

InGaN/GaN 单量子阱绿光发光二极管*

王晓晖 刘祥林 陆大成 袁海荣 韩培德 汪 度

(中国科学院半导体研究所 半导体材料科学开放实验室, 北京 100083)

摘要: 采用金属有机物气相外延方法, 研制了 InGaN/GaN 单量子阱结构的绿光发光二极管。测量了其电致发光光谱, 及发光强度与注入电流的关系。室温 20mA 的注入电流时, 发光波长峰值为 530nm, 半高宽为 30nm。注入电流小于 40mA 时, 发光强度随注入电流单调递增。

关键词: 单量子阱; 绿光 LED; MOVPE

PACC: 6865; 7865; 8115H

中图分类号: TN312⁺.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-4177(2000)07-0726-03

InGaN/GaN Single Quantum Well Structures Green Light-Emitting Diodes*

WANG Xiao-hui, LIU Xiang-lin, LU Da-cheng, YUAN Hai-rong,
HAN Pei-de and WANG Du

(Laboratory of Semiconductor Materials Science, Institute of Semiconductors,
The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

Received 21 April 2000

Abstract: InGaN green LEDs with single quantum well structures based on III-V nitrides were grown by MOVPE on sapphire substrates. The peak wavelength and the full width at half-maximum of the electroluminescence are 530nm and 30nm, respectively. This is first report on single quantum well GaN based green LEDs in China.

Key words: SQW; green LED; MOVPE

PACC: 6865; 7865; 8115H

Article ID: 0253-4177(2000)07-0726-03

* 国家“863”高技术计划资助项目(863-715-001-0010) [Project Supported by National High Technology (863) Research & Development Program of China Under Contract No. 863-715-001-0010].

WANG Xiao-hui(王晓晖) female, was born in 1969. She is currently associate researcher. Her research areas are III-V nitrides grown by MOVPE, technologies of LED device.

1999-04-21 收到

1 引言

GaN 及其合金都是直接带隙半导体材料, 室温下禁带宽度从 1.9eV 至 6.2eV 变化, 发射波长覆盖了从红光到近紫外的光谱范围, 是制造发光器件特别是近紫外到绿光波段的一种理想材料, 这是当今半导体研究领域的热点之一。自从日本 Nichia 公司于 1993 年率先研制出亮度为坎德拉级的 InGaN/GaN 双异质结(DH) LED^[1], 此后不断取得进展, 于 1995 年研制出 InGaN/GaN 单量子阱(SQW) 蓝光(450nm) 和绿光(525nm) LED, 并实现了蓝、绿光 LED 的商品化^[2,3]。国内目前已研制出 InGaN/GaN 蓝光 DH LED^[4], 但量子阱结构的 GaN LED 尚未见报道。我们利用 MOVPE 方法首次研制成功 SQW 结构的 InGaN/GaN 绿光 LED, 其发光峰值波长为 530nm, 半峰宽 30nm。本文报道 SQW GaN LED 的生长及初步测试结果。

2 实验

我们在自制的 MOVPE 设备上生长 InGaN/GaN SQW 材料。所用衬底为直径 38mm 的(0001) 晶向的蓝宝石(α -Al₂O₃), 在装炉前经过清洁及腐蚀处理^[5]。分别用三甲基镓(TMGa), 乙基二甲基铟(EDMIn) 作 III 族源, NH₃ 作 V 族源, 二茂镁(Cp₂Mg) 和硅烷(SiH₄) 分别作 p 型和 n 型的掺杂剂。改变 InGaN 的生长条件, 可以得到室温下的光致发光(PL) 谱从 370nm 到 530nm 的 InGaN 外延层。LED 器件结构的生长过程如下: 首先在 550°C 生长一个厚度为 20nm 的 GaN 缓冲层, 然后升温到 1050°C, 生长 n-GaN 层, 厚度约为 3μm。接着降低生长温度至 850°C, 生长一个低组分的 n-In_{0.02}Ga_{0.98}N 薄层, 厚度约为 200nm。随后分别生长约 10nm 的 GaN 垒层和 3nm 的 InGaN 阵层。最后升高温度到 1050°C, 生长 0.5μm 厚的 p-GaN 层, 作为 p 电极的欧姆接触层。生长结束后, 将样品在 N₂ 气氛下退火, 以便得到电阻率较低的 p-GaN 层。该器件结构中, n-GaN 的电子浓度是 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, p-GaN 的空穴浓度是 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 。

3 分析与讨论

图 1 是 InGaN/GaN SQW LED 的电致发光(EL) 光谱。室温正向偏置下, 样品发出明亮且纯正的绿色光。当注入电流为 20mA 时, 峰值波长 530nm, 半高宽为 30nm。与我们以前得到的 InGaN 掺(Zn, Si) 的 DH 绿光 LED 的 EL 谱(540nm, 半高宽 70nm) 相比^[4], SQW LED 的 EL 谱的半高宽远小于 DH LED 的半高宽。因为 DH LED 的发光是 InGaN 有源区中的杂质发光, Zn 杂质能级是位于 InGaN 价带上 0.4—0.5eV 处深能级^[6], 所以 DH LED 的 EL 谱半高宽较宽, 且发光强度由于杂质能级的饱和而受到限制。而 SQW LED 的发光是 InGaN 导带和价带中子带之间的发射, 因而谱线较窄, 发光效率高, 这将大大提高器件的色纯度及发光强度。这一结果也与 Nichia 公司的报道一致^[3]。

采用与有源区相同的生长条件, 生长 0.3μm 厚的 InGaN 无应变单层, 室温下 PL 谱如图 2 所示, 峰值波长为 488nm。SQW 结构 LED EL 谱的峰值能量比 InGaN 单层 PL 谱的峰值能红移了约 196meV。Nakamura 等人也曾报道过 SQW LED 的 EL 谱与无应力下 InGaN 层 PL 谱之间能产生 170—190meV 红移的现象^[2,3]。他们把这

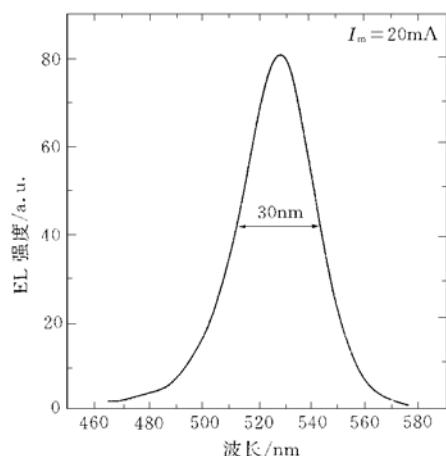


图 1 SQW LED 的电致发光光谱

FIG. 1 EL Spectra of SQW Green LED at Forward Current of 20mA

种红移归因于有源区中的量子尺寸效应、激子效应以及在阱层、垒层之间的晶格失配和热失配产生的应变效应共同作用的结果, 其中起主要作用的是阱层、垒层之间的热胀系数不同而产生的张应变。而III族氮化物属无对称中心的六方晶系, 具有较显著的压电性^[6]。失配造成的应变引起极化效应, 在 InGaN 阵层产生一个压电场, 导致能带倾斜, 致使有效带隙变窄。

图 3 是室温下 SQW LED 的发光强度随注入电流的变化关系。室温下, 当注入小于 40mA 时, 光强随注入电流的增大单调递增; 当注入大于 40mA 时, 光强趋于饱和。这可能是因为探针与样品不是良好的欧姆接触, 热效应造成了发光强度的饱和现象。实际上, 商品 LED 的法向输出光强在大电流下也会由于结温的升高偏离线性而趋于饱和。我们曾将日亚公司的 LED 用 0°C 的水冷却, 发现光强与电流的线性区扩大。

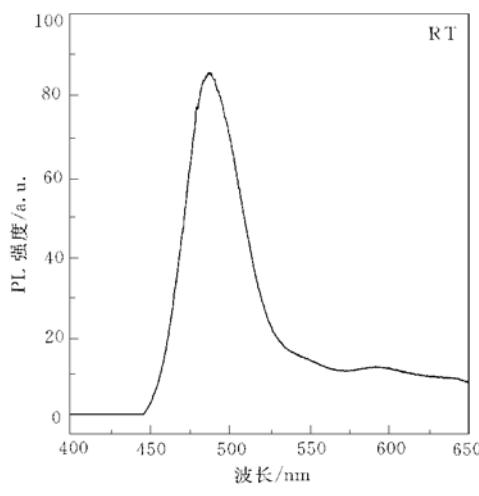


图 2 无应变单层 InGaN 室温下的光致发光谱

FIG. 2 PL Spectra of Stress Free InGaN Film
at Room Temperature

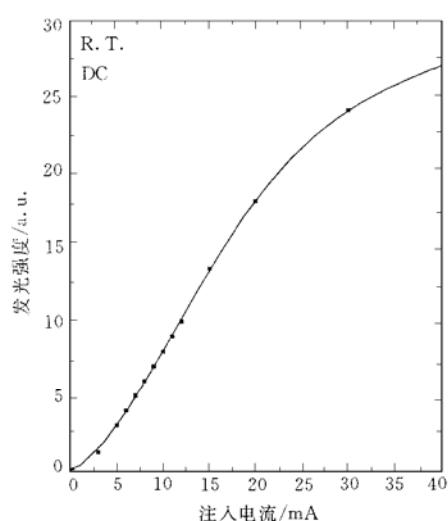


图 3 SQW LED 的发光强度随注入电流的变化关系

FIG. 3 Luminous Intensity of SQW Green LED
Versus Forward Current

4 结论

采用 MOVPE 方法, 在蓝宝石衬底上, 研制出 InGaN/GaN 单量子阱结构的绿光 LED。室温下, 在 20mA 的正向偏置电流下, 发光波长峰值在 530nm, 半高宽为 30nm。当注入电流小于 40mA 时, 发光强度随注入电流单调递增。这是目前国内首次有关 InGaN 单量子阱结构的绿光 LED 的报道。

致谢 感谢中国科学院半导体研究所樊志军同志提供的 PL 谱测量。

参 考 文 献

- [1] S. Nakamura, T. Mukai and M. Senoh, Appl. Phys. Lett., 1994, **64**(13): 1687—1689.
- [2] S. Nakamura, M. Senoh, N. Iwasa and S. Nagahama, Appl. Phys. Lett., 1995, **67**(13): 1868—1870.
- [3] S. Nakamura, M. Senoh, N. Iwasa and S. Nagahama, Jpn. J. Appl. Phys., 1995, **34**(7A): L797—L799.
- [4] 陆大成, 韩培德, 刘祥林, 王晓辉, 等, 半导体学报, 2000, **21**(4): 414—416 [LU Dacheng, HAN Peide, LIU Xianglin, WANG Xiaohui et al., Chinese Journal of Semiconductors, 2000, **21**(4): 414—416(in Chinese)].
- [5] 王晓晖, 刘祥林, 汪度, 陆大成, 半导体学报, 1997, **18**(11): 867—871 [WANG Xiaohui, LIU Xianglin, WANG Du, LU Dacheng, Chinese Journal of Semiconductors, 1997, **18**(11): 867—871(in Chinese)].
- [6] A. Hangleiter, J. S. Im, H. Kollmer, S. Heppel, J. Off and F. Scholz, MRS Internet Journal of Nitride Semiconductor Research, 1998, **3**(A 15): <http://nsr.mij.mrs.org/3/15/complete/html>.