

# 电子束辐照对 GaN 基蓝光 LED 性能的影响

梁亮 牛萍娟 于莉媛

(天津工业大学信息与通信工程学院, 天津 300160)

**摘要** 研究了低能电子束辐照(LEEBI)对大功率 GaN 基蓝光 LED 性能的影响。利用实验室提供的电子束模拟空间电子辐射,对蓝光 LED 进行 LEEBI,并对比未辐照的 LED,研究其电学性质和光学性质的变化。结果表明,在电子束辐照下,LED 发光强度提高,正向电压变小,击穿电压变小。同时利用电子束辐照机理对实验结果进行了分析和讨论。

**关键词** 光学器件;发光二极管;低能电子束辐照;氮化镓

**中图分类号** TN36

**OCIS** 230.3670 230.2090 160.2100

**文献标识码** A

## Influence of Electron Beam Irradiation on GaN-Based Blue LED

Liang Liang Niu Pingjuan Yu Liyuan

(Information and Communication Engineering School, Tianjin Polytechnic University,  
Tianjin 300160, China)

**Abstract** The influence of low energy electron beam irradiation (LEEBI) on GaN-based blue LED of high power has been studied. Making use of the electron beam from the lab to simulate the space electron irradiation, We take LEEBI on blue LED, and make contrast to unirradiated LED. The changes of electrical and optical properties are studied. It's found that the higher lighting intensity but lower forward and breakdown voltage can be obtained on irradiated LED. The experimental result has been analyzed and discussed through the mechanism of electron beam irradiation.

**Key words** optical devices; LED; low energy electron beam irradiation; GaN

## 1 引言

LED 是半导体照明的核心<sup>[1,2]</sup>,作为一种重要的固态光源,它具有低成本、长寿命、小尺寸、极快的响应速度、耐震抗冲击、绿色环保、使用安全等优点。GaN 材料是直接带隙半导体,具有禁带宽、发光效率高、热导率高、击穿电压大、电子漂移和饱和速度大、介电常数小等特点<sup>[3]</sup>,以 GaN 基功率型蓝光 LED 为核心的半导体照明光源,被认为是继白炽灯和荧光灯之后的第三代照明光源,是国内外光电子领域的研究热点之一<sup>[4]</sup>。

LED 的广泛应用决定了它将暴露于地外空间等辐射环境中,而长期的辐射会对器件性能产生影响。这些辐射包括带电辐射、不带电辐射和电磁辐射等<sup>[5~8]</sup>。近年来,国内外都有关于辐照 LED 的相关实验的报道,主要包括辐照失效机理和辐照提高发光强度等方面,研究人员利用深能级瞬态谱(DLTS)及光致发光谱(PL)等研究了不同载能粒子或离子束辐照对 LED 的电学性质和光学性质的影响<sup>[9,10]</sup>。

本文的研究是在对 AlGaInP 基小功率 LED 的低能电子束辐照(LEEBI)实验的基础上,对 GaN 基功率型蓝光 LED 进行的 LEEBI 实验,对比未辐照和辐照后的 LED 的正向电压、发光强度和击穿电压的变化,并利用 LED 的 LEEBI 机理分析发生变化的原因。

**收稿日期:** 2010-04-09; **收到修改稿日期:** 2010-06-30

**基金项目:** 国家自然科学基金(60706015)和天津市教委发展基金重点项目(ZD200721)资助课题。

**作者简介:** 梁亮(1985—),男,硕士研究生,主要从事半导体发光器件方面的研究。

E-mail: liangliang19850921@163.com

**导师简介:** 牛萍娟(1973—),女,博士,教授,主要从事半导体发光器件方面的研究。E-mail: pjniu@hotmail.com

## 2 电子束辐照 LED 实验

实验样品为 GaN 基功率型蓝光 LED 芯片,其主波长为 460 nm。辐照实验采用地纳米(Dynamitron)系列加速器,在标准大气压、普通空气氛围、常温的辐照氛围下,进行了 10 kGy 剂量的 LEEBI。辐照后对 LED 芯片进行封装并测量其发光强度和  $I$ - $V$  特性,并对其抗静电能力进行测试。

### 2.1 未辐照和辐照后的 LED 电学性能对比

在实验中,取 50 只功率型蓝光 LED 芯片,每 5 只为一组,在正向电流 350 mA 的条件下,测量未辐照和辐照后正向电压的变化。图 1 为芯片在辐照前后的正向电压。图中每个点代表每组 LED 的正向电压的平均值,其中 A 表示未辐照的 LED 的正向电压,B 表示辐照后的 LED 的正向电压,直线表示全部 LED 芯片的正向电压的平均值。未辐照 LED 的平均正向电压为 3.27 V,辐照后的平均正向电压为 3.23 V,辐照后的正向电压比辐照前的略小,平均下降约 1.22%。

在理论上,LEEBI 会引起多子去除效应,使 P 区的电子和 N 区的空穴增加,因此,反向饱和电流会随之增大。根据 PN 结正向电压与电流的关系可知,在一定温度和正向电流的条件下,正向电压会随着反向电流增大而减小。因此,LEEBI 将会引起正向电压的降低。

### 2.2 未辐照和辐照后的 LED 发光强度对比

将 LED 芯片封装后进行光学性能测试,图 2 为未辐照和辐照后的 LED 发光强度的变化。图中每个点代表每组 LED 的发光强度的平均值,其中 A 表示未辐照的 LED 的发光强度,B 表示辐照后的 LED 的发光强度,直线表示辐照前后 LED 芯片的发光强度的平均值。未辐照的芯片的平均发光强度是 269.59 m·cd,辐照后的平均发光强度是 291.35 m·cd,经计算发现辐照后发光强度提高约 8.07%。

根据对 GaN 材料的 DLTS 研究,其中存在三个固有的深能级缺陷<sup>[11]</sup>:B1 $[E_T = (265 \pm 7) \text{ meV}, \sigma = 2.5 \times 10^{-15} \text{ cm}^2]$ ,B2 $[E_T = (355 \pm 30) \text{ meV}, \sigma = 6.5 \times 10^{-16} \text{ cm}^2]$ ,B3 $[E_T = (581 \pm 8) \text{ meV}, \sigma = 1.4 \times 10^{-15} \text{ cm}^2]$ 。

当载能电子束辐照半导体材料时,会使半导体内部产生深能级缺陷。这些深能级缺陷能够捕获载流子成为复合中心,增大载流子复合截面,使非平衡载流子更容易被俘获,进而增加了辐射复合的几率,提高了发光效率。当电子束辐照剂量较小时,产生的深能级缺陷主要用来补偿化学掺杂的不足,将会在 PN 结附近产生一个窄的本征区<sup>[12]</sup>。这个电子束辐照引起的本征区的产生将引起正向电流的显著提高,同时会引起发光强度的提高。

### 2.3 LEEBI 对 LED 抗静电能力的影响

LED 在制造、筛选、包装、测试、储运和安装使用等环节,难免会产生静电电荷,如果不及时将这些静电电荷释放掉,将在 LED 的两个电极上形成较高电压。当此电压超过 LED 最大承受值后,静电电荷将在纳秒时间内放电,释放出的热量会在 LED 芯片的导电层、PN 结发光层形成局部高温,高温会使这些层熔融成小孔,从而造成漏电和短路的现象。

对 LED 在未辐照和辐照后的抗静电能力的研究,目前大多数研究中都采用机械模式(模拟产品制造过程中,仪器设备对元件的静电放电)和人体模式(模拟人体对元件的静电放电)来测试 LED 的抗静电能力。静电对 LED 反向放电时,电流比正向放电更加集中,功率密度更大,也就是 LED 反向承受的静电电压很低。因此,在对 LED 的抗静电能力评估时,对其进行反向抗静电评估是最合理的。

实验分两组进行,一组是 10 只未辐照的 GaN 基 LED,另一组是 10 只辐照后的 GaN 基 LED,对它们进

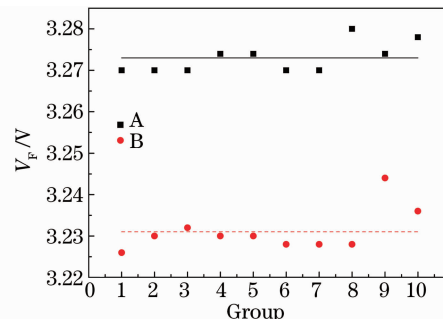


图 1 LED 正向电压的变化

Fig. 1 Change of LEDs' forward voltage

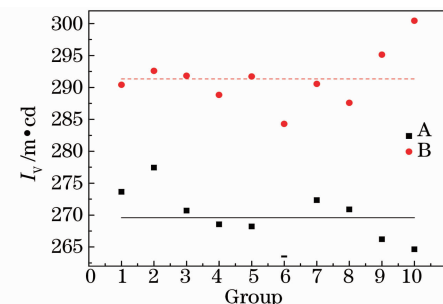


图 2 LED 发光强度的变化

Fig. 2 Change of LEDs' luminous intensity

行一系列电压下的反向静电放电测试。测试的结果如表 1 和表 2 所示。

表 1 未辐照测试结果

Table 1 Test result without irradiation

No.	300 V	350 V	400 V	500 V	1000 V
1	✓	✓	✓	✓	✗
2	✓	✓	✗		
3	✓	✓	✓	✓	✗
4	✓	✓	✓	✗	
5	✓	✓	✓	✗	
6	✓	✓	✓	✗	
7	✓	✓	✓	✗	
8	✓	✓	✓	✗	
9	✓	✓	✓	✗	
10	✓	✓	✓	✗	

表 2 辐照后测试结果

Table 2 Test result after irradiation

No.	300 V	350 V	400 V	500 V	1000 V
1	✓	✓	✓	✓	✗
2	✓	✓	✗		
3	✓	✗			
4	✓	✓	✓	✓	✗
5	✓	✓	✓	✓	✗
6	✗				
7	✓	✗			
8	✗				
9	✓	✓	✓	✓	✗
10	✓	✓	✓	✗	

其中“✓”表示测试通过，“✗”表示测试时击穿。

由表 1, 表 2 发现在 LED 抗静电能力的机械模式测试中, 未辐照时, 击穿情况发生于 400 V; 在 500 V 电压下, 绝大部分 LED 被击穿。而经辐照后的 LED, 击穿发生于 300 V, 说明 LED 的抗静电能力在经过辐照后变弱。

经辐照后的 LED, 在半导体里面引进了深能级缺陷, 这样就使器件中的有效杂质浓度增加。根据击穿电压  $V_B$  与单边突变结轻掺杂一侧的浓度或者和线性缓变结的浓度梯度的关系, 当浓度增加或是浓度梯度增加时, 击穿电压会减小。因此由于 LEEBI 引起的有效杂质浓度增加使得击穿电压减小。

还研究了未辐照和辐照后的 LED 在人体模式下的抗静电能力测试。两组 LED 在实验条件下的一系列测试电压下, 都正常工作, 没有被击穿。但是经辐照的 LED, 出现了反向漏电流增大的情况, 表明继续增大人体模式下的测试电压, 可能会出现被击穿的现象。

### 3 结 论

采用地纳米系列加速器, 在标准大气压、普通空气氛围、常温的辐照氛围下, 对大功率 GaN 基 LED 进行了 10 kGy 剂量的 LEEBI 实验, 通过对比辐照前后的 LED 的电学性质和光学性质, 发现经过 LEEBI 的 LED 正向电压稍有减小, 发光强度平均提高 8.07%, 抗静电能力下降。在 GaN 材料中, 辐照引进的深能级缺陷中心使载流子寿命变小, 多子被去除, 正向电压减小; 同时使有效复合中心增多, 复合几率变大, 发光强度提高, 有效杂质浓度增大, 击穿电压变小。这对提高 LED 的发光效率、避免因辐射而使 LED 的抗静电能力减弱有一定的指导作用。

## 参 考 文 献

- 1 Carmine J. Salvo. Solid state light valve[J]. *IEEE Trans. Electron Devices*, 1971, **18**(9): 748~755
- 2 Rahman F. . Solid state lighting-A bright future[J]. *Electron. World*, 2006, **113**(1839): 30~34
- 3 Xie Wanling. Effects of high-temperature electron irradiation in n-GaN schottky barrier diode[D]. Changdu: Sichuan University, 2006. 8~14  
谢婉玲. n-GaN 肖特基势垒二极管的高温电子辐照效应[D]. 成都: 四川大学, 2006. 8~14
- 4 Luo Yi, Zhang Xianpeng, Han Yanjun *et al.*. Key technologies for solid state lighting[J]. *Laser & Optoelectronics Progress.*, 2007, **44**(3): 17~28  
罗 毅, 张贤鹏, 韩彦军 等. 半导体照明关键技术研究[J]. 激光与光电子学进展, 2007, **44**(3): 17~28
- 5 Gelhausen O. , Klein H. N. , Phillips M. R. *et al.*. Influence of low-energy electron beam irradiation on defects in activated Mg-doped GaN[J]. *Appl. Phys. Lett.* , 2002, **81**(20): 3747~3749
- 6 Cooper D. , Twitchett-Harrison A. C. , Midgley P. A. *et al.*. The influence of electron irradiation on electron holography of focused ion beam milled GaAs p-n junctions[J]. *Appl. Phys.* , 2007, **101**(9): 094508
- 7 Chernyak Leonid, Osinsky Andrei, Fuflyigin Vladimir *et al.*. Electron beam-induced increase of electron diffusion length in p-type GaN and AlGaIn/GaN superlattices[J]. *Appl. Phys. Lett.* , 2000, **77**(6): 875~877
- 8 Daisuke Morita, Masahiko Sano, Masashi Yamamoto *et al.*. Over 200 mW on 365 nm ultraviolet light emitting diode of GaN-free structure[J]. *Physical Status Solidi (A) Appl. Research* , 2003, **200**(1): 114~117
- 9 Pavesi M. , Rossi F. , Zanoni E. . Effects of extreme dc-ageing and electron-beam irradiation in InGaIn/AlGaIn/GaN light-emitting diodes[J]. *Semicond. Sci. Technol.* , 2006, **21**(2): 138~143
- 10 Wang R. X. , Xu S. J. , Fung S. *et al.*. Micro-Raman and photoluminescence studies of neutron-irradiated gallium nitride epilayers[J]. *Appl. Phys. Lett.* , 2005, **87**(3): 1~3
- 11 L. Polenta, Z. Q. Fang, D. C. Look. On the main irradiation-induced defect in GaN[J]. *Appl. Phys. Lett.* , 2000, **76**(15): 2086~2088
- 12 Sharshar K. A. A. , Rageh M. S. L. , Ashry M. . Characterization of electron beam and gamma irradiation in light emitting diodes[C]. Proceedings of the 15th International Conference on Microelectronics, 2003. 395~398