

# 刻蚀深度对 Si 衬底 GaN 基蓝光 LED 性能的影响

张 萍 刘军林 郑畅达 江风益<sup>†</sup>

(南昌大学材料科学研究所 教育部发光材料与器件工程研究中心, 南昌 330047)

**摘要:** 在 Si 衬底上生长了 GaN 基 LED 外延材料, 将其转移到新的硅基板上, 制备了垂直结构蓝光 LED 芯片. 本文研究了这种芯片在不同 n 层刻蚀深度情况下的光电特性. 在切割成单个芯片之前, 对尺寸为  $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$  的芯片分别通高达 500mA 的大电流在测试台上加速老化. 结果表明: 刻蚀深度为 0.8 和  $1.2\mu\text{m}$  的芯片相对于刻蚀深度为  $0.5\mu\text{m}$  的芯片, 其正向电压更低且光强衰减更慢, 抗静电性能随老化时间变得更稳定; 刻蚀深度为  $0.8\mu\text{m}$  的芯片抗静电性能强于刻蚀深度为  $1.2\mu\text{m}$  的芯片.

**关键词:** 蓝光 LED; GaN; Si 衬底; 快速老化; 刻蚀; 静电

**PACC:** 7280E; 8120J; 8160C

**中图分类号:** O484

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-4177(2008)03-0563-03

## 1 引言

GaN 材料具有禁带宽度大、电子饱和漂移速度高、导热性能良好等特性, 适合于制作高频、大功率电子器件; 而利用其直接带隙的特点可以制作高效率蓝光、绿光和紫外光的光电子器件. 自 1991 年 Nichia 公司的 Nakamura 等人成功地研制出掺 Mg 的同质结 GaN 基蓝光 LED 以来, GaN 基 LED 得到了迅猛的发展, 在信息显示和固态照明等领域显示出广阔的应用前景<sup>[1-5]</sup>. 与蓝宝石和 SiC 衬底相比, Si 衬底除了晶格失配和热失配较大外, 其他方面比较符合 GaN 材料生长的要求, 如低成本、大尺寸、高质量、导电性等优点, 且 Si 衬底 GaN 基材料及器件的研制, 将进一步促进 GaN 基器件与传统 Si 基器件的工艺集成, 被认为是最有前途且最具挑战的 GaN 衬底材料. 随着许多技术和观念上的突破, Si 衬底 GaN 基材料生长越来越成为人们关注的焦点. 已有几家研究小组报道过在 Si 衬底上制备了 GaN 基发光器件<sup>[6-10]</sup>. 其中, 本实验室利用 MOCVD 系统生长的 InGaN MQW 蓝光 LED 外延片达到了实用水平.

LED 的可靠性, 包括电学性能和发光性能, 抗静电能力一直是研究的热点. Kim 认为相比传统的同侧电极 LED, 垂直结构的 LED 有较高的光输出、较好的热扩散性能及较高的静电击穿电压<sup>[11]</sup>. Jacob 介绍了 LED 的衰减机制及其特征<sup>[12]</sup>. 艾伟伟等人<sup>[5]</sup>从金属的电迁移、p 型欧姆接触退化、深能级与非辐射复合中心等方面阐述了 LED 的退化机理. 郑代顺等人分析了大功率 LED 工作过程中的几种失效机制<sup>[13]</sup>. Shin 等人研究了刻蚀深度和载流子浓度对蓝宝石衬底同侧电极 GaN LED 性能的影响<sup>[16]</sup>.

本课题组在 Si 衬底上生长了 GaN 基 LED 外延材料, 分别把它转移到新的硅基板上, 制备了垂直结构蓝

光 LED 芯片. 本文比较了这种芯片在不同 n 层刻蚀深度情况下的光电特性.

## 2 实验

本文所使用的 GaN 基 LED 样品均为本实验室在 Si(111)衬底上 MOCVD 外延生长的 InGaN/GaN 多量子阱蓝光 LED 结构, 其生长方法已有报道<sup>[6]</sup>, 外延片结构如图 1(a)所示. 然后将外延层转移到新 Si 基板上, 再剥离掉原先生长的 Si 衬底, 此时结构如图 1(b)所示, 最上面的为缓冲层.

在 n 型层上面的缓冲层是一种多层结构, 很难直接制作成欧姆接触电极. 因此需在电极制作处刻蚀一定深度, 本文采用 ICP 方法刻蚀. 这样制作的芯片为垂直结构, 如图 1(c)所示,  $h$  为 n 型电极刻蚀的深度. 由于生长设计的缓冲层厚度约为  $0.45\mu\text{m}$ , n-GaN 层的厚度为  $2.6\mu\text{m}$ , 其中电子浓度为  $4 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ , 因此本文对 n 型电极孔刻蚀深度  $h$  为 0.5, 0.8 和  $1.2\mu\text{m}$  的 LED 芯片进行了对比研究.

本实验用的芯片尺寸为  $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ . 在切割成单个芯片之前, 对这种芯片通高达 500mA 的大电流在测试台上加速老化. 实验所用的仪器为 XJ4810 半导体特性图示仪、硅光电池光强探测器、500mA 恒流源和杭州远方公司产静电发生器(人体放电模式).

测试实验条件为: 采用 500mA 直流电对每组 5 个 LED 芯片进行老化, 电压和光强均为 500mA 时的平均值.

## 3 结果与讨论

表 1 为 3 种芯片的  $I-V$  及光学特性数据. 从中可以看出: 刻蚀深度对 LED 的正向电压有着明显的影响. 刻

<sup>†</sup> 通信作者. Email: jiangfy@ncu.edu.cn

2007-07-05 收到, 2007-10-15 定稿

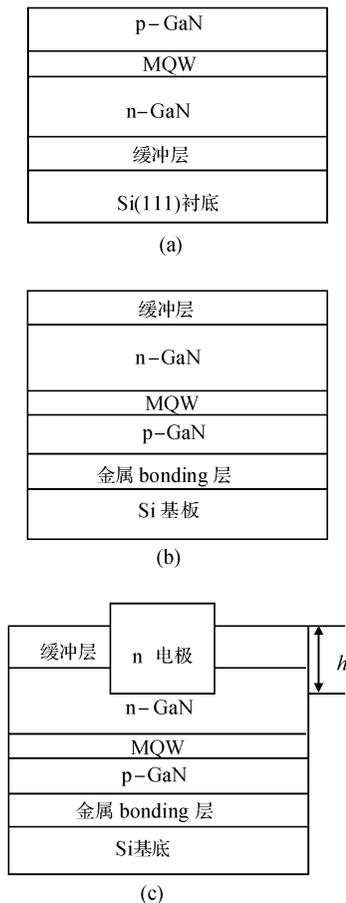


图 1 (a) Si 衬底上外延片结构; (b) 转移基板后结构; (c) 刻蚀 n 型电极后芯片结构

Fig.1 (a) Structure of GaN epilayer; (b) Structure after transferring substrate; (c) Structure of the etched-chip

蚀深度为  $0.5\mu\text{m}$  的芯片较其他芯片正向电压高。

刻蚀深度为  $0.5\mu\text{m}$  的芯片正向电压高的原因可解释为: 靠近缓冲层的 n 型 GaN 的 Si 原子向缓冲层中扩散, 使缓冲层附近 n 型层中的载流子浓度相对较低. 对于刻蚀深度为  $0.8$  和  $1.2\mu\text{m}$  的芯片, 都刻至高掺杂层, n 型层中的载流子浓度都较高, 两者正向电压几乎相等, 尤其是  $500\text{mA}$  下工作电压仍然非常接近。

图 2 为芯片在  $500\text{mA}$  电流老化  $10\text{min}$  过程中, 相对光强随时间的变化情况.  $I_0$  为刻蚀深度为  $0.5\mu\text{m}$  的芯片在电流为  $500\text{mA}$  时所对应的初始光强。

图 2 说明刻蚀深度为  $0.8$  和  $1.2\mu\text{m}$  的芯片较刻蚀深度为  $0.5\mu\text{m}$  芯片的相对光强降低慢, 即光衰小, 还说明前两者的光强几乎相等. 刻蚀深度为  $0.5\mu\text{m}$  的芯片, 由于电流扩展较好, 因此初始光强稍大. 但是, 该芯片的电压较高, 其输入电功率较大, 热效应现象相对严重, 使

表 1 刻蚀深度为  $0.5$ 、 $0.8$  和  $1.2\mu\text{m}$  的 3 种 LED 芯片的特性数据  
Table.1 Data of the three chips with  $0.5$ 、 $0.8$  and  $1.2\mu\text{m}$  etching depth

刻蚀深度/ $\mu\text{m}$	$V_f/V@40\mu\text{A}$	$V_f/V@20\text{mA}$	$V_f/V@0.5\text{A}$	$I_v@0.5\text{A}$
0.5	2.60	3.35	4.31	44.4
0.8	2.60	3.28	3.85	43.4
1.2	2.60	3.28	3.84	43.3

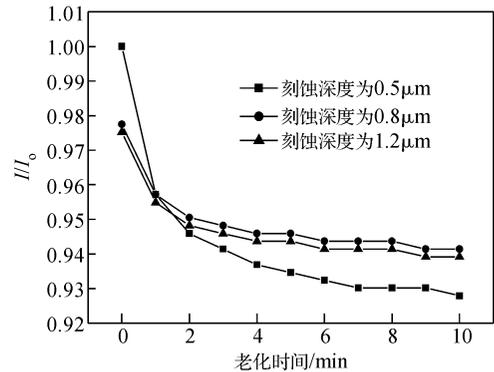


图 2  $500\text{mA}$  老化时芯片相对光强随时间的变化

Fig.2 Relationship of relative light intensity at  $500\text{mA}$  with time

得芯片光学性能衰退较严重。

图 3 为芯片在  $500\text{mA}$  电流下老化不同时间后抗静电能力的变化情况. 刻蚀深度为  $0.5\mu\text{m}$  的芯片初始抗静电能力接近  $7000\text{V}$ , 而其他两种芯片的抗静电能力较小, 分别为  $4000\text{V}$  和  $2700\text{V}$ . 但是随着老化时间的增长, 这两种芯片抗静电能力变化不大, 抗静电性能稳定; 在老化时间为  $180\text{s}$  时, 刻蚀深度为  $0.8\mu\text{m}$  的芯片静电击穿电压接近  $3000\text{V}$ 。

刻蚀深度为  $0.5\mu\text{m}$  的芯片在  $500\text{mA}$  大电流老化过程中, 初始抗静电能力很强, 接近  $7000\text{V}$ , 原因可归结为电流扩展比较好(较更深的刻蚀芯片); 但该芯片抗静电能力很快下降, 在老化时间为  $50\text{s}$  时, 静电击穿电压仅为  $500\text{V}$ , 原因可能是该芯片工作电压高, 芯片的温度更高, 外延材料中缺陷更多. 而对于刻蚀深度为  $1.2\mu\text{m}$  的芯片, 虽然工作电压较低, 相对前者热效应问题小一些, 但该芯片电流扩展较前者差一些, 同样会导致抗静电能力降低。

## 4 结论

通过对同种外延片上生产的刻蚀深度不同的 Si 衬底 GaN 基蓝光 LED 芯片 ( $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ ) 进行  $500\text{mA}$  的大电流快速老化实验, 研究了不同的 n 型层

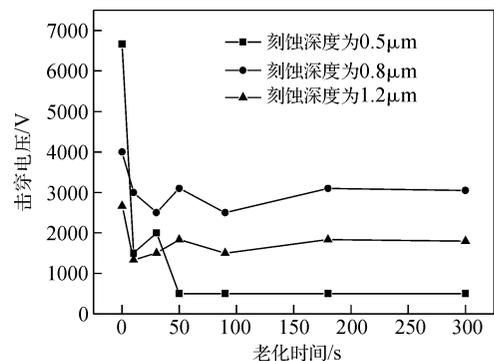


图 3  $500\text{mA}$  老化不同时间的芯片的抗静电能力

Fig.3 Electrostatic discharge at  $500\text{mA}$  with different aging time

刻蚀深度对 LED 性能的影响. 结果表明: 刻蚀深度对芯片性能有重要影响, 太深和太浅的芯片性能均有明显的不足; 综合考虑光衰减和抗静电特性, 本实验得出  $0.8\mu\text{m}$  是这 3 类芯片中比较合适的 n 层刻蚀深度.

### 参考文献

- [1] Chen Zhizhong, Qin Zhixin, Hu Xiaodong, et al. Fabrication and characterization of high-power white LED. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2004, 19(2): 83 (in Chinese) [陈志忠, 秦志新, 胡晓东等. 大功率白光 LED 的制备和表征. 液晶与显示, 2004, 19(2): 83]
- [2] Zhang Shuming, Yang Hui, Duan Lihong, et al. Industrialization of GaN-based blue-green LEDs. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2003, 18(1): 44 (in Chinese) [张书明, 杨辉, 段俐宏, 等. 氮化镓基蓝、绿光 LED 中游工艺技术产业化研究. 液晶与显示, 2003, 18(1): 44]
- [3] Nakamura S, Pearton S, Fasol G. The blue laser diode: the complete story. *Optics & Laser Technology*, 2002, 34(3): 273
- [4] Mo Chunlan, Fang Wenqing, Wang Li, et al. Development of GaN-based LED grown on Si substrate. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2005, 20(5): 422 (in Chinese) [莫春兰, 方文卿, 王立等. 硅衬底 GaN 基 LED 的研究进展. 液晶与显示, 2005, 20(5): 422]
- [5] Ai Weiwei, Guo Xia, Liu Bin, et al. Research and progress in reliability of GaN-based LED. *Semiconductor Technology*, 2006, 31(3): 161 (in Chinese) [艾伟伟, 郭霞, 刘斌, 等. GaN 基发光二极管的可靠性研究进展. 半导体技术, 2006, 31(3): 161]
- [6] Mo Chunlan, Fang Wenqing, Liu Hechu, et al. Growth and characterization of InGaN blue LED structure on Si (111) by MOCVD. *J Cryst Growth*, 2005, 28(5): 312
- [7] Li Youqun, Fang Wenqing, Liu Weihua, et al. Study of polarization field in GaN-based blue LEDs on Si and sapphire substrate by electroluminescence. *Journal of Luminescence*, 2007, 122/123: 567
- [8] Teng Xiaoyun, Liu Caichi, Hao Qiuyan, et al. Study of GaN-based semiconductor material and device grown on Si substrate. *Semiconductor Technology*, 2006, 31(2): 98 (in Chinese) [滕晓云, 刘彩池, 郝秋艳, 等. Si 衬底 GaN 基材料及器件的研究. 半导体技术, 2006, 31(2): 98]
- [9] Liu Weihua, Li Youqun, Fang Wenqing, et al. The junction-temperature characteristic of GaN light-emitting diodes on Si substrate. *Chinese Journal of Luminescence*, 2006, 27(2): 211 (in Chinese) [刘卫华, 李有群, 方文卿, 等. Si 衬底 GaN 基 LED 的结温特性. 发光学报, 2006, 27(2): 211]
- [10] Padgar A, Poschenrieder M, Blasing J, et al. MOVPE growth of GaN on Si (111) substrates. *J Cryst Growth*, 2003, 27(248): 556
- [11] Kim S J. Vertical chip of GaN-based blue light-emitting diodes. *Solid State Electrostatics*, 2005, 49: 1153
- [12] Jacob P, Kunz A, Nicoletti G. Reliability and wearout characterization of LEDs. *Microelectronics Reliability*, 2006, 46: 1711
- [13] Zheng Daishun, Qian Keyuan, Luo Yi. Life test and failure mechanism analysis for high-power LED. *Semiconductor Optoelectronics*, 2005, 26(2): 87 (in Chinese) [郑代顺, 钱可元, 罗毅. 大功率发光二极管的寿命试验及其失效分析. 半导体光电, 2005, 26(2): 87]
- [14] Cao X A, Sandvik P M, LeBoeuf S F, et al. Defect generation in InGaN/GaN light emitting diodes under forward and reverse electrical stresses. *Microelectronics Reliability*, 2003, 43: 1987
- [15] Lin Liang, Chen Zhizhong, Chen Ting, et al. Characteristics of the accelerated aging white LEDs. *Chinese Journal of Luminescence*, 2005, 26(5): 617 (in Chinese) [林亮, 陈志忠, 陈挺, 等. 白光 LED 的加速老化特性. 发光学报, 2005, 26(5): 617]
- [16] Shin H W, Kim Y K, Suh E K, et al. Effects of etching depth for n-contact and current spreading layer in InGaN/GaN light emitting diodes. *Semiconductor Science and Technology*, 2004, 19(6): 774

## Influence of Etching Depth on Characteristics of GaN/Si Blue LEDs

Zhang Ping, Liu Junlin, Zheng Changda, and Jiang Fengyi<sup>†</sup>

(Engineering Research Center for Luminescence Materials and Devices of the Education of Ministry,  
Institute of Material Science, Nanchang University, Nanchang 330047, China)

**Abstract:** We transfer GaN based LED epitaxial materials grown on a Si substrate to a new Si substrate and fabricate flip blue LED chips. Photoelectric properties of these chips with different n-electrode etching depths are researched. An accelerated aging experiment on a testing board is studied under a high driven current of 500mA for the chips of  $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$  before incised. The results show that the chips with  $0.8$  and  $1.2\mu\text{m}$  etching depths have lower forward voltage and slower light decay than the chips with  $0.5\mu\text{m}$  etching depth. Meanwhile, the ESD is relatively steadier with aging time. Additionally, the ESD of chips with  $0.8\mu\text{m}$  etching depth is larger than the chips with  $1.2\mu\text{m}$ .

**Key words:** blue LED; GaN; Si substrate; accelerated aging; etching; electrostatic discharge

**PACC:** 7280E; 8120J; 8160C

**Article ID:** 0253-4177(2008)03-0563-03

<sup>†</sup> Corresponding author. Email: jiangfy@ncu.edu.cn

Received 5 July 2007, revised manuscript received 15 October 2007