

单色 LED 的变温光谱特性研究

李莉君, 熊永红

(华中科技大学 物理学院, 武汉 430074)

摘要: 运用自制的 LED 物性变温测量实验装置, 在 30 °C ~ 90 °C 的温度范围内, 测试了单色 LED 的变温光谱。通过对光谱曲线的分析和计算, 得出了被测 LED 的峰值波长和辐射通量随温度的变化规律, 并从 LED 的结构与材料特性原理机制两方面作了分析与探讨。

关键词: 发光二极管; 变温; 光谱; 峰值波长; 辐射通量

中图分类号: TN383

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.1672-4550.2015.01.011

Influence of Temperature on the LED Spectrum

LI Lijun, XIONG Yonghong

(School of Physics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Using homemade LED variable temperature measuring physics properties of experimental apparatus, at the temperature range from 30 °C to 90 °C, the spectrum of monochrome LED was tested under the change of temperature. Through the analysis and calculation of the spectrum curve, LED peak wavelength and radiation flux were obtained and tested with temperature. The principle mechanism was analyzed and discussed from the LED structure and material properties.

Key words: light emitting diode; change of temperature; spectrum; peak wavelength; radiant flux

LED 的发展最早可以追溯到 20 世纪初, 1907 年, Henry Joseph Round 第一次在一块碳化硅里观察到电致发光现象^[1]。由于其发出的黄光太暗, 同时, 碳化硅与电致发光不能很好地适应, 不具备实际应用价值。随着材料科学研究与半导体加工工艺的快速发展, LED 尤其是大功率 LED 发展迅速, 并被应用于许多生产、生活领域。近年来, LED 产品在结构和性能上都有较大的改进, 在发光效率上有长足的进步, 被广泛应用于交通信号显示、LCD 背光源、汽车尾灯照明、全彩显示等领域。

LED 的发光机理是: 当在 PN 结上加载正向电压时, 电子-空穴对在 PN 结过渡层中复合时产生光子, 以光的形式向外辐射能量。实际的 LED 本体材料都存在杂质, 加上材料生产工艺导致的位错等结构缺陷, 发光过程中会产生杂质电离、激发散射和晶格散射等问题, 使电子从激发态跃迁到基态过程中与晶格原子或离子交换能量时发生无辐射跃迁, 不产生光子, 这部分能量是产生热效应的主要来源。LED 工作过程中出现的热效应, 对其使用寿命、峰值波长及发光效率等都会产生影响^[2]。

本文将选取单色黄光 LED, 研究温度对其光谱特性的影响, 并尝试从物理机制上进行分析与探讨。

1 实验装置及方案设计

图 1 所示为实验装置构成图。图 1 中, 1 为自制的 LED 光源的恒流驱动电源^[3], 输出 0 ~ 200 mA 的电流, 显示精度为 1 mA; 2 为自制的温控仪, 以半导体制冷技术为基础, 具备制热、制冷功能, 控温范围为 0 °C ~ 100 °C, 控制精度为 ± 0.1 °C, 在整个实验过程中, 温控仪能有效地控制 LED 保持恒定的温度; 3 为光纤, 将 LED 输出光传输到光纤光谱仪; 4 为微型光纤光谱仪, 采用的是 Ocean Optics 的 USB2000 光谱仪, 测量输入 LED 的相对光谱能量曲线; 5 为计算机。

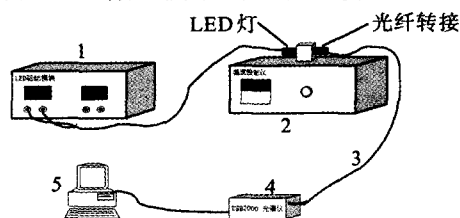


图 1 实验装置结构图

实验中选用的是单色黄光 LED, 额定功率为 1 W。测量方法: 分别在 39 mA、49 mA、59 mA、69 mA、79 mA 恒定电流条件下, 对样品 LED 在 30.0 °C

收稿日期: 2013-11-13

作者简介: 李莉君(1982-), 女, 硕士, 工程师, 主要从事实验室管理、大学物理实验教学与研究。

~90.0 °C 的温度范围内进行变温光谱特性测试。由测量的光谱曲线确定峰值波长, 进一步对光谱曲线进行积分计算, 得出样品 LED 辐射通量的相对值。

2 实验过程和结果

2.1 峰值波长随温度的变化

相对光谱能量曲线上最高峰值所对应的波长称为峰值波长。对于单色 LED, 峰值波长的变化必然导致 LED 发光颜色发生变化。在显示应用中, 单色光的峰值波长漂移将改变整体的色彩视觉效果, 因此, 研究导致峰值波长变化的因素非常具有实际意义。实验中将分别研究驱动电流与温度对峰值波长的影响, 所测数据如表 1 所示。选取驱动电流 $I = 59$ mA 作 LED 的变温光谱曲线, 如图 2 所示。

1) 温度不变时, LED 光谱的峰值波长基本不

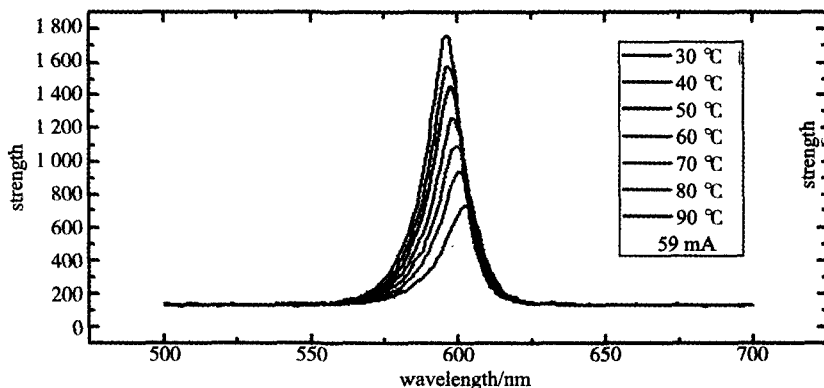


图 2 $I = 59$ mA, LED 的变温光谱曲线

从半导体的原子结构来分析, 随着温度的升高, 电子在晶体中的运动变得剧烈, 产生能级分裂, 从而使得禁带宽度变小, 因此辐射波的波长会增大^[4]。对于 LED 来说, 发光的波长或频率取决于选用的半导体材料的能隙 E_g , 发光波长与能隙 E_g 之间的关系由以下公式决定^[5]:

$$\lambda = \frac{1240}{E_g}$$

因此, 温度升高产生的热效应引起的带隙收缩, 将导致其峰值波长红移。

2.2 辐射通量随温度的变化

对所测的变温相对光谱能量曲线在 350 ~ 1 000 nm 范围内, 运用以下公式进行积分, 得到 LED 总的辐射通量的相对值。

$$P = \int_{350}^{1000} p(\lambda) d\lambda$$

LED 的相对辐射通量与温度及电流对应关系实验数据如表 2 所示。

随电流变化。

表 1 峰值波长与温度及电流的实验数据表

$T/^\circ\text{C}$	不同电流对应的峰值波长/nm				
	39 mA	49 mA	59 mA	69 mA	79 mA
30.0	596	596	596	596	597
40.0	596	596	597	597	598
50.0	597	597	598	598	598
60.0	598	599	598	599	599
70.0	599	599	600	600	600
80.0	600	600	601	601	601
90.0	603	602	603	603	603

2) 在某一恒定电流下, 峰值波长随温度的上升而增加, 发生红移现象。电流 $I = 59$ mA 时, 峰值波长由 30.0 °C 的 596 nm 变为 90.0 °C 的 603 nm, 变化量为 $\Delta\lambda_p = 7$ nm, 由此计算出, 在此工作电流下, 样品 LED 峰值波长的温度漂移系数为 $0.117 \text{ nm} \cdot \text{K}^{-1}$ 。

不同电流下, 辐射通量随温度的变化规律曲线, 如图 3 所示。随着温度的升高, LED 的总辐射通量呈线性下降, 温度越高, 总辐射通量下降越快。

基于 LED 的结构及材料机理, 主要从以下三个方面来分析温度对 LED 辐射通量影响的物理机制:

1) 温度升高, 载流子的数量会增加, 其与晶格碰撞概率增大, 导致单位数量电子速度降低, 载流子迁移率下降^[6-7]。

2) 温度升高, 禁带宽度变窄, 势阱中电子与空穴的辐射复合概率降低, 影响电光发光效率。另一方面, 载流子浓度增加, 造成非辐射复合产生热效应, 从而降低 LED 的内量子效率。

3) 随着温度上升, 荧光粉量子效率降低, 导致光衰。LED 的外部封装材料一般为环氧树脂, 温度过高引起材料老化, 也会使出光减少^[8]。

半导体材料的一些物理参数会随温度发生变化, 从而导致 LED 器件参数的变化, 影响 LED 的

光输出。大多数情况下, 这种效应是可逆的, 当温度回复至原值时, LED 器件参数的变化会随之消失, LED 的光输出也会恢复至初态值, 出现恢复性的增长^[9]。

表 2 LED 的相对辐射通量与温度及电流对应关系实验数据表

T/°C	不同电流对应的相对辐射通量值				
	39 mA	49 mA	59 mA	69 mA	79 mA
30.0	1.02E + 05	1.07E + 05	1.12E + 05	1.15E + 05	1.20E + 05
40.0	1.00E + 05	1.05E + 05	1.09E + 05	1.13E + 05	1.16E + 05
50.0	9.86E + 04	1.03E + 05	1.07E + 05	1.11E + 05	1.14E + 05
60.0	9.67E + 04	1.00E + 05	1.04E + 05	1.07E + 05	1.10E + 05
70.0	9.49E + 04	9.81E + 04	1.01E + 05	1.04E + 05	1.07E + 05
80.0	9.31E + 04	9.59E + 04	9.87E + 04	1.01E + 05	1.04E + 05
90.0	9.08E + 04	9.30E + 04	9.52E + 04	9.72E + 04	9.94E + 04

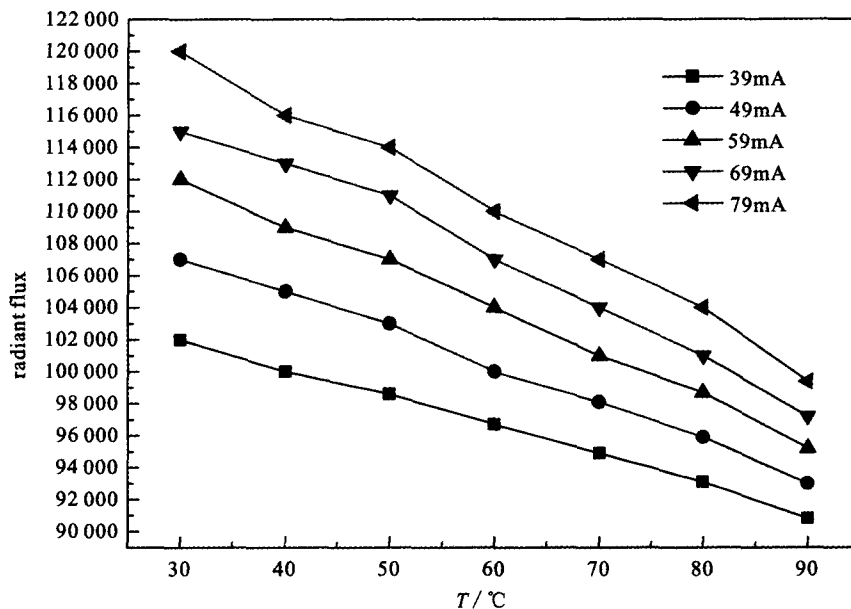


图 3 LED 在不同驱动电流下的相对辐射通量随温度的变化关系曲线

3 结束语

基于自制的恒电流源和温控仪, 设计了实验方案, 对 LED 的变温光谱曲线进行了测试及分析, 得出了样品 LED 的峰值波长与温度和电流的变化关系, 进一步计算得出了光的相对辐射通量与温度的关系。由实验结果看, LED 工作时的热效应将对其输出光的峰值波长与辐射通量产生显著影响。本文从 LED 的材料及晶体结构方面分析了峰值波长及辐射通量变化的物理机制。

参考文献

[1] 方志烈. LED 技术概论[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2009.
 [2] 刘立明, 郑晓东. LED 结温与光谱特性关系的测量[J]. 光子学报, 2009, 38(5), 1069 - 1072.

[3] 秦玲, 赖青贵, 张良, 等. 基于运算放大器的压控恒流源[J]. 强激光与粒子束, 2010, 22(3): 553 - 556.
 [4] 吕正, 吕亮, 计忠瑛. 单色 LED 峰值波长和辐射强度的稳定性[J]. 中国照明电器, 2004(12): 1 - 4.
 [5] 刘恩科, 朱秉升, 罗晋生. 半导体物理学[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
 [6] 黄昆. 固体物理学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2009.
 [7] 许雪梅, 彭景翠, 李宏建, 等. 载流子迁移率对单层有机发光二极管复合效率的影响[J]. 物理学报, 2002, 51(10): 2380 - 2385.
 [8] 高红星. 大功率 LED 灯散热性能研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2010.
 [9] 仲琳, 刘英斌, 陈国鹰, 等. AlGaInP 发光二极管内量子效率测量分析[J]. 光电子·激光, 2008, 19(9): 1200 - 1202.