

文章编号 1004-924X(2011)10-2309-05

大功率垂直腔面发射激光器列阵的串接结构

史晶晶^{1,2}, 秦莉¹, 刘迪^{1,2}, 彭航宇^{1,2}, 曹军胜¹, 杨晔^{1,2}, 宁永强¹, 刘云^{1*}, 王立军¹

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

摘要:为了在不提高驱动电流的前提下增大垂直腔面发射激光器的输出功率,提出了一种将多个垂直腔面发射激光器芯片串接在一起的结构。首先,将垂直腔面发射激光器芯片焊接在氮化铝陶瓷热沉上,接着用金丝引线的方法以串联方式将芯片连接在一起。分别测试了串接4个、2个和单个芯片器件的微秒脉冲输出功率和纳秒脉冲输出功率,其分别为775, 416, 217 mW和18.9, 9.8, 5 W,测试结果显示串接4个和2个芯片器件的输出功率分别约为单个芯片输出功率的4倍和2倍。串接多个芯片器件的发射光谱半高宽(FWHM)比单个器件的略宽,但是可以通过选择均一性良好的芯片来解决这一问题。实验显示,串接结构可以实现在不提高驱动电流的条件下大幅度提高输出功率。

关键词:垂直腔面发射激光器;输出功率;串联

中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20111910.2309

High-power vertical cavity surface emitting laser array in series structure

SHI Jing-jing^{1,2}, QIN Li¹, LIU Di^{1,2}, PENG Hang-yu^{1,2}, CAO Jun-sheng¹,
YANG Ye^{1,2}, NING Yong-qiang¹, LIU Yun^{1*}, 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 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)
* *Corresponding author, E-mail: hx5252@sohu.com*

Abstract: For increasing the output powers without improving drive currents to high power Vertical Cavity Surface Emitting Lasers (VCSELs), a VCSEL in series structure was presented. First, the VCSEL chips were soldered on a AlN ceramic heat sink, then the chips were connected by a wire bonding in series. The output powers of four-chip devices in series, two-chip devices in series and a single device were measured under microsecond and nanosecond pulses, which are 775, 416, 217 mW and 18.9, 9.8, 5 W, respectively. Test results show that the output powers of the first two kinds of devices in series are about 4 times and twice that of the single device. Moreover, the Full Width at Half Maximum (FWHM) of multiple-chip devices in series is slightly wider than that of the single de-

收稿日期: 2010-12-31; 修订日期: 2011-02-17.

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (No. 90923037); 吉林省科技发展计划资助项目 (No. 20080335)

vice, which can be improved by choosing good uniformity cascade chips. In conclusion, the VCSEL in series structure can increase the output power without improving the drive current.

Key words: Vertical Cavity Surface Emitting Laser(VCSEL); output power; series

1 引言

目前,小功率垂直腔面发射激光器(VCSEL)在数据通信,激光鼠标,光谱光源以及光编码器等领域的应用已经相当成熟,人们的目光逐步转向大功率 VCSEL 的应用领域。大功率 VCSEL 可以广泛地应用于激光测距、激光雷达、激光制导、激光医疗等领域,并以其圆形输出光束,易于光纤耦合,制作成本低等优点而越来越受到人们的重视^[1-6]。因此,如何增大 VCSEL 的输出功率是目前极受关注的重大课题。

目前有两个方法可得到大功率输出的 VCSEL 器件:其一,增大单管器件的窗口直径。虽然增加窗口直径可以增大输出功率和减小串联电阻,但是输出功率并不可无限增大,而是存在一个最佳值,当窗口直径大于最佳值以后,输出功率将不会增加;而且增大窗口直径会使电流注入不均匀,导致光束质量下降。可见,通过增大单管器件的窗口直径来增加 VCSEL 输出功率的方法是无法弥补的缺陷和局限性的。其二,制作列阵器件,即通过集成多个发光单元来实现大功率输出。但是 VCSEL 列阵中的发光单元是以并联的方式连接在一起的,集成度越高,所需要的驱动电流就越大,按照一个发光单元的阈值电流 1 A 计算,驱动电流为阈值电流的 3 倍,即 3 A,如果一个列阵集成 2 000 个 VCSEL 发光单元,那么驱动电流将需要 6 000 A,由此产生的问题是如何得到如此大的电流源。目前国际上能做的最大脉冲电流源也不超过 5 000 A,也就是说想集成更多的发光单元是无法实现的。因此,通过增大列阵集成度来提高输出功率也遇到了无法逾越的障碍。

为了解决这一问题,本文提出了一种将发光单元串联在一起的连接方式,这里的发光单元可以是 VCSEL 单管也可以是 VCSEL 列阵。采用这种方式不仅不需要增大器件的窗口直径,避免了电流注入不均匀的问题;同时又在现有电流源

的驱动电流下大大增加了发光单元的集成度,实现了 VCSEL 的高功率输出。

2 芯片制作工艺及串接结构

提出的串接结构所用的 VCSEL 芯片是用金属氧化物汽相沉积法在 n 型掺杂的 GaAs 衬底上生长而成的。6 nm 厚的 GaIn_{0.2}As 量子阱和 8 nm 厚的 GaAs_{0.92}P 垒组成有源层,有源层夹在 30.5 对硅掺杂的 p 型 Al_{0.9}Ga_{0.1}As/Al_{0.12}Ga_{0.88}As DBR 和 28 对碳掺杂的 n 型 Al_{0.9}Ga_{0.1}As/Al_{0.12}Ga_{0.88}As DBR 之间,在有源层和 p 型 DBR 之间有一层厚度为 30 nm 的 Al_{0.98}Ga_{0.02}As 层,对该层进行湿法氧化形成氧化限制窗口,可实现对电流和光的限制。

通过湿法腐蚀法在外延片表面形成圆柱形台面,腐蚀深度应超过氧化限制层,从而暴露出氧化限制层为后续的湿法氧化工艺做好准备,氧化之后在外延片表面溅射一层 SiO₂ 钝化层,然后套刻圆形电极,腐蚀掉电极内部的 SiO₂ 钝化层形成电流注入窗口,在 p 面生长 Ti-Pt-Au 层作为 p 型电极,n 面减薄和抛光衬底,在衬底上生长 Au-Ge-Ni 作为 n 型电极,剥离出光窗口。最后进行合金、解理、测试^[7-10]。图 1 为 VCSEL 列阵发光单元的横向示意图。

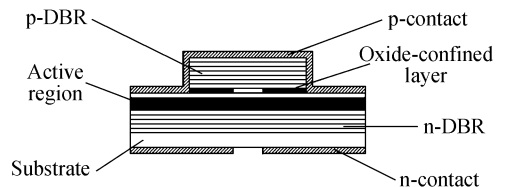


图 1 VCSEL 列阵发光单元横向示意图

Fig.1 Schematic of cross section of VCSEL array

将经过上述工艺流程得到的芯片焊接在表面指定区域金属化的绝缘氮化铝陶瓷片上,键合金丝,最后引出电极(如图 2)。本文所采用的

VCSEL 列阵芯片为 5×5 列阵, 芯片尺寸为 $3 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$, 为了配合芯片尺寸, 这里将氮化铝陶瓷热沉的尺寸设计为 $16 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$, 其中用来焊接芯片的金属化区域宽度为 5 mm (如图 2), 指定区域的金属化既有助于芯片的焊接又起到电流导通的作用, 而氮化铝陶瓷既起到热沉的作用, 又起到各金属化区域之间的隔离绝缘作用, 各金属化区域之间的绝缘隔离部分宽度为 0.5 mm , 最后通过金丝键合将各个区域连接起来形成一个整体并引出正负电极。

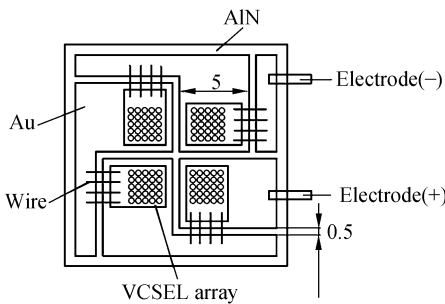


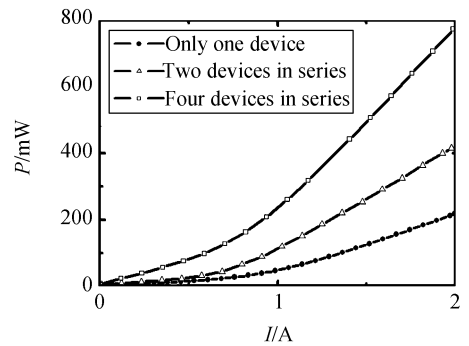
图 2 VCSEL 列阵串接结构示意图

Fig. 2 Schematic of VCSEL array in-series structure

3 器件测试

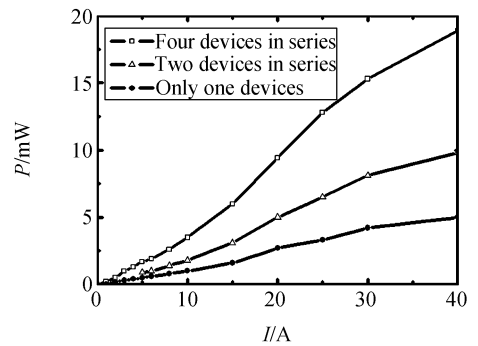
对该串接器件进行了功率和发射光谱的测试。串联 4 个、2 个和单个列阵芯片的器件在微秒脉冲条件下的功率如图 3(a) 所示, 其脉宽为 $50 \mu\text{s}$, 频率为 100 Hz , 芯片为发射波长 980 nm 的底发射 5×5 列阵, 3 种器件的输出功率分别为 775 , 416 和 217 mW 。图 3(b) 为串联 4 个、2 个和单个列阵芯片器件在纳秒脉冲条件下的功率曲线, 其脉宽为 100 ns , 频率为 100 Hz , 芯片为发射波长 980 nm 的底发射 5×5 列阵。3 种器件的输出功率分别为 18.9 , 9.8 和 5 W 。从图中可以看出, 3 种器件的阈值电流基本一致, 等于单个列阵器件的阈值电流, 这是因为列阵芯片之间采取的是串联的方式, 所以当多个芯片串接之后并不需要更大的电流来达到阈值。在相同的注入电流下, 串联 2 个芯片的器件功率接近单个芯片器件功率的 2 倍, 而串联 4 个芯片的器件功率接近单个器件

功率的 4 倍, 因此该串接结构能在不提高注入电流的前提下大大提高输出功率。



(a) 3 种串接器件在微秒脉冲条件下的功率曲线

(a) Current-power curves of three devices under microsecond pulse



(b) 3 种串接器件在纳秒脉冲条件下的功率曲线

(b) Current-power curves of three devices under nanosecond pulse

图 3 3 种串接器件的功率输出曲线

Fig. 3 Current-power curves of three devices

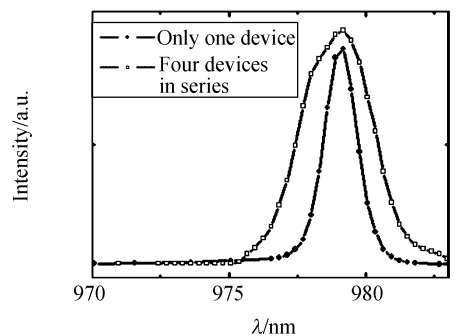


图 4 2 种串接器件的发射光谱图

Fig. 4 Lasing spectra of two devices

图 4 是 2 种串接器件的发射光谱图,分别是单个器件和串接 4 个芯片的器件。从图中可以看出串接 4 个芯片的器件比单个器件的 FWHM 略宽,这是由 4 个列阵芯片发射光谱的均一性较差导致的。因此串接结构应选择均一性较好的芯片,以保证串接结构的性能优良。

表 1 VCSEL 串接结构的主要参数

Tab.1 Main parameters of VCSEL array in-series structure

串接发光 单元个数	斜效率 (W/A)	2A 电流下	
		输出功率/mW	电压/V
1	0.175	217	2.12
2	0.313	416	4.35
4	0.554	775	8.06

表 1 所列为 VCSEL 串接结构的主要参数,从表中可以看出,串接结构的斜效率、电压和输出功率都随串接芯片的增加而按比例增加。虽然电压的增大无益于器件功能,但是综合各项参数来

看,这种串接结构还是有意义的。

4 结 论

本文提出了将多个 VCSEL 芯片串接的结构,该结构可在得到大功率输出的同时既不需要增大器件的窗口直径又避免了大电流源制作的困难。串联 4 个、2 个和单个列阵芯片器件在脉宽 50 μ s,频率 100 Hz 的微秒脉冲条件下的输出功率分别为 775,416 和 217 mW。相同的器件在脉宽为 100 ns,频率为 100 Hz 的纳秒脉冲条件下的输出功率分别为 18.9,9.8 和 5 W。测试表明串接 4 个和串接 2 个芯片器件的输出功率分别约为单个芯片器件输出功率的 4 倍和 2 倍。此外,串接结构的斜效率和电压也随串接芯片的增加而按比例增加,虽然光束质量稍有变差,但是可以通过选择均一性好的芯片进行串接或者通过后期的光束整形来克服。

参考文献:

- [1] LEE Y CH, SWIRHUM S E, FU W S, *et al.*. Thermal management of VCSEL-bases optoelectronic modules[J]. *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology-Part B*, 1996, 19(3):540-547.
- [2] DEPPE D G, HUFFAKER D L, OH T H, *et al.*. Low-threshold vertical-cavity surface-emitting lasers based on oxide-confinement and high contrast distributed bragg reflectors[J]. *IEEE Quantum Electronics*, 1997, 3(3):893-904.
- [3] 李再金,胡黎明,王焯,等. 808 nm 含铝半导体激光器的腔面镀膜[J]. *光学精密工程*, 2010, 18(6): 1258-1262.
LI Z J, HU L M, WANG Y, *et al.*. Facet coating for 808nm Al-containing semiconductor laser diodes [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(6): 1258-1262. (in Chinese)
- [4] 顾媛媛,冯广智,单肖楠,等. 808 nm 和 980 nm 半导体激光选阵波长耦合技术[J]. *光学精密工程*, 2009, 17(1): 8-13.
GU Y Y, FENG G ZH, SHAN X N, *et al.*. 808 nm and 980nm high power laser diode stack with wavelength coupling [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(1):8-13. (in Chinese)
- [5] 王祥鹏,梁雪梅,李再金,等. 880 nm 半导体激光器阵列及光纤耦合模块[J]. *光学精密工程*, 2010, 18(5):1021-1027.
WANG X P, LIANG X M, LI Z J, *et al.*. 880nm semiconductor laser diode arrays and fiber coupling module[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(5): 1021-1027. (in Chinese)
- [6] SUA S T, TANG SH F, CHENA T CH, *et al.*. Temperature dependent VCSEL optical characteristics based on graded Al_xGa_{1-x}As/GaAs distributed bragg reflectors: reflectivity and beam profile analysis[J]. *SPIE*, 2006, 6132: 61320L.
- [7] TSAI CH L, LEE F M, CHENG F Y, *et al.*. Silicon oxide-planarized single-mode 850-nm VCSELs with TO package for 10 Gb/s data transmission [J]. *IEEE Electron Device Letters*, 2005, 26(5): 304-307.
- [8] 王祥鹏,李再金,刘云,等. 半导体激光器阵列的 smile 效应与封装技术[J]. *光学精密工程*, 2010, 18(3): 552-557.
WANG X P, LI Z J, LIU Y, *et al.*. Smile effect and package technique for diode laser arrays [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(3): 552-557. (in Chinese)
- [9] 丛梦龙,李黎,崔艳松,等. 控制半导体激光器的高稳定度数字化驱动电源的设计[J]. *光学精密工*

程,2010,18(7):1629-1636.

CONG M L, LI L, CUI Y S, *et al.*. Design of high stability digital control driving system for semiconductor laser[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(7):1629-1636. (in Chinese)

[10] 陈彦超,赵柏泰,李伟. 用于纳秒级窄脉冲工作的

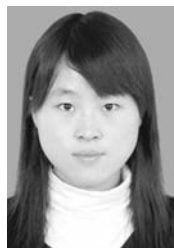
大功率半导体激光器模块[J]. *光学精密工程*, 2009,17(4):695-700.

CHEN Y CH, ZHAO B T, LI W. High peak power semiconductor laser module for producing nanosecond pulse[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(4): 695-700. (in Chinese)

作者简介:



史晶晶(1982—),女,黑龙江七台河人,博士研究生,2006年于吉林大学获得学士学位,主要从事半导体光电子器件等方面的研究。E-mail:shijj_19820530@yahoo.com.cn



刘迪(1984—),女,吉林人,博士研究生,主要从事半导体光电子器件等方面的研究。E-mail:liudi_0424@163.com



彭航宇(1983—),男,浙江台州人,博士研究生,主要从事半导体光电子器件等方面的研究。E-mail:imphy@163.com



杨晔(1982—),女,吉林通化人,博士研究生,主要从事半导体光电子器件等方面的研究。E-mail: yangyy0719@163.com

导师简介:



秦莉(1969—),女,黑龙江鹤岗人,研究员,主要从事大功率垂直腔面发射激光器及应用方面的研究。E-mail: qinlicomp@yahoo.com.cn



曹军胜(1978—),男,陕西延川人,博士,副研究员,主要从事半导体激光器应用的研究。E-mail:caojs@jlu.edu.cn



宁永强(1965—),男,吉林人,研究员,主要从事半导体光电子器件等方面的研究。E-mail:ningyq@ciomp.ac.cn



刘云(1960—),女,吉林长春人,副研究员,主要从事大功率半导体激光阵列技术的研究。E-mail: hx5252@sohu.com



王立军(1946—),男,吉林长春人,研究员,博士生导师,1988年—1989年在瑞士邮政电报电话公司工作,1993年—1995年在美国西北大学量子器件中心作访问教授,主要从事大功率半导体激光器及其应用方面的研究。E-mail: wanglj@ciomp.ac.cn