

文章编号: 0253-2239(2008)01-0143-03

转移基板材质对 Si 衬底 GaN 基 LED 芯片性能的影响

邝海¹ 刘军林^{1,2} 程海英^{1,2} 江凤益^{1,2}

(¹ 南昌大学教育部发光材料与器件工程研究中心, 江西 南昌 330047)
² 晶能光电(江西)有限公司, 江西 南昌 330096)

摘要 在 Si 衬底上生长了 GaN 基 LED 外延材料, 分别转移到新的硅基板和铜基板上, 制备了垂直结构蓝光 LED 芯片。研究了这两种基板 GaN 基 LED 芯片的光电性能。在切割成单个芯片之前, 对大量尺寸为 (300 μm × 300 μm) 的这两种芯片分别通高达 1 A 的大电流在测试台上加速老化 1 h。结果显示, 铜基板 Si 衬底 GaN 基 LED 芯片有更大的饱和电流, 光输出效率更高, 工作电压随驱动电流的变化不大, 光输出在老化过程中衰减更小。铜基板芯片比硅基板芯片可靠性更高, 在大功率半导体照明器件中前景诱人。

关键词 光学材料; Si 衬底; 加速老化; 铜基板; 硅基板

中图分类号 TN312⁺.8 **文献标识码** A

Effect of Transferred Submount Materials on Properties of GaN-Based LED Chips Grown on Si Substrate

Kuang Hai¹ Liu Junlin^{1,2} Cheng Haiying^{1,2} Jiang Fengyi^{1,2}

(¹ Education Ministry Engineering Research Center for Luminescence Materials and Devices,
Nanchang University, Nanchang, Jiangxi 330047, China)
² Lattice Power (Jiangxi) Corporation, Nanchang, Jiangxi 330096, China)

Abstract InGaN blue MQW LEDs, grown by metal-organic vapor deposition (MOCVD) on Si (111) substrate, were successfully bonded and transferred onto new substrates Cu and Si. Then, the vertical structure LED chips based on these two kind substrates are made. In the following experiment, the properties of two different GaN LED chips have been tested and researched before the chips were scribed. Current-accelerating aging experiments under 1 A current applied on these chips have been carried out. The results indicate that the chips with Cu substrate are saturated at higher current, having better luminous output efficiency, moreover, its working voltage waved less with driving current, and its power declined less during aging experiments. All these mean that the reliability of chips on Cu substrate is much better. This suggests that the LEDs on Cu substrate have great potential for the application on the high-power LED devices.

Key words optical materials; Si substrate; current accelerated aging experiments; Cu substrate; Si substrate

1 引 言

GaN 基发光二极管(LED)电光转化效率已高达 42%^[1], 但是仍有相当多的能量转化为热能。这些热量如不及时从器件中导出, 必将导致 P-N 结温度过高, LED 发光效率下降, 并使老化加速、寿命缩短、可靠性降低, 甚至器件完全失效^[2~5]。因此, LED 器件

的散热成为研究人员非常关注的主要问题之一。

基板转移技术是一种有效提高芯片散热性从而提高 LED 性能的方法之一。J. S. Cabalu 等^[6]选择高热导率基板能更有效地将热量从 P-N 结传导到周围环境。铜的热导率高达 397 W/(m · K), 铜基板 LED^[7]的光输出比传统方法制备的提高了

收稿日期: 2007-08-17; 收到修改稿日期: 2007-09-27

基金项目: 国家 863 计划纳米专项(2003AA302160)和国家 863 计划光电子主题课题(2005AA311010)资助课题。

作者简介: 邝海(1983-), 女, 湖南人, 硕士研究生, 主要从事半导体发光材料与器件方面的研究。

E-mail: haizi411@126.com

导师简介: 江凤益(1963-), 男, 江西人, 博士生导师, 教授, 主要从事半导体发光材料与器件等方面的研究。

E-mail: jiangfy@ncu.edu.cn

39%；SemiLEDs 公司生产的垂直结构铜基板 LED，光输出在高达 3 A 的电流下未达饱和（芯片尺寸为 $1\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ ），流明效率超过 70 lm/W ，且有良好的可靠性^[8~11]。

本文将 Si 衬底 GaN 基 LED 外延材料，分别转移到新的硅基板和铜基板上后制备了垂直结构蓝光 LED 芯片。用大电流对芯片进行加速老化实验，比较了这两种基板 LED 芯片的光电性能。

2 实 验

图 1(a) 是外延片转移到新基板后所制成的垂直结构 GaN 基蓝光 LED 芯片示意图。从图可见，芯片的主要散热通道是：芯片→黏结层→基板→欧

姆接触层。

所用的外延材料均为本单位采用金属有机化学气相沉积法 (MOCVD) 在相同条件下生长的 Si 衬底 GaN 蓝光 LED 结构外延膜^[12]。将外延膜分别转移到 50.8 mm 的 Si 基板 (样品 A) 和 Cu 基板 (样品 B) 上并制备成 LED 芯片^[13]。两样品中芯片尺寸均为 $300\text{ }\mu\text{m} \times 300\text{ }\mu\text{m}$ 。如图 1(b) 所示，在切割成单个芯片之前，对这两样品中芯片通入电流在测试台上点亮，分别测试了 A、B 两样品芯片的光强和电压随电流的变化，并在 1 A 恒流源下连续老化 1 h 的过程中分别测试了电压、光强随老化时间的变化。测试光强用的仪器为硅光电池光强探测器，电源为可调恒流源。

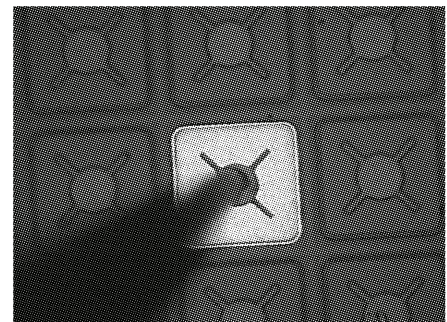
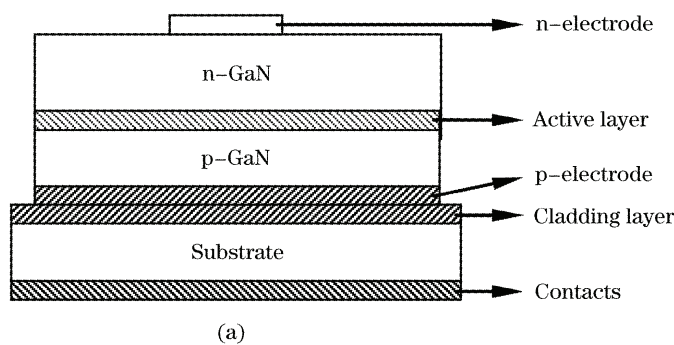


图 1 垂直结构 GaN 基 LED 芯片示意图(a), 通电流的发光图(b)

Fig. 1 Schematic drawing of the GaN LED chip with vertical structure (a), image of the chip lighting when the current is applied (b)

3 结果与分析

3.1 光强和电压随电流的变化

芯片在不同电流下的光强如图 2(a) 所示。从图中可以看出，A、B 两样品芯片光强随电流的变化呈现相似趋势，在较小的驱动电流下，两样品芯片的光强都随着电流的增大成亚线性增大；当电流增大到一定值时，光强随着电流的增大略有增大或者保持不变，即光强趋于饱和；电流继续增大后，光强随

着电流的增大而降低。当驱动电流较小时，光强随着电子-空穴复合的增多而增大占主导；当驱动电流增大到一定范围时，光强随电流增加而增大的贡献与光强随热耗增加而导致的减小抵消，所以光强基本维持不变，达到饱和状态。当电流继续增大，热耗迅速增加，结温随之很快升高，缺陷随温度的升高呈指数增加，此时因缺陷引起的非辐射复合起主导作用，光强随着热耗的增多而降低。热耗的增多会破

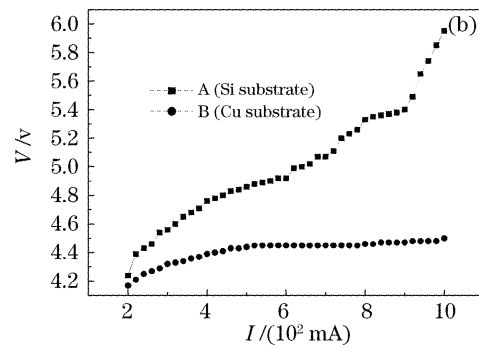
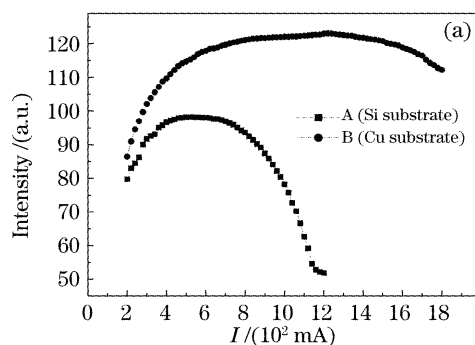


图 2 LED 的光强(a)和电压(b)随电流的变化

Fig. 2 The dependence of the LED light intensity (a), voltage (b) on the applied current

坏 LED 的结构,如电极退化等^[14],直至 LED 被热击穿。从图 2(a)可以看出,A 样品芯片在 500 mA 左右光强开始下降,在 1150 mA 左右被热击穿;而 B 样品中芯片在 1200 mA 左右光强才略有下降(该芯片尺寸为 $300\ \mu\text{m} \times 300\ \mu\text{m}$,此时 LED 电流密度达到了半导体激光器的电流密度量级)。A、B 样品中芯片光强-电流曲线的差异主要归因于铜基板具有更好的散热性,铜的热导率为 $397\ \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,硅的热导率仅为 $148\ \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。

图 2(b)是两样品芯片在电流 200~1000 mA 下的 $I-V$ 曲线。从图中可看出,在正向电流为 200 mA 时,A、B 样品芯片的电压相差不大,为 4.25 V 左右。但随着正向电流的逐渐增大,A 样品芯片的电压快速升高,1A 时电压达 5.95 V;而 B 样品芯片的电压在小于 500 mA 范围内略有增大,然后趋于平缓,1 A 时电压仅为 4.5 V。这种 $I-V$ 特性的差异也可归结为基板散热性能差异所致,与 A 样品相比,B 样品中铜基板的导热性非常好。

3.2 在恒流下的老化实验

为了进一步研究基板对 LED 性能的影响,将 A、B 样品中芯片在恒流源 1 A 大电流下做加速老化实验。图 3 是样品在 1 A 大电流下 A、B 两类芯片的相对光强随老化时间的变化关系(光强为归一化结果,以芯片老化前的初始值为基准)。从中可以看出,尽管两样品中芯片的光强在老化过程中均有所衰减,但 A 样品芯片光强衰减明显快于 B 样品芯片。连续老化 1 h 后,A 样品芯片衰减到初始光强的 97.25%、衰减了 2.75%,B 样品中芯片衰减到初始光强的 99.66%、只衰减了 0.34%。是由于铜基板的导热性优于硅基板的结果。铜良好的导热性把产生的热量及时散发到周围环境,所以热耗对 LED

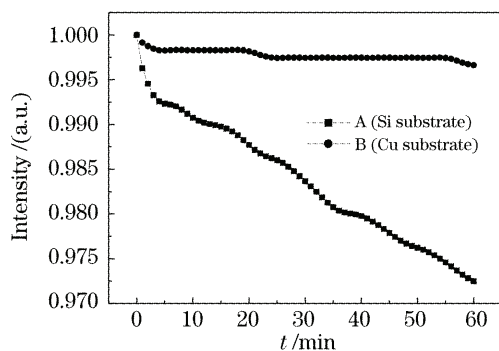


图 3 样品在恒流源 1 A 电流应力下相对光强随老化时间变化曲线

Fig. 3 The curve of light intensity versus the aging time under the condition of a constant current of 1 A

芯片的损害不是很明显,故光强衰减较慢。

4 结 论

研究了不同转移基板材质对 Si 衬底 GaN 基 LED 芯片性能的影响。在切割成单个芯片之前,分别测试了大量尺寸为 $(300\ \mu\text{m} \times 300\ \mu\text{m})$ 的硅基板和铜基板 Si 衬底 GaN 基 LED 芯片的 $L-I$ 、 $I-V$ 曲线,并对这两种芯片分别通高达 1 A 的大电流在测试台上加速老化 1 h。实验结果表明,由于铜基板的导热性优于硅基板,铜基板芯片具有更大的光强饱和电流,且光输出效率更高,可靠性更好,在大功率半导体照明器件中前景诱人。

参 考 文 献

- 1 Yukio Narukawa, Junya Narita, Takahiko Sakamoto *et al.*. Ultra-high efficiency white light emitting diodes[J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2006, **45**(41): L1084~L1086
- 2 A. J. Fischer, A. A. Allerman, M. H. Crawford *et al.*. Device performance of AlGaIn-based 240~300 nm deep UV LEDs[C]. *Proc. SPIE*, 2004, **5530**: 38~47
- 3 M. Shatalov, A. Chitnis, P. Yadav *et al.*. Thermal analysis of flip-chip packaged 280 nm nitride-based deep ultraviolet light-emitting diodes[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2005, **86**(20): 201109-1~201109-3
- 4 N. Narendran, Y. Gu, J. P. Freyssonier *et al.*. Solid-state lighting; failure analysis of white LEDs[J]. *J. Cryst. Growth.*, 2006, **268**: 449~456
- 5 Takeshi Yanagisawa, Takeshi Kojima. Degradation of InGaIn blue light-emitting diodes under continuous and low-speed pulse operations[J]. *Microelectronics Reliability*, 2003, **43**: 977~980
- 6 J. S. Cabalu, A. Bhattacharyya, C. Thomidis *et al.*. High power ultraviolet light emitting diodes based on GaN/AlGaIn quantum wells produced by molecular beam epitaxy [J]. *J. Appl. Phys.*, 2006, **100**: 104506-1~104506-5
- 7 W. K. Wang, S. Y. Huang, S. H. Huang *et al.*. Fabrication and efficiency improvement of micropillar InGaIn/Cu light-emitting diodes with vertical electrodes[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2006, **88**(18): 181113-1~181113-3
- 8 T. Doan, C. Chu, C. Chen *et al.*. Vertical GaN based light emitting diodes on metal alloy substrate for solid state lighting application[C]. *Proc. SPIE*, 2006, **6134**: 61340G-1~61340G-6
- 9 Chao-Chen Cheng, Chen-Fu Chu, Wen-Huan Liu *et al.*. Highly efficient GaN vertical light emitting diode on metal alloy substrate from near UV to green color for solid state lighting application [C]. *Proc. SPIE*, 2006, **6337**: 633703-1~633703-6
- 10 Chuong Anh Tran, Chen-Fu Chu, Chao-Chen Cheng *et al.*. High brightness GaN vertical light emitting diodes on metal alloyed substrate for general lighting application[J]. *J. Cryst. Growth.*, 2007, **298**: 722~724
- 11 Chao-Chen Cheng, Chen-Fu Chu, Wen-Huan Liu *et al.*. Reliability of GaN-based vertical light-emitting diodes on metal alloy substrate for solid state lighting application [C]. *Proc. SPIE*, 2006, **6337**: 633705-1~633705-6
- 12 Chunlan Mo, Wenqing Fang, Hechu Liu *et al.*. Growth and characterization of InGaIn blue LED structure on Si(111) by MOCVD[J]. *J. Cryst. Growth.*, 2005, **285**: 312~317
- 13 Xiong Chuanbing, Jiang Fengyi, Fang Wenqing *et al.*. Different properties of GaN-based LED grown on Si(111) and transferred onto new substrate[J]. *Science in China (Series E)*, 2006, **49**(3): 313~321
- 14 M. Meneghini, S. Podda, A. Morelli *et al.*. High brightness GaN LEDs degradation during dc and pulsed stress [J]. *Microelectronics Reliability*, 2006, **46**: 1720~1724