

# 大电流(直流)冲击试验对 III-V 族氮化物异质结深电子态的影响\*

卢励吾<sup>a</sup> 张砚华<sup>a</sup> Ge Weikun<sup>b</sup> W. Y. Ho<sup>c</sup>

Charles Surya<sup>c</sup> K. Y. Tong<sup>c</sup>

(a 中国科学院半导体材料科学开放实验室 北京 100083)

(b 香港科技大学物理系 香港九龙)

(c 香港理工大学电子工程系 香港九龙)

**摘要** 利用电流-电压( $I$ - $V$ )、电致发光(EL)和深能级瞬态傅里叶谱(DL TFS)技术研究 III-V 族氮化物基异质结深电子态。观察到大电流(直流)冲击引起电流-电压和电致发光特性的弛豫。DL TFS 研究表明, 电流冲击之前, 样品存在一个位于导带下 1.1eV 处深能级(E1), 它具有  $2.7 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$  浓度和  $5 \times 10^{-14} \text{cm}^2$  俘获截面。经电流冲击(77K, 200mA 和 40min)后, E1 浓度为  $4.21 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$ , 约增加了 2 倍。实验结果表明 E1 浓度的增加与样品  $I$ - $V$ 、EL 特性弛豫是一致的。

**PACC:** 7155, 7280E, 7360

近来, 宽带隙 III-V 族氮化物引起人们极大的关注。其禁带宽度从 InN 的 1.9eV 到 AlN 的 6.2eV, 使它们在光电子领域里有巨大的应用潜力, 特别是从蓝光到紫外区域<sup>[1]</sup>。在高温和大功率器件中它们也有重要的应用<sup>[2]</sup>。但遗憾的是, 目前还没有理想的衬底材料用于 III-V 族氮化物薄膜生长。当前使用的衬底材料有 (0001) 蓝宝石、SiC、GaAs 和 Si<sup>[3,4]</sup>。尤其是在 (0001) 蓝宝石上可生长出较好的外延薄膜, 也适用于制备较大直径衬底材料, 与 SiC 相比有较低的成本。由于外延薄膜和衬底晶格常数和热膨胀系数不匹配, 在蓝宝石衬底上生长 III-V 族氮化物薄膜, 存在明显的缺陷和微晶、堆垛缺陷和深能级等。这些缺陷对异质结的光学和电学行为有明显的影响。因此, 研究其产生的条件及相关的物理性质是非常重要的。

本文系统研究大电流冲击试验对 InGaN/AlGaN 异质结深电子态的影响。

蓝色光发射二极管(LEDs)样品是由 Nichia Chemical Industries Ltd 制备的<sup>[5]</sup>。使用 Bio-Rad DL 8000 系统进行高灵敏度 [ $10^{-7} (N_D - N_A) < N_T < 10^{-5} (N_D - N_A)$ ] 深能级瞬态谱测量。DL TFS 技术首先由 Weiss 和 Kassing<sup>[6]</sup> 提出。它是一种利用温度函数的电容瞬态进行

\* 国家自然科学基金重点资助项目(批准号: 69789601), 中国科学院半导体材料科学开放实验室和香港科技大学资助项目。

卢励吾 男, 1946 年出生, 中国科学院半导体材料科学开放实验室材料物理课题组组长, 副研究员, 长期从事半导体超晶格、薄层材料、宽禁带半导体材料中杂质与缺陷研究工作。

1998-03-30 收到, 1998-08-17 定稿

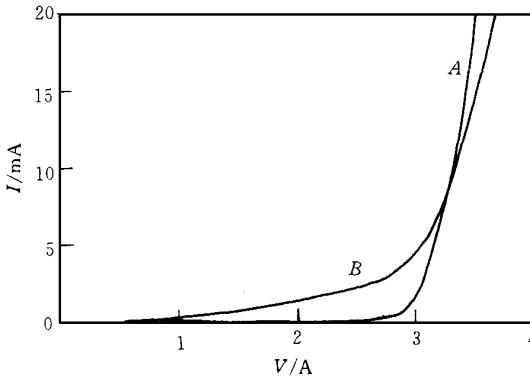


图1 InGaN/AlGaIn LED 样品的  $I-V$  谱  
 曲线A: 电流冲击试验前;  
 曲线B: 电流冲击试验(77K, 200mA 和 40min)后

(E1), 它的浓度为  $2.7 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ , 俘获截面为  $5 \times 10^{-14} \text{ cm}^2$ . 当  $V_R = -6.0\text{V}$  和  $V_P = 1.0\text{V}$  时, E1 朝着低温方向移动, 这归结于电场增强电子发射的结果, 表明 E1 深能级属于电子陷阱. 值得注意的是我们还观察到具有较低能级位置的第二个深陷阱, 然而由于测量温度限制, 无法观察到它的 DL TFS 讯号, 因此不能精确地计算其能级位置, 这里我们集中分析 E1 深能级

大电流冲击试验是在 77K 下完成的. 使用的电流范围为 100~200mA. 电流冲击(200mA, 40min)后观察到明显的  $I-V$  特性弛豫, 如图 1 曲线 B 所示. 由图可见该曲线

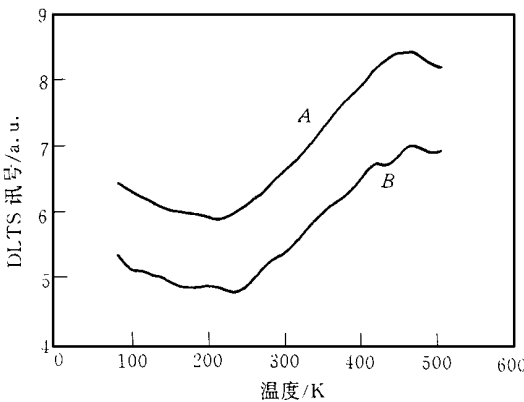


图3 InGaN/AlGaIn LED 样品的 DL TFS 谱  
 曲线A: 电流冲击试验前,  $V_R = -5.0\text{V}$ ,  $V_P = 1.0\text{V}$ ;  
 曲线B: 电流冲击试验(77K, 200mA 和 40min)后,  
 $V_R = -5.0\text{V}$ ,  $V_P = 1.0\text{V}$ .

傅里叶分析的 DL TFS 技术. 同传统的率窗和锁相技术相比, 它具有较高的灵敏度和能量分辨率

大电流冲击试验之前, 样品的  $I-V$  和电致发光(EL)特性分别如图 1 和图 2 曲线 A 所示. 为表征样品深能级特性, DL TFS 测量是在不同的反向偏压( $V_R$ )和固定的 IV 正向注入周期脉冲( $V_P$ )条件下完成, 测量温度范围为 77~500K.

电流冲击试验之前, InGaN/AlGaIn 异质结 LED 样品的 DL TFS 数据如图 3 曲线 A 所示. 在  $V_R = -5.0\text{V}$  和  $V_P = 1.0\text{V}$  条件下, 观察到一个位于导带下 1.1eV 的深能级

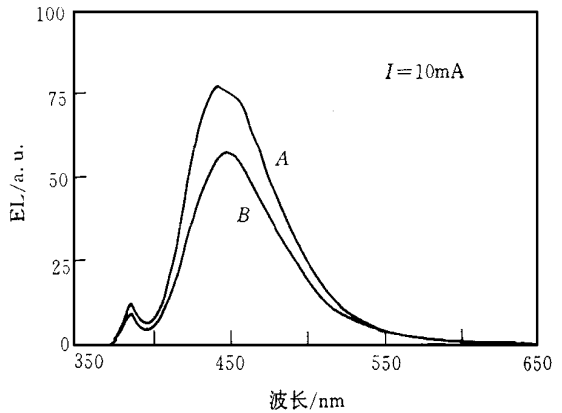


图2 InGaN/AlGaIn LED 样品的 EL 谱  
 曲线A: 电流冲击试验前;  
 曲线B: 电流冲击试验(77K, 200mA 和 40min)后

发生了明显的畸变. 同样大电流冲击试验后的电致发光特性也受到明显的影响, 如图 2 曲线 B 所示. 曲线形状与未受电流冲击样品相同, 唯 EL 发射峰强度明显地减弱. 这可能是由于大电流冲击试验后样品里非辐射中心增加的结果.

电流冲击试验后获得的样品 DL TFS 谱如图 3 曲线 B 所示. 其测量条件与曲线 A 相同( $V_R = -5.0\text{V}$  和  $V_P = 1.0\text{V}$ ). 由图可见具有  $4.21 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$  浓度和  $5 \times 10^{-14} \text{ cm}^2$  俘获截面的 E1 能级 ( $E_c - 1.1\text{eV}$ ). DL TFS 结果证明电流冲击试验后, E1 浓度比电流冲击试验前大约增加了 2 倍. DL TFS 结果与

$I$ - $V$  和 EL 特性弛豫是一致的  $I$ - $V$  和 EL 特性弛豫与样品里非辐射中心浓度增加有一定的内在联系

结论: 本工作表明大电流冲击明显地导致 E1 电子陷阱浓度的增加 在本实验条件范围内除 E1 电子陷阱外没有观察到其它深能级存在 E1 可能在样品的  $I$ - $V$  和 EL 特性弛豫中发挥重要的作用 实验结果还表明可能存在另一个较浅能级陷阱, 由于测量温度范围的限制, DL TFS 不能精确地确定其能级位置 为进一步研究该能级特性, 我们正在扩展 DL TFS 系统温度测量范围

## 参 考 文 献

- [ 1 ] S. Strite and H. Morkoc, J. Voc. Sci Technol , 1992, **B10**: 1237.
- [ 2 ] N. Mohammad, A. rnel A. Salvador, H. Morkoc, Proc IEEE, 1996, **83**: 1036
- [ 3 ] Shang Yuan Ren, John D. Dow , Appl Phys Lett , 1996, **69**: 251.
- [ 4 ] A tsushi Nakadaira, Hidenao Tanaka, J. Electron Mater , 1997, **26**: 320
- [ 5 ] S Nakamura and G Fasol, The Blue Laser Diode, GaN Based Light Emitters and Lasers, Springer, Berlin, Germany, 1997.
- [ 6 ] S Weiss, R. Kassing, Solid-State Electron , 1989, **31**: 1733

## Deep Electron States Generation in III-V Nitride Heterojunctions Due to High DC Current Stressing

Lu Liwu<sup>a</sup>, Zhang Yanhua<sup>a</sup>, Ge Weikun<sup>b</sup>,  
W. Y. Ho<sup>c</sup>, Charles Surya<sup>c</sup>, K. Y. Tong<sup>c</sup>

(a) *Laboratory of Semiconductor Material Sciences, Institute of  
Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083*

(b) *Department of Physics, The Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong*

(c) *Department of Electronic Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong*

**Abstract** Deep levels generation in III-V nitride based heterojunctions as a result of high current stressing is studied by Deep Level Transient Fourier Spectroscopy (DL TFS) technique. The DL TFS experiments are conducted from 77 to 500K. The devices are stressed using DC currents between 100mA and 200mA. Significant degradation in the  $I$ - $V$  characteristics and the electroluminescence are observed. Our studies show that prior to the DC stressing a deep level, E1, is detected at 1.1eV below  $E_c$  with a concentration of  $2.7 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$  and a capture cross section of  $5 \times 10^{-14} \text{ cm}^2$ . Subsequent to high DC current stressing at 200mA, the concentration of E1 is seen to increase to  $4.21 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ . The increase in the concentration of the deep level is believed to play a role in the degradation in the  $I$ - $V$  and electroluminescence characteristics.

**PACC:** 7155, 7280E, 7360