

# 大光腔小垂直发散角 InGaAs/GaAs/AlGaAs 半导体激光器<sup>\*</sup>

崔碧峰<sup>†</sup> 李建军 邹德恕 廉 鹏 韩金茹 王东风 杜金玉 刘 莹 赵慧敏 沈光地

(北京工业大学北京市光电子技术实验室 北京 100022)

(2003 年 8 月 21 日收到 2003 年 10 月 14 日收到修改稿)

提出并实现了新型隧道再生耦合大光腔半导体激光器,近场光斑宽度达到  $1\mu\text{m}$ ,较普通半导体激光器提高了一个数量级,有效地解决了普通半导体激光器由于发光面积狭窄而导致的端面灾变性毁坏和垂直发散角大的问题.采用低压金属有机物化学气相沉积方法生长了以 C 和 Si 分别作为掺杂剂的 AlGaAs 隧道结、GaAs/InGaAs 应变量子阱有源区和新型半导体激光器外延结构,并制备出器件,其垂直发散角为  $20^\circ$ ,阈值电流密度为  $277\text{A}/\text{cm}^2$ ,斜率效率在未镀膜时达到  $0.80\text{W}/\text{A}$ .

关键词:半导体激光器,大光腔,隧道再生

PACC: 4255P, 7820

## 1. 引 言

随着半导体光电子技术的发展,半导体激光器的性能已经达到了相对高的水平.人们对半导体激光器的了解已较深入,器件的制备工艺水平也日趋完善.大功率半导体激光器在光抽运以及现代光制造等许多重要领域有广泛的应用,尽可能提高激光器的输出功率和改善半导体激光器的光束质量一直是半导体激光器研究中的重要方向.由于半导体激光器的发光面积狭长,在平行于结的方向为几十到数百微米,而垂直方向只有  $10\text{--}100\text{nm}$ ,它不仅会使端面出光功率密度高,而且由于垂直于结方向的发光尺寸小于激光波长而有衍射效应,导致半导体激光器出射的激光发散角大,通常垂直方向为  $35^\circ\text{--}60^\circ$ ,而水平方向为  $8^\circ\text{--}12^\circ$ ,水平和垂直方向不对称,垂直发散角过大,对光束聚集、准直都有很大影响.因此,减小半导体激光器的垂直发散角一直是半导体激光器的研究热点之一.

半导体激光器的垂直发散角是由半导体激光器的近场光斑经过傅里叶变换得到的,在一定范围内减小半导体激光器的近场光斑尺寸可以降低半导体

激光器的垂直发散角,而超过了这个数值范围,增大半导体激光器的近场光斑尺寸就可以降低半导体激光器的垂直发散角.降低半导体激光器的垂直发散角的方法有两大类.一是减小半导体激光器近场光斑以得到小的垂直发散角. Temmyo 等人<sup>[1]</sup>和 Lin 等人<sup>[2]</sup>都提出了减小近场光斑的波导结构. Lin 设计了特殊的波导结构,使近场光斑缩减了  $1/3$ ,得到了  $13^\circ$  的垂直发散角.另外, Buda 等人<sup>[3]</sup>设计了不对称波导结构,采用 n 型无源光场捕获层和窄 p 型限制层,使光场在 n 型限制层中被捕获,在 p 型层使光场很快地被 p 型电极吸收,整体光场变小,他们得到了  $17^\circ$  的垂直发散角.这些设计结构都使阈值电流密度增加了数倍至 10 倍,同时发光面积较一般半导体激光器更小,光强更集中,对端面光功率密度过高引起的端面光学灾变性毁坏(COD)只有加重没有改善.二是增加半导体激光器近场光斑以得到小的垂直发散角. Fang 等人<sup>[4]</sup>和 Zhu 等人<sup>[5]</sup>设计了大光腔结构,拓展了近场光斑,他们得到了  $23^\circ$  的垂直发散角.但是对于这些半导体激光器的结构,得到大光腔的同时,引入了高阶模式激射的因素<sup>[6]</sup>,不能将垂直发散角继续减小,同时,这种结构的光限制因子因为光场的拓展而减小,致使阈值电流密度上升.两

<sup>\*</sup> 国家重点基础研究发展规划项目(批准号:G2000068302)、北京市自然科学基金(批准号:4032007)和国家高技术研究发展计划(批准号:2002AA312070)资助的课题.

<sup>†</sup> E-mail: zuibifeng@emails.bjut.edu.cn

种方式得到小的垂直发散角使阈值电流都增大到  $3000\text{A}/\text{cm}^2$  以上。

我们提出一种隧道再生结构<sup>[7,8]</sup>,引入隧道结连接两个有源区,其中隧道结不仅为复合发光后落到价带的电子重新得到再生到导带,而且作为无源波导参与到波导行为中,耦合两个有源区,拓展光场成大光腔,使发光面积提高 1—2 个数量级,降低了器件光功率密度,从而避免了半导体激光器由于发光面积窄而引起的 COD 和光束垂直发散角大的问题,提高了半导体激光器的光束质量,并提高了半导体激光器的可靠性。

## 2. 器件结构

本文设计的隧道再生耦合大光腔半导体激光器的波导结构如图 1 所示,由这个结构模拟得出垂直发散角为  $19^\circ$ 。用两个隧道结连接三个有源区,两边有源区的光限制层的 Al 组分不对称,分别为 0.30 和 0.45。量子阱宽为 8nm,垒宽为 10nm。隧道结的厚度为 31nm,隧道结两边的耦合层间距为 60nm。对设计的结构用 MATLAB 语言编程进行了模拟,  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  的折射率采用以下关系式:

$$n(x) = 3.590 - 0.710x + 0.091x^2. \quad (1)$$

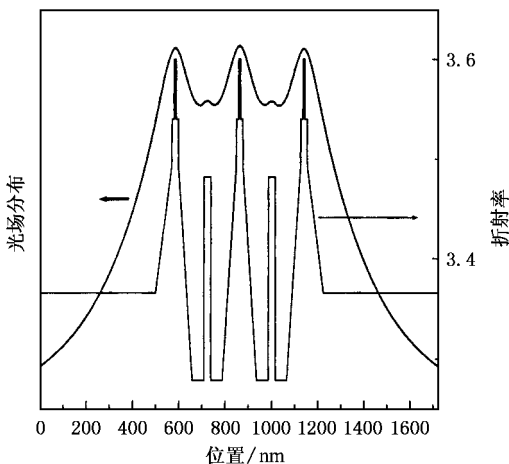


图 1 器件折射率和模拟光场分布

模拟结果为基模激射,光限制因子为 2.24%,垂直发散角为  $19^\circ$ ,近场光斑的半值全宽为 1062nm。

## 3. 器件制备与测试结果

依照设计结构,在(100)偏(111)晶向  $2^\circ$  的 n 型

GaAs 衬底上,利用 MOCVD 系统进行各层的外延生长。有源区采用非掺杂的  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}/\text{InGaAs}$  GRIN-SCH 应变量子阱结构,量子阱宽为 8nm,其中子有源区中 In 组分为 0.2。两个子有源区通过  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$  隧道结进行带间级联,隧道结的 p 区用 C 作受主杂质,掺杂浓度为  $2 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ ,厚度为 6nm。隧道结的 n 区用 Si 作施主杂质,掺杂浓度为  $4 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ ,厚度为 25nm。外限制层的 Al 组分为 0.3,内限制层的 Al 组分为 0.45,分别用 Si 和 C 作为施主和受主杂质,掺杂浓度为  $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 。器件的最顶层为 50 和 100nm 的 p 型 C 掺杂 GaAs 帽层,掺杂浓度分别为  $1 \times 10^{20}$  和  $5 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 。

后工艺制备  $50\mu\text{m}$  条形微腐蚀脊型结构,湿法化学腐蚀,腐蚀深度为 550nm,表面采用 PECVD 系统进行钝化淀积  $\text{SiO}_2$ ,溅射 Ti/Au150nm。背面减薄至  $100\mu\text{m}$  抛光,蒸镀 Au/AuGeNi 合金,解理器件腔长为  $930\mu\text{m}$ 。未镀膜, p 面向下烧结在无氧铜热沉上,用 TO-3 管座封装。利用激光器综合测试系统进行测试,电流输入为占空比为 0.2% 脉冲电流。测试结果见图 2 至图 4。

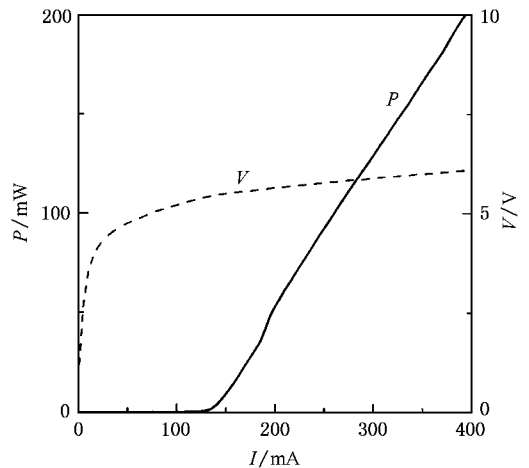


图 2 器件 P-I-V 测试图

从图 2 得出器件的阈值电流为 129mA,斜率效率为 0.80W/A。输入 390mA 电流得到 200mW 的输出光功率,工作电压为 6.07V。阈值电流密度为  $277\text{A}/\text{cm}^2$ ,与同等后工艺条件制备的普通半导体激光器相比增加了不到一倍。图 3 和图 4 分别是远场发散角的测试图,器件的垂直发散角为  $20^\circ$ ,水平发散角为  $6^\circ$ 。器件的参数表明:在本实验制备的器件中,隧道结起了两个作用:首先,这种器件的外量子效率已经大于 1,说明隧道结使载流子隧穿得到了

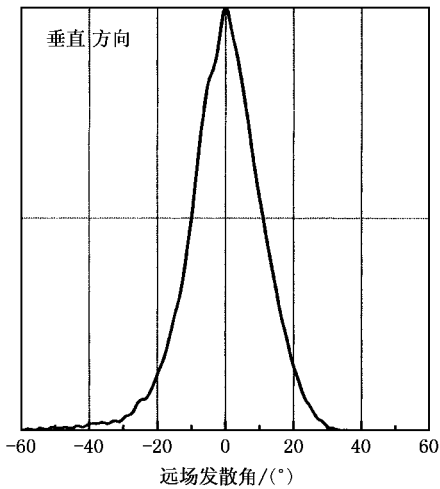


图3 器件的垂直发散角测试图

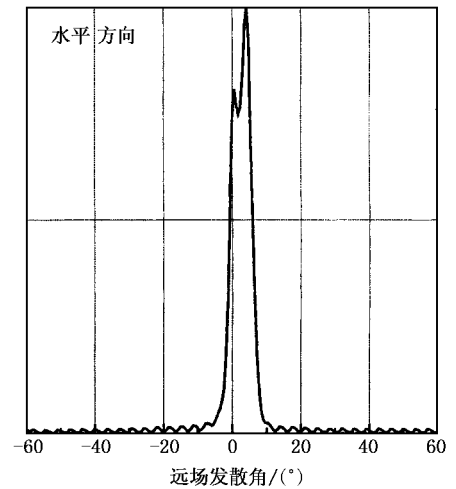


图4 器件的水平发散角测试图

再生,其次,垂直发散角减小,说明近场光斑增大,验证了隧道结作为无源波导,拓展了光场,使外限制层、有源区、内限制层、隧道结耦合成一个整体的大光腔。

## 4. 结 论

本文基于隧道再生耦合大光腔的机理,得到了大光腔小垂直发散角的半导体激光器,在这种器件中,

充分利用了 AlGaAs 隧道结的作用,使之不仅充分发挥了载流子的隧穿作用,还作为无源波导参与到整个半导体激光器的光场行为,耦合了多个有源区的光场,使整体光场得到了充分扩展,发光面积提高了一个数量级,减小了器件的垂直发散角。利用这种机理,制备了斜率效率为 0.8W/A(未镀膜),垂直发散角为 20°的器件,阈值电流密度为 277A/cm<sup>2</sup>。使半导体激光器的光斑质量大大改善,斜率效率提高,并使器件的抗 COD 能力提高,提高了器件的可靠性。

- [ 1 ] Temmyo J and Sugo M 1995 *IEEE Electron. Lett.* **8** 642  
 [ 2 ] Lin G *et al* 1996 *IEEE Photon. Technol. Lett.* **12** 1588  
 [ 3 ] Buda M *et al* 2002 *Lasers and Electron-Optics Society LEOS2002 The 15th Annual Meeting of the IEEE* **2** 647  
 [ 4 ] Fang G Z *et al* 2002 *Chin. J. Laser* **1** 9  
 [ 5 ] Zhu X P *et al* 2002 *Chin. J. Semicond.* **4** 398  
 [ 6 ] Chen Y C, Waters R G and Dalby R J 1996 *IEEE Electron. Lett.*

17 1348

- [ 7 ] Shen G D *et al* 1999 *The Fourth Chinese Optoelectronics Forum Across the Strait* (Xinzhu, Taiwan, China) p93 (in Chinese) [ 沈光地等 1999 第四届海峡两岸中华光电子学术研讨会报告(中国台湾 新竹)第 93 页 ]  
 [ 8 ] Lian P *et al* 2000 *Acta Phys. Sin.* **49** 2374 (in Chinese) [ 廉 鹏等 2000 物理学报 **49** 2374 ]



# Large optical cavity and small vertical divergence angle semiconductor lasers<sup>\*</sup>

Cui Bi-Feng Li Jian-Jun Zou De-Shu Lian Peng Han Jin-Ru Wang Dong-Feng

Du Jin-Yu Liu Ying Zhao Hui-Min Shen Guang-Di

( *Beijing Optoelectronic Technology Laboratory, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022, China* )

( Received 21 August 2003 ; revised manuscript received 14 October 2003 )

## Abstract

A novel coupled large optical cavity cascaded by tunnel-junction semiconductor lasers is put forward to resolve the major difficulties of ordinary laser diodes. In this structure several active regions are cascaded by tunnel junctions to couple a large optical cavity. This structure can solve the problem of catastrophic optical damage of facet and large vertical divergence caused by thin emitting area in ordinary laser diodes. The near-field facalur size reaches  $1\mu\text{m}$ . Low-pressure metal-organic chemical vapor deposition is adopted to grow the novel semiconductor lasers. Slope efficiency as high as  $0.80\text{W/A}$  per facet and vertical divergence angle of  $20^\circ$  and threshold current density of  $277\text{ A/cm}^2$  are achieved from an uncoated novel laser device.

**Keywords** : semiconductor lasers , large optical cavity , tunneling regeneration

**PACC** : 4255P , 7820

---

<sup>\*</sup>Project supported by the State Key Development Program for Basic Research of China( Grant No. G2000068302 ), the Natural Science Foundation of Beijing ,China( Grant No.4032007 ), and the National High Technology Development Program of China( Grant No.2002AA312070 ).