

# 用微结构压印提高 GaN 基发光二极管的输出光强\*

包 魁<sup>1</sup> 章 蓓<sup>1,†</sup> 代 涛<sup>1</sup> 康香宁<sup>1</sup> 陈志忠<sup>1</sup> 王志敏<sup>1</sup> 陈 勇<sup>1,2</sup>

(1 北京大学物理学院和宽禁带半导体研究中心, 微流与纳米技术研究中心, 人工微结构和介观物理国家重点实验室, 北京 100871)

(2 Laboratoire de Photonique et Nanostructures, Route de Nozay, 91460 Marcoussis, France)

**摘要:** 为了进一步提高 GaN 基发光二极管(LED)的出光效率,针对倒装焊 GaN 基发光二极管提出了一个在蓝宝石衬底出光面上引入二维微纳米阵列结构的新构想.根据这一构想,将微结构图形化压印和发光器件的封装有机地结合起来,利用一种简易可行的纳米压印-热硬化性聚合物压印技术,成功地制备出了带有微米级阵列超薄封装结构的 LED.结果表明,这种带有微结构阵列 LED 的输出光强得到了明显增强,1mm×1mm 大管芯 GaN LED 在 350mA 的直流电注入下的光功率比无微结构的 LED 提高了 60%.这一成功为提高发光二极管的出光强度提供了一个有效的新途径.

**关键词:** GaN 基发光二极管; 出光效率; 纳米压印技术; 微结构

EEACC: 2520; 2550; 4260D

中图分类号: TN203

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2007)S0-0464-03

## 1 引言

如何提高 GaN 基发光二极管(LED)的出光效率是发展半导体照明的一个重要关键.采用倒装结构等技术方案已经突现优势<sup>[1]</sup>.但是,出光效率仍然受到由于蓝宝石衬底和空气折射率之差引起的内部全反射的限制.已有研究小组报道了在倒装型 LED 衬底上刻蚀微米级透镜结构来进一步提高光出射几率的技术<sup>[2]</sup>,但都离不开干法刻蚀等复杂的工艺.纳米压印工艺是一种高效的非光刻微加工方法<sup>[3]</sup>,即利用具有微纳结构的刚性模板在聚合物上加压,并结合紫外光照或热处理的方法使聚合物固化成型,从而将模板上的图形转移到固化的聚合物上.纳米压印是大面积制作微米和纳米图案简便、有效的技术.

为了进一步提高 GaN 基倒装焊 LED 的发光效率,我们提出了一个在 LED 出光面上引入二维微结构阵列的设想.将表面图形化和封装合二为一,利用纳米压印技术在倒装焊 LED 的蓝宝石出光面制作了一系列二维微结构阵列,使 LED 的光功率得到了有效的提高.

## 2 实验

实验所用的 LED 是在蓝宝石衬底上用有机金属化学气相沉积技术生长的外延片制备而成的 1mm×1mm GaN 基 LED,发光波长为 465nm. LED 管芯通过倒装焊技术键合在硅基片上.

我们通过在 LED 蓝宝石顶部出光面形成微结构阵列来进一步提高出光效率.实验中微结构阵列是利用纳米热压印技术来实现的,即利用一种热硬化性的聚合物胶经过高温固化的方法达到图形转移的目的.热压印过程包括模板制作和图形转印.本实验中周期为 3~20 $\mu\text{m}$  二维阵列的模板是用硅片制备而成的,微结构的深度和形貌通过改变干法刻蚀硅的条件来调节.分别选择了 PDMS,环氧树脂和聚酰亚胺作为热压印的聚合物,三者 465nm 波长都具有良好的透光性.热压印在 80~100 $^{\circ}\text{C}$  条件下进行,聚合物固化成型后与模板分离.模板表面用自组装单分子层降低表面能以达到防止粘连的目的.纳米热压印技术的优点在于,一次干法刻蚀得到的模板可以多次重复使用,节省了微加工的成本.

LED 的发光特性测量是用带有光纤光谱和探

\* 国家自然科学基金(批准号:60077022,60276034,60577030 和 60607003),北京市科技项目(批准号:H030430020230)和国家重点基础研究发展规划(批准号:TG2007CB307004)资助项目

† 通信作者. Email: beiz@water.pku.edu.cn

2006-12-04 收到,2006-12-22 定稿

测器的积分球采集系统进行的. 分别对无封装 (without encapsulation) 的 GaN 基倒装焊 LED、带有无微结构封装胶 (unpatterned encapsulation) LED 和带有二维微结构阵列封装胶 (patterned encapsulation) LED 进行了测量和比较.

### 3 结果与讨论

图 1 给出了上述 3 种 LED 的相对输出光强随电流变化的比较曲线. 在 350mA 电流下, 相对于未封装 LED 的光功率, 带有无微结构封装胶 LED 的光功率增加了 18%, 而带有周期为  $6\mu\text{m}$  的二维微结构封装胶 LED 的光功率增加了 60%.

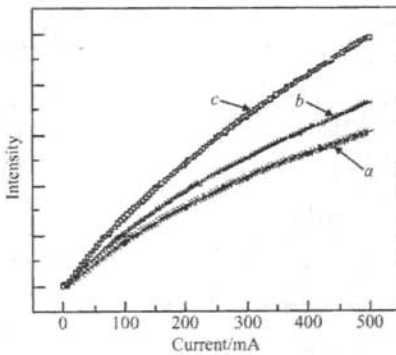


图 1 3 种 GaN 基倒装焊 LED 的输出光强随电流变化的比较曲线 a: 未封装; b: 带有无微结构的封装胶; c: 带有二维微结构阵列封装胶

Fig.1 Light output power versus forward drive current of the FC-GaN LEDs Curve a: without encapsulation; Curve b: with unpatterned encapsulation; Curve c: with patterned encapsulation

图 2 是带有周期为  $20\mu\text{m}$  微结构封装胶的 LED 在 5mA 电流注入下的显微发光图像. 由图可见, 在微结构的周围光强有明显的增强. 进一步证实了蓝宝石顶部的封装材料表面微结构对提高 LED 出光效率的作用. 首先, 衬底表面的聚合物起到折射率过渡的作用, 有利于加大 LED 和空气界面的内部全反射角; 另外, 表面微结构增加了 LED 出光面

的面积, 增加了光从界面出射的几率; 更重要的是, 表面微结构改变了光在界面的入射角, 使原本受内部全反射限制而被禁锢在器件中的光有更多的机会发射出去, 从而提高了出射的光强.

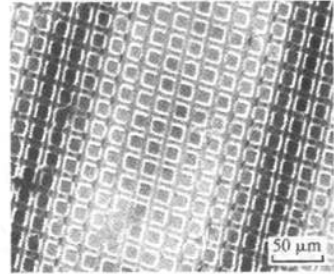


图 2 用微结构封装了的 LED 在 5mA 电流注入下的显微发光图像

Fig.2 Microscopic emitting image of the FC-GaN LED with patterned encapsulation under injection of 5mA

### 4 结论

上述初步结果证实了热硬化性聚合物压印是一种将表面图形化和封装有机结合且行之有效的技术. 我们成功地采用具有微米级阵列的封装结构使 LED 出光效率增加了 60%. 这些结果为提高发光二极管的出光强度提供了一个有效的新途径.

### 参考文献

- [1] Wierer J J, Steigerwald D A, Krames M R, et al. High-power AlGaInN flip-chip light-emitting diodes. *Appl Phys Lett*, 2001, 78: 03379
- [2] Khizar M, Fan Z Y, Kim K H, et al. Nitride deep-ultraviolet light-emitting diodes with microlens array. *Appl Phys Lett*, 2005, 86: 173504
- [3] Chou S Y, Krauss P R, Renstrom J. Imprint of sub-25nm vias and trenches in polymers. *Appl Phys Lett*, 1995, 67: 3114
- [4] Bao Kui, Zhang Bei, Wang Zhimin, et al. Improvement of surface light extraction from flip-chip GaN-based LED by embossing of thermosetting polymers. *Phys Status Solidi C*, 2007, 4(1): 33

## Enhancement of Light Extraction from Microstructured GaN-Based Light Emitting Diodes by Technique of Nanoimprint\*

Bao Kui<sup>1</sup>, Zhang Bei<sup>1,†</sup>, Dai Tao<sup>1</sup>, Kang Xiangning<sup>1</sup>, Chen Zhizhong<sup>1</sup>, Wang Zhimin<sup>1</sup>,  
and Chen Yong<sup>1,2</sup>

(1 *School of Physics, Peking University and State Key Laboratory for Artificial Microstructures and Mesoscopic Physics, Beijing 100871, China*)

(2 *Laboratoire de Photonique et Nanostructures, Route de Nozay, 91460 Marcoussis, France*)

**Abstract:** To further improve surface light extraction from flip-chip GaN-based LED, the patterning of two-dimensional (2D) microstructural arrays on the top of the LED was proposed in this report. Based on this proposal, the novel LEDs covered by thin encapsulations with microstructure-arrays were successfully fabricated by employing the nanoimprint technique of embossing of thermosetting polymers. As a result, a clear enhancement of surface light extraction was obtained in the LEDs with encapsulations of micro-arrays. A 60% improvement of light output was achieved on these 1mm × 1mm GaN based LEDs under injection current of 350mA. Consequently, this work provides an available and simplified approach to increase the extraction efficiency of LEDs.

**Key words:** GaN based light emitting diode; extraction efficiency; nanoimprint technique; microstructure

**EEACC:** 2520; 2550; 4260D

**Article ID:** 0253-4177(2007)S0-0464-03

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Nos. 60077022, 60276034, 60577030, 60607003), the Beijing City Science and Technology Project (No. H030430020230), and the State Key Development Program for Basic Research of China (No. 2007CB307004)

† Corresponding author. Email: beiz@water.pku.edu.cn

Received 4 December 2006, revised manuscript received 22 December 2006