

文章编号: 1000-7032(2011)06-0593-05

850 nm 高亮度锥形半导体激光器的光电特性

杨 晔^{1,2}, 刘 云^{1*}, 秦 莉¹, 张金龙¹, 彭航宇^{1,2}, 王 焯^{1,2}, 李再金^{1,2},
胡黎明^{1,2}, 史晶晶^{1,2}, 王 超¹, 宁永强¹, 王立军¹

(1. 中国科学院 激发态物理重点实验室 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 采用激励波长为 850 nm 的 AlGaInAs/AlGaAs 梯度折射率波导分别限制增益量子阱结构的外延片, 设计并制备了具有条形结构和锥形结构的半导体激光器。在输出功率同为 1 W 时, 锥形激光器的发散角、光束传播因子和亮度分别为 4° 、2.8 和 $9.9 \text{ MW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$, 远好于条形激光器的 6° 、9.2 和 $3.0 \text{ MW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ 。当外加 3 A 的脉冲电流时, 锥形激光器峰值功率达到 1.40 W, 斜率效率为 0.58 W/A, 电光转换效率为 30%。实验结果表明, 锥形激光器可以在保证大功率输出的前提下, 具有更高的光束质量。

关 键 词: 850 nm; 锥形半导体激光器; 高亮度; 光束传播因子

中图分类号: TN248.4

PACS: 85.30.De

PACC: 4255P

文献标识码: A

DOI: 10.3788/fjxb20113206.0593

1 引 言

850 nm 大功率半导体激光器是大气窗口和空间通信的理想光源^[1], 也是固体激光器和光纤激光器的理想泵浦源, 具有红暴低、重量轻、体积小、寿命长、电光转换效率高等特点, 在激光雷达、激光制导、激光测距等军事领域有着广阔的应用前景^[2-6]。因此, 具有高输出功率、高光束质量的 850 nm 高亮度半导体激光器的研究工作日益得到人们的重视。

近年来, 人们通过锁相阵列结构、非稳腔结构、主控振荡器功率放大器(MOPA)结构等结构来增加半导体激光器的亮度。但是, 上面提到的前两种方法由于结构复杂、工艺难度大而不利于应用。作为 MOPA 的一种, 锥形激光器可简单认为是由脊形波导和锥形增益区两部分组成, 具有结构简单、制备流程少的显著优势, 还可以实现大功率与高光束质量的有机结合^[7]。目前国际上已经在多个波长范围和多种不同结构上开展了锥形激光器的研究, 并且利用波长为 808 nm 的 GaAsP/AlGaAs 结构^[8]和波长为 976 nm 的 InGaAs/

AlGaAs 结构^[9]制备的锥形激光器均获得了大输出功率, 光束质量接近衍射极限。然而, 在上面提到的 850 nm 高亮度半导体激光器的研究工作中, 还没有关于锥形结构的报道, 而锥形结构能否适用于 850 nm 半导体激光器也亟需得到验证。

本文采用激励波长为 850 nm 的 AlGaInAs/AlGaAs 梯度折射率波导分别限制增益量子阱结构(GRIN-SCH SQW)的外延片, 制备了条形激光器和锥形激光器, 并对二者的光束质量和输出功率进行了对比和分析, 证明在输出功率相同的情况下, 锥形半导体激光器能够实现更好的光束质量和更高的亮度。

2 结构设计

条形激光器和锥形激光器的结构如图 1 所示。如前所述, 锥形半导体激光器可以认为由两部分构成: 用于模式过滤的窄条宽的脊形部分, 用以实现单模输出; 用于功率放大的锥形部分, 在放大功率的同时还可以减小功率密度, 降低腔面的灾变光学损伤(COD), 并减弱使光束质量变差的非线性效应和自聚焦现象。不难看出, 影响锥形

收稿日期: 2011-01-25; 修订日期: 2011-03-24

基金项目: 吉林省科技厅重大项目(20096013); 吉林省科技厅重大项目(20086011); 吉林省科技厅科技攻关项目(20095004)资助

作者简介: 杨晔(1982-), 女, 吉林敦化人, 博士研究生, 从事大功率高亮度半导体激光器的设计与制备方面的研究。

E-mail: phyangy@gmail.com

*: 通讯联系人; E-mail: hx52520719@sohu.com

激光器光电性能的主要因素是脊形区宽度 W_{RW} 和长度 L_{RW} 、锥形区宽度 W_{TR} 、长度 L_{TR} 以及锥形角 φ_{TR} 。本文采用总腔长 $L = 2\ 500\ \mu\text{m}$, $L_{RW} = 750\ \mu\text{m}$, $W_{RW} = 3\ \mu\text{m}$, $L_{TR} = 1\ 750\ \mu\text{m}$, $W_{TR} = 125\ \mu\text{m}$, $\varphi_{TR} = 4^\circ$ 的锥形激光器结构,如图 1(a) 所示。为了研究锥形结构对亮度的改善情况,采用腔长 $L = 2\ 500\ \mu\text{m}$, $W = 125\ \mu\text{m}$ 的条形激光器作为对比,如图 1(b) 所示。

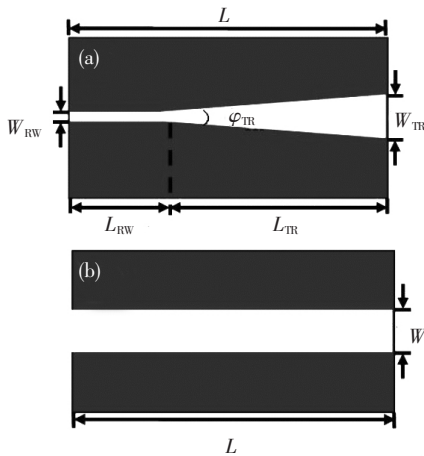


图 1 锥形激光器 (a) 和条形激光器 (b) 的结构示意图
Fig. 1 Schematic structure of the tapered laser (a) and the broad laser (b)

3 器件制备

采用金属有机化合物气相外延方法 (MOCVD) 生长制备的激光波长为 $850\ \text{nm}$ 的 $\text{AlGaInAs}/\text{AlGaAs}$ GRN-SCH-SQW 外延片为基础开展研究,此结构能够有效的收集载流子和控制光场的纵向扩散^[10]。

采用湿法腐蚀工艺分别制备获得条形激光器和锥形激光器的台面部分,之后淀积 SiO_2 绝缘层,并在台面上光刻出电极窗口。分别在器件的 p 面和 n 面分别蒸镀 $\text{Ti}/\text{Pt}/\text{Au}$ 和 $\text{Au}/\text{Ge}/\text{Ni}$ 作为电极,并分别以反射率 98% 的高反膜和反射率 5% 的增透膜作为正反腔面膜。将解理好的 $300\ \mu\text{m} \times 2\ 500\ \mu\text{m}$ 的管芯 p 面向下烧结在无氧铜热沉上,键合后进行封装。

4 测试分析

在连续电流注入条件下,在激光器输出光功率均为 $1\ \text{W}$ 时,分别测量了条形激光器和锥形激光器的光谱,结果如图 2 所示。可以看到,条形激

光器的中心波长位于 $849.4\ \text{nm}$,光谱半高宽为 $1.4\ \text{nm}$,而锥形激光器的中心波长位于 $849.7\ \text{nm}$,半峰全宽仅为 $1.0\ \text{nm}$ 。通过对比不难发现,两者的中心波长较为接近,均位于 $850\ \text{nm}$ 附近,但锥形激光器的光谱明显窄化,这说明利用锥形结构制备的激光器具有更好的光谱特性。

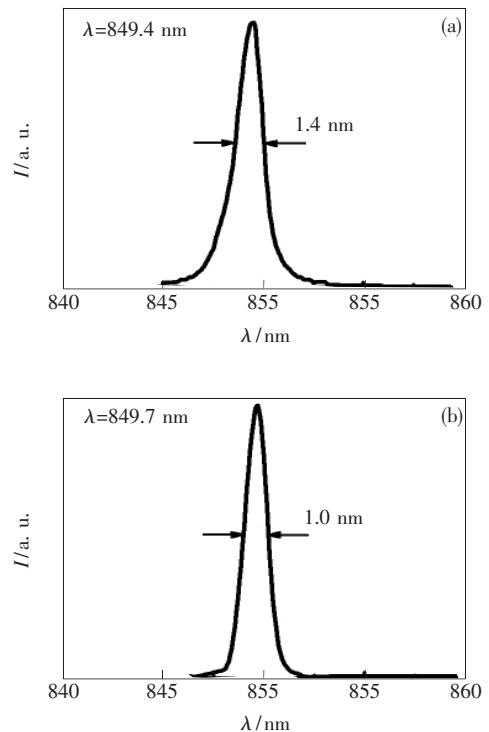


图 2 $20\ ^\circ\text{C}$ 下、连续光功率为 $1\ \text{W}$ 时的激光器的光谱图, (a) 条形激光器中心波长为 $849.4\ \text{nm}$,半峰全宽为 $1.4\ \text{nm}$; (b) 锥形激光器中心波长为 $849.7\ \text{nm}$,半峰全宽为 $1\ \text{nm}$ 。

Fig. 2 The emission spectra of lasers at $P = 1\ \text{W}$ with continuous wave (CW) operation at $20\ ^\circ\text{C}$, (a) the peak wavelength of broad laser is $849.4\ \text{nm}$ with FWHM of $1.4\ \text{nm}$; (b) the peak wavelength of tapered laser is $849.7\ \text{nm}$ with FWHM of $1.4\ \text{nm}$.

为了比较两种激光器的光束质量,同样在输出光功率为 $1\ \text{W}$ 时测量了激光器的远场性能,两种激光器快轴发散角基本相同,分别为 35° 和 34.8° 。慢轴发散角结果如图 4 所示。其中,图 3 (a) 显示条形激光器的远场分布具有两个峰值,并且双峰强度相同,说明激光器存在高阶模式。而在高阶模式的影响下,条形激光器的发散角高达 6° 。从图 3 (b) 中可以看到,虽然锥形激光器的远场分布也具有高阶模式,但是发散角仅为 4° ,明显低于条形激光器。由于脊形区域的存在,

锥形激光器中的高阶模式明显得到了抑制,但由于在高功率情况下工作,脊形区域模式过滤不够充分,对激光器的光束质量有一定的破坏。

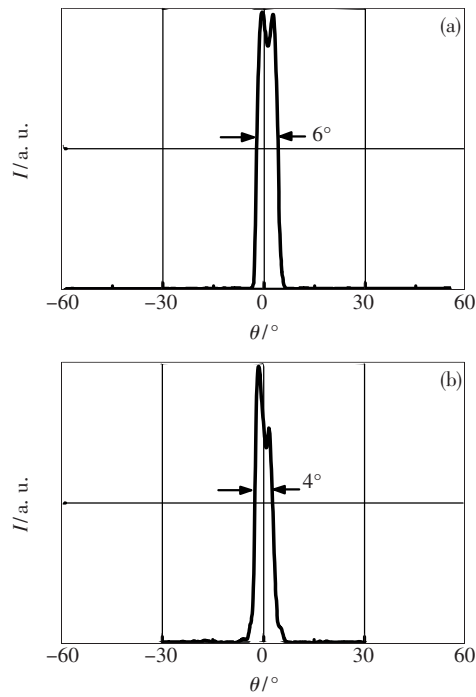


图 3 20 ℃下、连续光功率为 1 W 时,激光器的侧向远场分布 (a) 条形激光器的发散角为 6°; (b) 锥形激光器的发散角为 4°。

Fig. 3 The lateral far-field of lasers at $P = 1\text{ W}$ with continuous wave (CW) operation at $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, (a) the divergence angles of broad laser is 6° ; (b) the divergence angles of tapered diode laser is 4° .

为了进一步比较两种激光器的光束质量,利用国际标准(ISO/TR 11146-3)的刀口法^[11],测量并计算了光束质量传播因子和激光器的亮度,相关参量的定义为 $1/e^2$ 标准。以常用的激光器的光束质量传播因子 M^2 和亮度 B 作为参数,对两种激光器的光束质量进行比较。两参量的表达式如下:

$$M^2 = \pi \frac{W_0 \theta}{\lambda / \pi}, \tag{1}$$

$$B = \frac{P}{A\Omega} = \frac{P}{\lambda^2 M^2}, \tag{2}$$

其中, W_0 为光束的束腰半径, θ 为发散角, λ 为发光波长, P 为输出功率, A 为出光面积, Ω 为光束立体角。对于理想的高斯光束, M^2 为 1; 对于实际光束, M^2 大于 1, 越接近 1 说明光束质量越好。

表 1 20 ℃下、连续光功率为 1 W 时,条形激光器与锥形激光器光束质量特性的比较

Table 1 The specific parameter values of beam quality characteristics of the broad laser and tapered laser at $P = 1\text{ W}$ (CW) and at $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

激光器	束腰半径 / μm	M^2 因子 / $(1/e^2)$	亮度 / $(\text{MW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1})$
条形激光器	82.0	9.2	3.0
锥形激光器	37.5	2.8	9.9

如表 1 所示,输出功率同为 1 W 时,测得条形和锥形激光器的束腰半径分别为 $82.0\text{ }\mu\text{m}$ 和 $37.5\text{ }\mu\text{m}$ 。计算得到条形激光器的 M^2 为 9.2,亮度为 $3.0\text{ MW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$; 而锥形激光器的 M^2 为 2.8,仅为条形激光器的 $1/3$,亮度为 $9.9\text{ MW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ 。经过对比不难发现,在相同光输出功率条件下,锥形激光器的亮度是相同出光面积的条形激光器的 3 倍多。

我们还比较了两种激光器的功率特性。图 4 为占空比 0.5% ($t = 50\text{ }\mu\text{s}$, $f = 100\text{ Hz}$) 脉冲电流注入条件下,测得的两器件的电流-功率曲线。如图所示,锥形激光器和条形激光器具有相近的阈值电流,分别为 0.54 A 和 0.56 A 。当注入电流为 3 A 时,条形激光器的光功率为 1.60 W ,略高于锥形激光器的 1.40 W 。通过计算可以得到的两种器件在 3 A 时的电光转换效率分别为 35% 和 30% 。可以看到,虽然由于电流注入面积小于条形激光器,造成了锥形激光器在功率效率上略低于条形激光器,但同样在注入电流为 3 A 时实现了大功率输出。

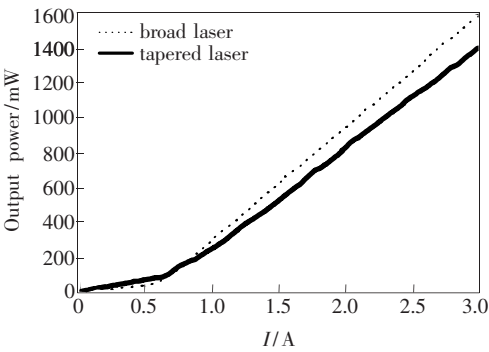


图 4 20 ℃时,脉冲条件下 ($t = 50\text{ }\mu\text{s}$, $f = 100\text{ Hz}$) 条形激光器与锥形激光器在不同电流下功率曲线。

Fig. 4 The power-current characteristics of the broad laser and the tapered laser under pulsed ($t = 50\text{ }\mu\text{s}$, $f = 100\text{ Hz}$) conditions at $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5 结 论

采用相同的外延结构分别制备了 850 nm 的条形激光器和锥形半导体激光器,实现了大功率输出。通过对二者光谱特性、光束质量及电光性能的对比,发现在出光面积相同、光输出功率相同

的情况下,锥形激光器具有更窄的光谱分布和更小的远场发散角,而其光束质量传播因子仅为普通条形激光器的 1/3,亮度为条形激光器的 3 倍。这一结果为高光束质量、高亮度 850 nm 激光器的制备提供了一种可行的途径。

参 考 文 献:

- [1] Zhu Liyan , Fu Xiuhua. The technical development of the 850 nm high-luminance semiconductor laser's film [J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology* (长春理工大学学报), 2007 , **30**(1) : 18-20 (in Chinese) .
- [2] Qu Zhou , Liu Yang , Liu Bo. High power semiconductor laser and its applications in military [J]. *OME Information* (光机电信息), 2006 , **23**(1) : 52-55 (in Chinese) .
- [3] Liu Yun , Liao Xinsheng , Qin Li , *et al.* Oxygen-free copper microchannel heat sink of high power semiconductor laser [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2005 , **26**(1) : 109-114 (in Chinese) .
- [4] Liang Xuemei , Lv Jinka , Cheng Liwen , *et al.* Structural design of vertical-external-cavity surface-emitting semiconductor laser with 920 nm [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2010 , **31**(1) : 79-85 (in English) .
- [5] Cheng Liwen , Liang Xuemei , Qin Li , *et al.* Theoretical analysis of key parameters of 980nm optically pumped semiconductor vertical external cavity surface emitting laser [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2008 , **29**(4) : 713-715 (in Chinese) .
- [6] Ma Qiang , Tian Zhenhua , Wang Zhenfu , *et al.* A theoretical model of high power VCSEL based on the thermal-offset-current [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2009 , **30**(4) : 463-466 (in Chinese) .
- [7] Adamiec P , Sumpf B , Rüdiger I , *et al.* Tapered lasers emitting at 650 nm with 1 W output power with nearly diffraction-limited beam quality [J]. *Optics Lett.* , 2009 , **34**(16) : 2456-2458.
- [8] Dittmar F , Klehr A , Sumpf B , *et al.* 9 W output power from an 808 nm tapered diode laser in pulse mode operation with nearly diffraction-limited beam quality [J]. *IEEE Quantum Electronics* , 2007 , **13**(5) : 1194-1199.
- [9] Kelemen M T , Weber J , Bihlmann G , *et al.* Tapered diode lasers at 976 nm with 8 W nearly diffraction limited output power [J]. *Electronics Lett.* , 2005 , **41**(18) : 1011-1013.
- [10] Hwang R Y , Luh S W , Hsu J K , *et al.* Critical comparison of DH , SCH , and GRIN-SCH-SQW 780 nm ridge-waveguide lasers [J]. *SPIE* , 1992 , **1813**: 178-184.
- [11] Wright D , Greve P , Fleischer J , *et al.* Laser beam width , divergence and beam propagation factor-an international standardization approach [J]. *Optical and Quantum Electronics* , 1992 , **24**(9) : 993-1000.

Electro-optic Properties of 850 nm High-brightness Tapered Lasers

YANG Ye^{1,2} , LIU Yun¹ , QIN Li¹ , ZHANG Jin-long¹ , PENG Hang-yu^{1,2} ,
WANG Ye^{1,2} , LI Zai-jin^{1,2} , HU Li-ming^{1,2} , SHI Jing-jing^{1,2} ,
WANG Chao¹ , NING Yong-qiang¹ , WANG Li-jun¹

(1. Key laboratory of Excited State Processes , Changchun Institute of Optics , Fine Mechanics and Physics ,
Chinese Academy of Sciences , Changchun 130033 , China ;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences , Beijing 100039 , China)

Abstract: High-brightness tapered laser diode at 850 nm was fabricated based on the AlGaInAs/AlGaAs chip with graded-index waveguide separate confinement hetero-structure. The tapered laser has better performance

than the broad laser under the same condition. The lateral divergence angles of the tapered laser and the broad laser were 4° and 6° at the output power of 1 W, while the beam propagation factor M^2 were 2.8 and 9.2, respectively. The slope efficiency of the tapered laser had a high value of 0.58 W/A and the conversion efficiency reached 30% in the output power 1.40 W under the injection current of 3 A. The facts indicated the tapered laser would be an ideal choice for high brightness high power laser diodes.

Key words: 850 nm; tapered laser diode; high-brightness; the beam propagation factor

CLC number: TN248.4

PACS: 85.30.De

PACC: 4255P

Document code: A

DOI: 10.3788/fgxb20113206.0593

Received date: 2011-01-25

《中国光学》征稿启事

《中国光学》,双月刊,A4开本;刊号:ISSN 1674-2915/CN22-1389/04;国内外公开发行,邮发代号:国内 12-140 国外 BM6782。

★中国科技核心期刊

★中国光学学会光电技术专业委员会会刊

★中国学术期刊(光盘版)源期刊

报道内容:基础光学、发光理论与发光技术、光谱学与光谱技术、激光与激光技术、集成光学与器件、纤维光学与器件、光通信、薄膜光学与技术、光电子技术与器件、信息光学、新型光学材料、光学工艺、现代光学仪器与光学测试、光学在其他领域的应用等。

发稿类型:学术价值显著、实验数据完整的原创性论文;研究前景广阔,具有实用、推广价值的技术报告;有创新意识,能够反映当前先进水平的阶段性研究简报;对当前学科领域的研究热点和前沿问题的专题报告;以及综合评述国内外光学技术研究现状、发展动态和未来发展趋势的综述性论文。

欢迎投稿、荐稿,洽谈合作。

主管单位:中国科学院

主办单位:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

编辑出版:《中国光学》编辑部

投稿网址: <http://chineseoptics.net.cn>

邮件地址: chineseoptics@ciomp.ac.cn gxyygx2007@126.com

联系电话: (0431) 86176852; (0431) 84627061 传 真: (0431) 84613409

编辑部地址: 长春市东南湖大路 3888 号(130033)

《中国光学》编辑部