

文章编号:1673-9981(2016)03-0186-05

电流及温度应力对 LED 电致发光光谱特性的影响*

王 巧,刘宁炆,王君君,刘久澄,许毅钦,胡金花,陈志涛

广东省半导体产业技术研究院,广东 广州 510650

摘 要:在恒温变电流及恒流变温条件下,研究了 GaN 基蓝光单色芯片的电致发光光谱(EL)特性.结果表明:在电流应力作用下 EL 谱能量的相对增益大于 1,并且随着电流应力增加而不断变大,在长波波段相对增益与电流应力呈线性变化关系;在温度应力作用下,EL 谱能量的相对增益在短波波段小于 1,而在长波波段大于 1. 相对增益的这些变化趋势,与非平衡载流子不同的辐射跃迁行为有关.

关键词:电致发光光谱;电流应力;温度应力;相对增益

中图分类号:TN312.8

文献标识码:A

LED 具有节能环保、安全可靠及长寿命等特点,在室内照明、道路照明、景观装饰和背光显示等多个领域中获得了广泛地应用.随着人们对光源品质要求的不断提高,智能地、精确地调控光源的峰值波长、色温和色度等光谱参数等变得愈发重要.电流应力和温度应力对 LED 电致发光光谱(EL)特性具有直接而重要的作用,并最终影响着器件芯片的寿命^[1].电流应力作用下的载流子填充效应、量子限制 Stark 效应、载流子泄漏等因素,以及温度应力作用下的禁带宽度和非辐射复合率变化,这都将影响 EL 谱的峰值波长及发光能量密度,进而影响色度、色温及显色指数等光源品质^[2-3].林巧明等人^[4]通过对蓝光和红光 LED 的直流、脉冲光电特性测试,研究了热效应和极化效应对 EL 谱峰值波长的影响.罗毅等人^[5]通过改善器件总应变量和金属有机物化学气相淀积(MOVPE)工艺,研究了 InGaN/GaN 蓝绿 LED 的波长稳定性.然而,为了进一步调控 EL 特性,需要量化分析电流及温度应力对 LED 芯片 EL 谱整个发光波段能量的影响,而这方面的相关研究报道较少.

本文在恒温变电流及恒流变温条件下,研究了 GaN 基蓝光单色芯片的 EL 谱能量相对增益变化趋势,对于通过电流和温度应力调控 LED 芯片 EL 的特性具有参考意义.

1 实验部分

1.1 恒温变电流条件的光谱测量

将蓝光 LED 芯片固定在控温支架上,置于积分球内部.由控温支架将环境温度控制在 25℃,施加 80~720 mA 的脉冲驱动电流,电流间隔为 80 mA,占空比为 25%,使用 HAAS-2000 光谱仪测量获得芯片的恒温变电流条件的 EL 谱.在特定环境温度和工作电流下,LED 芯片结温 T_j 与工作电压 V_f 呈线性关系^[6]:

$$T_j = T_0 + \frac{V_f - V_0}{K_{VT}}. \quad (1)$$

图 1 为施加脉冲驱动电流与结温的变化关系图.从图 1 可见,通过控制环境温度并采用脉冲电流驱动,基本能够保持器件恒温.

收稿日期:2016--

* 基金项目:国家自然科学基金(1134048);广东省创新团队(2013C067);广东省特支计划(2014TQ01C707);广东省自然科学基金(2015A030310023);广东省重大科技专项(2014B010119003,2015B010112002);广东省应用型科技研发专项(2015B010129010);广东省公益研究与能力建设项目(2016B070701023).

作者简介:王巧(1987-),女,湖北荆门人,助理工程师,硕士.

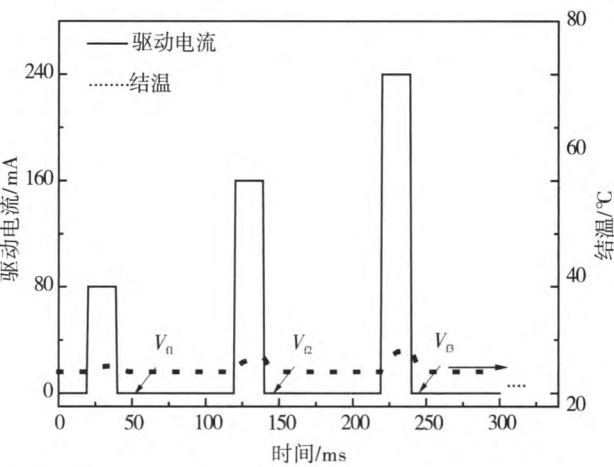


图 1 25 °C 下对 LED 施加的脉冲驱动电流和结温变化
Fig. 1 Driving current and junction temperature of LED at 25 °C

1.2 恒电流变温条件的光谱测量

将蓝光 LED 固定在控温支架上,置于积分球内,脉冲驱动电流固定为 350 mA,通过控温支架施

加 30~170 °C 的温度应力,温度间隔为 20 °C,采用 HAAS-2000 光谱仪测量记录各个温度下的 EL 谱.

2 结果与讨论

2.1 电流应力的影响

图 2 为恒温变电流条件 LED 芯片的 EL 谱及相对增益曲线. 图 2(a)是在恒温变电流条件下测试得到的 LED 芯片 EL 谱,电流范围是 40~800 mA,间隔 80 mA. 从图 2(a)可以看到,EL 谱随着电流应力增加而不断增强,峰值波长出现不十分明显的蓝移和红移现象,由 80 mA 下的 454.2 nm 蓝移到 400 mA 下 452.3 nm,再红移到 720 mA 下的 455.2 nm. 蓝移现象的发生是由于注入载流子对极化场的屏蔽及载流子填充效应,而红移现象是由于大注入条件下器件自发热导致的少量温度漂移. 理论上 LED 的 EL 谱呈对称的高斯分布^[7-8],而实验测量得到的谱线在峰值波长两端呈并不完全对称分布.

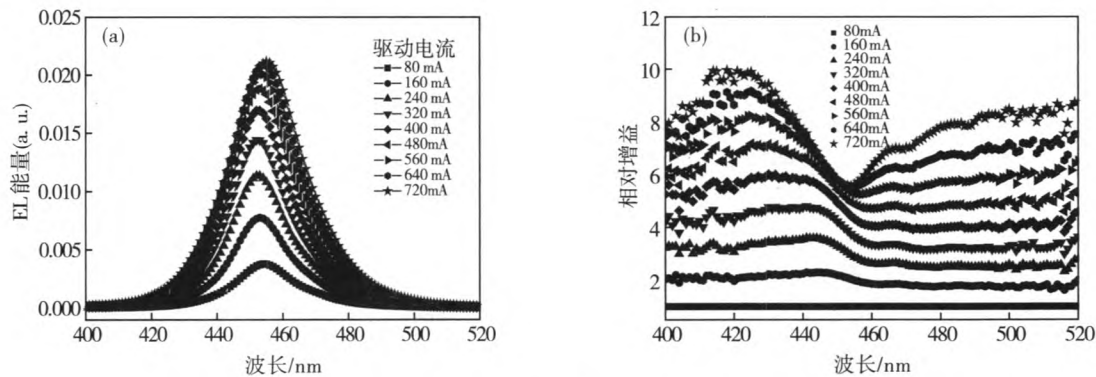


图 2 恒温变电流条件的 EL 谱(a)及相对增益(b)
Fig. 2 The electrical spectrum (a) and relative gain (b) under different driving currents at constant temperature

为了更好地研究这种不对称性,以及电流应力作用下 LED 的 EL 谱变化趋势,我们考察不同电流应力下 EL 谱之间的能量相对增益,相对增益 $A_I(\lambda)$ 的计算公式如下:

$$A_I(\lambda)=\frac{P_i}{P_0}.$$
 (2)

式(2)中: P_0 是注入电流为 I_0 时,在波长为 λ 处的基准 EL 光谱能量; P_i 是注入电流为 I_i 时,在相同波长 λ 处的光谱能量. 在本研究中,基准 EL 谱对应注入电流选取为 80 mA,经计算得到不同电流应力作用下 EL 谱之间的能量相对增益曲线(图 2(b)). 从图 2(b)可以看到,不同电流应力作用下的 EL 谱

能量的相对增益均大于 1,且随着电流应力增加而不断变大.

进一步研究不同波段相对增益随着注入电流的变化,得到各波段下相对增益与电流的关系曲线(图 3). 从图 3 可以看到:在短波波段 420~459 nm(图 3(a)),随着注入电流的增加,相对增益逐渐饱和;在长波波段 460~520 nm(图 3(b)),相对增益随着电流增加基本都呈线性增长,且波长越长,线性斜率越大. 这是因为位于高能级的非平衡态注入载流子易向下方能级进行带内跃迁,因此高能级对应的短波辐射发光相对增长缓慢,而下方能级对应的长波辐射发光增长较快,且波长越长(能级越靠下方),增长

速率越快.对于相对增益与电流应力具有线性关系的长波区域,可对LED芯片EL谱进行调控.如知道了驱动电流大小 I_j ,则由线性关系曲线可以求得 I_j 对应的增益 $A(I_j,\lambda)$,进而由式(2)求得 P_j ;或者知道了需求的EL谱能量 $P(\lambda,I_j)$,由式(2)计算出

需求的增益大小 $A(I_j,\lambda)$,再通过线性关系,求得需要施加的驱动电流大小 I_j 值.对于非线性关系的短波区域,需要更复杂一些模型才能进行类似的调控,将在以后的研究中再讨论.

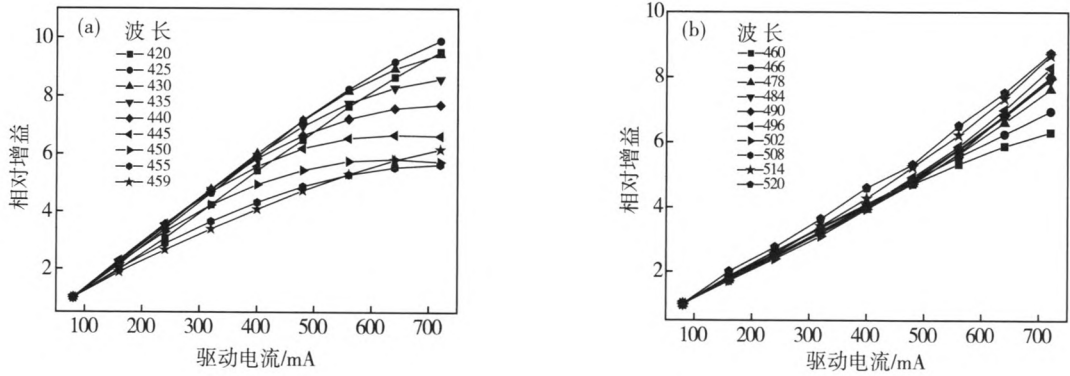


图3 恒温变电流条件的相对增益随着电流应力的变化曲线
(a)420~459 nm;(b)460~520 nm

Fig.3 Relative gain vs driving current, in range of under different driving currents at constant temperature

2.2 温度应力的影响

图4为恒流变温条件的EL谱.图4(a)是在恒流变温条件下测试得到的LED芯片EL谱,选取的电流范围是30~170℃,间隔20℃.从图4(a)可见:EL谱随着温度应力增加而不断变小,同时峰值

波长逐渐红移由452.1 nm到458.6 nm,EL谱能量的降低是由于温度应力增加后更多缺陷被激活,使非辐射复合增强,导致发光减弱;峰值波长红移现象对应着温度升高引起的禁带宽度变小.

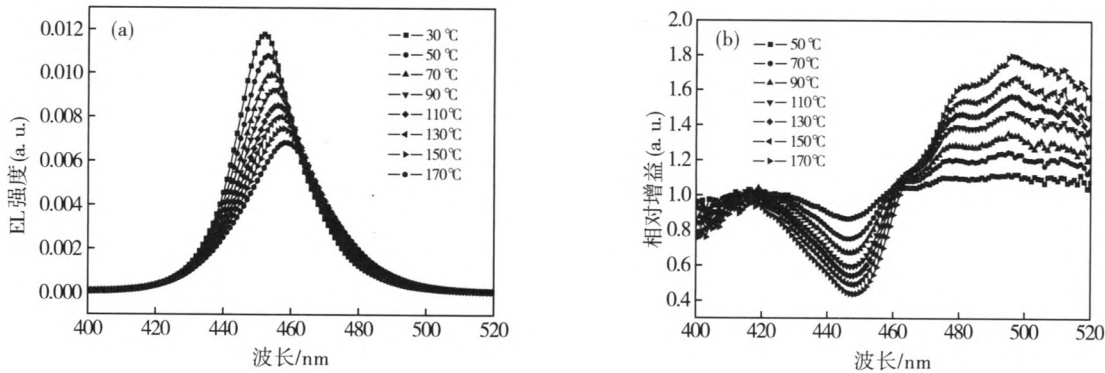


图4 恒流变温条件的EL谱及相对增益
(a)EL谱;(b)相对增益

Fig.4 The electrical spectrum and relative gain under different temperatures at constant driving current
(a) electrical spectrum;(b) relative gain

为了更好地研究温度应力对LED芯片EL谱的影响,考察不同温度应力下EL谱之间的能量相对增益,相对增益 $A_T(\lambda)$ 的计算公式如下:

$$A_T(\lambda)=\frac{P_j}{P_0}.$$

(3)

式(3)中, P_0 是温度为 T_0 时基准EL谱在波长为 λ 处的光谱能量, P_j 是温度为 T_j 时在相同波长 λ 处的光谱能量.在本研究中,基准EL谱对应温度选取为

30 ℃,计算得到不同温度应力作用下 EL 谱之间的能量相对增益曲线(图 4(b)).从图 4(b)可以看到:温度应力作用下,短波波段及峰值附近 EL 谱能量的相对增益均小于 1,且随着温度应力增加而不断变小;长波波段 EL 谱能量的相对增益大于 1,且随着温度应力增加而不断变大.

图 5 为恒流变温条件的相对增益随着温度的变化曲线.从图 5(a)可见,在短波波段曲线斜率为负值,而在长波波段曲线斜率为正值.出现这种变化趋势是因为,随着温度上升 LED 量子阱更多的缺陷被

激活,在注入不变的情况下,更多载流子被缺陷相关的能级俘获,因此缺陷相关的长波波段发光增强,而短波波段发光减弱.在波段 480~485 nm 内(图 5(b)),相对增益随着温度的变化曲线呈线性关系.在温度应力作用下,相对增益随着温度的变化曲线的线性窗口非常小,同样可以对 LED 芯片 EL 谱进行简单的调控,而非线性窗口的调控需要更复杂的参数模型.因此,相比之下恒温变电流的驱动模式更适合对 LED 芯片 EL 谱进行调控.

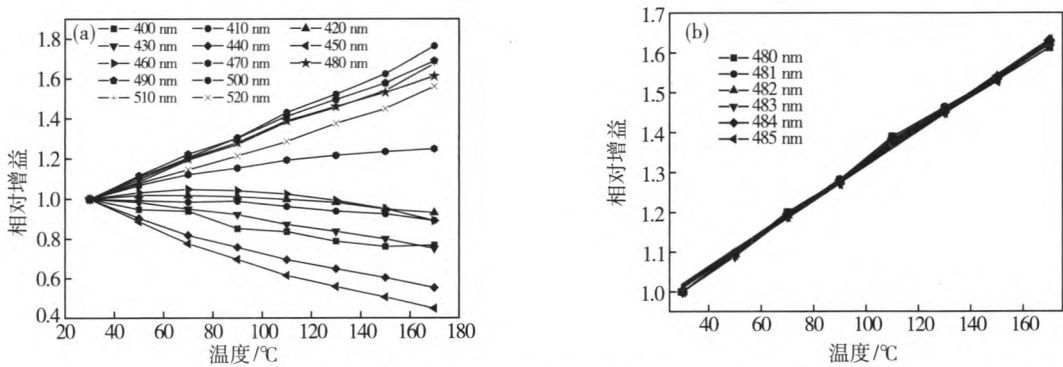


图 5 恒流变温条件的相对增益随着温度的变化曲线
(a)400~520 nm;(b)480~485 nm

Fig.5 Relative gain Vs temperature under different temperatures at constant driving current

3 结 论

在恒温变电流及恒流变温条件下,研究了 GaN 基蓝光单色芯片的 EL 谱能量相对增益变化趋势.结果发现:在电流应力作用下 EL 谱能量的相对增益大于 1,并且随着电流应力增加而不断变大;在温度应力作用下,EL 谱能量的相对增益在短波波段小于 1,而在长波波段大于 1.相对增益的这些变化趋势与非平衡载流子不同的辐射跃迁行为有关,相对增益随着电流和温度应力的线性变化关系区域内可以直接用于调控 LED 芯片 EL 特性.

参考文献:

[1] 余彬海,王焱浩.结温与热阻制约大功率 LED 发展[J].

发光学报,2005,26(6):764-766.

[2] 丁天平,郭伟玲,崔碧峰,等.温度对功率 LED 光谱特性的影响[J].光谱学与光谱分析,2011,31(6):1450-1453.
[3] 王建,黄先,刘丽.温度和电流对白光 LED 发光效率的影响[J].发光学报,2008,29(2):358-365.
[4] 林巧明,郭霞,顾晓玲,等. GaN 基蓝光发光二极管峰值波长偏移的研究 [J]. 半导体光电, 2007, 28 (3): 2720-2723.
[5] 罗毅,郭文平,邵嘉平,等. GaN 基蓝光发光二极管的波长稳定性研究[J].物理学报,2004,53(8):2720-2723.
[6] 费翔,钱可元,罗毅,等.大功率 LED 结温测量激发光特性研究[J].光电子激光,2008,19(3):289-293
[7] 朱继亦,任建伟,李葆勇,等.基于 LED 的光谱可调光源的光谱分布合成[J].发光学报,2008,19(3):289-293.
[8] 杨武,何国兴.LED 和荧光粉光谱数学模型[J].应用激光,2012,32(6):532-537.

The effect of current and temperature stress on the electrical spectral characteristics of LED

WANG Qiao, LIU Ningyang, WANG Junjun, LIU Jiucheng, XU Yiqin, HU Jinhua, CHEN Zhitao
Guangdong Research Institute of Semiconductor Industrial Technology, Guangzhou 510650, China

Abstract: The spectrum characteristics of GaN-based blue monochrome electroluminescent (EL) are studied under the condition of constant temperature and variable current, constant current and variable temperature. It is found that the relative gain of EL spectrum energy is larger than one under the current stress, and the relative gain increases with the current stress. Moreover, the relative gain of the long wave band is proportional to the current stress. Under the influence of temperature stress, the relative gain of EL spectrum energy is less than one in the short wave band, and the wavelength is greater than one in the long wave band. The relative gain of these changes is attributed to the different radioactive transition behavior of non equilibrium carriers.

Key words: electrical spectrum; current stress; temperature stress; relative gain