

n 型 GaN 的蓝光发射研究^{*}

李欣, 彭林峰, 黄绮雯, 赖天树, 林位株

(中山大学超快速激光光谱学国家重点实验室 // 物理系, 广东 广州 510275)

摘要: 使用光谱表征技术研究了非掺杂 n 型 GaN 的蓝光发射机理, 给出了 427~496 nm (2.5~2.9 eV) 范围的蓝光的光发射模型。蓝光发射为施主型发射, 施主能级可能起源于某种间位杂质。

关键词: GaN; 施主; 蓝光发射

中图分类号: O433; O472 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2002) 01-0105-03

GaN 和 III 族氮化物材料是近年来光电子材料领域研究的热点之一^[1]。GaN 由于具有宽的带隙, 大的热导率, 电子饱和速度高, 击穿场强大及物理化学性质稳定等优良性质, 因此, 在发展短波长光电子器件、大功率、高温电子器件和高频微波器件方面有着十分广阔的应用前景^[2]。基于 GaN 的蓝绿光 LED 发光器件取得了引人瞩目的进展^[3]。世界各发达国家都把 GaN 材料作为优先发展的重点。GaN 材料的研究与应用已成为目前全球高新技术研究的前沿和热点之一。

有关 GaN 的发光研究已有许多报道。研究的重点是 n 型 GaN 的黄色发光和 p 型 GaN 的蓝色发光。Neugebauer 等^[3]认为 Ga 空缺 (V_{Ga}) 是黄光发射的起因。他的计算表明 V_{Ga} 的形成能量反比于费米能级的能量。这间接地解释了为什么黄光辐射仅仅在 n 型 GaN 中存在, 因为 p 型 GaN 中 V_{Ga} 的形成能量大, 因而难于形成 V_{Ga} 。Kaufmann 等^[4]研究了 p 型 GaN: Mg 的 2.8 eV 的光致发光 (PL) 谱, 认为是由于 DAP 复合, 受主 (A) 为 Mg 浅受主, 而深施主 (D) 是 Mg 受主与 N 空缺 (V_N) 的复合物。对室温下非掺杂 n 型 GaN 的蓝光发射尚未见研究报道, 仅有 Schubert 等^[5]在研究 Si 掺杂 n 型 GaN 的黄色发光起源时提到过弱的蓝光发射, 但对蓝光的发射机理并未进行研究。

本文将对非掺杂 n 型 GaN 的蓝光发射进行研究, 对其发光机制给出合理的解释。

1 GaN 样品与光谱仪简介

本文实验研究所用样品由美国坎萨斯州立大学 (Kansas State University) 提供的。采用 MOCVD 方法

制备, 生长在宝石衬底上。非掺杂 GaN 样品膜厚约 1.5 μm , 电子密度 $1.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 。

实验研究所用的光谱仪为日立公司生产的 F-4500 型全自动光栅光谱仪。激发波长的选择、扫描, 荧光光谱的扫描均由计算机控制自动完成。波长重复扫描误差小于 2 nm。

2 光谱实验测试

图 1 所示为非掺杂 n 型 GaN 样品在室温下的发射光谱, 激发波长为 340 nm。图中给出了 3 个不同激发强度下的发射光谱。

图 2 所示为 n 型 GaN 样品在 3 个不同探测波长处测得的激发光谱。3 个探测波长如图中所示。

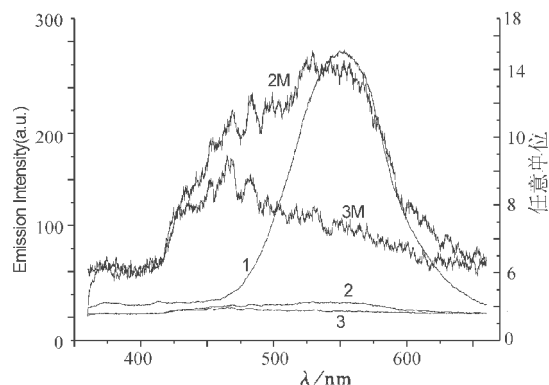


图 1 在 340 nm 处激发的非掺杂 GaN 的发射光谱随激发强度变化

Fig 1 The emission spectra of undoped GaN at 340 nm versus excitation power density
1 激发强度为 1; 2 激发强度为 1/20;
3 激发强度为 1/60; 纵坐标轴为左 y 轴;
2M 光谱 2 的放大, 3M 光谱 3 的放大;
纵坐标轴为右 Y 轴

^{*} 收稿日期: 2001-06-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (69888005); 广东省自然科学基金资助项目 (970148)

作者简介: 李欣 (1979-), 男; 通讯联系人: 赖天树; E-mail: stskts@zsu.edu.cn

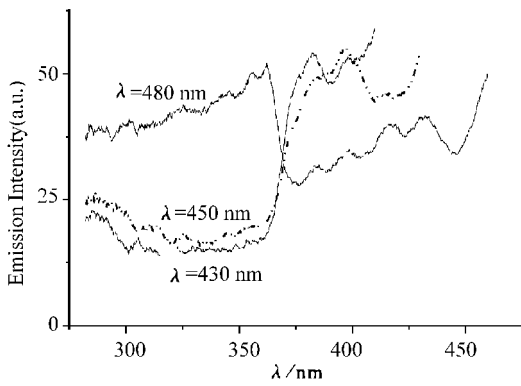


图 2 GaN 样品的激发光谱

Fig. 2 The excited spectra of GaN sample
每条光谱旁标注的波长值为探测波长

3 发光机理分析

从图 1 中可见, 峰值波长为 550 nm 的黄色发光带的发射强度强烈地依赖于激发强度, 而 427 ~ 496 nm 波长范围的蓝光带的发射强度对激发强度的依赖则极弱; 如光谱 1 和 2 所示, 当激发光强增加 20 倍时, 黄带的发射强度急剧增加, 然而, 蓝带的发光强度几乎不变。相反, 如光谱 2 和 3 或 2M 和 3M 所示, 当激发强度衰减 3 倍时, 蓝色发光带的发射强度衰减较小, 而黄带的发光强度衰减较大, 此时黄带的强度比蓝带的强度还弱。由此, 我们可以推断蓝色发光能级的态密度很低, 容易饱和, 而黄色发光能级的态密度很大, 不容易饱和。并且, 导带中的激发电子向蓝带转移的速率远大于向黄带转移的速率。导带中的激发态电子首先转移到蓝色发光带, 直至蓝带能级饱和, 然后剩余的激发态电子才向黄色发光带转移。因此, 强激发时, 由于蓝带的低密度饱和, 剩余的大量激发电子转向黄带, 发射强的黄光。而极弱激发时, 激发电子几乎全部转向蓝带, 所以蓝光比黄光强。关于 n 型 GaN 中的黄光发射, 已有许多研究报道。对于它的发光机理, 目前大多数认同的观点是浅施主—深主跃迁辐射复合, 深主能级由镓空位及其与氮位替代氧 (O_N) 的复合物产生。此观点也与我们上面推断黄带的态密度很大, 不易饱和的结论一致。

图 2 所示为在 430, 450 和 480 nm 处探测的样品的激发谱。430 和 450 nm 的激发谱表明导带 (带隙波长为 370 nm) 激发效率低于带下激发效率, 这说明对应的蓝光发射不可能是导带—受主跃迁发射。可能的发射机制为施主—价带和施主—受主跃迁 (D—A) 发射。480 nm 的激发谱显示导带激发

比带下激发效率高, 但我们认为这是一种假像。如图 1 所示, 黄色发光带的带尾实际上与蓝色发光带的带尾交叠, 而黄光的发射效率远大于蓝光的, 因此, 我们认为 480 nm 的激发谱实际上是受黄带带尾态的控制, 而真正的蓝带中的 480 nm 的激发谱应该与 430 和 450 nm 的激发谱类似。因而整个蓝带的发射机理相同, 均为施主型发射。关于蓝光发射的终态, 或者说确定蓝光发射为施主—受主型或施主—价带型发射, 目前尚没有充分的证据。需要进一步做发射峰位移的温度依赖实验。由于实验条件限制, 目前尚不能进行这一实验研究。

4 施主能级的可能起因

由于样品是非掺杂的, 所以, 施主能级只可能来源于缺陷态和固有元素杂质。在 GaN 中, 可能的缺陷主要有镓空位 (V_{Ga})、氮空位 (V_N) 以及氮的氧替位 (O_N) 以及氧、氮、镓、氢等固有元素的间位杂质。基于形成能的理论计算表明^[9], 3 种缺陷在 n 型 GaN 中是容易产生的, 而间位杂质却不容易形成, 即间位杂质的浓度应该很低。根据我们实验中发现蓝光很弱、易饱和特点, 我们认为施主能级可能起源于间位杂质。

致谢: 感谢美国坎萨斯州立大学物理系 Prof. H. X. Jiang 提供实验用 GaN 样品。

参考文献:

- [1] 谢崇木. 光电子新材料 GaN 研究进展[J]. 半导体情报, 1997, 34(4): 573.
- [2] 宋登元, 王秀山. GaN 材料系列的研究进展[J]. 微电子学, 1998, 28(2): 426.
- [3] NEUGEBAUER J, Van de WALLE C G. Gallium vacancies and the yellow luminescence in GaN[J]. Appl Phys Lett, 1996, 69(4): 503.
- [4] KAUFMANN U, KUNZER M, MAIER M. Nature of the 2.8 eV photoluminescence band in Mg doped GaN[J]. Appl Phys Lett, 1998, 72(11): 1326.
- [5] SCHUBERT F E, GOEPFERT F I D, REDING J M. Evidence of compensating centers as yellow luminescence in GaN[J]. Appl Phys Lett, 1997, 71(22): 3224.
- [6] NERGERBAUER J, VAN de WALLE C G. Atomic geometry and electronic structure of native defects in GaN[J]. Phys Rev (B), 1994, 50(11): 8067.

(转第 109 页)

Vapor liquid Equilibrium of 1, 2, 4-Trimethyl Benzene or 1, 3, 5-Trimethyl Benzene + *t* Butanol

OUYANG Gang feng, HUANG Zhong qi, KANG Bei sheng

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Sun Yat sen (Zhongshan) University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Vapor liquid equilibrium data were determined in a CP-1 still at 99.992 kPa for 2-propanol + 1, 2, 4-trimethyl benzene and 2-propanol + 1, 3, 5-trimethyl benzene respectively. A thermodynamic model proposed by Hayden-O'Connell for accounting the nonideal behavior of the vapor phase was used for calculating the activity coefficient of liquid phase. All the experimental data were tested by the method proposed by Herington. The results show that they conform to the demand of thermodynamic consistency. Wilson equation was selected to correct composition and the activity coefficient of the components in liquid phase. The calculated values of the vapor composition are in good agreement with experiment data.

Key words: vapor liquid equilibrium; activity coefficient; thermodynamic consistency

(接第 104 页)

A Model of Application Software

XIAO Jin sheng

(Computer Center,

Sun Yat sen (Zhongshan) University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The deficiency of extant software development methods is discussed, and the origin of the deficiency is analysed. An application software model is also presented. Finally, an idea to set up a software development method by that model is advanced.

Key words: application software; development method; model

(接第 106 页)

Studies of Blue Emission of n-Type GaN

LI Xin, PENG Lin-feng, HUANG Qi-wen, LAI Tian-shu, LIN Wei-zhu

(State Key Lab of Ultrafast Laser Spectroscopy // Department of Physics, Sun Yat sen (Zhongshan) University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The spectral characterized techniques were used to study the mechanisms of blue emission in undoped n-type GaN. A model for 427~496 nm (2.5~2.9 eV) emission is presented. The blue emission is considered as a contribution from the donor states originated from the interstitials.

Key words: GaN; donor; blue emission