

基于显微高光谱成像的微型发光二极管二维光热分布 检测系统

朱丽虹, 黄剑陵, 郭自泉, 陈国龙, 陈忠, 吕毅军

(1.厦门大学 电子科学与技术学院, 2.福建省固态半导体照明工程研究中心,
福建 厦门 361005))

摘要: 随着人们对微型发光二极管(LED)的应用及其热管理越来越重视,开发一种有效的二维结温测量方法至关重要。此项工作提出了利用显微高光谱成像(μ -HSI)技术来探测微型LED倒装芯片的二维光热分布。基于设计的二轴旋转平台, μ -HSI能够直接聚焦在LED芯片的外延层表面和侧面,以获取其二维光谱分布。随后,利用半高宽与结温的线性关系,提取二维半高宽(FWHM)矩阵来推导二维结温分布。最后,可以准确地确定有源层(即p-n结)的位置和温度分布。此外,该技术还可以分析外延层与蓝宝石或电极之间界面的超细结构以及温度分布。这项作为微型LED的质量改进和热管理提供了一个有效的工具。

关键词: 微型发光二极管; 结温; 显微高光谱成像

中图分类号: TH744 **文献标识码:** B

2-D Photo-Thermal Distribution and Structures of Flip-Chip Mini Light-Emitting Diodes by Microscopic Hyperspectral Imaging

Zhu Lihong, Huang Jianling, Guo Ziquan, Chen Guolong, Chen Zhong, Lu Yijun

(1. School of Electronic Science and Technology, Xiamen University, 2. Fujian Engineering Research
Center for Solid-state Lighting, Xiamen 361005, China)

Abstract: Given the growing interest in micro-scale thermal management of mini- and micro-light-emitting diodes (LEDs), it is crucial to develop an effective 2-D junction temperature measurement method. In this work, the microscopic hyperspectral imaging (μ -HSI) technique has been proposed to probe the 2-D photo-thermal distribution of the flip-chip mini-LEDs. Running on a two-axis rotating platform, μ -HSI is able to directly focus on the epitaxial layer surface (episurface) and lateral side of the LED chips to acquire their 2-D spectral distributions. Subsequently, the full width at half maximum (FWHM) matrix was extracted to deduce the 2-D

junction temperature distributions. As a result, the location and temperature distribution of the active layer, i.e., p-n junction, can be determined accurately. In addition, the extra fine structures as well as temperature distributions of the interface between the episurface and sapphire or electrodes are distinguished and analyzed by this technique. This work offers an effective tool for the quality improvement and thermal management of mini-LEDs.

Keywords: micro-light-emitting diodes; junction temperature; the hyperspectral imaging

1 介绍

热管理问题是影响发光二极管（LED）光、电、色特性和可靠性的一个长期问题。在照明和显示领域，人们普遍认为高结温将导致 LED 的波长稳定性降低、发光效率下降和寿命缩短^[1-2]，特别是紫外发光二极管（UV LED）的可靠性和寿命受热影响更明显^[3-4]，保持 LED 高效耐用运行的关键因素之一是提高散热，使结温保持在合理水平^[5-6]。近年来，随着微型 LED 的快速发展，尺寸小型化增强了侧壁缺陷的影响，从而降低了外部量子效率^[7-9]。这些缺陷主要归因于表面非辐射复合的增强，其又使散热能力降低^[10-11]。即使在单个芯片的低功耗情况下，由于热量积累，也可能出现与 Mura 效应相关的均匀性。然而，大多数检测技术都是为了测量大功率 LED 器件的结温而设计的，可能不适用于微型 LED。因此，对于准确评估微型 LED 的热分布，一种有效的结温测量方法至关重要。

结温测量方法主要集中在确定温度敏感参数（TSPs）上。温度敏感参数可分为两类，即温度敏感电学参数（TSEP）和温度敏感光学参数（TSOP）。前者包括正向电压法^[12-13]、内置传感器单元^[14]、开关延迟^[15]、反向电流^[16]等。正向电压法已被广泛应用于 LED 和其他光电子器件中。然而，其准确性在很大程度上取决于开关速度和电压信号采集时间延迟。2019 年，Liu 等人^[19]提出了一种连续矩形波方法，通过采用无开关的周期性矩形波来驱动 LED，并在每个周期的上升沿使用高清示波器获取信号，来提高结温测量的准确性。与此同时，与光谱相关的 TSOP 方法也取得了很大进展，包括峰值波长^[20]、蓝白比（W/B）^[21]、质心波长^[22]、光致发光的峰值波长和光谱宽度^[23]以及相对反射强度^[24]等等。此外，Hannila 等人^[25]通过建模提出了混合热模型来预测电子器件中 LED 的热行为。上述方法将 LED 芯片作为一个整体来处理。因此，只能用芯片的平均结温来评估 LED 的整体热性能。

为了应对高清晰度显示器中微型 LED 日益增长的质量和和应用要求，需要对二维甚至三维结温分布进行检测。显微拉曼频移方法已用于测量二维表面温度分布^[26-27]。Jin 等人^[28]基