

文章编号 1674-2915(2013)02-0201-07

## 850 nm 锥形半导体激光器的温度特性

黄海华<sup>1,2</sup>, 刘云<sup>1\*</sup>, 杨晔<sup>1,2</sup>, 秦莉<sup>1</sup>, 宁永强<sup>1</sup>, 王立军<sup>1</sup>

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所发光学及应用国家重点实验室, 吉林长春 130033;  
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:**采用激射波长为 850 nm 的 AlGaInAs/AlGaAs 梯度折射率波导分别限制增益量子阱结构的外延片, 分别制备了具有锥形结构和条形结构的半导体激光器, 并对比分析了两者的温度特性。结果显示, 测试温度为 20 ~ 70 °C 时, 锥形结构器件的特征温度为 164 K, 远高于条形结构器件的 96 K; 占空比为 0.5% ( $t = 50 \mu\text{s}$ ,  $f = 100 \text{ Hz}$ ), 1 000 mA 脉冲电流注入条件下, 锥形激光器和条形激光器的波长漂移系数分别为 0.25 和 0.28 nm/K; 测试温度 < 50 °C 时, 锥形激光器和条形激光器的光谱半高宽分别约为 1.12 和 1.24 nm。实验结果表明: 相同外延层结构条件下, 锥形激光器比条形激光器拥有更高的特征温度。

**关键词:**锥形半导体激光器; 温度特性; 特征温度

**中图分类号:** TN248.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/CO.20130602.0201

## Temperature characteristics of 850 nm tapered semiconductor lasers

HUANG Hai-hua<sup>1,2</sup>, LIU Yun<sup>1\*</sup>, YANG Ye<sup>1,2</sup>, QIN Li<sup>1</sup>, NING Yong-qiang<sup>1</sup>, WANG Li-jun<sup>1</sup>

(1. *State Key Laboratory of Luminescence and Applications, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*  
2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

\* *Corresponding author, E-mail: hx5252@sohu.com*

**Abstract:** Both tapered structure and broad-stripe semiconductor laser diodes were fabricated based on the AlGaAs/AlGaAs epitaxial layers with a graded-index waveguide separated confinement hetero-structure under the excited wavelength of 850 nm. The temperature characteristics of the devices were investigated and compared at the temperatures between 20 °C and 70 °C. Experiments show that the measured characteristic temperature (164 K) of the tapered devices is much higher than that of the broad devices (96 K) and the wavelength-shift coefficients of the tapered and broad-stripe devices are 0.25 nm/K and 0.28 nm/K respectively under a duty cycle of 0.5% ( $t = 50 \mu\text{s}$ ,  $f = 100 \text{ Hz}$ ) and a pulsed current of 1 000 mA. When the temperature is below 50 °C, the Full Width at Half Maximums (FWHMs) of the tapered devices and the broad-stripe devices are

收稿日期: 2012-12-11; 修订日期: 2013-02-13

基金项目: 中国科学院长春分院资助项目 (No. 2011CJT0003); 吉林省科技厅发展计划资助项目 (No. 201105026; No. 20112106)

1.12 and 1.24 nm, respectively. These results indicate that the tapered lasers have better temperature characteristics than the broad ones with the same epitaxial structure under certain temperature conditions.

**Key words:** tapered semiconductor laser; temperature characteristic; characteristic temperature

## 1 引言

大功率高亮度半导体激光器以电光转换效率高,体积小而被广泛应用于切割、焊接、材料表面处理、固体激光器泵浦、光纤放大器以及空间通信等领域<sup>[1-7]</sup>。为同时兼备高功率和高光束质量输出,4种结构的半导体激光器:锥形半导体激光器、 $\alpha$ 分布反馈半导体激光器( $\alpha$ -DFB lasers)<sup>[8]</sup>,抗共振反射光波导激光器(ARROW lasers)<sup>[9]</sup>,以及主控振荡功率放大器(MOPA's)<sup>[10]</sup>迅速发展,其中基于锥形增益区脊形波导结构的大功率锥形半导体激光器以器件结构简单,制作成本低廉而被广泛采用。

限制锥形半导体激光器功率的提高并造成其光束质量退化的主要因素是非线性效应(nonlinear effects),包括自聚焦(self-focusing)和光丝效应(filamentation)<sup>[11]</sup>。国内外对锥形半导体激光器的研究主要集中于选取不同的脊型区长度和锥形区角度<sup>[3,12-14]</sup>,采用低模式增益因子<sup>[15-16]</sup>,特殊电极结构<sup>[17-18]</sup>来改善锥形激光器的这一缺陷,而有关锥形半导体激光器温度特性的报道较少。温

度一直是影响大功率半导体激光器性能的重要因素之一<sup>[19]</sup>,因半导体激光器在工作中,注入电流会在芯片内部产生部分热量,使器件的工作温度升高,发射光波长漂移并缩短器件的寿命。因此,研究温度对锥形激光器性能的影响,掌握锥形激光器基本性能参数随温度的变化规律,对于指导锥形激光器的制备和应用尤为重要。

本文选用波长为850 nm的AlGaInAs/AlGaAs折射率波导分别限制增益量子阱(GIRN-SCH-SQW)结构的外延片,分别制备了具有条形结构和锥形结构的两种激光器;分析了锥形器件*P-I*性能随温度变化的关系,对比了在20~70℃条件下两者的特征温度以及光谱变化;证明了在 $\leq 50$ ℃条件下,锥形器件比条形器件有更好的温度特性。

## 2 器件结构

器件外延片是通过金属有机化合物化学气相淀积(MOCVD)生长得到的,具体结构参数见表1。其中,p型层和n型层分别掺杂Zn和Si。

表1 AlGaInAs/AlGaAs GRIN-SCH SQW 结构各层厚度、组分及掺杂浓度  
Tab.1 Thicknesses, compositions and doping concentrations of AlGaInAs/AlGaAs GRIN-SCH SQW structure epitaxial layers

层数	材料	$x/y$ 取值	厚度/ $\mu\text{m}$	掺杂浓度/ $\text{cm}^{-3}$
11	GaAs		0.2	$p > 2.0 \times 10^{19}$
10	$\text{Al}_x\text{GaAs}$	0.55 ~ 0.05	0.05	$p = 1.0 \times 10^{18}$
9	$\text{Al}_x\text{GaAs}$	0.55	1.2	$p = 4.0 \times 10^{17} \sim 1.0 \times 10^{18}$
8	$\text{Al}_x\text{GaAs}$	0.25 ~ 0.55	0.15	$p = 2.0 \times 10^{17}$
7	$\text{Al}_x\text{GaAs}$	0.16	0.01	垒层
6	$(\text{Al}_x\text{Ga})\text{In}_y\text{As}$	0.13/0.14	0.007	阱层
5	$\text{Al}_x\text{GaAs}$	0.16	0.01	垒层
4	$\text{Al}_x\text{GaAs}$	0.55 ~ 0.25	0.15	$n = 1.0 \times 10^{18}$
3	$\text{Al}_x\text{GaAs}$	0.55	1.2	$n = 1.0 \times 10^{18} \sim 1.0 \times 10^{17}$
2	$\text{Al}_x\text{GaAs}$	0.05 ~ 0.55	0.05	$n = 2.0 \times 10^{18} \sim 1.0 \times 10^{18}$
1	GaAs		0.3	$n = 2.0 \times 10^{18}$

图 1 为锥形和条形激光器的结构示意图。如图所示, 锥形激光器主要由提供单模输出的脊形部分和实现功率放大的锥形部分组成, 器件总腔长为 2 500  $\mu\text{m}$ 。其中, 锥形区锥形角度为  $4^\circ$ , 长度为 1 750  $\mu\text{m}$ , 出光口宽度为 125  $\mu\text{m}$ , 腐蚀深度为 0.2  $\mu\text{m}$ ; 脊形区长度为 750  $\mu\text{m}$ , 宽度为 3  $\mu\text{m}$ , 腐蚀深度为 1.3  $\mu\text{m}$ 。条形激光器总腔长为 2 500  $\mu\text{m}$ , 条宽为 125  $\mu\text{m}$ , 腐蚀深度为 0.2  $\mu\text{m}$ 。

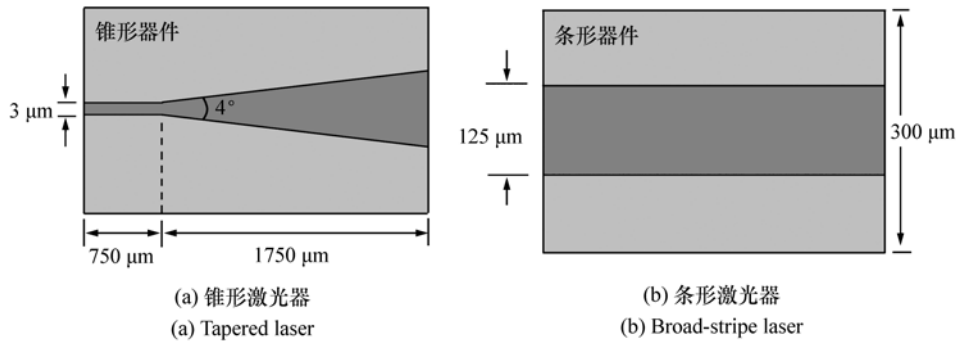


图 1 锥形激光器和条形激光器的结构示意图

Fig. 1 Schematic structure diagram of the tapered and broad-stripe lasers

### 3 测试分析

图 2 是占空比为 0.5% ( $t = 50 \mu\text{s}, f = 100 \text{ Hz}$ ) 脉冲电流注入条件下, 测得的锥形器件在

$$P = \eta_i \eta_{ex} \frac{a_m}{a_i + a_m} \frac{h\nu}{q} (I - I_{th}), \quad (1)$$

式中:  $\eta_i$  为内量子效率,  $\eta_{ex}$  为外量子效率,  $a_i$  为内损耗,  $a_m$  为端面损耗。随着温度的升高, 器件的内损耗及载流子泄露增加, 导致内量子效率减小, 外微分量子效率降低, 从而造成输出功率下降。同时, 温度的升高又造成注入的载流子能量分布变宽, 透明载流子浓度增加使得器件阈值也随之升高。

$J_{th}$  与温度的关系主要取决于增益系数随温度的变化。如图 3 所示, 随着温度的增加, 损耗系数增加, 漏电流增加, 内量子效率降低, 这些都使  $J_{th}$  增加,  $J_{th}$  随温度  $T$  的变化满足指数关系<sup>[21]</sup>:

$$J_{th}(T_r + \Delta T) = J_{th}(T_r) \exp\left(\frac{T - T_r}{T_0}\right), \quad (2)$$

式中:  $T_r$  为室温,  $J_{th}(T_r)$  为室温下的阈值电流密

两种器件均采用标准光刻技术和湿法腐蚀技术制备器件的台面部分, 先沉积一层  $\text{SiO}_2$  作为绝缘层, 并在台面上光刻出电极窗口, 再在器件 n 面和 p 面分别蒸镀 Au/Ge/Ni 和 Ti/Pt/Au 作电极, 前后腔面分别镀反射率为 5% 的增透膜和 98% 的高反膜, 解理成  $300 \mu\text{m} \times 2 500 \mu\text{m}$  的单管激光器。最后将解理好的单管芯片 p 面朝下烧结在无氧铜热沉上, 键合后封装。

温度为 20 ~ 70  $^\circ\text{C}$  时的  $P-I$  曲线。从图中可以看出, 随着温度的升高, 器件的输出功率下降, 在该温度段内其最大输出功率由 0.97 W 下降到 0.70 W。当注入电流高于激光器阈值时, 器件的输出功率满足以下关系式<sup>[20]</sup>:

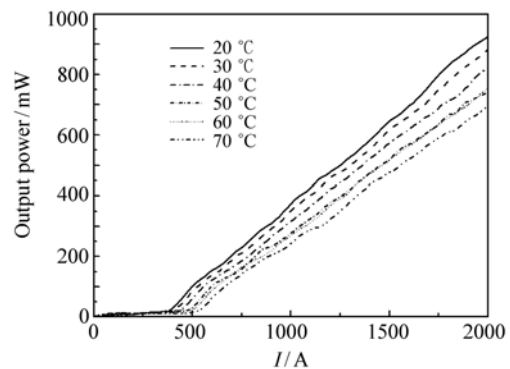


图 2 锥形器件在 20 ~ 70  $^\circ\text{C}$  时的  $P-I$  特性曲线

Fig. 2  $P-I$  plot of tapered device at the temperatures between 20  $^\circ\text{C}$  and 70  $^\circ\text{C}$

度,  $T_0$  是表征半导体激光器温度稳定性的重要参数, 通常称为特征温度, 它与激光器所使用的材料和结构有关。从式中可以看出,  $T_0$  越大,  $J_{th}$  随温度变化越小, 激光器的温度特性越好。从式(2)可以得到:

$$J_{th}(T) \propto \exp\left(\frac{T}{T_0}\right). \quad (3)$$

如图3所示, 把  $\ln J_{th}$  作为纵坐标,  $T$  作横坐

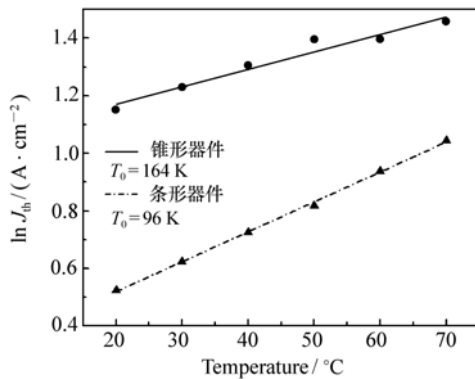


图3 器件的阈值电流密度随温度的变化

Fig.3 Plot of the threshold current density versus temperature

标, 拟合以后所得直线斜率的倒数便是器件的特征温度, 实验测得锥形器件和条形器件的特征温度分别为 164 和 96 K, 前者远高于后者。影响特征温度的因素主要包括注入载流子泄露、俄歇复合和价带间的光吸收。从图3中可以看出, 条形器件的电流密度低于锥形器件, 有源层中载流子分布较锥形稀疏, 为达到阈值必须加大注入, 结果使得泄露的载流子浓度增加, 特征温度较锥形低。另外, C. Y. Liu<sup>[22-25]</sup> 等人发现, 窄的条形区宽度以及合适的腐蚀深度都能显著提高激光器的特征温度。在本文中, 锥形器件 3  $\mu\text{m}$  宽的脊形区以及宽度渐变的锥形区条宽明显窄于条形器件, 同时, 锥形器件较深的腐蚀深度对注入电流的侧向扩散有限制作用, 均使得锥形器件特征温度显著提高。

在占空比为 0.5% ( $t = 50 \mu\text{s}, f = 100 \text{ Hz}$ ) 1 000 mA 脉冲电流注入条件下, 采用 OceanOptics 公司的 USB4000 光谱仪 (在 850 nm 波长附近仪器精度达 0.15 nm) 分别测量了锥形器件和条形器件在不同温度下的光谱, 结果如图4所示。实验测得锥形器件和条形器件的波长漂移分别为 0.25 和 0.28 nm/K。

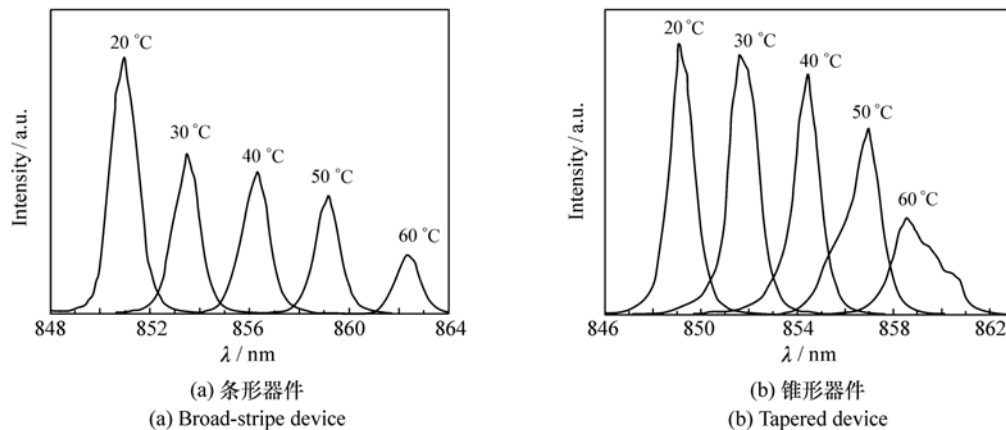


图4 1 000 mA 脉冲电流, 不同温度条件下两种器件的光谱图

Fig.4 Emission spectra of two devices with pulse current of 1 000 mA at different temperatures

图5为两种器件的半高宽随温度的变化。从图中可以看出, 在低于 40  $^{\circ}\text{C}$  时锥形器件光谱半高宽为 1.12 nm, 比条形窄 0.12 nm。当温度继续升高时, 锥形器件光谱明显变宽, 而条形器件光谱略

有窄化。这是因为随着温度的升高, 锥形器件中脊形部分折射率的改变降低了自身的模式过滤作用, 并产生高阶模, 且由于锥形器件未刻蚀隔离沟道, 使得温度变高后, 前后腔面之间的多模式震荡

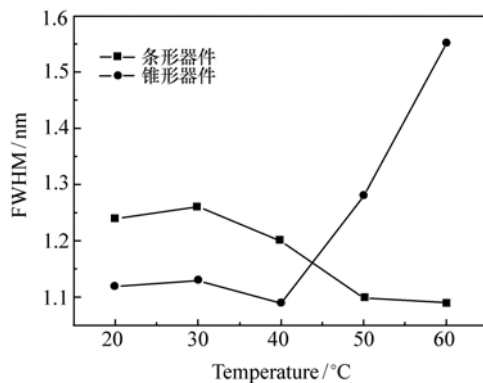


图5 器件半高宽随温度的变化

Fig.5 Plot of FWHM versus temperature

破坏了锥形器件的光束质量,使得光谱变宽。对于条形器件,温度的升高使得器件内损耗增加,增益降低,满足激射条件并形成激射的光模式变少,光谱略有变窄。

## 4 结 论

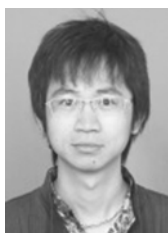
采用相同外延结构分别获得了发射波长为850 nm的锥形结构半导体激光器和条形结构半导体激光器。温度在20~70℃时,随着温度的升高,锥形器件的功率由0.97 W下降到0.70 W。通过对比两者的阈值电流密度,发现锥形器件的特征温度明显高于条形器件,达到164 K。在温度≤50℃条件下,锥形器件的光谱比条形的窄。

## 参考文献:

- [1] 朱立岩,付秀华.850 nm 高亮度半导体激光器腔面膜技术研究[J].长春理工大学学报,2007,30(1):18-20.  
ZHU L Y,FU X H. The technical development of the 850 nm high-luminance semiconductor laser's film[J]. *J. Changchun University of Science and Technology*,2007,30(1):18-20. (in Chinese)
- [2] MARIJOULS S,MORGOTT S,SCHMITT A, *et al.*. Modeling of the performance of high-Brightness tapered lasers[J]. *SPIE*,2000,3944:396.
- [3] BORRUEL L,ESQUIVIAS L,MORENO P. Clarinet laser:semiconductor laser design for high-brightness applications[J]. *Appl. Phys. Lett.*,2005,87(10):1-3.
- [4] 刘云,廖新胜,秦莉,等.大功率半导体激光器叠层无氧铜微通道热沉[J].发光学报,2005,26(1):109-114.  
LIU Y,LIAO X SH,QIN L, *et al.*. Oxygen-free copper microchannel heat sink of high power semiconductor laser[J]. *Chin. J. Lumin.*,2005,26(1):109-114. (in Chinese)
- [5] 王琪,刘云,王立军.InP基高功率短波长量子级联激光器设计[J].中国光学,2012,5(1):83-91.  
WANG Q,LIU Y,WANG L J. Design of InP-based quantum cascade laser with high power and short wavelength[J]. *Chinese Optics*,2012,5(1):83-91. (in Chinese)
- [6] 刘友强,曹银花,潘飞,等.激光加工用半导体激光器的光束变换[J].光学精密工程,2012(3):455-461.  
LIU Y Q,CAO Y H,PAN F, *et al.*. Beam transformation of diode lasers used in laser processing[J]. *Opt. Precision Eng.*,2012(3):455-461. (in Chinese)
- [7] 朱洪波,刘云,郝明明,等.高效率半导体激光器光纤耦合模块[J].发光学报,2011,32(11):1147-1151.  
ZHU H B,LIU Y,HAO M M, *et al.*. High efficiency module of fiber coupled diode laser[J]. *Chin. J. Lumin.*,2011,32(11):1147-1151. (in Chinese)
- [8] DEMARS S D,DZURKO K M,LANG R J, *et al.*. Angled grating distributed feedback laser with 1 W single-mode,diffraction limited output at 980 nm[C]//Lasers and Electro-optics,1996. CLEO'96., Summaries of Papers Presented at the Conferene on,Jun. 2-7,1996. Anaheim,USA:77-78.
- [9] SMUDZINSKI C,BOTEZ D,MAWST L J, *et al.*. Three-core arrow-type diode laser: novel high-power, single-mode device, and effective master oscillator for flared antiguided MOPA's[J]. *IEEE J. Quantum Elect.*,1995,1:129-137.
- [10] O'BRIEN S,WELCH D F,PARKE R A, *et al.*. Operating characteristics of a high power monolithically integrated flared amplifier master oscillator power amplifier[J]. *IEEE J. Quantum Elect.*,1993,29:2052-2057.
- [11] GOLDBERG L,SURETTE M R,MEHUYS D. Filament formation in a tapered GaAlAs optical amplifier[J]. *Appl. Phys.*

- Lett.*, 1993, 62(2304):2044-2051.
- [12] 杨晔, 刘云, 秦莉, 等. 850 nm 高亮度锥形半导体激光器的光电特性[J]. 发光学报, 2011, 32(6):593-597.  
YANG Y, LIU Y, QIN L, *et al.* Electro-optic properties of 850 nm high-brightness tapered lasers[J]. *Chin. J. Lumin.*, 2011, 32(6):593-597. (in Chinese)
- [13] JENSEN O B, KLEHR A, DITTMAR F, *et al.* 808 nm tapered diode lasers optimised for high output power and nearly diffraction-limited beam quality in pulse mode operation[J]. *SPIE*, 2007, 6456:1-10.
- [14] MOHRLE M, ROEHLE H, SIGMUND A, *et al.* High-performance all-active tapered 1550 nm InGaAsP-BH-FP lasers [C]//14 th Indium Phosphide and Related Materials Conference, Stockholm, Sweden, May 12-16, 2002.
- [15] MIKULLA M, SCHMITT A, WALTHER M, KIEFER R, *et al.* 25-W CW high-brightness tapered semiconductor laser-array[J]. *IEEE Photonic Tech. L.*, 1999, 11(4):412-414.
- [16] DENTE G C, *et al.* Low confinement factors for suppressed filaments in semiconductor lasers[J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 2001, 37(12):1650-1653.
- [17] SALET P, GERARD F, FILLION T, *et al.* 1.1-W continuous-wave 1480-nm semiconductor lasers with distributed electrodes for mode shaping[J]. *IEEE Photonic Tech. L.*, 1998, 10(12):1706-1708.
- [18] 李璟, 刘媛媛, 马晓宇. 电极分离的 980 nm 锥形激光器的研制[J]. 半导体学报, 2007, 28(8):1302-1306.  
LI J, LIU Y Y, MA X Y. High-brightness tapered diode lasers emitting at 980 nm with electrically separated ridge waveguide and tapered section[J]. *Chinese J. Semiconductors*, 2007, 28(8):1302-1306. (in Chinese)
- [19] ITO M, KIMURA T, *et al.* Temperature stabilization in semiconductor laser diodes[J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1981, 17(5):796-798.
- [20] 张永明, 钟景昌, 路国光, 等. 808 nm InGaAsP-InP 单量子阱激光器热特性研究[J]. 光子学报, 2006, 35(1):9-12.  
ZHANG Y M, ZHONG J CH, LU G G, *et al.* Study of thermal characteristics of 808 nm InGaAsP-InP SQW lasers[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, 35(1):9-12. (in Chinese)
- [21] PANKOVE J I. Temperature dependence of emission efficiency and lasing threshold in laser diodes[J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1968, 4(4):119-122.
- [22] LIU C Y, YOON S F, FAN W J, *et al.* Ridge width effect on the characteristic temperature of GaInAs triple quantum well ridge waveguide lasers[C]//Lasers and Electro-optics, 2005. CLEO/pacific Rim 2005. Pacific Rim Conference on, [S. l.], Japan, Jul. 30-Aug. 2, 2005:857-858.
- [23] 田振华, 孙成林, 曹军胜, 等. 准连续输出大功率半导体激光器的结温测试[J]. 光学精密工程, 2011, 19(6):1244-1249.  
TIAN ZH H, SUN CH L, CAO J SH, *et al.* Junction temperature measurement of high power diode lasers[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(6):1244-1249. (in Chinese)
- [24] 张立森, 宁永强, 刘迪, 等. 大功率垂直腔面发射激光器阵列的热模拟及优化[J]. 发光学报, 2012, 33(11):1247-1251.  
ZHANG L S, NING Y Q, LIU D, *et al.* Thermal simulation and optimization of structure in high power vertical cavity surface emitting laser array[J]. *Chin. J. Lumin.*, 2012, 33(11):1247-1251. (in Chinese)
- [25] LIU C Y, QU Y, YUAN S, YOON S F. Optimization of ridge height for the fabrication of high performance InGaAsN ridge waveguide lasers with pulsed anodic oxidation[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2004, 85(20):4594-4596.

#### 作者简介:



黄海华(1987—),男,江西抚州人,硕士研究生,主要从事半导体光电子器件方面的研究。E-mail:wong2h@yahoo.cn



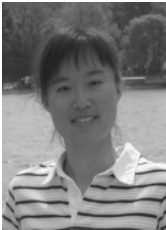
秦莉(1969—),女,黑龙江鹤岗人,研究员,主要从事大功率垂直腔面发射激光器及应用方面的研究。E-mail:qinli-ciomp@yahoo.com.cn



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



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



杨晖(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



王立军(1946—),男,吉林舒兰人,研究员,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

## 《光学 精密工程》(月刊)

- 中国光学开拓者之一王大珩院士亲自创办的新中国历史最悠久的光学期刊
- 现任主编为国家级有突出贡献的青年科学家曹健林博士
- Benjamin J Eggleton, John Love 等国际著名光学专家为本刊国际编委

《光学 精密工程》主要栏目有现代应用光学(空间光学、纤维光学、信息光学、薄膜光学、光电技术及器件、光学工艺及设备、光电跟踪与测量、激光技术及设备);微纳技术与精密机械(纳米光学、精密机械);信息科学(图像处理、计算机应用与软件工程)等。

- \* 美国工程索引 EI 核心期刊
- \* 中国精品科技期刊
- \* 中文核心期刊
- \* 百种中国杰出学术期刊

主管单位:中国科学院

主办单位:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

中国仪器仪表学会

地址:长春市东南湖大路 3888 号

邮编:130033

电话:0431-86176855

传真:0431-84613409

电邮:gxjmgc@sina.com

网址:<http://www.eope.net>

定价:50.00 元/册