

# 新型光泵浦垂直外腔面发射半导体激光器\*

宋晏蓉<sup>1</sup> 郭晓萍<sup>2</sup> 王勇刚<sup>1,3</sup> 陈 檬<sup>2</sup> 李 港<sup>2</sup> 于未茗<sup>1</sup> 胡江海<sup>1</sup> 张志刚<sup>1,3</sup>

(1 北京工业大学应用数理学院 光学国家重点学科,北京 100022)

(2 北京工业大学激光工程学院 光学国家重点学科,北京 100022)

(3 天津大学精密仪器与光电子工程学院,教育部光电信息重点实验室,天津 300072)

**摘 要** 用量子阱技术生长的半导体材料作激光增益介质,AlGaAs/GaAs 对做布喇格反射镜,并以简单的平凹腔做谐振腔,半导体激光器作泵浦源,制作出了光泵浦垂直外腔面发射半导体激光器.在抽运功率 1.5 W 时,得到了中心波长 1005 nm、最大输出功率 40 mW 的激光,光-光转换效率 2.7%.

**关键词** 面发射半导体激光器;光泵浦;量子阱;增益芯片

**中图分类号** TN248.4 **文献标识码** A

## 0 引言

光泵浦垂直外腔面发射半导体激光器(DP-VESCEL)是二十世纪九十年代后期发展起来的新技术.它结合了半导体激光器泵浦的固体激光器和量子阱垂直腔面发射半导体激光器(VSCEL)的优点,既有好的模式和较高的功率,波长又可以设计.由于外腔式面发射激光器的光斑面积比较大( $\approx 100 \mu\text{m}$ ),增益可以与某些边发射激光器相比拟,实验上已经得到 2 W 以上的基频功率,几十 mW 以上的倍频功率,波长可以覆盖从紫外、可见光到红外几乎所有波长.在得到大功率输出的同时,输出的光斑质量可与面发射激光器相比拟.同时又具有非常小的体积,在实际应用中具有重大意义.光泵浦半导体 VESCEL 激光器与固体激光器相比,具有广泛的发光光谱和吸收光谱,并且半导体层吸收系数很大( $\approx 10^4/\text{cm}$ ),可以做得很薄,对于光束质量(亮度)的要求不高,只要能够聚焦到增益区域就可,因此对泵浦源的波长及稳定度要求不高.它的发光光谱是由半导体的组分和量子阱的结构决定的,原则上可以复盖从红外到紫外的任何波长,以及大于 100 nm 的带宽.

由于光泵浦半导体激光器的结构类似于固体激光器,因此可以在腔中加入各类调谐元件.加入倍频晶体可获得倍频的多波长激光.由于半导体材料的特点,输出波长在很宽的范围内可以调节,很容易在 900 nm 附近振荡,倍频后易于得到目前热点追踪的蓝紫光波段的输出<sup>[1,2]</sup>.如果用半导体可饱和吸收

镜(SESAM)做锁模元件,可以得到皮秒和飞秒脉冲输出<sup>[3]</sup>.由于半导体芯片可以做的非常薄,因此激光腔可以做得非常短,得到重复频率非常高的锁模脉冲输出(GHz 以上)<sup>[4]</sup>.

1997 年第一个光泵浦半导体激光器问世,中间克服了许多困难,到 2000 年第一个锁模脉冲输出,目前最短脉冲达到 500 fs,波长 1040 nm.最近有报道输出最大连续光 2.2 W.2003 年第一次在英国的 Southampton 大学得到 1.5  $\mu\text{m}$  波长的锁模脉冲输出,在光通讯的应用方面有很大的潜力.基于此,本文报道用半导体激光器作泵浦源,半导体量子阱芯片作激光增益介质,得到 40 mW 的输出功率.

## 1 实验装置

图 1 是本实验用的半导体量子阱增益介质的结构示意图.在 GaAs 衬底上生长 27.5 对 1/4 波长厚度的 AlGaAs/GaAs 交替结构,形成布喇格反射镜,在所选择的波长处反射率可以达到 99.5% 以上.布喇格反射镜上面是 6 个分布在 GaAs 之间的 InGaAs 量子阱.泵光被垒区(GaAs)吸收,产生光生载流子,落入阱区,进行载流子复合,发射出另一波长的光.波长由阱区(InGaAs 或 AlGaAs)带隙决定.增益区的上面生长一层  $4.5 \times \lambda/4$  厚的

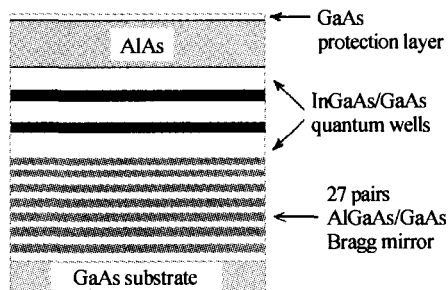


图 1 半导体量子阱增益介质  
Fig. 1 Structure of the gain material

\*北京市优秀人才培养专项经费和北京工业大学博士启动经费资助

Tel: 010-67396673 Email: yrsong@bjut.edu.cn

收稿日期: 2004-07-29

AlAs, 目的是防止垒区产生的载流子扩散到材料表面, 称为窗口层. 窗口层上面生长一层 5 ns 厚的 GaAs, 防止 AlAs 与空气直接接触的氧化.

图 2 是光泵浦垂直外腔面发射半导体激光器 (DP VECSEL) 的结构原理图. 泵浦光的中心波长 812 nm, 最大输出功率 1.5 W. 用两个透镜准直、聚焦到半导体量子阱增益介质上, 光斑尺寸约 100  $\mu\text{m}$ . 激光谐振腔是简单的平凹腔, 全反镜是和增益介质长在一起的半导体布喇格反射镜, 整个半导体材料放到铜热沉上, 背后用半导体制冷器制冷, 将温度保持在 10° 左右. 本实验用的输出镜是全反射镜, 在最大泵浦功率 1.5 W (对应泵浦电流 2.4 A) 时, 输出功率 40 mW.

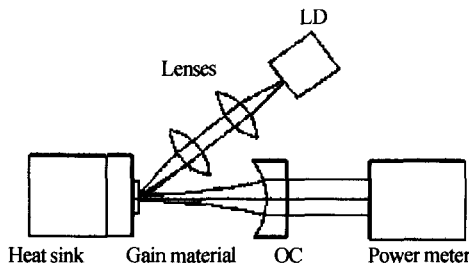


图 2 DP VECSEL 的结构图  
Fig. 2 DP VECSEL set up

图 3 是输出功率随输入功率的变化曲线. 从图可看出, 随着泵浦光的增加, 输出功率有饱和趋势. 将输出镜透射率优化后, 输出功率应该有所提高. 泵浦功率 1.5 W 时, 光-电转换效率 2.7%. 图 4 是输出激光的光谱图. 输出波长中心有两个, 分别为 1005 nm 和 1012 nm. 图 4(a)、(b) 分别是泵浦功率为 563 mW 和 1.5 W 时的输出激光光谱图. 从图中可看出, 随着泵浦功率增大, 输出激光的波长向长

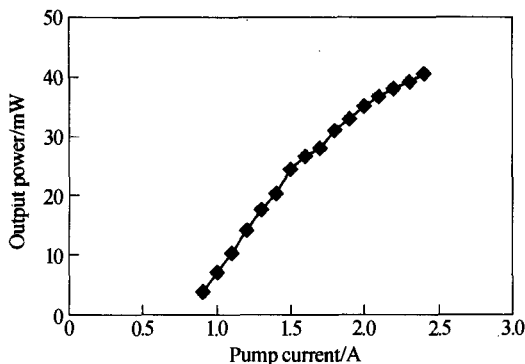


图 3 输出功率随泵浦功率的变化曲线  
Fig. 3 Output power vs. input current

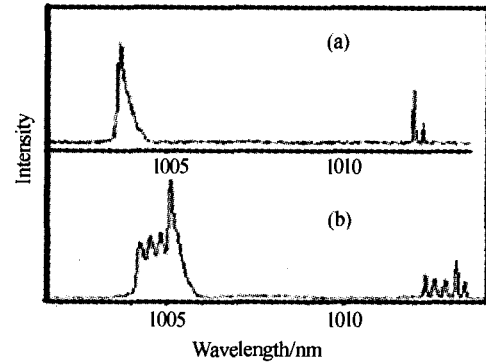


图 4 激光发光光谱  
Fig. 4 Laser spectrum

波漂移. 目前激光器的功率还不够高, 这是由量子阱的数目和垒的厚度以及散热问题决定的. 半导体材料生长的质量也影响激光器输出功率.

## 2 结论

用半导体激光器作泵浦源, 半导体量子阱材料作增益介质, 使用简单的平凹腔, 得到了中心波长 1005 nm、1012 nm、输出功率 40 mW 的激光输出. 此激光器结构简单, 输出光斑可以和固体激光器相媲美, 是很有发展前途的激光器. 今后的工作包括提高激光器的功率, 腔内倍频和锁模. 相信光泵浦垂直外腔面发射半导体激光器将会弥补固体激光器和半导体激光器的不足, 扩展激光器的波长, 开辟更多的应用领域.

## 参考文献

- 1 Raymond T D, Alford W J, Crawford M H, *et al.*. Intracavity frequencydoubling of a diode-pumped external-cavity surface-emitting semiconductor laser. *Opt Lett*, 1999, **24**(16): 1127~1129
- 2 高兰兰, 檀慧明. 利用复合 Nd: YAG 实现 600 mW 高效紧凑型蓝光激光器. *光子学报*, 2004, **33**(1): 8~10  
Gao L L, Tan H J. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(1): 8~10
- 3 Garnache A, Hoogland S, Tropper A C, *et al.* 500 fs soliton pulse in a passively mode-locked broadband surface-emitting laser with 100 mW average power. *Appl Phys Lett*, 2002, **80**(21): 3892~3894
- 4 Hoogland S, Dhanjal S, Tropper A C, *et al.* Passively mode-locked diode-pumped surface-emitting semiconductor laser. *IEEE Photonics Tech Lett*, 2000, **12**(9): 1135~1137

## An Novel Laser-Optically Pumped Vertical External Cavity Surface Emission Laser

Song Yanrong<sup>1</sup>, Guo Xiaoping<sup>2</sup>, Wang Yonggang<sup>1,3</sup>, Chen Meng<sup>2</sup>, Li Gang<sup>2</sup>, Yu Meiming<sup>1</sup>,  
Hu Jianghai<sup>1</sup>, Zhang Zhigang<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> College of Applied Science, Beijing University of Technology, Beijing 100022

<sup>2</sup> Laser Engineering College, Beijing University of Technology, Beijing 100022

<sup>3</sup> Ultrafast Laser Laboratory, University of Tianjin, Tianjin 300072

Received date: 2004-07-29

**Abstract** A novel laser-optimally pumped vertical external cavity surface emitting laser was demonstrated. A diode laser was employed as a pump source. The gain structure of the semiconductor was quantum wells grown by MOCVD technology. By adjusting the cavity which was typically plane-concaved structure carefully, the laser was obtained at 1005 nm centre wavelength and the output power was 40 mW. The optical-optical efficiency was 2.7%.

**Keywords** Vertical external cavity surface emitting laser; Optically pumped; Quantum well; Gain chip



**Song Yanrong** was born in Shanxi China. After receiving the Bachelor's Degree in semiconductor physics and devices from Tianjin University in 1988, she got her M. S. degree and Ph. D. degree in optics in Shanxi University in 1988 and 2000 respectively. Now she is working in Beijing University of Technology in ultrafast processing and mode-locked lasers for high repetition rates, SESAM mode-locked vertical external cavity of surface emitting semiconductor lasers.

### 征 订 单

Chinese Optics Letters、《中国激光》、《光学学报》由中国光学学会、中国科学院上海光学精密机械研究所主办，中国科学出版社出版，国内外公开发行。

Chinese Optics Letters——中国光学界唯一的全英文学术期刊，发表周期短，及时报道国内外光学及相关领域的重要新成果。

《中国激光》——中国唯一全面反映激光领域最新成就的专业学报类期刊。

《光学学报》——学术性强，报道我国光学领域的各个分支科技的新概念、新成果、新进展。

三刊均被《EI》、《CA》、《INSPEC》、《AJ》等收录。

Chinese Optics Letters 月刊，每期 64 页，大 16 开，进口铜版纸印刷。定价：35 元/期。

《中国激光》，月刊，每期 144 页，大 16 开，进口铜版纸印刷。定价：25 元/期。

《光学学报》，月刊，每期 160 页，大 16 开，进口铜版纸印刷。定价：35 元/期。

可通过邮局征订或直接与编辑部联系。

通信地址：上海 800-211 信箱 光学期刊联合编辑部

邮政编码：201800 电话：021-69918427 传真：021-69918011

网址：www.opticsjournal.net 联系人：戴玉珍

另：本编辑部尚有部分过刊，六折优惠