

文章编号:1001-9014(2005)01-0061-04

980nm 大功率垂直腔底发射激光器

金珍花^{1,2}, 孙艳芳^{1,2}, 宁永强¹, 晏长岭¹, 秦莉¹, 刘云¹,
套格套¹, 王立军¹, 崔大复³, 李惠青³, 许祖彦³

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 激发态物理重点实验室, 吉林 长春 130033;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. 中国科学院物理研究所, 北京 100080)

摘要:报道 980nm 大功率底发射垂直腔面发射激光器的结构、研制及器件的阈值电流、输出功率和光谱特性. 在室温(24℃)下, 5A 连续电流工作时, 出光孔径 400 μm 的器件激射波长为 984.1nm, 输出功率达到 1.42W, 是目前所能见到报道中最高的. 研究了出光孔径 600 μm 的器件在连续工作时, 激射波长、光谱半高宽随注入电流的变化以及在重复频率 100Hz, 脉冲宽度 50~1000 μs 条件下的输出功率、效率与注入电流的关系.

关键词:垂直腔面发射激光器; 大功率; 底发射; 注入电流; 热效应

中图分类号: TN248.4 **文献标识码:** A

980nm HIGH POWER BOTTOM EMITTING VCSELS

JIN Zhen-Hua^{1,2}, SUN Yan-Fang^{1,2}, NING Yong-Qiang¹, YAN Chang-Ling¹, QIN Li¹
LIU Yun¹, TAO Ge-Tao¹, WANG Li-Jun¹, CUI Da-Fu³, LI Hui-Qing³, XU Zu-Yan³

(1. Key laboratory of Excited State Processes, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033 China;
2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039 China;
3. Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080 China)

Abstract: The structure design and fabrication process of 980nm high power vertical-cavity surface-emitting laser diodes (VCSELS) were reported. The threshold current, output power and spectrum characteristics were investigated. An optical output power as high as 1.42W for a 400 μm diameter device was achieved at room temperature. To our knowledge, this is the highest record for a single device up to now. The dependence of the CW emitting wavelength and FWHM of spectrum of a 600 μm diameter device on injection current indicated the heating effects in the active region. The output power performance was further characterized by using pulse operation with pulse width from 50~1000 μs .

Key words: vertical-cavity surface-emitting laser; high power; bottom emitting; injection current; thermal effect

引言

垂直腔面发射激光器 (Vertical-cavity surface emitting laser, VCSEL) 在半导体激光器发展历史中起步较晚, 从 1977 年日本东京工业大学的 Iga 提出面发射激光器的概念, 直到 1988 年才做出室温连续激射的 AlGaAs/GaAs 面发射激光器.

一直以来 VCSEL 的研究主要集中在面向光通讯应用的毫瓦级小功率器件上. 大功率 VCSEL 研究方面国际上仍处在起步阶段. 目前国外大功率垂直腔面发射器件最高水平的报道是单管连续 890mW,

列阵连续 1W、脉冲 10W^[2~4]. 本文报道了单管连续输出功率达到 1.42W 的 980nm 大功率 VCSEL 器件的研制, 并对其输出特性进行了深入研究.

1 器件结构和制作

面发射激光器一般可以制作成顶部发射和底部发射. 由于顶部 p 面发射的器件电流分布不均匀、光场空间模式不好, 而且在大功率工作时, 散热比较困难, 我们研制的大功率 980nm 面发射器件采用底部 n 面出光结构. 其结构主要分为两部分: 中心是有源区, 两边是高反射率的分布式布拉格反射镜 (DBR),

收稿日期: 2004-06-21, 修回日期: 2004-10-24

Received date: 2004-06-21, revised date: 2004-10-24

基金项目: 吉林省基金“半导体电泵浦集成微腔激光器”(20020604), 国家自然科学基金“垂直耦合碟型微腔谐振器光学性质研究”(10104016)
作者简介: 金珍花(1978-), 女, 朝鲜族, 吉林集安人, 硕士生, 研究方向为半导体光电子器件.

Distributed Bragg Reflectors),用MOCVD法生长在n型衬底上.有源区包括3个8nm厚的 $In_{0.2}Ga_{0.8}As$ 量子阱和10nm厚的GaAs材料构成的势垒,激光波长约为980nm.有源区夹在约半波长厚的AlGaAs材料构成的空间层间,有源区及空间层构成一个波长的谐振腔. p-DBR由30对 $C(2 \times 10^{18} cm^{-3})$ 掺杂的 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As(81.7nm)/GaAs(69.6nm)$ 构成,反射谱中心波长为980nm,理论上达到99.9%的反射率.在p型DBR与空间层之间有一30nm厚的 $Al_{0.98}Ga_{0.02}As$ 层,这一层被选择氧化为低折射率的 Al_xO_y ,作为器件的光电限制层. n型DBR包括20对 $Si(2 \times 10^{18} cm^{-3})$ 掺杂的 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As(81.7nm)/GaAs(69.6nm)$ 提供99.3%的反射率.

制作过程如下:为提高输出功率采用n面出光的结构,电流由p面Ti/Pt/Au圆形电极注入. p-DBR用湿化学蚀刻法刻蚀台面,在420℃石英炉内由氮气携带90℃水蒸气进行氧化形成 Al_xO_y 绝缘层,对注入电流进行限制. 腐蚀形成的台面溅射200nm厚的 SiO_2 绝缘层防止电流由台面测向注入而导致器件短路. n面衬底化学减薄至150μm左右,采用双面对准工艺形成出光窗口,蒸镀单层 ZrO_2 材料980nm增透膜,以提高输出光的透射率. n面的欧姆接触通过在衬底上蒸镀AuGeNi/Au形成,并在420℃,氮气保护下合金1分钟. 解理管芯,中测,并封装为TO-3型,如图1所示^[5].

2 器件测试与讨论

980nm量子阱VCSEL材料室温光致发光谱是用Ar离子激光器514.5nm线激发,光电倍增管探测,荧光峰值波长972.3nm,光谱半高宽0.02nm,如图2所示. DBR反射谱测量采用白光光源,用InGaAs探测器接收反射光信号,反射谱带在937.2~1025.1nm,在981.2nm处存在腔谐振模式,如图3所示.

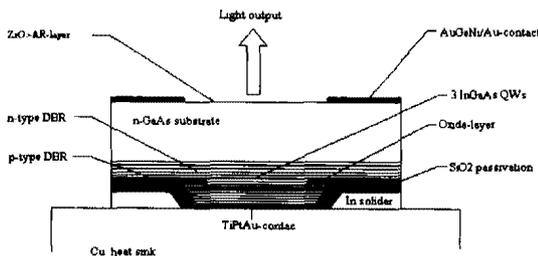


图1 VCSEL的结构示意图
Fig.1 Structure of VCSEL

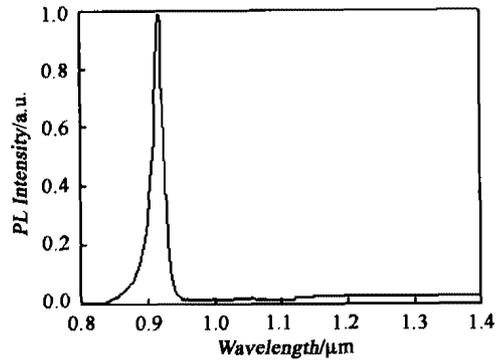


图2 980nm量子阱VCSEL材料室温光致发光谱
Fig.2 PL spectrum of 980nm quantum well VCSEL at room temperature

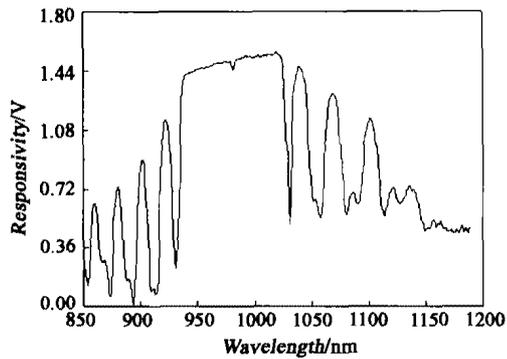


图3 980nm VCSEL的DBR反射谱
Fig.3 980nm DBR reflection spectrum of VCSELs

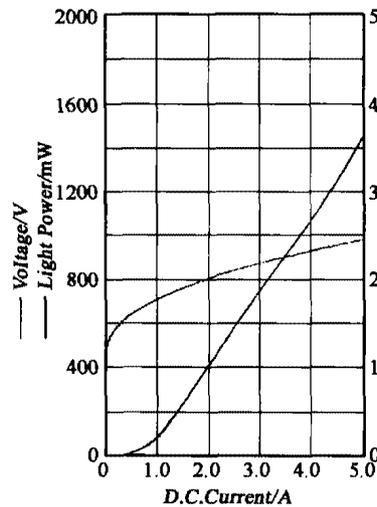


图4 器件的伏安特性与输出功率曲线
Fig.4 V-I and L-I curves of the device

我们研制出的出光孔径400μm的器件伏安特性与输出功率特性曲线如图4所示.在室温(24℃)下,正向导通电压约为1.25V,阈值电流为0.85A.5A连续电流下实现1.42W的输出功率,该功率是我们

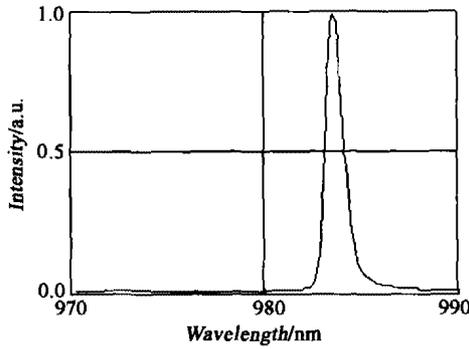


图5 器件的激光光谱
Fig. 5 Lasing spectrum of the device

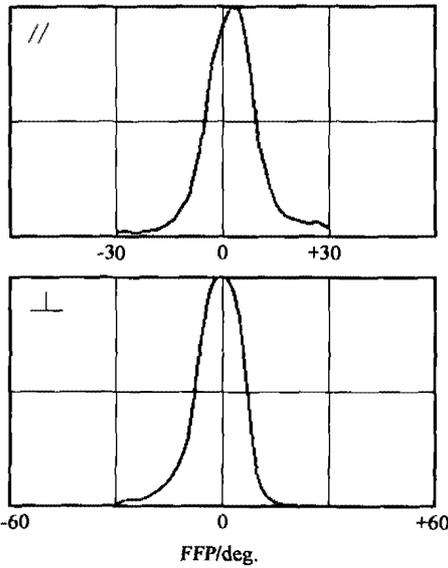


图6 器件的远场分布
Fig. 6 Far field pattern of the device

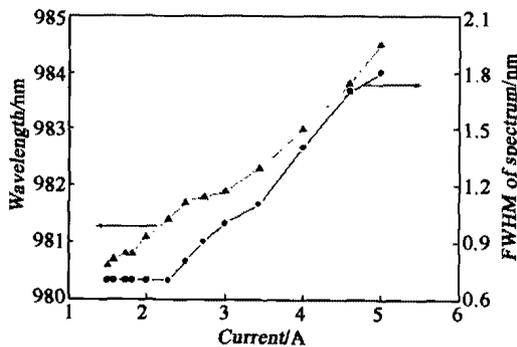


图7 水冷条件下波长及半高宽随注入电流的变化
Fig. 7 Wavelength and half-width dependent on injected current under water-cooling condition(24°C)

所能见到的报道中最高的^[3]. 器件的斜效率 0.40mW/mA, 峰值波长为 984.1nm, 光谱半高宽 1.1nm, 激光光谱如图 5 所示. 由图 6 可见, 器件的远场发散角小于 15°, $\theta_{//} = 14.1^\circ$, $\theta_{\perp} = 14.4^\circ$.

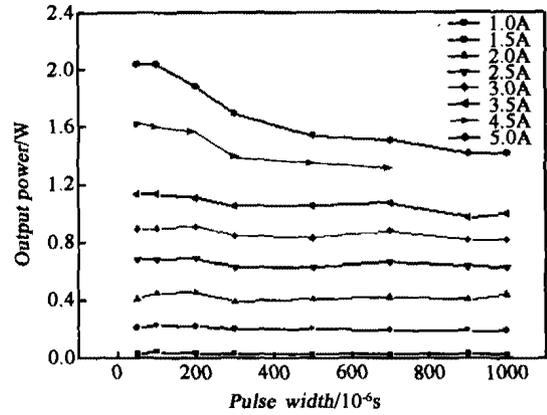


图8 脉冲频率 100Hz, 脉宽在 50 ~ 1000μs 内变化时, 输出功率变化曲线
Fig. 8 P-I characteristic at different pulse current with pulse frequency of 100Hz

由于面发射激光器效率比较低, 大电流注入时会使器件温度升高, 我们在室温下通过循环水冷却保持激光器管壳在恒定温度 24°C. 图 7 表示不同工作电流对出光孔径 600μm 激光器的激光波长与光谱半高宽的影响.

注入电流与温度的变化是影响半导体激光器性能的重要因素. 大直径 VCSEL 器件的功率转换效率比较低, 直径 600μm 器件的效率仅为 7.7%, 在连续工作下很大部分注入功率转换成热的形式. 由图 7 的曲线可以看出, 随着工作电流的增大激光波长发生红移, 半高宽变宽. 工作电流为 1.5A 时, 激光波长 980.6nm, 光谱半高宽 0.7nm. 在工作电流为 5 A 时, 激光波长 984.5nm, 光谱半高宽 1.8nm.

注入电流增大引起结温度升高, DBR 的等效折射率随温度的升高而增大. 器件的热效应和 DBR 等效折射率的变化都会使激光波长向长波长方向移动. 另一方面, 注入电流很大时, 有源区存在可移动的大量载流子, 造成电子间的排斥力使电子波动的局域性减弱, 结带宽变大, 激光波长向短波长方向移动, 我们所测得的实验结果表明器件的热效应是影响激光波长变化的主要因素.

有源区的热效应使量子阱结构的能级曲率变小, 同时随注入电流的增大, 载流子所占据的能级不只是导带底和价带顶, 分布展宽, 这样就会使得发射谱加宽, 与我们测试结果相符^[6].

为进一步研究大电流高功率工作时热效应的影响, 我们在脉冲条件下测试了器件的输出特性. 在重复频率 100Hz 下, 改变脉冲宽度测得直径 600μm 器件的输出功率的变化曲线, 如图 8 所示. 当电流在

阈值附近或小于阈值时,增加脉冲宽度对器件输出功率的影响并不明显.随着注入电流的加大,输出功率随脉冲宽度加大而降低的趋势越来越明显.说明大注入电流下,脉冲宽度越大,更多的注入功率转化为热的形式,输出功率降低.

同一外延片制作的 VCSEL 的工艺参数如氧化时间也影响器件性能. VCSEL 的性能主要取决于最优化的激光器结构及最合适的制作工艺.如果我们改进氧化工艺、欧姆接触,更好地解决器件的散热问题,980nm 底发射 VCSEL 的功率将进一步提高.

3 结语

研制出大功率的 980nm 垂直腔面发射激光器.室温(24℃)下,出光孔径 400 μm 的 VCSEL 输出功率达到 1.42W,激光波长为 984.1nm,该功率是目前所能见到的报道中最高的.

测试了水冷条件下,激光波长、光谱半高宽与注入电流的关系.随注入电流的增大,激光波长红移,半高宽变宽.100Hz 重复频率下,输出功率随脉冲宽度增加呈下降趋势,在大注入电流下这种趋势更加明

显.引起上述结果的主要原因是随注入电流变大,很大部分注入功率转换为热的形式,导致输出功率下降;而热效应又影响了器件的波长和半高宽等性能.

REFERENCES

- [1] Iga K F Koyama, Kinoshita S. Surface emitting semiconductor lasers [J]. *IEEE J. f Quantum Electronics*, 1988, **24**: 1845—1855.
- [2] Michalzik R, Grabherr M, Jager R, et al. Progress in high power vcsels and arrays [J]. *SPIE*, 1998, **3419**: 187—195.
- [3] Grabherr M, Miller M, Jager R, et al. High-power VCSELs: single devices and densely packed 2-D-arrays [J]. *IEEE J. Select. Topics Quantum Electron*, 1999, **5**: 495—502.
- [4] Martin Grabherr, Ihab Kardosh. Improved output performance of high-power VCSELs [R]. Annual Report 2001, Optoelectronics department, University of Ulm, 2001.
- [5] ZHAO Lu-Min, WANG Qing, YAN Chang-Ling, et al. 980nm High power vertical-cavity surface-emitting laser [J]. *Chinese Journal of Lasers* (赵路民,王青,晏长岭等. 980nm 高功率垂直腔面发射激光器. *中国激光*) 2004, **31**(2): 142—144.
- [6] JIANG Jian-Ping. *Semiconductor Laser* [M]. Beijing: PHEI (江剑平. *半导体激光器*. 北京: 电子工业出版社), 2000.