

# 基于金属线路板的新型大功率 LED 及其光电特性研究\*

李炳乾

(佛山科学技术学院物理系, 广东佛山 528000)

**摘 要** 设计、制作了基于金属线路板和板上芯片技术的大功率白光 LED, 对其光电特性进行了实验测量, 输入电流达到 800 mA, 对应的输入功率 3.3 W, 大功率 LED 的输出光通量才达到饱和. 输入电流达到 900 mA, 对应的输入功率 3.8 W, 大功率 LED 电流—电压特性仍未表现出饱和特性. 实验结果表明, 采用金属线路板和板上芯片技术可以得到良好的散热特性, 大大提高 LED 的输入功率. 同时还测量了光谱分布、光通量、色坐标随电流的变化情况, 对其中的变化规律进行了理论分析.

**关键词** 大功率; 白光 LED; 金属线路板

**中图分类号** TN383.1 **文献标识码** A

## 0 引言

自从 1962 年通用电气实验室的 Holonyak N 博士研制出第一只商品化 LED 之后, LED 的发光效率不断提高, 发光颜色不断丰富, 目前 LED 已经实现了全彩化和高亮度化. 在蓝色/紫色 LED 基础上产生的白光 LED 发光效率已超过白炽灯, 而且其流明效率仍在不断提高<sup>[1,2]</sup>. 白光 LED 以其节能、环保、长寿命、全固态、体积小等诸多优势已经在仪器设备照明、飞机照明、汽车照明、移动电话、装饰照明得到广泛应用.

本文设计、制作了基于金属线路板 (metal core printed circuit board, MCPCB) 和板上芯片 (chip on board, COB) 技术的大功率白光 LED, 对其光电特性进行了实验测量, 重点研究了大功率白光 LED 的光谱分布、发光通量、流明效率、色度坐标随电流的变化特性, 对其中的变化规律进行了理论分析.

## 1 大功率白光 LED 设计、制作

大功率 LED 的器件结构主要应考虑散热、出光效率、制造成本、工艺可行性等方面, 设计了一种基于金属线路板 COB 技术的大功率白光 LED 器件结构, 如图 1.

在金属线路板上直接制作反光杯, 反光杯的底部就是金属基板, 这样芯片上产生的热量可以不经过金属线路板的绝缘层直接传导到金属基板上, 系

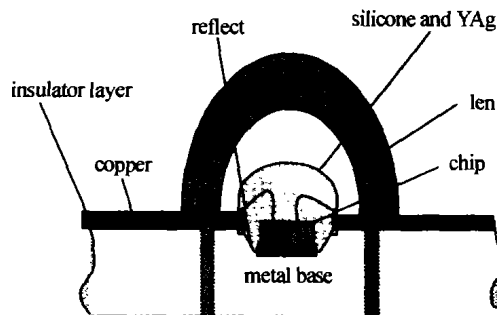


图 1 金属线路板 COB 技术的大功率 LED 结构  
Fig. 1 The device structure of HPW-LED based on MCPCB and COB technique

统的热阻大大降低<sup>[3]</sup>. 在利用弹性硅胶对芯片和键合金线的保护后, 在金属线路板上安装光学透镜, 金属线路板上的小反光杯与经过光学设计的透镜结合, 可以有效提高器件的出光效率. 芯片选用边长为 1000  $\mu\text{m}$  的宝石衬底 GaN 基多量子阱蓝光 LED 芯片, 主波长为 460 ~ 465 nm. 为了达到良好的电流扩散, 避免电流集中现象, 芯片采用叉指状电极, 芯片背面镀有金属反光层, 可以充分将芯片向背面发出的光反射出来, 提高 LED 的发光效率<sup>[4]</sup>. 粘片采用银浆, 主要是为了降低器件热阻, 提高器件在大功率输入下发光效率和稳定性<sup>[5]</sup>.

因为环氧树脂的玻璃转换温度较低, 在高温下可能会因热膨胀系数突然改变, 造成器件失效, 另一方面, LED 封装用的环氧树脂在温度高于 150 $^{\circ}\text{C}$ , 经过 133 小时就会变成褐色<sup>[6]</sup>. 采用耐高温的透明硅胶与 YAG 荧光粉按照合适配比, 制成专门的白光胶, 涂敷在芯片上后, 可以通过荧光粉的作用, 将芯片发出的一部分蓝光转换成波长在 500 nm 到 650 nm 的绿、黄、红荧光, 芯片发出的剩余蓝光与荧光混合就得到了白光, 另外白光胶将芯片与金线包裹起来, 与周围空气隔绝, 起到保护芯片的作用. 硅胶固化后

\* 广东省自然科学基金 (04011642)、佛山市科技发展专项资金 (04030021)、佛山科技学院博士启动基金资助  
Tel: 0757-83830522 Email: li-bingqian@163.net  
收稿日期: 2004-04-12

有一定的弹性,可以耐 300℃ 以上高温,不会出现类似环氧树脂封装时的失效和衰减现象.

基于金属线路板大功率 LED 最大的优点是结构简单,生产制造比较容易,不需要制作很多专用模具,初期开发费用较低,应用起来也比较灵活,可以根据需要,很容易扩展为一体化的 LED 阵列或灯具模组.

## 2 光电特性测试与分析

### 2.1 大功率白光 LED 的光谱分布

图 2 是典型工作电流下(350 mA)大功率白光 LED 光强随波长变化关系曲线. 图中 400 ~ 490 nm 波段的辐射能量主要是 GaN 蓝光芯片自身发出的光谱,而大于 490 nm 波段则主要是 YAG 荧光粉的受激发射光谱构成.

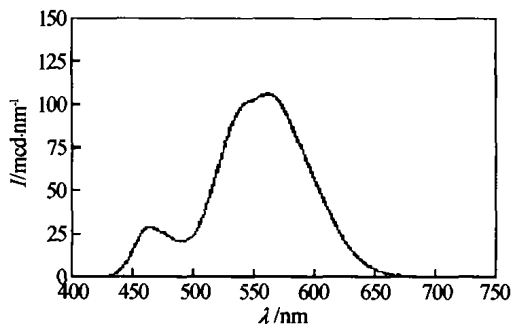


图 2 光强随波长变化关系曲线  
Fig. 2 The luminous intensity vs. wavelength

实际上在大功率白光 LED 中,蓝光波段的辐射能量占主要地位,但是因为人眼视觉函数的影响,经过视觉函数  $V(\lambda)$  修正后可以看出,蓝光波段对光强的贡献很小,波长在 500 nm 到 650 nm 的绿、黄、红波段的荧光对光强大小起主要作用.

### 2.2 电流电压特性

图 3 是大功率白光 LED 的电流电压特性. 从图中可以看出,当正向电流增加到 900 mA 时,正向压降仍然随着电流增加有比较快的增长,没有表现出饱和特性,这时的电流密度为 90 A/cm<sup>2</sup>,LED 的输入功率达到 3.8 W. 同一厂家生产的小尺寸 LED 芯片,当电流密度达到 80 A/cm<sup>2</sup>,电压不再增长,呈现出饱和特性.

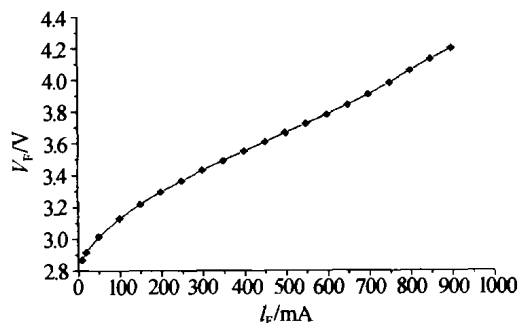


图 3 大功率 LED 的电流电压特性曲线  
Fig. 3 The curve of forward voltage vs. forward current

大功率 LED 出现电流电压饱和特性时,电流密度比较高的原因主要有以下两个方面:

1) 采用叉指状电极,几乎整个芯片面积的 PN 结上都有较大电流流过,增加了大尺寸 LED 芯片上 PN 结的有效面积.

2) 大功率 LED 封装结构具有较低的热阻,能够很快将热量传导出去,虽然有很大输入功率,但是芯片 PN 结的平均温度并不是很高.

### 2.3 电流与光通量、流明效率

图 4 是大功率 LED 输入电流与输出光通量的关系,图中横坐标是输入电流,纵坐标是输出光通量,单位是流明(lm). 从图中可以看出,在 0 ~ 900 mA 的范围里,输出光通量一直随着输入电流的增加而增加,是输入电流的单调增函数,但是增长的幅度逐渐减小. 当电流大于 800 mA 时,这一增长几乎停止,呈现出饱和特性.

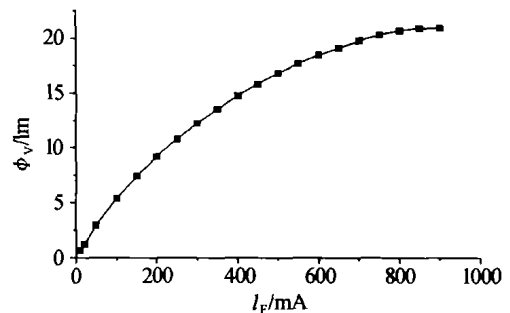


图 4 电流与输出光通量的关系  
Fig. 4 The relationship of luminous flux and forward currents

普通小功率 LED 都是先表现出电流电压饱和特性,随后才出现电流光强(光通量)饱和特性. 在大功率 LED 中,输入电流在 900 mA 时,输出光通量已经表现出饱和特性,光通量不再随着电流的增加继续增加,而电流电压特性仍未饱和. 出现这种现象的原因很有可能是在大尺寸芯片中出现了局部过热现象,过热的部分最大可能是出现在芯片中心位置. 在大功率 LED 工作过程中,局部过热位置的发光效率下降导致了总的输出光通量不再增加. 因为实验条件的限制,我们没有能够从实验上进一步验证上述判断. 克服局部过热现象可以从以下两个方向进行努力:1) 优化电极结构,使得流过芯片中间的电流密度略小于周围电流密度,减小芯片中心位置的热量产生,保证芯片上温度分布均匀;2) 通过倒装技术、共晶粘片、增大热沉等技术手段,降低芯片 PN 结到热沉的热阻,使 PN 结产生的热量迅速传递出去,减少芯片上温度分布的不均匀度.

### 2.4 输入电流与色坐标变化的关系

图 5 是大功率 LED 输入电流与色度坐标的变化关系曲线. 从图中可以看出,随着输入电流的增大,大功率 LED 的 X、Y 色坐标都在减小,即所得到

的白光 LED 色温增加. 在 LED 电流增加时 LED 的发光波长产生变化(主要是蓝移)、输出光强发生变化(光强增加)、温度发生变化(温度升高), 这些变化都有可能造成荧光粉转换效率和激发光谱发生改变, 在上述因素的作用下, 白光 LED 的色温发生了改变.

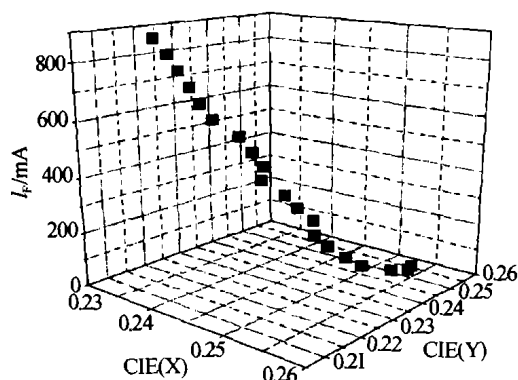


图5 输入电流与色度坐标的变化关系

Fig.5 The relationship of CIE coordinates vs. forward current

### 3 结果与讨论

对基于金属线路板 COB 技术的大功率白光 LED 光电特性进行了实验测量, 对其电流电压特性、输入电流与光通量的关系、输入电流与流明效率的关系、输入电流与峰值波长的关系、输入电流与色坐标变化的关系等进行了研究, 找出了其中的变化

规律, 并进行了定性分析.

#### 参考文献

- 1 Daniel A S, Jerome C B, Dave C, *et al.* Illumination with solid state lighting technology. *IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics*, 2002, 8(2): 310 ~ 320
- 2 李炳乾, 布良基, 甘雄文, 等. LED 正向压降随温度的变化关系研究. *光子学报*, 2003, 32(11): 1349 ~ 1351  
Li B Q, Bu L J, Gan X W, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2003, 32(11): 1349 ~ 1351
- 3 李炳乾, 布良基, 范广涵. 功率型 LED 热阻测量新方法. *半导体光电*, 2003, 24(1): 22 ~ 24  
Li B Q, Bu L J, Fan G H. *Semiconductor Optoelectronics*, 2003, 24(1): 22 ~ 24
- 4 Hsa Y P, Chang S J, Su Y K, *et al.* InGaN/GaN light-emitting diodes with a reflector at the backside of sapphire substrates. *Journal of Electronic Materials*, 2003, 32(5): 403 ~ 406
- 5 李炳乾, 布良基, 范广涵. 芯片键合材料对功率型 LED 热阻的影响. *半导体光电*, 2003, 24(6): 422 ~ 424  
Li B Q, Bu L J, Fan G H. *Semiconductor Optoelectronics*, 2003, 24(6): 422 ~ 424
- 6 Barton D L, Osinski M, Perlin P, *et al.* Single-quantum well InGaN green light emitting diode degradation under high electrical. *Microelectronics Reliability*, 1999, 39: 1219 ~ 1227

## A New Type High Power Lighting Emitting Diodes Based on MCPCB and its Opto-electrical Characteristics

Li Bingqian

Department of Physics, Foshan University, Guangdong 528000

Received date: 2004-04-12

**Abstract** A new type of high power white LEDs (HPW-LEDs) based on metal core printed circuit board (MCPCB) and chip on board (COB) technique is designed and demonstrated, its opto-electrical characteristics are measured. The saturated characteristics of luminous flux is obvious at the forward current 800 mA (corresponding the forward power 3.3 mW), and the saturated characteristics of voltage-current is obvious until the forward current added to 800 mA, (corresponding the forward power 3.3 mW). These results show the MCPCB and COB technique could solve the problem of heat transfers very well, so the HPW-LEDs could work at a high level forward power. At the same time, the spectrum, luminous flux, and chromaticity coordinates of HPW-LEDs change with forward current are studied.

**Keywords** High power; White LED; Metal core printed circuit board



Li Bingqian was born in Shaanxi, China, in 1970. He received his Ph. D. in 2000 from Xi'an Jiaotong University (XJTU). Now, he is an associate professor of Foshan University. His current interests include the characteristics analysis, device structure design and the process of high power LED devices for solid state lighting source. He is the first author of more than 20 research papers published in Chinese and English.