

摘要：高亮度白光LED面世后，随着光效的逐步提高，其应用从显示领域逐步扩展到照明领域，并且发展迅速，被视为第三代节能环保型的照明产品。阐述了白光LED单管的原理、发展历程和现状，介绍针对高亮度白光LED直流照明系统所作的一些实验及研究工作，包括LED矩阵工作点的选择和结构参数的设计。

关键词：发光二极管(LED)；照明；节能；环保



# 高亮度白光LED 直流照明灯的研究

刘宏<sup>1</sup>，张晓晶<sup>2</sup>

(1.青海省新能源研究所,青海 西宁 810008;  
2.西安交通大学电气绝缘研究中心,陕西 西安 710049)

自19世纪爱迪生发明白炽灯开始，照明成为电力行业的一大组成部分，其在电力消费中的比重也逐年增加。上个世纪90年代开始，我国照明用电的年增长更是在15%以上。随着白光LED(Light-emitting Diode)二极管的出现以其光效和亮度快速提高，LED从传统的航海、公路标志等显示领域迅速扩展到照明领域，并且在该领域受到越来越广泛的重视，被视为第三代节能环保型的照明产品。

高亮度白色LED用于照明系统具有如下优点：

(1)寿命长。LED的寿命长达10万h，而白炽灯的寿命一般不超过2000h，荧光灯的寿命也不过5000h左右。

(2)效率高。相对于传统的第一代照明光源白炽灯，LED的功耗只有前者的10%~20%。

(3)绿色环保。与广泛使用的第二代照明荧光灯相比，LED不含汞、无频闪，是一种环保光源。

(4)耐低温。环境使用温度在-40~70℃，环境

适应性非常强。

另外，由于LED是直流供电器件，很容易制成直流灯具，广泛应用于直流系统，如太阳能供电产品。

## 1 白光LED

### 1.1 发光原理

LED外施电压后在其内部会产生受激电子跃迁光辐射。按照不同半导体基本材料的物理特性，所产生的光波长是不同的。发光二极管的实质性结构是P-N结，在半导体P-N结通以正向电流时注入少数载流子，少数载流子的发光复合就是发光二极管的工作机理。半导体P-N结发光实质为固体发光，而各种固体发光都是固体内不同能量状态的电子跃迁的结果。

半导体材料的发光机理决定了单一LED芯片不可能发出连续光谱的白光，必须与其它的方式合成白光。通常产生白光的方式有两种：一是用单色光激发荧光粉发出其他颜色的光，最终混合成白光；二是采用将

几种发不同色光的芯片封装在一起的方法，通过这些色光的混合，构成发白光的LED。这两种方法在实践中都有运用。

从结构来分，白光LED分为单芯片型、多芯片型(双芯片型和三芯片型)，如表1。

表1 白色LED的种类和原理

芯片数	激发源	发光材料	发光原理
1	蓝色LED	InGaN/YAG	用蓝色光激励YAG荧光粉发出黄色光，从而混合成白光
	蓝色LED	InGaN/荧光粉	InGaN的蓝光激发的红、绿、蓝三基色荧光粉发白光
	蓝色LED	ZnSe	由薄膜层发出的蓝光和在基板上激发出的黄光混色成白光
	紫外LED	InGaN/荧光粉	InGaN发出的紫外激发红、绿、蓝三基色荧光粉发白光
2	蓝、黄绿LED	InGaN、GaP	将具有补色关系的二种芯片封装在一起，构成白色
3	蓝、绿、红LED	InGaN、AlInGaP	将发三元色的三种芯片封装在一起，构成白色
多个	多种光色的LED	InGaN、AlInGaP、GaPN	将遍布可见光区的多种色光芯片封装在一起，构成白色LED

对各种不同结构类型LED在实际使用中的评价如下：

(1)多芯片型,直接将红、绿、蓝三种颜色的LED芯片组成一组,实现白光。其安装结构比较复杂,而且各色LED的驱动电压、发光效率、配光特性不同,温度特性也存在差异。

(2)单芯片型中在蓝色LED芯片里涂敷高效黄色荧光粉,蓝光及被蓝光激发的荧光粉发射的蓝光经调控后可得到各种色温的白光。其安装结构简单,发光效率高,直接与荧光粉有关。

(3)单芯片型中在紫外LED芯片里涂敷红、绿、蓝三基色荧光粉,荧光粉被紫外光激发产生白光。低气压荧光灯中利用2537nm的紫外光激发荧光粉,但LED中要求三基色荧光粉在更低能量紫外激发下有较高的发光效率。

### 1.2 高亮度白光LED在照明系统中的应用状况和研究趋势

GE、Philips等公司都与半导体制造厂家携手发展白色LED照明设备及系统,并且在LED应用方面拥有多项国际专利。Lumiled Osarm公司以及Boston Berkerley大学等研究机构则致力于LED单管生产技术和工艺的研究。日本Star Lights公司采用150~300个LED单管,设计投产太阳能电池照明LED路灯,见图1。澳大利亚首都堪培拉的一条名为Anzac Parade的街道已经全部采用白光LED进行照明。



图1 日本Star Lights的路灯实景

中国科学院激发态物理开放研究实验室、中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、北京大学等单位对于白光管的研究尚处于起步阶段,主要的工作着重于开发白光LED单管,在组合照明系统化的工作方面尚属空白。武汉日新科技有限公司在LED灯装饰照

明方面做了大量的工作,并且申请了发明专利。台湾作为继美国、日本之后的全球第三大高亮度白光LED产地,在其应用上也做出了很大的努力。

## 2 系统研究

在国家经贸委/世界银行/全球环境基金“可再生能源发展项目”的支持下,本课题组在白光LED照明系统的研究和开发上做了大量的工作并且取得了初步的进展。

### 2.1 白色LED工作点的选择

光效也称为光源的发光效率或者光源的功率因素,用 $\eta$ 表示。光源的效率表征从光源中射出的光通量与光源所消耗的电功率之比。即

$$\eta = \frac{\Phi_v}{E_e} = \frac{\Phi_v}{\Phi_e + P} \quad (1)$$

为光源辐射的光能量, $E_e$ 为光源的功率, $P$ 为光源损耗的能量,主要是发热量。

同时,发热量与电流的关系是:

$$P = I^2 R \quad (2)$$

显然,随着电流的增大,光通量增大。但是,另一方面电流的增加会引起光源热损耗的增加,通常导致管温的增加,其综合效果是光效降低。于是,既保证光源有一定的照射强度,又要使其具有较高的光效就成为关注的问题。为此我们专门做了大量实验,实测曲线如图2所示。图中光通量和光效两条曲线的交点就是最佳工作点。为了保证结果的普适性,我们对超过10个试样的情况进行了测试,得到了类似结果。最后,根据分布函数情况选择电流为17.5mA为最佳工作点。

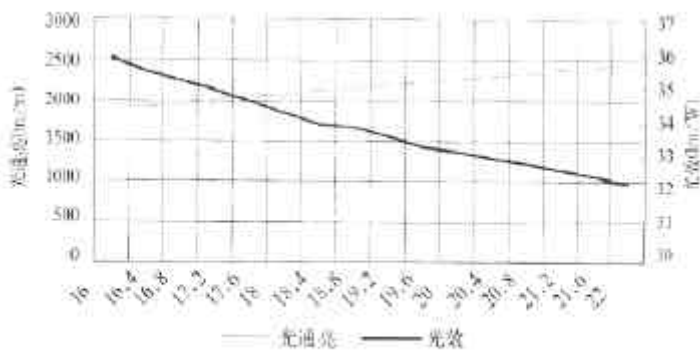


图2 电流与光通量、光效曲线

### 2.2 排列角度的计算

白光LED管光照方向性比较强,并且单管的功率很小,通常只有几十毫瓦。做为照明用光源,要求在有

照明区域内具有一定强度且较为均匀的光照量。所以，必须采用LED矩阵的形式，加大其发光亮度和发光面积，改善光照均匀性。

从上面单管的光照特性出发，为了解决均匀性差的问题，我们首次提出对白光LED矩阵进行3维结构设计。并且进一步采用计算机模拟的方法，对白光LED单管之间的夹角进行优化设计。

对两个具有一定角度的单管光强分布进行叠加模拟，可能出现以下两种情况：夹角过小或者过大（图3、图4）。夹角过小，在小角度区域会形成很亮的光斑；夹角过大，在小角度区域也会形成盲点。这两种情况都不太适合普通照明。所以，我们必须选择适当的夹角来对白光LED单管进行排布，使其照度在180°范围内较为均匀的分

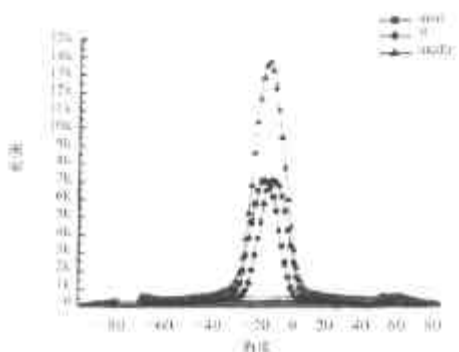


图3 两个单管夹角过小

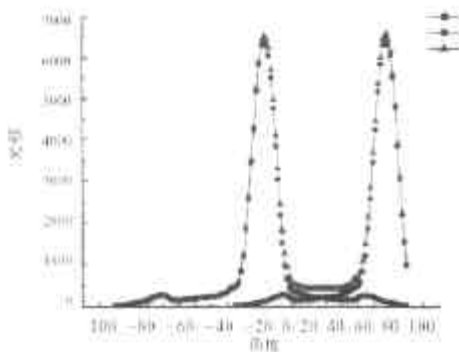


图4 两个单管夹角过大

由于白光LED单管和矩阵都具有球面对称的特性，我们把问题简化为2维平面内对光强分布函数的探讨。

一般而言，测量数据数组  $\{x_i\}$  的算术平均值  $\bar{x}$  是测量结果的最佳值，而标准误差则常常用残差来计算，称为标准偏差，用S表示，其计算公式为：

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

$\bar{x}$ 表示的是光源照度 - 角度的数据组， $\bar{x}$ 是照度平均值。则S称为光源照度分布曲线的标准偏差，标准偏差越小表示出射光均匀性越好。我们用C语言编程，对单管的排布夹角进行了计算和模拟，使用标准差最小原理得到了如表2所示的一组较为合适的夹角。

表2 不同剖面白光LED管数对应的最佳排列角度

剖面管数	2	3	4	5	6
标准差最小角度	34.5°	29.5°	27°	21°	18°

使用上述最佳角度模拟计算结果，我们对白光LED矩阵结构参数进行了优化设计。在此基础上，对LED直流灯的驱动电路以及灯罩的材料和结构参数进一步进行了设计，制成了光效达30 lm/W的、均匀度良好的新型直流LED灯。

### 3 结论

(1) 通过对白光LED单管工作点的选择和3维LED矩阵结构参数的设计，基本解决了以LED矩阵形式作为照明光源光照过于集中的问题，并且确定了LED的驱动电路的电气参数，在此基础上成功地设计并制造出了光照均匀性良好、效率达30 lm/W的白光LED灯。

(2) LED灯的光效极大地依赖于LED单管的光效。有文献报道，目前实验室水平的LED单管的发光效率已达到60 lm/W，依此制成的LED灯的光效肯定超过50 lm/W，这个值已超过目前的荧光灯的水平。随着技术的进步，在未来的几年内LED发光效率有望大幅度提高，可达到150~200 lm/W。

(3) LED以其光效高、寿命长、绿色环保等优点，必将引领新一代节能环保照明产品。

### 参考文献：

- [1] 尹长安,等.白光LED的最新进展.研究快报,2000,21(4).
- [2] 王尔镇.高效率白光LED的技术开发.照明工程报,2003,14(4).
- [3] 周天明,等.LED—21世纪照明新光源.照明工程学报,2001,12(4).
- [4] 王海鸥,李广安.认识照明LED.中国照明电器,2004(2).
- [5] 吕正 姚和军.发光二极管的发展现状与市场前景.现代计量测试,2002(3).