

## 光电器件与材料 ·

## 发光二极管的色度分析

曾华阳,刘宝林,黄文达,冯勇建

(厦门大学物理与机电工程学院,福建 厦门 361005)

**摘要:** 主要对蓝光、绿光、白光 LED 的色度特性进行分析,首先通过单色仪,分别测得蓝光、绿光、白光 LED 的相对光谱功率分布并以色度学理论为基础,计算出光源主波长、色纯度、色温和显色指数.计算结果表明:蓝光 LED 和绿光 LED 主波长随标准光源的不同变化不大,色纯度比较高,分别在 0.64 和 0.87 左右,一般显色指数为 -29 和 -14,显色性很差,不适合用来做照明光源.白光 LED 主波长随标准光源的不同变化较大,色纯度相当低,接近 0,一般显色指数为 82,显色性很好,完全符合照明光源的要求.

**关键词:** 发光二极管;色度学;主波长;色纯度;色温;显色指数

**中图分类号:** TN312+.8

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-1255(2009)02-0040-04

## LED Color Analysis

ZEN G Hua-yang, HUANG Wen-da, FENG Yong-jian

(Xiamen University, Physics and Electrical Engineering, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** In order to study the color characteristics of light-emitting diode, the characteristics of blue, green and white LED colors are analyzed. Firstly, the spectral power distribution of blue, green, white LED is respectively measured by using the monochromator, and then on the basis of the theory chroma, the main light source wavelength, color purity, color temperature and color rendering index are calculated. The results show that blue LED and green LED dominant wavelengths change little with different standard light sources, and the color purities are relatively high, at 0.64 and 0.87, respectively, the general color-rendering is very poor for the index of -29 and -14, so these blue and green LED are not suitable to be used as lighting source. White LED dominant wavelength largely change with different standard light sources, and color purity is relatively low, near 0, color rendering is good for the general color-rendering index of 82, so white LED is in full conformance with the lighting requirements.

**Key words:** light-emitting diodes (LED); chroma study; dominant wavelength; color temperature; color purity; color-rendering index

LED 光源现今已经广泛应用于照明领域和信息技术领域,而且有望成为未来最主要的光源之一.随着 LED 产业的快速增长,LED 的色度特性仍然是一个值得探讨的问题.以下章节以色度学理论为基础,对 LED 光源的主波长,色纯度,色温和显色指数等色度学参数进行了计算和研究.

## 1 LED 的色品坐标

通过单色仪,可以测得不同光源的相对光谱功率分布,从而计算出色品坐标.如图 1~图 3 分别为实验测出的蓝光 LED、绿光 LED、白光 LED 的相对光谱功率分布.

收稿日期:2009-03-17

作者简介:曾华阳(1985-),男,福建晋江人,硕士研究生,主要从事集成电路以及嵌入式方面的研究.

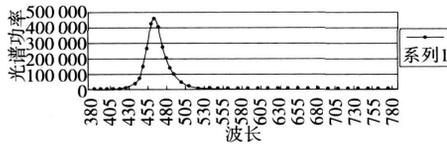


图 1 蓝光 LED 相对光谱功率分布

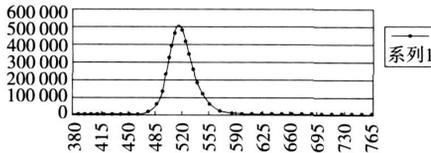


图 2 绿光 LED 相对光谱功率分布

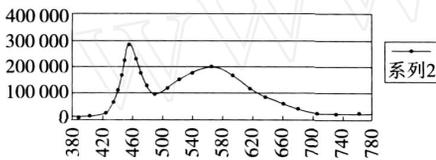


图 3 白光 LED 相对光谱功率分布

要计算颜色的色品坐标,要先计算颜色的三刺激值,计算公式如下

$$\begin{aligned} X &= k \int_{\lambda} \bar{x}(\lambda) P(\lambda) d\lambda \\ Y &= k \int_{\lambda} \bar{y}(\lambda) P(\lambda) d\lambda \\ Z &= k \int_{\lambda} \bar{z}(\lambda) P(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (1)$$

式中,  $P(\lambda)$  为 LED 样品的相对光谱功率分布;  $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$  是 1931CIE-XYZ 色度系统的标准色观察者光谱三刺激值,计算出物体颜色的三刺激值后由式(2)计算出物体的色品坐标<sup>[1]</sup>

$$\begin{aligned} x &= \frac{X}{X + Y + Z} \\ y &= \frac{Y}{X + Y + Z} \\ z &= \frac{Z}{X + Y + Z} \end{aligned} \quad (2)$$

算得:蓝光 LED 的色品坐标为  $x_1 = 0.1407$ ,  $y_1 = 0.0825$ ;绿光 LED 的色品坐标为  $x_2 = 0.1801$ ,  $y_2 = 0.7074$ ;白光 LED 的色品坐标为  $x_3 = 0.3257$ ,  $y_3 = 0.3500$ ;

## 2 主波长和色纯度

颜色的色品除了用色品坐标表示外,还可用主

### 波长和色纯度表示

#### 2.1 主波长

一种颜色  $S$  的主波长,指的是某一种光谱色的波长,这种光谱色按一定比例与一种确定的参照光源相加混合,能匹配出颜色  $S$ 。

但是,并不是所有的颜色都有主波长,色品图中连接白点和光谱两端点所形成的三角形区域内各色品点都没有主波长.因此引入补色波长这个概念<sup>[2]</sup>.一种颜色  $S_2$  的补色波长是指某一种光谱色的波长,此波长的光谱色与适当比例的颜色  $S_2$  相加混合,能匹配出某一种确定的参照白光。

如果已知样品的色品坐标  $x - y$  和特定白光的色品坐标为  $x_w, y_w$ ,可以用 2 种方法决定样品的主波长和补色波长。

##### 2.1.1 画图法

如图 4 所示,在色品图上标出样品点和白点,由白点向颜色  $S_1$  引一直线,延长直线与光谱轨迹交于  $L$  点,交点  $L$  的光谱色波长就是样品的主波长  $\lambda_d$ .以样品  $S_2$  为例说明如何求得样品的补色波长.在色品图上标出样品  $S_2$  的位置,由样品点  $S_2$  向白点引一直线,延长与光谱轨迹相交,交点处的光谱色波长就是样品的补色波长。

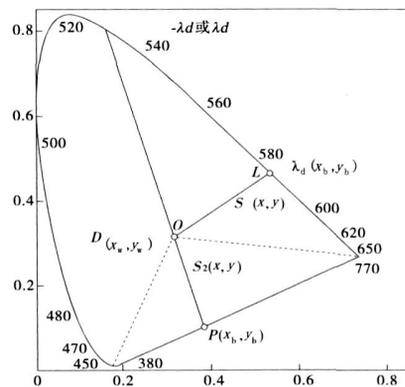


图 4 CIE  $x - y$  色品图

##### 2.1.2 计算法

连接白点  $(x_w, y_w)$  与样品点  $(x, y)$  直线的斜率可用式(3)计算

$$\text{斜率} = \frac{x - x_w}{y - y_w} \text{ 或斜率} = \frac{y - y_w}{x - x_w} \quad (3)$$

在这 2 个斜率中选一个较小的绝对值,查表可

求得样品的主波长或补色波长<sup>[3]</sup>。

颜色的主波长大致相当于颜色知觉中的颜色色调,但又不能完全等同起来。

## 2.2 色纯度

当样品颜色的纯度用亮度的比例来表示时称为色度纯度,它是指主波长的光谱色在样品中所占亮度的比重,用符号  $P_0$  表示,公式为

$$P_0 = \frac{Y}{Y'} \quad (4)$$

式中,  $Y$  为主波长光谱色的亮度;  $Y'$  为样品色的亮度。  $P_0$  可以用色品坐标表示

$$P_0 = \frac{y(x - x_w)}{y(x - x_w) + y_w} = \frac{y(y - y_w)}{y(y - y_w) + y_w} \quad (5)$$

色纯度大致相当于颜色知觉中的色饱和度,但并不完全相同,因为色品图上色纯度相等的点的色觉并不完全对应于饱和度相等的点的色觉。

用主波长和色纯度来表示颜色色品,比只用色品坐标表示颜色色品的优点在于这种表示颜色的方法能给人以具体的印象,能表明一种颜色的色调及饱和度的大致情况<sup>[4]</sup>。

根据主波长和色纯度的计算方法,计算出蓝光、绿光、白光 LED 的主波长和色纯度如表 1。

表 1 LED 的主波长和色纯度

|   | 蓝光 LED     |         | 绿光 LED     |         | 白光 LED     |         |
|---|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
|   | 主波长<br>/nm | 色纯度     | 主波长<br>/nm | 色纯度     | 主波长<br>/nm | 色纯度     |
| A | 470        | 0.651 1 | 519        | 0.829 2 | 495        | 0.263 8 |
| B | 470        | 0.641 7 | 526        | 0.875 5 | 492        | 0.025 3 |
| C | 470        | 0.634 1 | 529        | 0.794 3 | 433        | 0.002 4 |
| E | 470        | 0.637 0 | 528        | 0.911 2 | 524        | 0.080 0 |

由表 1 可知,蓝光和绿光 LED 的色纯度相对较高,而白光 LED 的色纯度很低,这是由于白光 LED 是由多种不同颜色混合形成的缘故;而在不同标准光源下,蓝光 LED 的主波长在 470 nm 左右,绿光 LED 的主波长在 525 nm 左右,而白光 LED 的主波长随标准光源的不同,变化较大,这是由于在不同参照光源下,等能白点的色品坐标会有少许变化,而白光 LED 的色品坐标离白点的色品坐标比较近的缘故。

## 3 显色指数的计算

CIE(国际照明委员会)规定用完全辐射体或标准照明体  $D$  作参照光源,并将其显色指数定为 100,还规定了若干测试用的标准颜色样品。根据在参照光源和待测光源下,上述标准样品形成的色差来评定待测光源显色性的好坏。光源对某一种标准样品的显色指数称为特殊显色指数  $R_i$ 。

$$R_i = 100 - 4.6 E_i \quad (6)$$

式中,  $E_i$  为在参照光源和待测光源下样品的色差。光源对特定 8 个颜色样品的平均显色指数称为一般显色指数  $R_0$ 。

$$R_0 = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_i \quad (7)$$

光源的一般显色指数越高,其显色性越好。

经计算<sup>[5]</sup>得出待测光源的特殊显色指数如表 2。

表 2 待测光源特殊显色指数

|   | $R_i$      |            |           |
|---|------------|------------|-----------|
|   | 蓝光 LED     | 绿光 LED     | 白光 LED    |
| 1 | 6.420 776  | - 38.207 4 | 77.638 75 |
| 2 | 14.594 3   | 4.681 547  | 85.742 55 |
| 3 | - 103.565  | 4.383 79   | 89.862 95 |
| 4 | - 74.884 5 | - 49.356 7 | 79.080 63 |
| 5 | 13.528 67  | - 12.299 8 | 77.633 16 |
| 6 | - 10.890 8 | - 10.387   | 84.274 66 |
| 7 | - 29.329 5 | 16.381 66  | 90.216 01 |
| 8 | - 50.411 3 | - 30.643 5 | 68.878 79 |

色差值用棒状图表示如图 5。

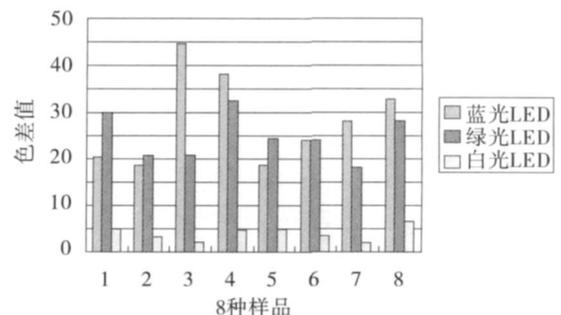


图 5 样品 LED 和标准光源  $D$  照射下 8 种样品的色差

将特殊显色指数  $R_i$  的数值代入式 (7) 可求得一般显色指数  $R_0$

对于蓝光 LED 一般显色指数  $R_0 = -29$ ;

对于绿光 LED 一般显色指数  $R_0 = -14$ ;

对于白光 LED 一般显色指数  $R_0 = 82$ .

从计算结果来看,白光 LED 的显色性比较好,适合用来做照明光源;蓝光 LED 和绿光 LED 的显色性很差,不适合做照明光源.

## 4 结 论

(1) 蓝光 LED:主波长随标准光源的不同变化不大;色纯度比较高,在 0.64 左右,这是因为它的色品坐标离色品图上的光谱轨迹比较接近;一般显色指数为 -29,显色性很差,即在蓝光 LED 照射下样品颜色失真比较厉害,不适合用来做照明光源.

(2) 绿光 LED:和蓝光 LED 相似,主波长随标准光源的不同变化不大;色纯度最高,在 0.87 左右,接近 1,这是因为它的色品坐标离色品图上的光谱轨迹比较接近;一般显色指数为 -14,显色性很差,即在绿光 LED 照射下样品颜色失真比较厉害,不

合用来做照明光源.

(3) 白光 LED:主波长随标准光源的不同变化较大,这是由于随着标准光源的不同,等能白点的色品坐标也会有所改变,而白光 LED 的色品坐标离等能白点的色品坐标比较近的缘故;色纯度相当低,接近 0,这是由于白光是多种不同颜色的光混合形成的;一般显色指数为 82,显色性很好,完全符合照明光源的要求.

## 参考文献

- [1] 汤顺清. 色度学 [M]. 北京:北京理工大学出版社, 1990.
- [2] 熊凯. 脉冲光源色度评价研究 [D], 2002:18 - 20.
- [3] 徐芙姍. LED 发光强度空间分布特性测试方法及系统的研究 [D], 2006:24 - 25.
- [4] 王安详. 目标涂层表面光谱 BRDF 和色度特性 [D], 2006:32 - 33.
- [5] 沈华. LCD 投影系统光学引擎色度光度品质分析与研究, 2005
- [6] 刘义成. 光源的显色性与显色指数 [J]. 电子器件, 2000, 23(1):49 - 50.

## 简讯

### Elop 公司系列步兵热武器瞄准具

以色列的艾尔比特系统公司 Elop 光电公司将推出 LILY 系列步兵轻型热成像武器瞄准具 (TWS) 以及 POPEYE 低成本轻型头戴/头盔式热成像单筒瞄准具. 这些系统可在黑暗和恶劣的环境下工作.

LILY 热成像武器瞄准具可帮助步兵获取目标并通过帮助士兵在尘、烟、完全黑暗 (如在地窖和/或地下设施中)、伪装和杂波下识别真假目标来提高他们首发命中的能力. 安装在武器上的热成像武器瞄准具还帮助士兵收集情报信息.

LILY 设备质量 2.2 lb, 装一块电池可工作 8 h 以上. LILY 热成像武器瞄准具系列有 3 种产品:近距离 LILY-S 适用于步枪和冲锋枪, 中距离 LILY-M 适用于机关枪, 而 LILY-L 制冷热成像仪适用于狙击手. POPEYE 是一种低成本、轻型头戴/头盔式非制冷热成像单筒瞄准具, 适用于近距离地面设备使用.

(于艳梅提供)

### Elix - IR 红外威胁告警系统

英国泰利斯地面与联合系统公司近期推出了一种新型直升机载红外威胁告警系统 Elix - IR, 由英国泰利斯公司和国防部共同投资. 该系统以英国陆军的防空告警装置 (ADAD) 和欧洲战斗机“台风”的 PIRATE 红外搜索跟踪传感器技术为基础, 可提供单色红外告警并对敌方制导导弹、

机枪和弹道武器如火箭弹的发射进行定位. 泰利斯正在利用该系统竞标国防部通用分布孔径系统 (DAS) 技术研发项目, 同时该公司还与法国、澳大利亚进行研发合作, 希望能够将该系统应用于地面平台以提高战车的生存能力.

(王浩提供)