

# SiN钝化膜对 Si衬底 GaN基蓝光 LED性能影响

邱冲<sup>1</sup>, 刘军林<sup>1,2</sup>, 郑畅达<sup>1,2</sup>, 姜乐<sup>1</sup>, 江风益<sup>1,2\*</sup>

(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:** 利用等离子辅助化学气相沉积 (PECVD)系统在垂直结构 Si衬底 GaN基蓝光 LED芯片上生长了 SN钝化膜,并对长有钝化膜及未作钝化处理的 LED在不同条件下进行了老化实验,首次研究了 SN钝化膜对垂直结构 Si衬底 GaN基蓝光 LED可靠性的影响。实验发现:经过 30 mA、85 ℃、24 h条件老化后,未作钝化处理的 Si衬底 GaN基蓝光 LED的平均光衰为 11.41%,而长有 SN钝化膜的 LED平均光衰为 6.06%,SN钝化膜有效地改善了 LED在各种老化条件下的光衰,另外,SN钝化膜缓解了 Si衬底 GaN基蓝光 LED老化过程中反向电压( $V_r$ )的下降,但对老化后 LED的抗静电击穿能力(ESD)没有明显的影响。

**关键词:** 蓝光 LED; GaN; 硅衬底; SN; 钝化; 光衰

中图分类号: O482.31; TN312.8

PACC: 7860F

文献标识码: A

## 1 引言

半导体发光二极管(LED)具有能耗低、环保、寿命长等优点,在通用照明领域有着巨大的潜力。GaN基蓝光LED的发展,使全彩色照明成为现实,极大地促进了LED的市场应用。目前,GaN基蓝光LED已广泛用于车头灯、手机背光源、户外显示屏等领域<sup>[1,2]</sup>,其应用市场的不断拓展,对LED器件的可靠性提出了更高的要求。因此,GaN基蓝光LED可靠性的研究得到了学术及产业界的广泛重视。在芯片上生长钝化膜,可以避免芯片与外界环境的直接接触,有利于缓解外部应力对芯片的损伤,能有效提高芯片的可靠性。采用PECVD方法生长 $SiO_2$ 及SN钝化膜,在GaN基光电子器件中已得到广泛应用<sup>[3~10]</sup>。由于 $SiO_2$ 在生长过程中,界面会形成很难控制的氧化层<sup>[7,8]</sup>,因此,本实验室选择SN作为Si衬底GaN基蓝光LED的钝化材料。薛松等<sup>[9]</sup>研究表明:SN钝化膜隔绝了器件管芯和外界环境,阻止了外界对刻蚀侧壁的污染,有效地限制了有源区平台侧壁漏电通道的形成,减小了蓝宝石衬底GaN基LED的漏电流;Chang等<sup>[10]</sup>利用电子

回旋共振等离子体辅助化学气相沉积(ECR-PECVD)对同侧结构的蓝宝石衬底GaN基LED进行了SN钝化处理,实验发现SN钝化膜对LED的电学性能没有影响,但使LED发光强度提高了6%。

目前,国内外有关SN钝化膜对GaN基LED光电性能影响的文献还比较少,通过老化研究SN钝化膜对LED可靠性的影响还没有报道过。本实验采用PECVD方法在垂直结构Si衬底GaN基蓝光LED芯片上生长了SN钝化膜,对长有SN钝化膜及未作钝化处理的LED进行了不同条件的老化实验,研究了SN钝化膜对垂直结构Si衬底GaN基蓝光LED光电性能的影响。研究结果表明:SN钝化膜能有效地改善垂直结构Si衬底GaN基蓝光LED芯片的可靠性。

## 2 实验

实验的样品为本单位研制的Si衬底GaN基蓝光LED芯片,衬底大小为2英寸,单个芯粒尺寸为 $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ ,其外延结构已有报道<sup>[11]</sup>。器件制造通过衬底剥离技术获得了垂直结构的Si衬底GaN基蓝光LED芯片,其在20mA时光输

收稿日期: 2008-06-11; 修订日期: 2008-08-24

基金项目: 国家“863”计划纳米专项(2003AA302160); 国家“863”计划光电子课题(2005AA311010)资助项目

作者简介: 邱冲(1984-),男,江西余干人,主要从事Si衬底GaN基LED可靠性的研究。

E-mail: qichong84413@yahoo.com.cn Tel: (0791) 8332497-333, 15979046466

\*: 通讯联系人: E-mail: jiangf@ncu.edu.cn

输出功率在 4~16 mW 之间, 结构如图 1 所示。

实验将同一芯片均分成 A、B 两块, A 部分不

对 A、B 系列封装后的 LED 分别进行了 30 mA、96 h、常温 (RT) 老化和 30 mA、24 h、85 °C 高

度为 180 nm。实验对 A、B 系列的部分芯片在同一条件下进行了环氧封装。



图 1 实验用的 GaN LED 芯片结构示意图

Fig 1 Chip structure of GaN LED.

的静电发生器 (人体放电模式) 对老化后 LED 的裸芯进行了 ESD 测试。

### 3 结果与讨论

实验抽取 A、B 系列各八个封装好的 GaN 基 LED, 在 30 mA、85 °C 条件下老化了 24 h。老化前后的光通量变化如表 1 所示。由表 1 可以看出: 长有 SN 钝化膜样品, 老化后的平均光衰为 6.06%, 而无钝化处理的样品平均光衰为 11.41%。显然, SN 钝化膜对 Si 衬底 GaN 基蓝光 LED 在 30 mA、85 °C、24 h 老化条件下的光衰有明显的改善。

另外, 实验选取了 A、B 样品系列各五个封装

表 1 A、B 系列 LED 经 30 mA、85 °C、24 h 老化后的光衰

Table 1 Luminous decay of A, B LEDs after aging under 30 mA, 85 °C, 24 h condition

编号	A 系列老化前后光通量 (lm) 变化			B 系列老化前后光通量 (lm) 变化		
	老化前	老化后	衰减比	老化前	老化后	衰减比
1	0.2526	0.2207	12.60%	0.2990	0.2819	5.70%
2	0.2795	0.2493	10.80%	0.2853	0.2678	6.10%
3	0.2650	0.2337	11.80%	0.2943	0.2763	6.10%
4	0.2744	0.2431	11.40%	0.2898	0.2710	6.50%
5	0.2524	0.2223	11.90%	0.2905	0.2753	5.20%
6	0.2477	0.2190	11.60%	0.2977	0.2793	6.20%
7	0.2645	0.2371	10.40%	0.2920	0.2728	6.60%
8	0.2735	0.2440	10.80%	0.2851	0.2676	6.10%
平均	0.2477	0.2190	11.41%	0.2851	0.2676	6.06%

好的 LED 进行了常温、30 mA、96 h 的老化, 得出如图 2 的光衰曲线。由图可以看出: 经过常温、30 mA、96 h 老化后, 经 SN 钝化处理的 LED 光衰有明显改善。我们认为光衰减小的主要原因有以下三点: 首先, SN 钝化膜能有效减少芯片的侧壁悬挂键, 并能阻止其对杂质的吸附; 其次, SN 钝化膜还能有效缓解芯片在环氧封装过程中受到的张应力; 再者, Polyakov<sup>[12]</sup>认为: 在 250~350 °C 富 H

等离子体环境中, H 能较容易的扩散进 p-GaN 材料中与 Mg 形成络合物, 从而降低了 p-GaN 侧壁附近的空穴浓度。Baik 研究小组<sup>[13]</sup>和 Matteo Meneghini 等<sup>[14]</sup>也得出了相同结论。本实验生长 SN 钝化膜的反应气体为 SH<sub>4</sub>、NH<sub>3</sub> 和 N<sub>2</sub>, 在 260 °C、66.7 Pa、30 W 的 PECVD 生长环境中, 存在着大量的 H 离子, 所以, 在本实验生长 SN 过程中, 有一定量的 H 扩散进了 p-GaN 的侧壁, 降低了侧

壁 Mg 的离化率, 减小了侧壁附近的空穴浓度, 降低了芯片侧壁附近的电流密度, 从而减小了 LED 侧壁的初始及热生缺陷的扩散及非辐射复合的几率, 降低了老化后 LED 的光衰, 改善了 Si 衬底 GaN 基 LED 光学性能的可靠性。

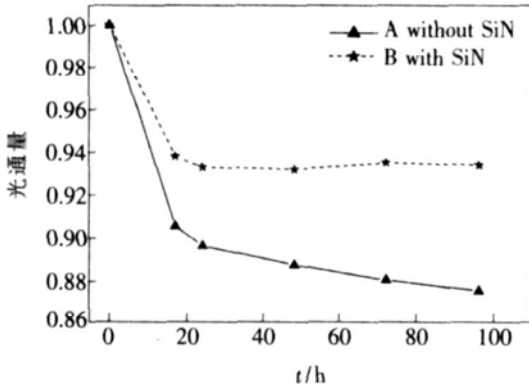


图 2 30 mA、常温老化下 A、B 系列 LED 的光衰与老化时间的关系曲线

Fig 2 Luminous decay of A, B LEDs after aging under RT, 30 mA. for 96 h

实验对 A、B 两系列未经切割的裸芯进行了 500 mA、5 min、常温老化。在老化进行到 10、20、30、40、50、60、90、120、160、240、300 s 的时间点对裸芯反向电压进行了测试。老化后反向电压与老化时间的关系如图 3 所示。由图 3 可以看出: 有 SN 钝化膜的 LED 老化后有较大的反向电压, 这表明 SN 钝化处理能减少侧壁漏电通道, 提高了

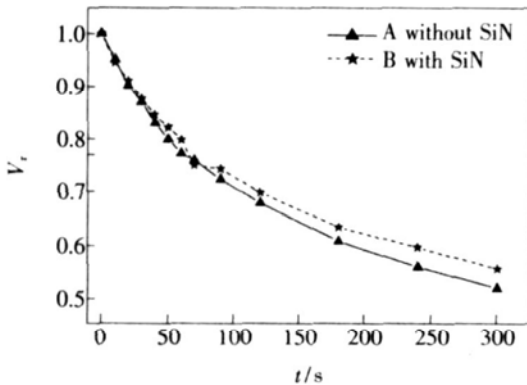


图 3 500 mA 常温老化下 LED 反向电压与老化时间的关系曲线

Fig 3 The Vr changes of A, B LED after aging under RT, 500 mA condition

参 考 文 献:

[ 1 ] Koike M, Shibata N, Kato H, et al Development of high efficiency GaN-based multi-quantum-well light-emitting diodes and their applications [ J ]. IEEE, Quantum Electronics, 2002, 8(2): 271-277.

器件的可靠性。

另外实验对 A、B 两系列未经切割的裸芯进行了老化后的抗静电能力 (ESD) 测试。老化的条件为常温、500 mA, 时间分别为 20、40、60、90、120、180、240 s。实验得出的 ESD 与老化时间关系曲线如图 4 所示。由图 4 可以看出: 在抗静电能力方面, 长有 SN 钝化膜的芯片与无钝化处理的芯片没有明显差别, 这表明钝化对 Si 衬底 GaN 基 LED 的 ESD 性能影响不大。

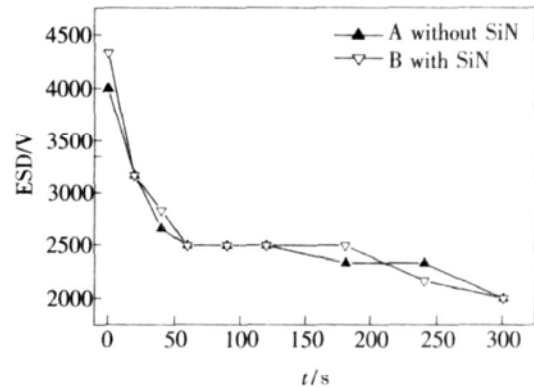


图 4 500 mA 常温老化下 LED 的抗静电能力与老化时间的关系曲线

Fig 4 The ESD of A, B LEDs after aging under RT, 500 mA condition

值得一提的是, 对尺寸为 200 μm × 200 μm 的芯片来说, 通入 500 mA 的大电流情况下, 其电流密度已高达半导体激光器的电流密度量级。在如此高的电流密度下, 芯片仍正常工作, 表明 Si 衬底 GaN 基 LED 已具有较高的可靠性。

4 结 论

实验在 Si 衬底垂直结构的 GaN 基蓝光 LED 芯片上生长了 SN 钝化膜, 对有无钝化处理的芯片进行了不同条件下的老化实验, 分析了老化前后芯片光电性能的变化, 研究了 SN 钝化处理对 Si 衬底 GaN 基蓝光 LED 可靠性的影响。研究结果表明: SN 钝化膜有效的改善了 LED 在各种老化条件下的光衰, 在一定程度上缓解了老化过程中反向电压的下降, 但对该 LED 在老化后的抗静电性能没有明显的影响。

- [ 2 ] Kinoshita M, Asayuki P. Present state and application of GaN semiconductor laser and light emitting diode [ C]. Reliability Center for Electronic Proceedings of the 12th Annual RCJ Reliability Symposium, 2002, 201-203
- [ 3 ] Mackel H, Ludemann R. Detailed study of the composition of hydrogenated  $\text{SN}_x$  layers for high-quality silicon surface passivation [ J]. *J. Appl Phys*, 2002, **1**(9): 2602-2609
- [ 4 ] Chevtchenko S A, Reshchikov M A, Fan Q. Study of  $\text{SN}_x$  and  $\text{SD}_2$  passivation of GaN surfaces [ J]. *J. Appl Phys*, 2007, **13**(6): 113709-1-7.
- [ 5 ] Sun Jung K in, Duk-Kyu Bae, Jeong-Hyeon Choi. Leakage current characteristic of vertical GaN-based light emitting diodes with passivation structures [ J]. *Electrochemical and Solid-State Letters*, 2007, **10**(11): 334-336
- [ 6 ] Franco C D, Scanarolo G. Influence of substrate pre-treatments on the growth of  $\text{Si}_3\text{N}_4$  thin films by plasma enhanced chemical vapor deposition [ J]. *Surface & Coatings Technology*, 2008, **9**(9): 3081-3087.
- [ 7 ] Bae Choe Hwi, Krug Cristian, Lucovsky Gerald, et al. Surface passivation of n-GaN by nitrided-thin- $\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{SD}_2$  and  $\text{Si}_3\text{N}_4$  films [ J]. *J. Appl Phys*, 2004, **96**(5): 2674-2680
- [ 8 ] Tamotsu Hashizume, Shinya Ootom, Takanori Inagaki, et al. Surface passivation of GaN and GaN/AlGaIn heterostructures by dielectric films and its application to insulated-gate heterostructure transistors [ J]. *J. Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures*, 2003, **21**(4): 1828-1838
- [ 9 ] Xue Song, Han Yanjun, Luo Yi. Improvement on GaN-based LED reversed leakage current characteristic by passivation process [ J]. *Semiconductor Optoelectronics* (半导体光电), 2006, **2**(4): 164-166 (in Chinese).
- [ 10 ] Chang K M, Lang C C, Cheng C C. The silicon nitride film formed by ECR-CVD for GaN-based LED passivation [ J]. *Physica Status Solidi*, 2001, **22**(11): 175-178
- [ 11 ] Mo Chunlan, Fang Wenqing, Liu Hechu, et al. Growth and characterization of InGaIn blue LED structure on Si(111) by MOCVD [ J]. *J. Crystal Growth*, 2005, **285**(3): 312-317.
- [ 12 ] Polyakov A Y, Simov N B, Govorkov A V, et al. Hydrogen plasma passivation effects on properties of p-GaN [ J]. *J. Appl Phys*, 2003, **94**(6): 3960-3965
- [ 13 ] Baik K H, Luo B, Kim J, et al. Electrical characteristics of p-GaN Schottky rectifiers after PECVD  $\text{SN}_x$  passivation [ J]. *Solid-State Electronics*, 2002, **25**(1): 1459-1462
- [ 14 ] Meneghini M, Trevisanello L, Zehnder R, et al. Reversible degradation of ohmic contacts on p-GaN for application in high-brightness LEDs [ J]. *IEEE, Electron Devices*, 2007, **54**(12): 3245-3251.

## The Influence of SN Passivation Layer to the GaN Based Blue LED on Si Substrate

QIU Chong<sup>1</sup>, LU Jun-lin<sup>1,2</sup>, ZHENG Chang-da<sup>1,2</sup>, JIANG Le<sup>1</sup>, JIANG Feng-yi<sup>1,2</sup>

(1 Engineering Research Center for Luminescence Materials and Devices of the Education Ministry,

Nanchang University, Nanchang 330047, China;

2 Latticepaver (Jiangxi) Co Ltd., Nanchang 330096, China)

**Abstract** Currently GaN based blue light emission diode (LED) has already been widely used in spotlight of cars, back light of mobile phones, outdoor displays, etc. As the market of its applications is rapidly enlarged, the reliability of GaN based LED becomes the top issue of wide concern. In order to improve the reliability of vertical GaN based blue LED on Si substrate,  $\text{SN}$  passivation layer was deposited by PECVD on the chip of LED, stresses in different condition were carried out to both passivated and unpassivated chips and encapsulated LEDs, their optical and electrical properties were investigated. After the aging under the condition of 30 mA, 85 °C for 24 hours, the average luminous decay for encapsulated LEDs without  $\text{SN}$  layer was 11.41%, but 6.06% for passivated one; lower luminous decay of  $\text{SN}$  passivated GaN based blue LED was also found at

the aging condition of RT, 30 mA, 96 hours, this was never reported in previous dissertations. In the aging experiment of chips under the 500 mA, RT condition, higher reverse voltage of SN passivated LED was found after aging compared with that without SN layer, but no obvious improvement for ESD property.

**Key words** blue LED; GaN; Si substrate; SN; passivation; luminous decay

Received date 2008-06-11

## 欢迎订阅 欢迎投稿 《光学 精密工程》(自 2007年改为月刊)

《光学 精密工程》是中国仪器仪表学会一级学术期刊,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所主办,科学出版社出版。由国内外著名科学家任顾问,陈星旦院士任编委会主任,国家科技部副部长曹健林博士担任主编。

《光学 精密工程》坚持学术品位,集中报道国内外现代应用光学、光学工程技术、光电工程和精密机械、光学材料、微纳科学与技术、医用光学、先进加工制造技术、信息与控制、计算机应用以及有关交叉学科等方面的最新理论研究、科研成果和创新技术。本刊自 2007年起只刊发国家重大科技项目和国家自然科学基金项目及各省、部委基金项目资助的论文。《光学 精密工程》竭诚欢迎广大作者踊跃投稿。

本刊获奖:

中国科学技术协会择优支持期刊  
中国百种杰出学术期刊  
第一届北方优秀期刊  
吉林省双十佳期刊

国际检索源:

《美国工程索引》(EICampendex)  
《美国化学文摘》(CA)  
《英国 INSPEC》(SA)  
《俄罗斯文摘杂志》(PЖ)  
《美国剑桥科学文摘》(CSA)

国内检索源:

中国科技论文统计源期刊  
中国学术期刊(光盘版)  
万方数据系统数字化期刊  
台湾华艺中文电子期刊网  
中国科学引文数据库  
中国物理文献数据库  
中国期刊网

中文核心期刊要目总览(北大)  
中国学术期刊综合评价数据库  
中国光学与应用光学文摘  
中国科学期刊全文数据库  
中国光学文献数据库  
中国学术期刊文摘  
中国物理文摘

地 址: 长春市东南湖大路 16号

《光学 精密工程》编辑部

邮 编: 130033

电 话: (0431) 86176855

传 真: (0431) 84613409

**E-mail** gxjng@cimp.ac.cn

gxjng@sina.com

**http** //www.ope.net.cn

国内邮发代号: 12-166

国外发行代号: 4803BM

定 价: 18.00元/期

帐 户: 中国科学院长春光学

精密机械与物理研究所

银 行: 中行吉林省分行营业部

帐 号: 220801471908091001