

62% 电光转换效率的高功率 808 nm 半导体激光器

李沛旭^{1,2} 蒋 锴^{1,2} 张 新¹ 汤庆敏¹ 夏 伟^{1,2} 李树强^{1,2} 任忠祥¹ 徐现刚^{1,2}

(¹山东华光光电子有限公司, 山东 济南 250101
²山东大学晶体材料国家重点实验室, 山东 济南 250100)

摘要 针对半导体激光器的能量损耗情况,设计优化了半导体激光器的结构,改进了材料的金属有机化学气相沉积(MOCVD)生长条件。采用低压 MOCVD 外延技术生长了 GaAsP/GaInP/AlGaInP 应变量子阱大光腔结构,进而设计制作了 808 nm 大功率连续激光器芯片。25 °C 下,当输入电流 10 A 时,输出功率超过 11.5 W,最大电光转换效率约 62%。对 5 W 输出功率的 808 nm 激光器进行了老化实验,1000 h 衰减小于 2%。

关键词 半导体激光器;电光转换效率;低压金属有机化学气相沉积;GaAsP/GaInP/AlGaInP

中图分类号 O436 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201131.s100308

High Power 808 nm Laser Diode with 62% Wall-Plug Efficiency

Li Peixu^{1,2} Jiang Kai^{1,2} Zhang Xin¹ Tang Qingmin¹ Xia Wei^{1,2} Li Shuqiang^{1,2}

Ren Zhongxiang¹ Xu Xiangang^{1,2}

(¹Shandong Huaguang Optoelectronics Co., Ltd., Jinan, Shandong 250101, China
²State Key Lab of Crystal Material, Shandong University, Jinan, Shandong 250100, China)

Abstract Based on the analysis of energy loss in a laser diode, we optimize the structure of the laser diode and metal organic chemical vapor deposition (MOCVD) growth condition. By low pressure (LP) MOCVD, GaAsP/GaInP/AlGaInP strained quantum well large optical cavity structure is grown, and high power continuous wave (CW) 808 nm laser diode is fabricated. At 25 °C under CW operation condition, an output power of 11.5 W is obtained at 10 A current, with the threshold current being 1.15 A. The wall-plug efficiency reaches 62%. With the operation current of 5.5 A at 40 °C, less than 2% output power degenerates over 1000 h.

Key words semiconductor laser; wall-plug efficiency; low pressure metal organic chemical vapor deposition; GaAsP/GaInP/AlGaInP

OCIS codes 140.2020; 140.5960; 230.5590

1 引 言

大功率半导体激光器具有体积小、效率高、可靠性好以及易集成等优点,目前在工业、材料、显示、军事领域已经得到广泛应用。而大功率半导体激光器抽运的全固态激光器具有控制好、效率高等优点,是未来高能激光器的主要代表之一。大功率 808 nm 激光器广泛应用于抽运 Nd:YAG 固体激光器、工业加工和激光医疗等领域,因此发展 808 nm 高效率大功率半导体激光器具有重要的现实意义^[1-3]。

自从半导体激光器诞生以来,随着制作工艺技术的提高,其输出性能不断提升,尤其是以金属有机

化学气相沉积(MOCVD)及分子束外延(MBE)工艺实现了高质量的量子阱结构外延,大功率半导体激光器的性能提升呈现了加速的趋势。而高效率、高可靠性、低成本是半导体激光器系统根本的设计要求以及发展趋势^[4,5]。

本文从材料外延生长、芯片设计出发开展了高效率连续激光器的研制,成功制作了高效率的 808 nm 连续输出大功率激光器。

2 能量损耗分析

半导体激光器的多余热量由以下几个方面产生:1)阈值电流以下的消耗;2)载流子的溢出;3)焦

收稿日期: 2011-02-27; 收到修改稿日期: 2011-04-10

基金项目: 国家 863 计划(2009AA032705)资助课题。

作者简介: 李沛旭(1982—),男,博士,主要从事半导体激光器方面的研究。E-mail: lipx0419@gmail.com

耳热;4)内建电场;5)吸收散射损耗。而激光器的阈值电流表示为

$$\Gamma g_{th} = \alpha_i + \alpha_{end} = \alpha_i + \frac{1}{2L} \ln\left(\frac{1}{R_1 R_2}\right),$$

式中 α_i 为内部损耗,包括载流子的吸收、缺陷散射等引起的各种损耗; α_{end} 为激光器的端面损耗。根据以上分析可见,为了提高转换效率,降低阈值电流,可采取的措施有:1)减少端面吸收损耗;2)增加载流子的限制作用,减少溢出损耗;3)降低体电阻;4)优化内建电场;5)优化内部结构和提高材料质量,降低内部吸收等损耗。

通过对半导体激光器的能量分布分析,为了提高大功率 808 nm 量子阱激光器的能量转换效率,以下几个方面的工作是比较容易进行的:

- 1)提高激光器的外延生长质量,降低缺陷和界面的散射吸收等损耗;
- 2)设计优化波导结构,改善光场的分布,减少非增益区的吸收损耗;
- 3)设计和最优化量子阱分别限制结构,取得光增益和复合特性的最优化。

3 芯片结构及材料生长优化

为了提高大功率 808 nm 半导体激光器的效率,设计采用了应变非对称限制大光腔结构。其外延结构(能带)和光场分布如图 1 所示。应变量子阱结构主要针对低阈值电流密度进行优化,大光腔结构主要针对降低腔面功率密度以及减小腔内光吸收损耗进行优化,将光场从原有的对称分布变为非对称分布,使光场适当偏向 N 型波导层和限制层,以减少光场分布与高掺杂的 P 型限制层的交叠比例,从而减少因高掺杂的 P 型限制层的自由载流子吸收和散射而导致的强烈光损耗。

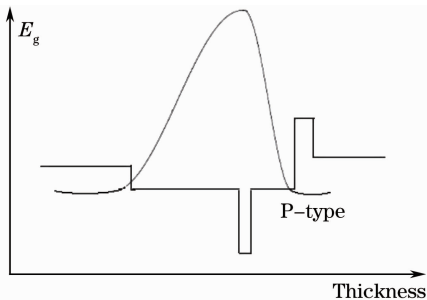


图 1 非对称结构能带及光场分布示意图

Fig. 1 Schematic of conduction band edge and optical mode profile of asymmetric structure

与传统的对称结构激光器相比,非对称结构具有以下优点^[6,7]:1)光场分布偏向 N 型材料区,减少

了 P 型材料对光的吸收,有利于降低内损耗;2)增大了限制层与有源区的带隙差,有利于减少泄漏;3)P 型区高的限制能力使得适当提高 P 面的掺杂成为可能,同时可以适当减薄 P 型限制层,有利于激光器串联电阻的减少。

材料是决定大功率半导体激光器性能指标的关键。利用低压金属有机气相沉积(LP-MOCVD)进行材料生长。采用高纯 TMGa, TMIIn, TMAI 作为 III 族源,纯 PH₃ 和 AsH₃ 为 V 族源,用 H₂ 作为载气;N, P 型掺杂分别用 Si 和 Mg,生长温度 650~750 °C。通过优化 MOCVD 生长参数,如生长温度、生产速率及五三比等,实现了高质量的半导体激光器材料的生长,其表面粗糙度小于 0.175 nm。图 2 是生长的 808 nm 激光器结构表面原子力显微镜(AFM)测试图。

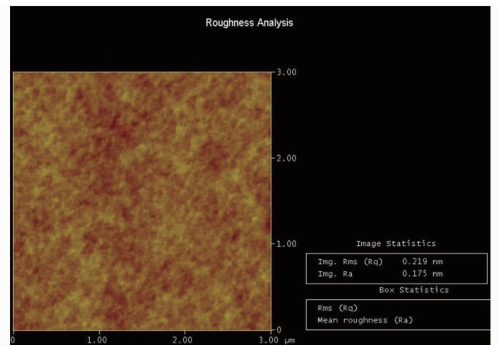


图 2 808 nm 激光器表面 AFM 测试图

Fig. 2 AFM image of the 808 nm laser wafer

外延片经过光刻,制作成 150 μm 条宽的脊形电极,分别在 P 和 N 面蒸镀金属电极,解理成 1500 μm 腔长的 bar 条;在腔面分别镀 10% 的增透膜和 95% 的高反膜;最后,解理成管芯 P 面向下烧结在无氧铜热沉上。

4 测试结果

在室温 25 °C 时,把封装好的 150 μm 条宽、1500 μm 腔长的激光器在连续电流下测试其光电参数。测得器件的阈值电流为 1.15 A,斜率效率达到 1.35 W/A,当注入电流达到 10 A 时,输出功率超过 11.5 W。最大光电转换效率达到 62%。其测试结果如图 3 所示。

最后,为了验证制作的激光器的可靠性,对制作的激光器在 5 W 输出功率条件下进行了 1000 h 老化,老化温度为 40 °C,电流 5.5 A。图 4 是老化结果,从图中可以看到,经过 1000 h 老化后,功率衰减小于 2%。

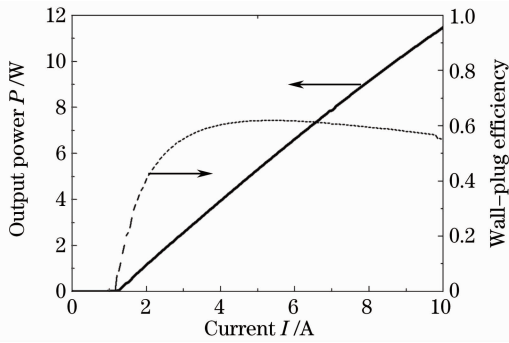
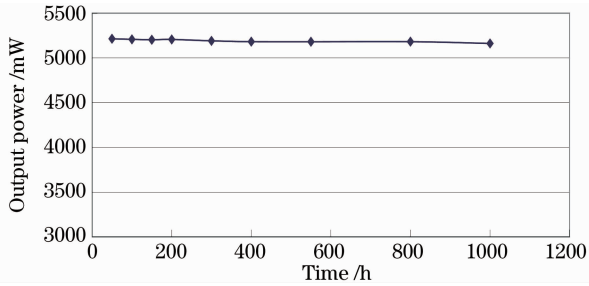


图 3 808 nm 激光器功率测试图

Fig. 3 CW power test result of the 808 nm laser

图 4 150 μm 条宽 808 nm 激光器的老化结果图Fig. 4 Lifetime test of the 808 nm laser with
150 μm stripe width

5 结 论

为了提高 808 nm 半导体激光器的转换效率,通过分析激光器中的能量损耗情况,设计了具有非对称宽波导外延结构的应变量子阱激光器,制作了 150 μm 条宽、1500 μm 腔长的激光器器件,得到连

续输出功率在 11.5 W 以上的结果,最大光电转换效率可达 62%。测得其阈值电流为 1.15 A,斜率效率达到 1.35 W/A。

参 考 文 献

- 1 Yi Qu, Shu Yuan, Chongyang Liu *et al.*. High-power InAlGaAs/GaAs and AlGaAs/GaAs semiconductor laser arrays emitting at 808 nm[J]. *Photon. Technol. Lett.*, 2004, **16**(2): 389~391
- 2 Robin K. Huang, Bien Chann, Leo J. Missaggia *et al.*. High-brightness wavelength beam combined semiconductor laser diode arrays[J]. *Photon. Technol. Lett.*, 2007, **19**(4): 209~211
- 3 Yang Hongwei, Huang Ke, Chen Hongtai *et al.*. High efficiency CW 1000 W semiconductor laser stack array[J]. *Semiconductor Technology*, 2010, **35**(4): 340~343
杨红伟, 黄科, 陈宏泰等. 高效率连续 1000 W 半导体激光器叠层阵列[J]. *半导体技术*, 2010, **35**(4): 340~343
- 4 Li Chen, Liu Yingbin, Song Xueyun *et al.*. Recent development of high-efficiency high-brightness semiconductor lasers [J]. *Semiconductor Technology*, 2008, **33**(9): 748~751
李晨, 刘英斌, 宋雪云等. 高效率高亮度半导体激光器技术进展[J]. *半导体技术*, 2008, **33**(9): 748~751
- 5 Xin Guofeng, Qu Ronghui, Fang Zujie *et al.*. New development of high power semiconductor lasers[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2006, **43**(2): 3~8
辛国锋, 翟荣辉, 方祖捷等. 大功率半导体激光器的最新进展[J]. *激光与光电子学进展*, 2006, **43**(2): 3~8
- 6 Peixu Li, Ling Wang, Shuqiang Li *et al.*. MOCVD growth of AlGaInP/GaInP quantum well laser diode with asymmetric cladding structure for high power[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2009, **7**(6): 489~491
- 7 Peixu Li, Kai Jiang, Shuqiang Li *et al.*. Influence of the upper waveguide layer thickness on optical field in asymmetric heterostructure quantum well laser diode[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2010, **8**(5): 493~495