李伟铭, 柳挺, 黄河山, 周钢, 吴杜雄. 半导体照明产品的光通量测量方法研究[J]. 电子测试, 2019(2): 73-75..
- [6] 高金环, 张磊, 高兆丰, 黄杰, 徐立生. LED光源寿命评估方法探讨[J]. 半导体技术, 2013, 38(12): 946-948.
- [7] 刘向远, 张穗萌, 徐文清, 范传宇, 王锦. 分光光谱法与光度法测量灯具光通量自吸收效应补偿的差异[J]. 激光

与光电子学进展, 2016, 53(10): 132-138.

- [8] Gorrotxategi, P., Consonni, M. and Gasse, A. (2015) Optical Efficiency Characterization of LED Phosphors Using a Double Integrating Sphere System. *Journal of Solid State Lighting*, **2**, 1-14. <https://doi.org/10.1186/s40539-014-0020-7>
- [9] 徐玉珍, 林维明. 一种简化变量的新型 LED 光电热模型[J]. 光学学报, 2013, 33(5): 230-236.
- [10] 宁磊, 史永胜, 史耀华, 陈阳阳. LED 封装结构对出光率的影响[J]. 液晶与显示, 2010, 25(6): 822-825.
- [11] 金毓铨, 陶有迁, 王因生, 韩钧, 施传贵. 关于半导体器件热特性表征和控制技术的研究[J]. 固体电子学研究与进展, 2011, 31(1): 53-55.
- [12] 崔德胜, 郭伟玲, 崔碧峰, 闫薇薇, 刘莹. 注入电流对 GaN 基 LED 发光特性的影响[J]. 光电子·激光, 2011, 22(9): 1309-1312.