

InGaN/AlGaN 双异质结绿光发光二极管*

陆大成 韩培德 刘祥林 王晓晖 汪 度 袁海荣

(中国科学院半导体研究所 半导体材料科学实验室, 北京 100083)

王良臣 徐 萍 姚文卿 高翠华 刘焕章 葛永才 郑 东

(中国科学院半导体研究所 微电子研发中心, 北京 100083)

摘要: 报道了用 LP-MOVPE 技术在蓝宝石 (α -Al₂O₃) 衬底上生长出以双掺 Zn 和 Si 的 InGaN 为有源区的绿光 InGaN/AlGaN 双异质结结构, 并研制成功发射波长为 520—540nm 的绿光 LED.

关键词: 绿光 LED; InGaA/AlGaN; 双异质结

EEACC: 7340L; 7855; 6855; 8115H; 8110B

中图分类号: TN312.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-4177(2000)04-0414-03

InGaN/AlGaN DH Green LED*

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

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

WANG Liang-chen, XU Ping, YAO Wen-qing, GAO Cui-hua,
LIU Huan-zhang, GE Yong-cai and ZHENG Dong

(Microelectronic Research and Development Center, Institute of Semiconductors,
The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

Received 19 January 2000

Abstract: A Zn and Si co-doped InGaN/AlGaN double-heterostructure has been grown on Al₂O₃ substrate

* 国家高技术(863)计划新材料领域资助项目[Project Supported by High Technology Research & Development (863) Program of China].

陆大成 男, 1937 年出生, 研究员, 目前从事半导体材料和器件的研究.

韩培德 男, 1960 年出生, 博士, 副研究员, 目前从事半导体材料和器件的研究.

刘祥林 男, 1965 年出生, 博士, 副研究员, 目前从事半导体材料和器件的研究.

2000-01-19 收到

by LP-MOVPE. Green LEDs with wavelength of 520~ 540nm have been fabricated. This is first report on green GaN based LED in China.

Key words: Green LED; InGaN/AlGaN; DH

PACC: 7340L; 7855; 6855; 8115H; 8110B

Article ID: 0253-4177(2000)04-0414-03

氮化镓(GaN)及其合金(AlGaInN)是非常有用的发射波长在蓝、绿光区至紫外区的光电材料和耐高温的电子材料。目前蓝、绿光发光二极管(LED)是III族氮化物的主要应用领域^[1,2]。它们与AlGaAss的红光LED构成的三原色使全彩色LED大屏幕户外显示成为可能。然而GaN基材料生长的技术难度较大,特别是作为有源区的GaInN,当In含量高时生长更加困难。实现六方GaN基材料体系的绿光发射有两种途径:一是利用Zn在GaN中深的三重能级,改变GaN中Zn的掺杂剂量,可以观测到从蓝到绿的光发射。我们已报道在Al/Zn:GaInN/Si:GaInN的MIS结构中,通过改变Zn的掺杂剂量,分别得到了发射波长为460nm的蓝光和波长为505nm的绿光LED^[3]。二是利用In_xGa_{1-x}N三元合金组分的禁带宽度随In含量增高而降低,调节适当的组分,使其发绿光。我们对MOVPE生长InGaInN的过程的热力学分析表明^[4],由于InN和GaN的晶格常数以及热化学常数的差别,导致了InGaInN固溶体存在混溶隙和气相中Ga优先于In进入固相。这使得 $x > 0.2$ 的In_xGa_{1-x}N材料的生长较为困难。Nakamura等人曾报道用双掺Zn和Si的In_{0.06}Ga_{0.94}N为有源层做出高亮度蓝光LED^[5]。本文报道我们用LP-MOVPE方法,以双掺Zn和Si的InGaInN为有源层的InGaInN/AlGaInN双异质结绿光LED的研究结果。据我们所知,这是国内首次有关六方GaN基绿光LED的报道。

我们采用低压金属有机物气相外延生长技术(LP-MOVPE)生长GaN基材料。实验用的衬底为(0001)面蓝宝石(α -Al₂O₃),经化学-机械抛光,在进入反应室前衬底再经有机溶剂脱脂、化学腐蚀^[6]最后经去离子水冲洗后烘干。外延生长前衬底经高温氢气下退火处理。使用三甲基镓(TMGa)、三甲基铝(TMAl)、乙基二甲基镓(EDMIn)和高纯氨(NH₃)分别为镓、铝、镉和氮源。上述金属有机物分别控制在-10、18和18℃。我们采用液态EDMIn是为了避免固态三甲基镓源的挥发不稳定性带来的注入反应室的镉剂量的波动。采用SiH₄为n型掺杂剂^[7]。p型掺杂剂则用二茂镁(Cp₂Mg)和二乙基锌(DMZn)。特殊设计的双通道石英反应室以抑制氨与金属有机物之间的预反应^[8]。外延时,先在550℃下在蓝宝石衬底上生长约20nm的GaN缓冲层,然后将生长温度升高到1050℃生长3μm厚的掺硅n-GaN层和150nm的n-AlGaInN层。有源层是在低温下生长的双掺Si、Zn的InGaInN层。在有源层上继续生长掺镉的150nm厚的p-AlGaInN层和0.5μm厚p-GaN层。采用光刻和ECR干法腐蚀工艺在上述GaInN/AlGaInN/InGaInN/AlGaInN/GaN双异质结构外延片上形成LED发光区的p台面。分别以Ti/Al和Ni/Au作为n-GaN和p-GaN层的电极。

InGaInN有源层的生长是研制绿光LED的关键。热力学分析表明^[4],生长温度的影响很大,我们选定的生长InGaInN的温度范围在730~850℃之间。在未有意掺杂的情况下InGaInN为n型,通常电子浓度达10¹⁹cm⁻³。InGaInN中的高电子浓度通常归因于N空位。生长温度较低也是原因之一,因为我们在1050℃下生长的GaN通常电子浓度低于10¹⁶cm⁻³,而使用较低的生长温度,也会使GaN外延层的电子浓度升高。在GaN外延层上生长的In_{0.1}Ga_{0.9}N的TEM截面像显示,InGaInN/GaN界面平坦,然而在生长了0.4μm后的InGaInN表面已经出现生长角锥。生长温度降低,In_xGa_{1-x}N与GaN失配应力以及InGaInN的相分离都可能成为使表面形貌变坏的原因。不过此样品In含量较低,相分离使表面形貌变坏的可能性不大。InGaInN的In含量可以用改变气相In/Ga比和/或生长温度的办法来调节。图1为归一化的InGaInN的室温光致发光光谱。随着In含量的升高,光致发光的半高宽增加,反映了InGaInN中组分的涨落。为了在较低的In含量下得到绿光发射,我们在InGaInN中掺Zn。在Zn:GaInN中,与Zn有关的发射光子能量随In含量的增大向长波长方向移动。这与Nakamura在文献[9]中报道的在Cd:GaInN中,与Cd有关的发射光子能量随In含量的增大向长波长方向移动一致。双掺Si和Zn可以使与Zn有关的发射光致发光强度大大增强。

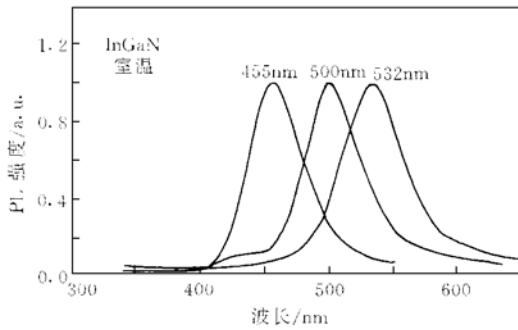


图 1 InGaN 的室温光致发光光谱

FIG. 1 PL Spectra of InGaN at Room Temperature

将进一步提高。

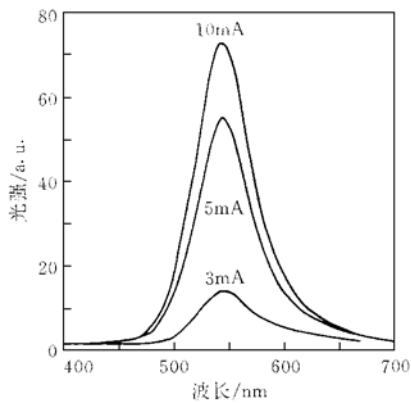
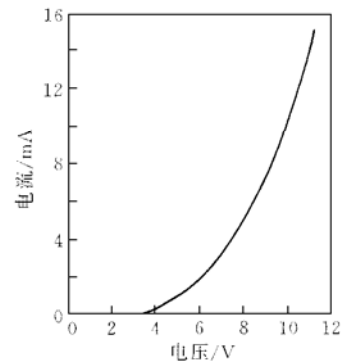
图 2 InGaN/AlGaIn 双异质结绿光 LED 的电致发光光谱
FIG. 2 EL Spectra of InGaN/AlGaIn DH Green LED

图 2 示出双异质结二极管的电致发光光谱。在 3、5 和 10mA 下, 光谱的峰值分别为 545.5、544.2 和 543.8nm, 即随着电流的增大而蓝移。对应的半峰宽随着电流的增大而增大, 分别为 60.5、60.8 和 67.0nm。其发光强度随电流呈非线性增长。图 3 为该 LED 的电流-电压(I - V) 特性曲线, 表明此二极管的串联电阻偏大。我们认为发光强度随电流的非线性增长与器件发热有关。

综上所述, 我们已用 LP-MOVPE 方法在蓝宝石衬底上生长出双掺 Zn 和 Si 的 InGaN 为有源区的绿光 InGaN/AlGaIn/GaN 双异质结结构, 并研制成功发射波长为 520~540nm 的绿光发光二极管。随着设计和工艺的进一步优化, 器件的性能

图 3 InGaN/AlGaIn 双异质结绿光 LED 的 I - V 特性曲线
FIG. 3 I - V Curve of InGaN/AlGaIn DH Green LED

致谢 作者感谢光电子工艺中心张子莹在 GaN 干法刻蚀方面和北京市器件 9 厂在 LED 封装方面的帮助, 以及南京大学孙祥桢教授提供乙基二甲基钼。

参 考 文 献

- [1] S. Nakamura, T. Mukai and M. S. Enoh, Appl. Phys. Lett., 1994, **64**: 1687.
- [2] S. Nakamura, M. Senoh, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kiyoku and Y. Sugimoto, Jpn. J. Appl. Phys., 1996, **35**: L74.
- [3] D-C. Lu, X. Liu, D. Wang, X. Wang, L. Lin, MRS Internet J. of Nitride Semiconductor Research, 1996, **1**: Art 18.
- [4] LU Dacheng (陆大成) and DUAN Shukun (段树坤), 半导体学报, 2000, **21**(2): 105 [LU Dacheng and DUAN Shukun, Chinese Journal Semiconductors, 2000, **21**(2): 105 (in English)].
- [5] S. Nakamura, T. Mukai and M. Senoh, Appl. Phys. Lett., 1994, **64**: 28.
- [6] 王晓晖, 刘祥林, 汪 度, 陆大成, 半导体学报, 1997, **18**: 867 [WANG Xiaohui, LIU Xianglin, WANG Du, LU Dacheng, Chinese Journal of Semiconductors, 1997, **18**: 867 (in Chinese)].
- [7] Xianglin Liu, Lianshan Wang, Da-cheng Lu, Du Wang, Xiaohui Wang, Lanying Lin, J. Cryst. Growth, 1998, **189/190**: 287.
- [8] Xianglin Liu, Lianshan Wang, Da-cheng Lu, Xiaohui Wang, Du Wang, Lanying Lin, J. Cryst. Growth, 1998, **193**: 23.
- [9] S. Nakamura, N. Iwasa and S. Nagahama, Jpn. J. Appl. Phys., 1993, **32**: L338.