

LED 芯片激发荧光粉合成白光照明光源显色性的控制

李小红, 柴储芬, 王亚琴

(厦门华联电子有限公司, 福建厦门 361006)

摘 要: 光通量、色温和显色性是光源的三大重要指标。半导体 LED 从指示、显示应用过渡到照明应用, 产品的显色性控制和评价是一个新的课题。本文应用光源显色性原理分析影响产品显色性的因素, 并通过相关的试验, 探讨如何通过材料选型和工艺措施, 控制由蓝光 LED 激发荧光粉合成白光 LED 的显色性, 使之达到预定指标。

关键词: 半导体 LED 光源; 显色性; 显色指数; 发光能谱

中图分类号: TN104.3 文献标识码: B

Color Rendering Property Control Method on White Lighting Source Synthesized by Phosphor Excited by Blue LED Chip

LI Xiao-hong, CHAI Chu-fen, WANG Ya-qin

(Xiamen Hualian Electronics Co., Ltd, Fujian Xiamen 361006, China)

Abstract: Luminous flux, color temperature and color rendering property are the three main index in light source. For semiconductor LED, the control and evaluation of color rendering property is a new subject from its indication, display application to lighting application. This article applies the principle of light source color rendering property to analyze the factor that affects the color rendering property, it also discusses how to control LED light source color rendering property processed with white lighting source synthesized by phosphor excited by blue LED chip, thus reaching the predicted index.

Key words: Semiconductor LED light source; color rendering property; color rendering index; lighting energy spectrum

1 引言

半导体 - 族化合物材料制作及 LED 结构

工艺技术的进步, 使得半导体 LED 的发光效率提高到照明应用的水平。日益紧张的能源和环境保护的需要, 使人们将目光投向了能耗极低的半导体

LED。作为第 3 代新的光源, 世界各国都对照明用 LED 给予高度关注并投入巨资进行研究, 从而使半导体照明成为迅速发展的新产业。半导体 LED 器件用作照明光源与用作指示和显示相比, 性能参数的要求有所不同。除电学、光度学参数外, 还有色度学参数需要测试评价。光通量、色温和显色性是光源的三大重要指标, 显色性是反映光源质量好坏的重要指标。这个特性的控制和评价对于长期制作 LED 指示灯和显示产品的 LED 制造业而言, 是一个新的研究课题。目前业界普遍采用的 LED 蓝光激发 YAG 荧光粉合成白光的工艺, 由于 LED 芯片特性的离散以及荧光胶分配工艺不够成熟, 在产品显色性控制上存在一定的难度。下面, 我们将探讨如何控制该类功率型半导体 LED 照明光源的显色性。

2 光源显色性的定义和影响它的因素

2.1 光源显色性的定义

光源的显色性是一个主观的定性概念, 是依据人们对物体在光源照射下的颜色感觉, 同记忆中日光照射同一物体的颜色感觉作对比来确定的。为了定量地判断光源的显色性能, CIE 提出了显色指数的参量。在特定的条件下, 物体由光源照明和由参比施照体, 即标准光源照明时, 知觉色符合程度的度量就称为该光源的显色指数。CIE 规定光源的显色指数由下列公式确定:

$$R_i = 100 - 4.6 E_i \quad (1)$$

式中 E_i 为照明光源由标准光源 D 换成待测光源时, 试验色 i 在 CIE1960 年 UCS 色品图上所引起的色差值。为全面反映光源的显色性, CIE 确定了 14 个试验色。1985 年我们国家制定的 "光源显色性评价方法" 标准, 增加了中国女性肤色的色样, 作为第十五种标准试验色。我们使用的光谱仪 PMS- 50 给出了 15 个试验色如表 1 所示。

表 1 CIE 规定的试验色序号及对应的颜色

CIE序号 i)	日光下看到的颜色	CIE序号 i)	日光下看到的颜色
1	亮灰红色	9	浓红色
2	暗灰红色	10	浓黄色
3	浓黄绿色	11	浓绿色
4	中等程度的浅黄 - 绿色	12	浓蓝色
5	亮的浅蓝 - 绿色	13	亮的浅黄 - 粉红色
6	浅蓝色	14	中等程度的橄榄绿色
7	浅紫色		
8	亮浅红 - 紫色	15	东方女性肤色 (PMS - 50)

在照明光源的测试中, 常使用的显色指数 R_a 为平均显色指数:

$$R_a = 100 - \bar{E}_a \quad (2)$$

$$\bar{E}_a = \bar{E}_a = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 \bar{E}_i \quad (3)$$

式中, \bar{E}_a 为 1~8 号试验色的 E_i 的平均值。我们使用的光谱仪 PMS- 50 给出了 15 个试验色, 可对 15 个试验色进行测试比对。

2.2 影响光源显色性的因素

长期以来, 人们已习惯于在自然日光下辨认物体的颜色, 并对日光照射下物体的色彩具有准确的辨认能力。随着照明技术的发展, 越来越多的新型光源被开发和利用, 实际上这些人造光源的光谱能量分布与日光有明显的差别。众所周知, 物体的颜色是在光源照射下人眼对部分反射光的感受。不同类型的光源, 由于发光物质和发光机理不同, 所发射的光谱能量分布也不同。因此, 用不同的光源去照射同一物体, 人眼观察到的物体的颜色也会出现差异。这种差异, 正反映了不同光源显色性能的差别。

由 LED 发出的蓝光激发 YAG 荧光粉合成白光光源的光谱与日光、卤素灯、荧光灯光源的光谱如图 1~ 图 4 所示:

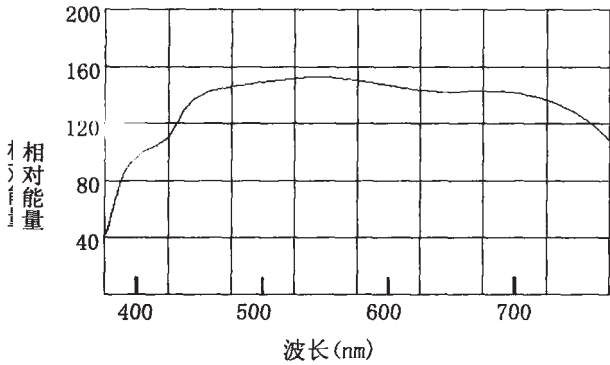


图 1 日光光谱图

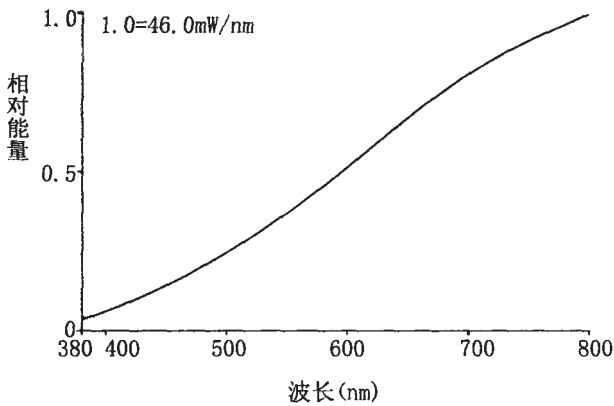


图 2 卤素灯光谱图

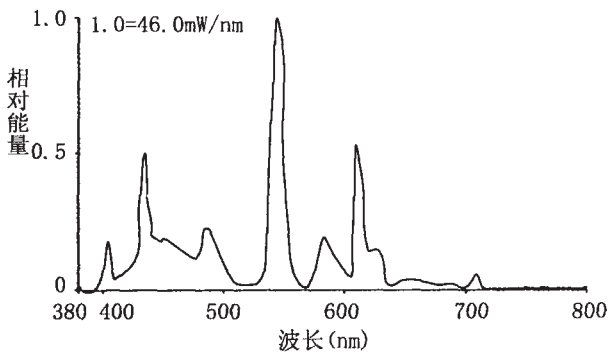


图 3 荧光灯光谱图

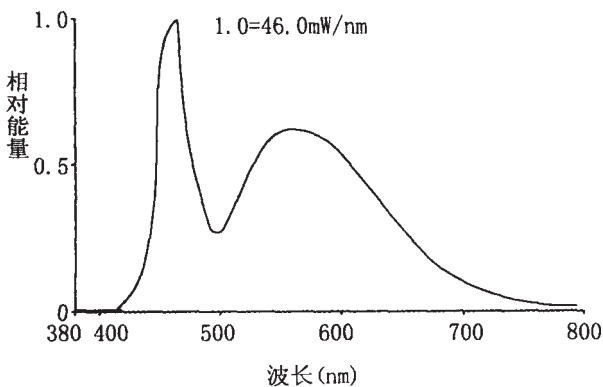


图 4 蓝光 LED+YAG 荧光粉光源光谱图

在图 1 所示日光光谱图中,除紫蓝光波段能量稍低外,其余波段的能量分布比较均匀,是连续光谱, $R_a=100$ 。在图 2 所示卤素灯光谱图中,由蓝色至红色,能量由低到高,在长波段具有相对高的辐射能,也是连续光谱, $R_a=100$ 。由于黄色和红色能量较高,光源的颜色偏橙,色温较低 ($T_c=2856K$)。

在图 3 所示荧光灯光谱图中,在 405~630nm 之间有几个能量较高的波峰,在 520~530nm、560~570nm 及 630~700nm 波段内能量极低,是断续光谱, $R_a=80@T_c=6000K$ 。在图 4 所示蓝色 LED 芯片激发 YAG 荧光粉合成白光的光谱图中,在 450~470nm 和 530~600nm 波段出现两个能量较高的区域。紫蓝色几乎没有能量,红色能量相对较低, $R_a=70\sim85@T_c=4000\sim7000K$ 。

将日光作为标准光源,与上列几类人工光源比较发现:卤素灯具有连续光谱,显示出较好的显色性,其余两种光源的光谱连续性不好,能量分布也不够均衡,显色性较差。

3 由 LED 蓝光激发荧光粉合成白光的显色性控制

3.1 试验

要改善由 LED 发出的蓝光发出的激发荧光粉合成白光光源的显色性,须调整其光谱,使之在可见光连续、均衡。为此,我们进行了一系列的试验,包括材料选择、调整工艺配方,分析影响产品光谱的因素等,具体情况见表 2。

表 2 不同 LED 芯片激发荧光粉合成白光光源的显色性

配方	显色指数	色温 (K)	光谱峰值 λ_p (nm)	色比 (%)			光源与 15 个试验色对比, 60 的显色指数 R_i		
				R	G	B	R9	R10	R12
1a	71.4	4000 ~ 5000	455	13.6	3.5	82.9	R9 -36	R10 46	R12 32
1a	75.2	5000 ~ 6000	455	13.6	4.3	82.1	R9 -19	R12 41	
1a	78.3	6000 ~ 7000	455	13.0	5.3	81.7	R9 -4	R12 47	
1b	74.7	4000 ~ 5000	460	14.9	4.0	81.1	R9 -18	R12 38	
1b	77.5	5000 ~ 6000	460	13.6	5.2	81.1	R9 -10	R12 46	
1b	80.2	6000 ~ 7000	460	12.9	6.0	81.1	R9 4	R12 50	
1c	82.0	5000 ~ 6000	465	14.2	6.4	79.4	R9 15	R12 56	
1c	82.6	6000 ~ 7000	465	14.0	6.6	79.4	R9 19	R12 55	
2a	79.5	4000 ~ 5000	460	17.0	4.7	78.3	R9 14	R12 47	
2a	83.4	5000 ~ 6000	460	16.6	6.3	77.1	R9 37	R12 59	
2b	81.8	4000 ~ 5000	465	16.2	6.4	77.4	R9 27	R12 56	
2b	83.2	5000 ~ 6000	465	16.1	7.3	76.6	R9 52	R12 60	
2c	81.3	5000 ~ 6000	470	15.5	8.2	76.2	R9 38		
3	83.9	5000 ~ 6000	465	14.5	6.9	78.6	R9 28	R12 59	
4	88.9	5000 ~ 6000	465	18.0	6.4	75.6			

表 2 中的显色指数和色比为平均值。从表 2 可以看到:

(1) 配方 1a、1b、1c 采用相同的荧光粉 A, 随着色温增加(此时, 蓝色 LED / 荧光粉 增加), 色比在改变, 显色指数也相应提高;

(2) 配方 1a、1b、1c 中, 对于相同的色温档, 激发峰值波长增加, 显色指数也相应提高;

(3) 对于荧光粉 A, 在 4000 ~ 5000K 色温范围内, 455 ~ 460nm 激发峰值波长时, 显色指数达不到 80; 在 5000 ~ 6000K 色温范围, 465nm 激发峰值波

长, 可得到 80 的显色指数; 在 6000 ~ 7000K 色温范围, 460 ~ 465nm 激发峰值波长, 也可以得到 80 的显色指数;

(4) 配方 2a、2b、2c、采用相同的荧光粉 B。显色指数要比配方 1a、1b、1c 的高;

(5) 配方 2a、2b、2c、中, 对于 4000 ~ 5000K 和 5000 ~ 6000K 色温范围, 460 ~ 465nm 激发峰值波长, 得到的显色指数相当, 而当激发峰值波长为 470nm 时, 5000 ~ 6000K 色温范围的显色指数反而下降, 465nm 激发峰值波长的显色指数较佳;

(6) 配方 3 中, 使用了两种 YAG 荧光粉, 红色、绿色比相对提高, 显色指数可达 83;

(7) 配方 4 中, 由于在黄绿色荧光粉的基础上添加了红色荧光粉, 光谱能量的红色、绿色比明显增加, 光源的显色性提高到 88, 将近 90。

因此可以知道, 荧光粉的发射光谱、蓝色芯片的峰值波长、蓝光的光通量与荧光粉发射的光通量的配比均可以影响该类

光源的显色性。综上所述:

(1) 对于 4000~8000K 色温范围, 要做到显色指数 80, 需选择适当的荧光粉和激发波长;

(2) 优选 YAG 荧光粉, 利用不同荧光粉的发射光谱互补改变光源光谱, 也可以改善这类光源的显色性;

(3) 在蓝色 LED 发光激发 YAG 荧光粉发射黄绿光的基础上+ 红色荧光粉, 以补偿原有光谱中红色的不足, 可以改善这类光源的显色性。

(下转第 33 页)

的组装需要大量人力资源, 因而一般都在劳动力成本低的国家完成。

如果采用 LED 背光, 则在设计中我们除了考虑性能材料成本因素外, 装配问题也值得考虑。在 GLT 的设计中, 一个框架包括所有需要连接的背光元件 (图 4), 一次可组装所有的部件, 由底部向上, 包括背反射膜、金属或白塑料框架、MicroLens™ 光导、已安装 LED 灯的柔性电路板或 PCB、聚光膜和散光膜、滤光片 (屏蔽多余的光) 和保护膜。

框架上的两个引脚被用来连接到 PCB 上, 柔性电路板可以通过弹性橡胶或者 ZIF 简单连接, 或者根据需要采用规则的线 - 线, 线 - 板, 板 - 板 DIN 连接器。

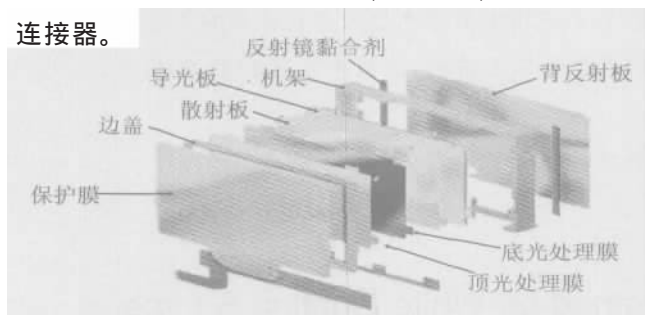


图 4 组装一个完整的 LED 背光, 可以简单地将全部所需的部件连接在一个框架之内

4 结论

对于液晶模块生产商, LED 在性能上还会有很大的提高, 成本也可以降低。亮度和均匀性是十分重要的前屏参数, 但是发光效率、功率消耗、发热问题、背光整体厚度等也是重要的。背光设计要实现用少量的 LED 灯和辅助元件以减少成本, 这种区别在更高亮度的 LED 出现时将变得很明显。高亮度 LED 的使用, 可以在达到亮度目标的同时减少使用的部件数目。但随着 LED 灯间距的不断增大, 必须在背光设计中保证可以获得更好的混色效果。

作者简介: David DeAgazio, 环球照明科技公司全球销售总监, E-mail: info@glthome.com。(深圳天马微电子股份公司李曙新译自《Infonwetiom Display》05/11)

(上接第 37 页)

这种方案对显色性的改善效果较明显。我们采用这种方案所作的 4000~6000K 色温的 LED 光源, 显色指数达到了 88.9, 接近 90。但由于所采用红色荧光粉相对亮度较低, 对蓝色光吸收多, 引起总体光通量下降。

4 结语与展望

采用 LED 发射蓝色光激发 YAG 荧光粉发光混合白光的光源, 制作工艺简单, 成本较低, 光效和光通量也有一定的提高空间。但由于其光谱限制了它的光源质量, 添加可发出红光的荧光粉能够改善其质量。需要解决红色荧光粉的发光效率或使用更高光效的蓝色芯片, 使之产业化。

采用 R、G、B 三基色 LED 芯片装配而成的光源, 可以方便地通过调节驱动电源调整色调和显色性。解决 LED 芯片的参数一致性问题并继续提高其光学参数水平, 将是未来的发展方向。

由于半导体光电技术的突飞猛进, LED 实现了全彩显示, 制造出了白光显示器件。功率 LED 产品的流明效率超过了白炽灯, 光通量也有大幅度的增加, 使 LED 器件不仅在指示、显示领域有更广泛的应用, 还有条件逐步向照明应用推进, 这是半导体工业应用领域的新拓展。同时对产品的性能也提出了新的要求, 要求产品不仅有光度学参数测试, 还要考核产品的色度学参数。这对应用于照明的 LED 产业化而言, 除了要继续改善提高发光效率、光通量、散热和成本之外, 还要提高 LED 光源的色温、显色性的控制能力和一致性。

参考文献

- [1] 徐叙瑛, 苏勉曾. 发光学与发光材料 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.

作者简介: 李小红 (1960-), 女, 广西人, 毕业于华中理工大学, 现任厦门华联电子有限公司光电事业部总工程师, 从事半导体光电子器件的设计与开发, E-mail: Lxh@xmhl.com.cn.