

# 低压 MOVPE 外延生长 GaN 膜的光致发光激发谱研究

段家祗 张伯蕊 秦国刚

(北京大学物理系 北京 100871)

张国义 童玉珍 金泗轩 杨志坚

(北京大学物理系 介观物理重点实验室)

姚光庆

(北京大学化学系 北京 100871)

**摘要** 对用低压 MOVPE 法生长的非掺 GaN 外延膜,在其光致发光谱峰位 370nm、590nm 和 740nm 附近测量了光致发光激发(PLE)谱.对于 590nm 和 740nm 附近的发光来说,各样品的 PLE 峰都位于 360nm 处,而对于 370nm 发光来说,大部分样品 PLE 峰位于 280nm 处,而有的样品却位于 260 与 300nm 两个波长处,对这些结果进行了讨论.

PACC: 7855

## 1 引言

GaN 是一种宽直接带隙半导体材料.从七十年代起就有人对它的光学特性作了研究<sup>[1~5]</sup>.理解 GaN 材料的发光过程对于它在光电器件等方面的应用是极为重要的.目前人们对 GaN 材料的发光机理还不十分清楚.随着晶体质量的改进和研究的深入,许多新的现象不断被发现.1994 年 Nakamura<sup>[6]</sup>首先研制出了 GaN 系双异质结结构的蓝色发光二极管, GaN 材料得以实用,引起了人们对 GaN 材料研究的更大兴趣.

Monemar<sup>[3]</sup>曾报道了在光致发光(PL)谱 2.7eV 发光峰处测量的光致发光激发(PLE)谱,其峰位位于 3.37eV.本文报道了在 PL 谱峰位 370nm (3.35eV)、590nm (2.10eV) 和 740nm (1.68eV) 处测量的 PLE 谱,得到一些新的结果.

段家祗 女,1944 年生,副教授,从事教学:普通物理实验课,从事科研:半导体材料光学性质的研究  
姚光庆 女,1945 年生,副教授,从事教学:无机化学课,从事科研:无机固定发光材料的研究  
1996 年 1 月 10 日收到初稿,1996 年 5 月 1 日收到修改稿

## 2 实验和结果

实验所用样品为非掺 GaN 外延膜. 样品制备的工艺简述如下: 采用低压 MOVPE 系统, 应用 TMGa,  $\text{NH}_3$  作为 Ga 源和 N 源, 高纯  $\text{H}_2$  作为载气, (0001) $\text{Al}_2\text{O}_3$  作为衬底. GaN 外延生长过程中反应室压力为  $5.3 \times 10^3 \text{Pa}$ , 采用两步生长法, 即先在  $550^\circ\text{C}$  生长 25nm GaN 作为过渡层, 然后将衬底温度提高到  $1030^\circ\text{C}$ , 生长 GaN 外延层, 厚度为  $1.5 \sim 2.0 \mu\text{m}$ .

样品的 PL 和 PLE 谱在室温下用日立 850 荧光光谱仪测量. 所有光谱均经光谱响应修正.

样品的霍尔迁移率和载流子浓度由霍尔系数及电导率测量得到, 表 1 列出其中四个典型样品的数据.

从 PL 谱(图 1)可见, 上述四个样品在 370nm 波长附近、400nm 附近、590nm 附近及 740nm 附近, 均有发光带. 其中样品 N-183 的 PL 谱与其它样品的不同在于: 其 370nm 带边峰和 735nm 发光峰均较强, 而其它样品 590nm 的发光峰明显较其它峰强. 样品 N-183, 302 和 300 的带边 PL 峰均位于  $\sim 370\text{nm}$ , 而 N-226 的带边峰波长略长, 位于  $\sim 380\text{nm}$ . 各发光峰的半

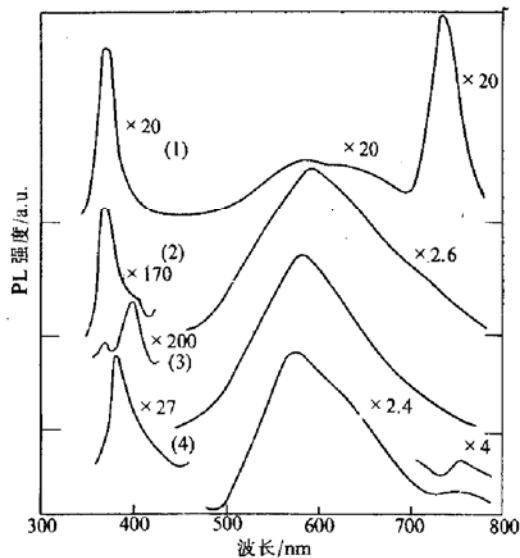


图 1 室温下样品 N-183, N-302, N-300 和 N-226 分别标记为(1)、(2)、(3)和(4)的光致发光谱

表 1

| 样品号   | 厚度/<br>$\mu\text{m}$ | 迁移率/<br>$(\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$ | 载流子浓度/<br>$\text{cm}^{-3}$ |
|-------|----------------------|---|----------------------------|
| N-183 | 1.8                  | 71  | $1.9 \times 10^{19}$       |
| N-302 | 1.9                  | 45  | $1.2 \times 10^{19}$       |
| N-300 | 1.7                  | 28  | $1.5 \times 10^{18}$       |
| N-226 | 1.2                  | 23  | $1.5 \times 10^{18}$       |

高宽分别为  $0.18\text{eV}$  ( $\sim 370\text{nm}$  峰)、 $0.46\text{eV}$  ( $\sim 590\text{nm}$  峰)和  $0.09\text{eV}$  ( $\sim 740\text{nm}$  峰).

上述四个样品的 PLE 谱见图 2, 其峰位列于表 2.

表 2

| 监测波长<br>/nm | PLE 谱峰位/nm |       |       |          |
|-------------|------------|-------|-------|----------|
|             | N-183      | N-302 | N-300 | N-226    |
| 370         | 280        | 280   | 285   | /        |
| 380         | /          | /     | /     | 260, 300 |
| 590         | 360        | 360   | 360   | 360      |
| 735         | 360        | *     | *     | /        |
| 750         | /          | *     | *     | 360      |

\* 样品 N-302 和 300 的 PL 谱中  $\sim 740\text{nm}$  峰太弱, 未作 PLE 测量.

## 3 讨论

采用 X 射线衍射和高能电子衍射 (RHEED) 方法测定样品为纤锌矿六角晶系结构即  $\alpha$ -GaN, 其室温下禁带宽度为  $3.4 \sim 3.5\text{eV}$ <sup>[1,3,7,8]</sup>. 本文观察到的 PL 谱中几个发光带都已有报道<sup>[1~5,7~13]</sup>. 位于带边 370nm 附近的发光峰是浅施主到价带的辐射复合所致, 浅施主的来源

是氮空位和其它晶格缺陷;  $\sim 590\text{nm}$  宽发光带来源于导带到杂质碳受主能级的辐射复合; 而  $\sim 740\text{nm}$  发光峰来源于深能级.

文献[3]已报道蓝光( $2.7\text{eV}$ )发射的 PLE 谱. 我们在各个样品的 PL 峰位处, 即  $370\text{nm}$  (对于样品 N-226 为  $380\text{nm}$ ),  $590\text{nm}$ ,  $735\text{nm}$  (N-183) 和  $750\text{nm}$  (样品 N-226) 进行了 PLE 谱的测量. 结果表明, 带边激发引起了  $590\text{nm}$  与  $\sim 740\text{nm}$  发光. 而  $280\text{nm}$  附近激发发生在比直接带隙更高的能量处. 我们还未见文献有关 PLE 谱峰能量高于带隙能量的报道. 关于  $\alpha\text{-GaN}$  能带结构已有一些研究, 可以参阅 Perlin 等<sup>[14]</sup>、Lu 等<sup>[15]</sup>及 Wright 等<sup>[16]</sup>的报道. 根据  $\alpha\text{-GaN}$  的能带结构, 我

们对上述实验结果提出了一个可能的解释:  $280\text{nm}$  PLE 峰可能对应于布里渊区非  $\Gamma$  点的其它对称点, 例如 A 点, 上的带-带激发, 被激发的电子、空穴分别运动至  $\Gamma$  点的导带底和价带顶, 并复合发光. 在样品 N-226 中可能存在非各向同性的应力, 使禁带宽有所变化, 相应地, 带边峰由一般样品的  $370\text{nm}$  移动至  $\sim 380$ . 在非各向同性应力作用下, 简并能带分裂, 导致  $280\text{nm}$  PLE 峰分裂为  $260\text{nm}$  与  $300\text{nm}$  两个峰.

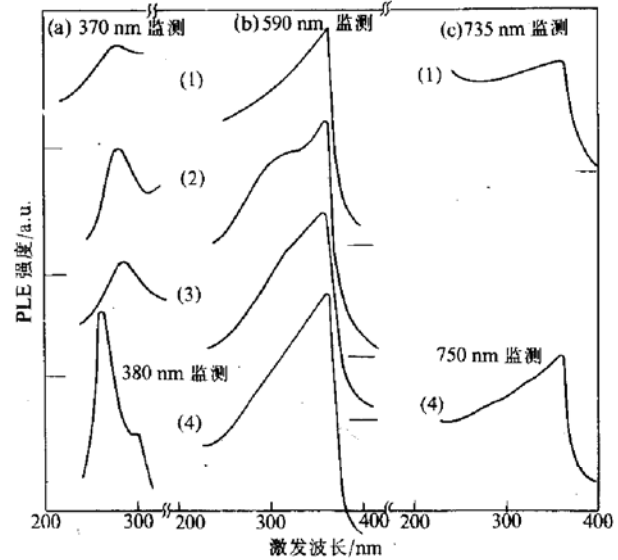


图 2 室温下分别在样品 N-183, N-302, N-300 和 N-226 的 PL 谱峰位(a)370(或 380)nm, (b)590nm 和 (c)735(或 750)nm 波长处测量样品的 PLE 谱. 样品顺序分别用(1)、(2)、(3)和(4)标记.

## 参 考 文 献

- [1] R. Dingle, D. D. Sell, S. E. Stokowski *et al.*, *Phys. Rev.*, 1971, **B4**:1211.
- [2] R. Dingle and M. Ilegems, *Solid State Commun.*, 1971, **9**:175.
- [3] B. Monemar, *Phys. Rev.*, 1974, **B10**:676.
- [4] O. Lagerstedt and B. Monemar, *J. Appl. Phys.*, 1974, **45**:2266.
- [5] J. I. Pankove and J. A. Hutchby, *J. Appl. Phys.*, 1976, **47**:5387.
- [6] 中村修二, 日经エレクトロニクス, 1994, 602 号, 93.
- [7] K. G. Fertitta, A. L. Holmes, J. G. Neff *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **65**:1823.
- [8] M. S. Brandt, N. M. Johnson, R. J. Molnar *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **64**:2264.
- [9] R. Singh, R. J. Molnar, M. S. ünlü *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **64**:336.
- [10] M. Ilegems, R. Ringle and R. A. Logan, *J. Appl. Phys.*, 1992, **43**:3797.
- [11] P. Bergman, Gao Ying, B. Monemar *et al.*, *J. Appl. Phys.* 1987, **61**:4589.
- [12] T. Ogino and M. Aoki, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1980, **19**:2395.
- [13] Shuji Nakamura, Takashi Mukai, Massayuki Senoh *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1992, **31**:L139.
- [14] P. Perlin, I. Gorezyca, N. E. Christensen *et al.*, *Phys. Rev.*, 1992, **B45**:13307.

- [15] Lu Wenchang, Zhang Kaiming and Xie Xide, *J. Phys. Condens. Matter*, 1993, **5**:875.  
[16] Alan F. Wright and J. S. Nelson, *Phys. Rev.*, 1994, **50**:2159.

## Investigation of Photoluminescence Excitation Spectra from GaN Films Grown by Low-Pressure MOVPE

Duan Jiaqi, Zhang Borui and Qin Guogang

*(Department of Physics, Peking University, Beijing 100871)*

Zhang Guoyi, Tong Yuzhen, Jin Sixuan and Yang Zhijian

*(Department of Physics, Peking University, Mesoscopic Physics Labs, Beijing 100871)*

Yao Guangqing

*(Department of Chemistry, Peking University, Beijing 100871)*

Received 10 January 1996, revised manuscript received 1 May 1996

**Abstract** We have measured photoluminescence excitation (PLE) spectra for the light emissions of 370nm, 590nm and around 740nm from undoped GaN films grown by low-pressure MOVPE. For the 590nm and 740nm emissions, the PLE peak of each sample is situated at 360nm. However, for the 370nm emission, the PLE peaks from most samples are situated at 280nm, but the double peaks at the wavelengths of 260 and 300nm instead of the single peak of 280nm in the PLE spectra are measured for certain GaN samples. We have discussed the results.

**PACC:** 7855