

文章编号 : 0258-7025(2004)02-0142-03

# 980 nm 高功率垂直腔面发射激光器

赵路民<sup>1,3</sup>, 王 青<sup>1</sup>, 晏长岭<sup>1,2</sup>, 秦 莉<sup>1</sup>, 刘 云<sup>1</sup>, 宁永强<sup>1</sup>, 王立军<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 中国科学院激发态物理开放实验室, 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130021

<sup>2</sup> 长春理工大学高功率半导体激光国家重点实验室, 吉林 长春 130022, <sup>3</sup> 吉林大学电子科学与工程学院, 吉林 长春 130026

**摘要** 研究了 980 nm 垂直腔面发射激光器(VCSEL)的结构设计和器件制作, 实现了室温下的脉冲激射。在脉宽为 50  $\mu$ s, 占空比为 5:1000 的脉冲电流下, 直径 400  $\mu$ m 的器件输出光功率最高可达 380 mW, 发散角小于 10°, 光谱的半高全宽为 0.8 nm。

**关键词** 激光技术; 半导体激光器; 垂直腔面发射激光器; 分子束外延; 量子阱结构; 氧化工艺

中图分类号 TN 248.4 文献标识码 A

## 980 nm High Power Vertical Cavity Surface Emitting Laser

ZHAO Lu-min<sup>1,3</sup>, WANG Qing<sup>1</sup>, YAN Chang-ling<sup>1,2</sup>,  
QIN Li<sup>1</sup>, LIU Yun<sup>1</sup>, NING Yong-qiang<sup>1</sup>, WANG Li-jun<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Lab. of Excited State Processes, Changchun Institute of Optics,

Fine Mechanics and Physics, The Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130021, China

<sup>2</sup> National Key Lab on High Power Semiconductor Lasers,

Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022, China

<sup>3</sup> College of Electronic and Engineering of Jilin University, Changchun, Jilin 130026, China

**Abstract** 980 nm vertical cavity surface emitting laser had been fabricated, and the pulse operation with high output power had also been realized at room temperature (24°C). With 5/1000 duty cycle and 50  $\mu$ s pulse duration, the maximum optical output power was 380 mW for 400  $\mu$ m diameter device. The divergence angle was less than 10°, and the FWHM of lasing spectrum was 0.8 nm.

**Key words** laser technique; semiconductor laser; vertical cavity surface emitting laser; molecular beam epitaxy; quantum well structure; oxidation process

## 1 引 言

与通常侧面出光的激光器相比,垂直腔面发射激光器(VCSEL)有许多优点:由于它沿垂直于衬底片的方向出光,特别适合于作二维阵列光源;由于它的谐振腔很短,模间距很大,可以实现动态单纵模工作;由于器件的截面积很小,可以得到极低的阈值,并制成高密度面阵;它的光场是圆形的,发散角小,光束很窄,可以提高与光纤的耦合效率;若制成高密度面阵,可以得到相当强的光功率输出;它不必解

理就能完成工艺制作和检测,还易于同其他器件集成。因此,它将在光通讯、光互连和光信息处理等方面得到重要应用,已在国际上引起了广泛重视<sup>[1,2]</sup>。

20 世纪 90 年代初,国内一些单位和大学相继对垂直腔面发射激光器展开了研究,其热点大都集中于降低垂直腔面发射激光器的阈值方面。1995 年实现了 VCSEL 室温连续工作且最低阈值电流为 0.7 mA<sup>[3]</sup>。但 VCSEL 的输出光功率发展缓慢,到 1995 年,VCSEL 单管室温脉冲激射的最大峰值功率

收稿日期 2003-05-12;收到修改稿日期 2003-07-21

基金项目:吉林省基金(编号 20020604)和国家自然科学基金(编号 10104016)资助项目。

作者简介:赵路民(1977—),男,山西省黎城县人,吉林大学电子科学与工程学院硕士研究生,研究方向为垂直腔面发射激光器及半导体器件。E-mail: zhaolun@sohu.com

为  $9 \text{ mW}^{[4]}$ ,至今国内还未见有更高功率的报道。国外,德国的 ULM 大学在 VCSEL 的功率方面做得最好,2001 年报道了其制作的 VCSEL 单管室温脉冲激光的最大峰值功率为  $10 \text{ W}$ ,这是迄今为止 VCSEL 单管输出光功率的最高值<sup>[5]</sup>。我们实验室在垂直腔面发射激光器的高功率方面进行了研究,并取得了一些新的进展。

## 2 器件结构和制作过程

外延片是由分子束外延技术生长的,衬底选用  $n\text{-GaAs}$  单晶片,各外延层包括  $0.5 \mu\text{m}$  厚的  $n\text{-GaAs}$  缓冲层;20 对  $\lambda/4$  周期重复的  $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$  (81.7

$\text{nm}$ )/ $\text{GaAs}$  (69.6  $\text{nm}$ ) 形成  $n$  型分布式布拉格反射镜 (DBR),反射谱中心波长为  $980 \text{ nm}$ ,反射率为  $99.3\%$ ;厚度为  $72.3 \text{ nm}$  的载流子下限制层: $n\text{-Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ ;3 个量子阱增益区:阱材料为  $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ ,厚度为  $8 \text{ nm}$ ,势垒材料为  $\text{GaAs}$ ,厚度为  $10 \text{ nm}$ ,设计波长为  $980 \text{ nm}$ ;厚度为  $72.3 \text{ nm}$  的载流子上限制层: $p\text{-Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ ;30  $\text{nm}$  厚的  $\text{AlAs}$  层作为器件的光电限制层;30 对  $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$  (81.7  $\text{nm}$ )/ $\text{GaAs}$  (69.6  $\text{nm}$ )  $\lambda/4$  周期重复形成  $p$  型 DBR,反射谱中心波长为  $980 \text{ nm}$ ,反射率为  $99.9\%$ ;厚度为  $139.2 \text{ nm}$  高掺杂  $p$  型  $\text{GaAs}$  作欧姆电极接触层。外延片结构如图 1 所示。器件的结构如图 2 所示。

139.2 nm $p$ -type GaAs
$p$ -DBR: 20 pairs
$\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ (81.7 nm)/ $\text{GaAs}$ (69.6 nm)
Oxidized layer: 30 nm AlAs layer
72.3 nm cladding layer: $p\text{-Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$
3 QWs active region
( $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ (8 nm)/ $\text{GaAs}$ (10 nm))
72.3 nm cladding layer: $n\text{-Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$
$n$ -DBR: 20 pairs
$\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ (81.7 nm)/ $\text{GaAs}$ (69.6 nm)
0.5 $\mu\text{m}$ $n\text{-GaAs}$ buffer layer
$n\text{-GaAs}$ substrate

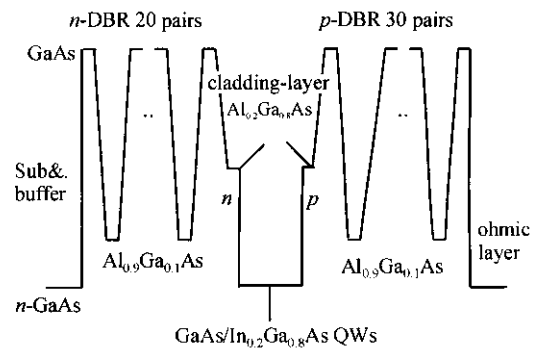


图 1 外延片结构

Fig. 1 Structure of epi-wafer

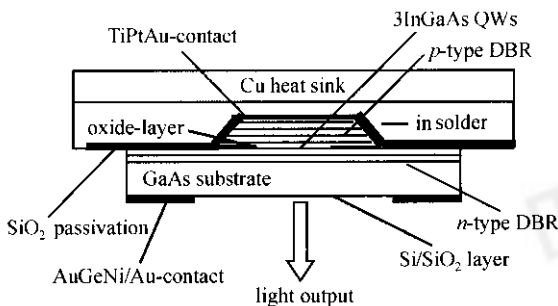


图 2 器件的结构

Fig. 2 Structure of the device

具体制作过程如下:为减少光吸收损耗,将衬底减薄抛光至  $180 \mu\text{m}$  厚。在氧化电流限制层前,直径为  $100 \sim 600 \mu\text{m}$  的台面被湿法化学腐蚀到有源区附近的  $\text{AlAs}$  层。高温  $420^\circ\text{C}$  下,由氮气携带  $90^\circ\text{C}$  的水蒸气对  $\text{AlAs}$  进行氧化形成  $\text{Al}_x\text{O}_y$  绝缘层<sup>[6]</sup>,从而对电流进行限制,氧化深度约为  $20 \mu\text{m}$ 。在台面上溅射约  $300 \text{ nm}$  厚的  $\text{SiO}_2$  钝化层以防止把器件粘在热沉上时形成短路,之后蒸镀  $\text{TiPtAu}$  形成

$P$  面的欧姆接触。在  $N$  面采用双面对准工艺形成出光窗口,并在窗口上蒸镀  $\text{Si}/\text{SiO}_2$  增透膜,以提高输出光功率。 $N$  面的欧姆接触通过在衬底上蒸镀  $\text{AuGeNi}/\text{Au}$  形成,并在  $420^\circ\text{C}$  下合金  $1 \text{ min}$ 。最后再解理成管芯,用  $\text{In}$  焊料把管芯粘接在无氧  $\text{Cu}$  热沉上并进一步组装成单管进行测试,单管结构如图 2 所示<sup>[7,8]</sup>。

## 3 测试结果与讨论

制作的垂直腔面发射激光器实现了室温脉冲激光。图 3 给出了 VCSEL 的伏-安曲线和光功率-电流曲线。器件的伏-安特性为典型的二极管特性,其正向导通电压为  $1.2 \sim 1.4 \text{ V}$ ,阈值电压为  $2.1 \text{ V}$ 。直径  $400 \mu\text{m}$  器件的阈值电流的典型值为  $560 \text{ mA}$ ,在脉宽为  $50 \mu\text{s}$ ,占空比为  $5:1000$  的脉冲电流下输出光功率可达  $380 \text{ mW}$ ,激光波长  $980 \text{ nm}$ ,光谱半高宽  $0.8 \text{ nm}$ 。图 4 为 VCSEL 的激光光谱。由图 5 可见,器件的远场发散角小于  $10^\circ$ ,  $\theta_{\parallel} = 8.7^\circ$ ,  $\theta_{\perp} = 8.4^\circ$ 。用红外变相管观察到的器件近场分布为圆形光束,

具有高斯性质。

采用湿法氧化使临近有源区的 AlAs 层氧化成为电绝缘性能良好的  $\text{Al}_x\text{O}_y$  层,作为有源区的横向

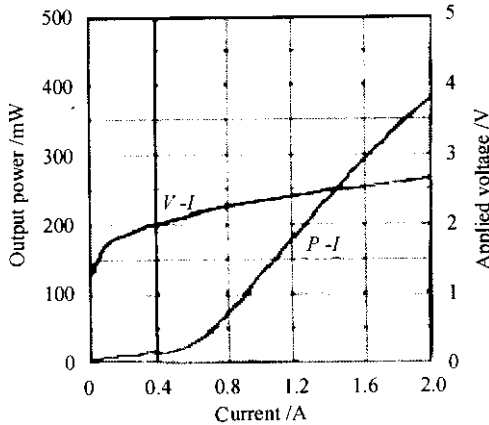


图3 器件的伏-安特性和光功率-电流特性

Fig. 3 V-I and P-I curves of the device

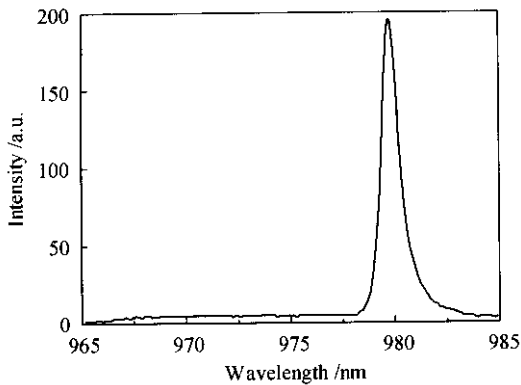


图4 激射光谱

Fig. 4 Stimulation radiation spectrum

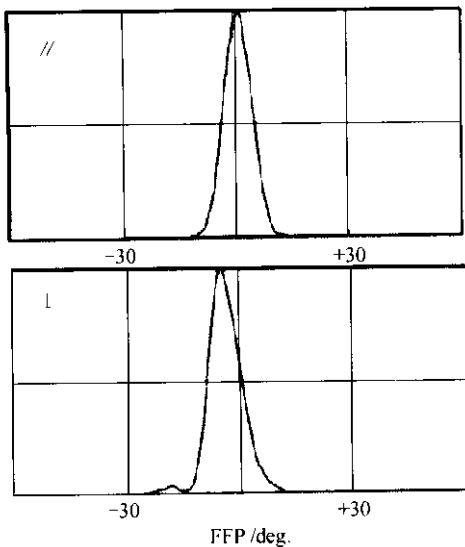


图5 器件的远场分布

万方数据 field pattern of the device

电流限制层,有效地防止了电流扩展效应。显然实验所得的 VCSEL 的阈值电流还比较大,这主要是因为器件的直径较大造成的。若选用直径较小的器件,并通过选择氧化使有源区面积进一步缩小,器件的阈值电流有望降低<sup>[6]</sup>。

为获得器件的高输出功率,有源区采用单个量子阱是不够的,因此在器件的结构设计中,采用 3 个  $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}/\text{GaAs}$  量子阱增益结构。为进一步提高输出功率,封装技术是很重要的,尤其是器件的散热问题<sup>[9]</sup>,这是器件未能实现室温连续激射的主要原因。若采用导热性更好的金刚石热沉,并进一步优化制作工艺,则有望实现器件的室温连续激射。

## 参 考 文 献

- Li Xuemei, Liu Ying, Jiang Xiuying *et al.*. Vertical-cavity surface emitting lasers of H-shape [ J ]. *Chinese J. Lasers*, 1998, **A25**( 1 ): 18 ~ 20  
李雪梅,刘颖,姜秀英等. H型结构垂直腔面发射激光器 [ J ]. *中国激光*, 1998, **A25**( 1 ): 18 ~ 20
- Huang Yongzhen. Influence of reflection phase of air interface on mode characteristics of vertical-cavity surface-emitting lasers [ J ]. *Acta Optica Sinica*, 2000, **20**( 2 ): 181 ~ 185  
黄永箴. 垂直腔面发射激光器中顶层相位对模式特性的影响 [ J ]. *光学学报*, 2000, **20**( 2 ): 181 ~ 185
- Wu Ronghan, Zhou Zengqi, Lin Yaowang *et al.*. Sub-milliwatt room temperature CW operation of InGaAs vertical cavity surface-emitting lasers [ J ]. *High Technology Letters*, 1995, ( 9 ): 24 ~ 26  
吴荣汉,周增圻,林耀望等. 亚毫安室温连续工作 InGaAs 垂直腔面发射激光器 [ J ]. *高技术通讯*, 1995, ( 9 ): 24 ~ 26
- Du Guotong, Jiang Xiuying, Liu Suping *et al.*. Vertical-cavity surface-emitting lasers with thin mirror fabricated by twice implantation using tungsten wire as mask [ J ]. *Chinese J. Semiconductors*, 1995, **16**( 5 ): 350 ~ 353  
杜国同,姜秀英,刘素平等. 具有金属反射膜的钨丝掩蔽两次质子轰击垂直腔面发射激光器 [ J ]. *半导体学报*, 1995, **16**( 5 ): 350 ~ 353
- Michael Miller, Ihab Kardosh. Improved Output Performance of High-power VCSELs [ R ]. Annual Report 2001, Dept. of Optoelectronics, University of Ulm., 2001. 1 ~ 8
- Kang Xuejun, Lin Shiming, Gao Junhua *et al.*. Room temperature CW GaAs/AlGaAs vertical cavity surface emitting semiconductor laser fabricated by selective oxidation and selective etching [ J ]. *Chinese J. Semiconductors*, 1996, **17**( 11 ): 873 ~ 877  
康学军,李世鸣,高俊华等. 由选择腐蚀和选择氧化法相结合研制的 GaAs/AlGaAs 垂直腔面发射激光器 [ J ]. *半导体学报*, 1996, **17**( 11 ): 873 ~ 877
- Martin Grabherr, Michael Miller. Bottom Emitting VCSELs for High CW Optical Output Power [ R ]. Annual Report 1997, Dept. of Optoelectronics, University of Ulm., 1997. 52 ~ 56
- Michael Miller, Martin Grabherr. kW/cm<sup>2</sup> VCSEL Arrays for High Power Applications [ R ]. Annual Report 1999, Dept. of Optoelectronics, University of Ulm., 1999. 94 ~ 100
- William J. Alford, Thomas D. Raymond, Andrew A. Allerman. High power and good beam quality at 980 nm from a vertical external-cavity surface-emitting laser [ J ]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 2002, **19**( 4 ): 663 ~ 666