

文章编号 1004-924X(2010)06-1258-06

## 808 nm 含铝半导体激光器的腔面镀膜

李再金<sup>1,2</sup>, 胡黎明<sup>1,2</sup>, 王 焯<sup>1,2</sup>, 杨 晔<sup>1,2</sup>, 彭航宇<sup>1,2</sup>, 张金龙<sup>1</sup>, 秦 莉<sup>1</sup>, 刘 云<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 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 100049)

**摘要:**研究了高功率 808 nm 量子阱脊型波导结构含铝半导体激光器在空气中解理时不同镀膜方法对输出激光功率的影响, 讨论了半导体激光器的灾变性光学镜面损伤机理及其腔面钝化薄膜的选择特性。对半导体激光器管芯前后腔面不镀膜, 前后腔面镀上反射膜和前后腔面先镀上钝化薄膜再镀腔面反射膜方法进行了对比, 测试了半导体激光器的输出功率。结果表明, 先镀上钝化薄膜的器件比只镀上腔面反射膜的器件输出的激光功率高 36%。只镀腔面反射膜的半导体激光器器件在电流为 5 A 时就失效了, 而镀钝化膜的器件在电流为 6 A 时仍未失效, 说明镀钝化薄膜的器件能有效地防止灾变性光学损伤和灾变性光学镜面损伤。在半导体激光器芯片腔面镀上钝化薄膜是提高大功率半导体激光器输出功率的有效方法。

**关键词:** 808 nm 半导体激光器; 镀膜; 腔面

**中图分类号:** TN248.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20101806.1258

## Facet coating for 808 nm Al-containing semiconductor laser diodes

LI Zai-jin<sup>1,2</sup>, HU Li-ming<sup>1,2</sup>, WANG Ye<sup>1,2</sup>, YANG Ye<sup>1,2</sup>, PENG Hang-yu<sup>1,2</sup>,  
ZHANG Jin-long<sup>1</sup>, QIN Li<sup>1</sup>, LIU Yun<sup>1</sup>, WANG Li-jun<sup>1</sup>

(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 100049, China*)

**Abstract:** The impacts of different facet coating methods on the laser output powers of high-power 808 nm quantum-well ridge-waveguide Al-containing laser diodes cleaved in the air are researched and then the Catastrophical Optical Mirror Damage (COMD) mechanisms of semiconductor laser diodes and the selecting characteristics of a passivation layer are discussed. Three devices that are at uncoated, coated only by reflective films and coated by passivation layers and reflective films on their facets are compared. Obtained results show that the output power of the device with the passivation layers is 36% higher than that of the one only coated with reflective films. Moreover, the semiconductor laser diode coated by reflective film is failed at a current at 5 A, while the device coated by the passivation layers has not failure at the current 6 A. It points out that the passivation layer can effectively prevent Catastrophic Optical Damage (COD) and COMD. The coating passivation film method on the facets of

**收稿日期:** 2009-08-20; **修订日期:** 2009-10-23.

**基金项目:** 吉林省科技厅重大项目 (No. 20075001); 吉林省科技发展计划资助项目 (No. 20086011); 装备预先研究资助项目 (No. 61501060108)

semiconductor laser diodes is effective to the increase of output powers of high powers semiconductor laser diodes.

**Key words:** 808 nm semiconductor laser diode; coating; facet

## 1 引言

808 nm 大功率半导体激光器已广泛应用于泵浦固体激光器<sup>[1-2]</sup>与光纤激光器<sup>[3-4]</sup>、激光医疗、材料加工和军事防御等<sup>[5]</sup>。随着固体激光器输出功率和亮度的增加,用户对泵浦源即半导体激光器提出了更高要求<sup>[6]</sup>。含铝半导体激光器件在工作时会受到光功率、驱动电流、和热效应的影响<sup>[7-8]</sup>且其腔面容易氧化,进而会加剧器件退化<sup>[9]</sup>,甚至导致灾变性光学损伤(COD)或灾变性光学镜面损伤(COMD)<sup>[10]</sup>,使器件失效。为解决这一问题,有人提出在半导体激光器腔面应用反射膜,如氧化钛,氧化铪,氧化铝,氧化硅等薄膜层<sup>[11]</sup>,以给大气中的氧气和水分提供了一个势垒,同时也产生一种特定的反射率从而提高前腔面输出激光强度,使前腔面和后腔面的光功率比最大化,并能增加器件的总转换效率<sup>[12]</sup>。然而,对于含铝半导体激光器来说,功率可靠性的退化是由腔面反射膜含有的氧扩散到有源区引起的,最终会在比期望的输出功率还低的情况下导致COMD。实验证明,对于808 nm含铝半导体激光器,若半导体激光器芯片材料与腔面含氧反射膜材料之间镀上一层钝化薄膜,该薄膜能有效地阻止腔面反射膜里的氧扩散到有源区内,抑制腔面的氧化,降低腔面吸收,从而可提高激光输出功率。钝化薄膜材料的选择应遵循:(1)钝化材料必须对能与半导体激光器芯片材料发生反应的杂质粒子起到势垒的作用,防止杂质粒子扩散到激光器腔面上发生反应。(2)钝化薄膜材料本身不能与半导体激光器芯片材料发生反应。(3)钝化薄膜材料的电导率必须足够低,避免电流从腔面通过,也可使用电导率高的金属材料,其条件是膜层必须很薄。本文选择 ZnSe 材料作钝化薄膜,这是因为 ZnSe 材料的禁带宽度为 2.75 eV,能有效地防止电子和空穴扩散到表面发生复合,消除腔面吸收,降低腔面热量<sup>[13]</sup>。钝化薄膜的镀制能有效地抑制含铝半导体激光器腔面的氧化,改善 COMD 阈值,提高激光输出功率。

## 2 外延芯片结构设计

808 nm 半导体激光器的外延芯片是以 Al-GaAs/GaAs 材料系统为基础的,其采用渐变折射率分别限制异质结单量子阱结构。外延芯片结构包括:在  $n^+$ -GaAs (Si 掺杂原子数分数为  $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) 衬底上依次生长 GaAs : Si 缓冲层;  $1.5 \mu\text{m Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}$  (Si 掺杂原子数分数为  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) 覆盖层;  $0.15 \mu\text{m}$  不掺杂  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  波导层,Al 组分的线性变化从 0.7 到 0.25;  $8 \text{ nm}$  不掺杂 GaAs 有源层;  $0.15 \mu\text{m}$  不掺杂  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  波导层,Al 组分的线性变化从 0.25 到 0.7;  $1.5 \mu\text{m Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}$  (Zn 掺杂原子数分数为  $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) 覆盖层;  $0.15 \mu\text{m}$  高掺杂  $p^+$ -GaAs (Zn 掺杂原子数分数为  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ) 接触层。808 nm 半导体激光器外延芯片结构如图 1 所示。



图 1 808 nm 半导体激光器外延芯片结构

Fig. 1 Epitaxial wafer structure of 808 nm semiconductor laser diode

## 3 钝化薄膜的制备

### 3.1 产生 COMD 的机理

半导体激光器腔面产生 COMD 机理说明如

图 2 所示, COMD 行为可以通过示意图上的环链来说明, 这些机理已被许多研究人员研究过<sup>[14-15]</sup>。一个半导体激光器腔面氧化环链在腔面处存在一个位错, 环链展现出了位错与 COMD 相关联的一些物理现象。当光在半导体激光器腔面由于位错的存在而被吸收时, 会产生电子-空穴对, 电子-空穴对的产生一方面会破坏芯片材料原子间的结合力, 使腔面氧化, 进而产生非辐射复合吸收; 另一方面产生的电子和空穴对会重新结合, 也产生非辐射复合吸收。非辐射复合吸收会使半导体激光器腔面产生热量, 腔面产生的热量加剧腔面氧化, 形成恶性循环; 腔面产生的热量会降低半导体激光器芯片材料的禁带宽度, 进而增强腔面光吸收与腔面电流密度, 再使腔面产生热量。通过这种方式, 禁带宽度降低, 腔面光吸收增强, 会有更多的电子和空穴对产生。最终, 如果半导体激光器腔面热量上升到激光芯片材料的熔点就会使半导体激光器发生 COMD。

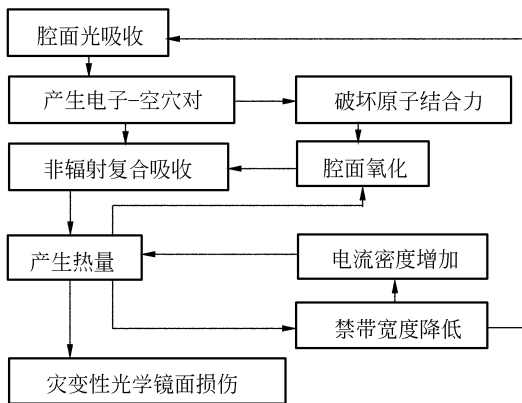


图 2 半导体激光器腔面退化机理

Fig. 2 Facet degradation mechanisms of semiconductor laser diode

### 3.2 腔面钝化薄膜的制备

将半导体激光器芯片在空气中解理成腔长为  $1\ 000\ \mu\text{m}$  的 bar 条, 将其分成两组, 一组 bar 条解理后固定在专用的芯片镀膜夹具上放进真空镀膜机, 当真空度达到  $1 \times 10^{-4}\ \text{Pa}$  时, 用低能离子源清洗腔面, 保证离子平均能量  $< 30\ \text{eV}$ , 目的是去除腔面不稳定的表面态, 选用低能离子源目的是防止高能离子对腔面产生破坏, 形成点缺陷。在用低能离子源清洗完腔面后, 接着蒸镀  $20\ \text{nm}$  ZnSe 材料作为钝化薄膜, 最后在前后腔面分别镀上增透和高反射腔面膜, 使前后腔面的反射率分别

为  $5\%$  和  $95\%$ 。另一组 bar 条不蒸镀 ZnSe 钝化薄膜层, 直接镀上增透和高反射腔面膜, 也使前后腔面的反射率分别为  $5\%$  和  $95\%$ , 这样能保证不会因为半导体激光器前后腔面反射率不同而引起测试的激光输出功率的变化。将镀好膜的器件再解理成单管, p 面朝下用 In-Sn 混合焊料焊接到无氧铜热沉上, 然后用综合参数测试仪进行测试。

## 4 器件测试特性

图 3 列出了半导体激光器器件未镀膜, 只镀了腔面膜和镀钝化膜的激光输出功率与电流的变化曲线。从曲线可以看出, 最先失效的是未镀膜的器件, 其次是只镀腔面反射膜的器件, 而镀钝化薄膜的器件在电流为  $6\ \text{A}$  时都没有发生失效。由此可见, 钝化膜器件可有效地防止 COD 和 COMD。从器件的输出激光功率上看, 镀钝化膜的器件比只镀腔面反射膜的器件激光输出功率可提高  $36\%$ 。在这里可以观察到, 镀钝化膜的器件极大地提高了激光输出功率。对于大功率半导体激光器腔面镀膜来说, 光学膜的吸收不是限制器件性能的唯一因素, 还有半导体激光器芯片材料的氧化<sup>[16-18]</sup>, 特别是含铝的半导体激光器芯片材料更容易氧化。与没有钝化技术的器件相比, 钝化技术展示出较高的 COD 和 COMD 阈值, 没有钝化直接镀上腔面反射膜的器件在电流加到  $5\ \text{A}$

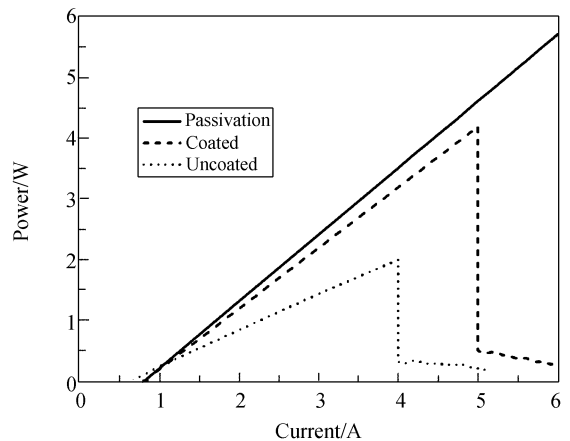


图 3 器件未镀膜, 只镀了腔面膜和镀钝化膜的激光输出功率与电流的变化曲线

Fig. 3 Output power versus drive current of semiconductor laser diode at uncoated, coated and passivation

时就失效了,这说明器件以大电流工作时,光学膜内的氧扩散到器件里形成吸收进而导致器件失效,而镀钝化膜的器件在电流为6 A时器件仍未失效,这说明钝化薄膜在半导体激光器芯片材料和腔面反射膜之间提供了一个足够高的势垒,阻止了腔面反射膜里的氧扩散到半导体激光器芯片材料里,进而有效地提高了含铝半导体激光器输出功率,同时亦有效地防止了COD和COMD。

## 5 结 论

研究了高功率808 nm量子阱脊型波导结构

### 参考文献:

[1] 李隆,董武威,史彭,等. 激光二极管阵列侧泵浦Nd:YAG板条的热效应[J]. 光学精密工程,2008,16(11):2120-2126.

LI L, DONE W W, SHI P, *et al.*. Thermal effect of diode bar side-pumped Nd:YAG slab[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(11):2120-2126. (in Chinese)

[2] 高润梅,常胜江,胡智勇,等. LDA泵浦Cr<sup>4+</sup>:YAG被动调Q Nd:YAG激光器实验研究[J]. 激光杂志,2008,29(6):24-25.

GAO R M, CHANG S J, HU Z Y, *et al.*. Experimental study on LDA pumped Nd:YAG Laser passively Q-switched by Cr<sup>4+</sup>:YAG[J]. *Laser Journal*, 2008, 29(6):24-25. (in Chinese)

[3] 赵崇光,宁永强,刘洋,等. 双包层Yb/Er共掺光纤放大器的数值模拟[J]. 光学精密工程,2008,16(8):1349-1353.

ZHAO C G, NING Y Q, LIU Y, *et al.*. Numerical analysis of Yb/Er co-doped double cladding fiber amplifier[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(8):1349-1353. (in Chinese)

[4] 程雯婧,宁提纲. 一种新的阵列半导体激光器侧面耦合双包层光纤的方法研究[J]. 激光杂志,2008,29(1):55-56.

CHENG W J, NING T G. Analysis and computation of a new scheme of double-cladding fiber side-coupling of laser diode array[J]. *Laser Journal*,

含铝半导体激光器在空气中解理时不同镀膜方法对输出激光功率的影响,研究表明,镀钝化膜的半导体激光器器件在电流为6 A时仍未失效,只镀腔面反射膜的器件在电流为5 A时就失效了,这说明镀钝化膜的器件能有效地防止COD和COMD,并且测试的腔面镀钝化膜的器件的激光输出功率比只镀腔面反射膜的器件高出36%,说明在半导体激光器芯片腔面镀上钝化薄膜是提高大功率含铝半导体激光器输出功率的行之有效的办法。

2008, 29(1):55-56. (in Chinese)

[5] 顾媛媛,冯广智,单肖楠,等. 808 nm和980 nm半导体激光迭阵波长耦合技术[J]. 光学精密工程,2009,17(1):8-13.

GU Y Y, FENG G Z, SHAN X N, *et al.*. 808 nm and 980 nm high power laser diode stack with wavelength coupling[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(1):8-13. (in Chinese)

[6] HULSEWEDE R, SCHULZE H, SEBASTIAN J, *et al.*. Highly reliable high-power AlGaAs/GaAs 808 nm diode laser bars[J]. *SPIE*, 2007, 6456:645607-1-645607-8.

[7] YELLEN S L, SHEPARD A H, DALBY R J, *et al.*. Reliability of GaAs-Based semiconductor lasers 0.6-1.1 μm[J]. *IEEE Quantum Electron*, 1993, 29(6):2058-2067.

[8] FUKUDA A M. *Reliability and Degradation of Semiconductor Lasers and LEDs* [M]. Norwood, MA: Artech House, 1991.

[9] YUASA T, OGAWA M, ENDO K, *et al.*. Degradation of (AlGa)As DH lasers due to facet oxidation[J]. *Applied Physics Letters*, 1978, 32(2):119-121.

[10] GHITA R V, LAZARESCU M F, MANEA A S, *et al.*. Facet oxidation and degradation of AlGaAs/GaAs pulsed laser diodes[J]. *SPIE*, 2004, 5581:268-273.

[11] 套格套,尧舜,张云鹏,等. 808 nm大功率半导体激光器腔面膜的制备[J]. 光子学报,2005,34(1):

25-28.

TAO G T, YAO S, ZHANG Y P, *et al.*. Fabrication of 808 nm SQW semiconductor laser facet AR HR coating[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, 34(1):25-28. (in Chinese)

[12] MACLEOD H A. *Thin Film Optical Filters*[M]. London, U. K. : IOP, 2001.

[13] CHAND N, HOBSON W S, JONG J F, *et al.*. ZnSe for mirror passivation of high power GaAs based lasers[J]. *Electronics Letters*, 1996, 32(17): 1595-1596.

[14] CHRISTOFER S, PETER B, CARSTEN L, *et al.*. High COMD, nitridized InAlGaAs laser facets for high reliability 50 W bar operation at 805

nm[J]. *SPIE*, 2004, 5336:132-143.

[15] UEDA O. Degradation of III-V optoelectronic devices[J]. *Journal of the Electrochemical Society*, 1988, 135:11C-22C.

[16] SILGVENIUS C, BLIXT P, LINDSTROM C, *et al.*. Native-Nitride passivation eliminates facet failure[J]. *Laser Focus World*, 2003, 39(11): 69-73.

[17] TIHANYI P, BAUER R S. Passivation for surfaces and interfaces of semiconductor laser facets or the like[P]. *U. S. Patent 4563368*, Jan. ,7,1986.

[18] GASSER M, LATTA E E. Method for mirror passivation of semiconductor laser diodes . US; Patent 5063173[P]. Nov. 5,1991.

#### 作者简介:



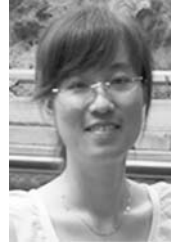
**李再金**(1980—),男,吉林榆树人,博士研究生,主要从事大功率半导体激光器的高激光损伤阈值薄膜的研究。E-mail: lizaijin@126.com



**胡黎明**(1984—),男,江西吉安人,博士研究生,主要从事大功率半导体激光器的研究。E-mail: henryhulm2003@163.com



**王 焜**(1981—),女,吉林双阳人,硕士研究生,主要从事高功率半导体激光器热特性的研究。E-mail: wy19812005@163.com



**杨 焜**(1982—),女,吉林敦化人,硕士研究生,主要从事大功率半导体激光器阵列的研究。E-mail: yangyy0719@163.com



**彭航宇**(1983—),男,浙江黄岩人,博士研究生,主要从事大功率半导体激光器光束整形的研究。Email: E-mail: imphy@163.com



**秦 莉**(1969—),女,黑龙江鹤岗人,博士,研究员,主要从事大功率半导体激光器设计及应用的研究。E-mail: qinlicimp@yahoo.com.cn



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



王立军(1946—),男,吉林舒兰人,硕士,研究员,主要从事大功率半导体激光器及其应用的研究。E-mail: wanglj@ciomp.ac.cn

#### 导师简介:



张金龙(1975—),男,吉林舒兰人,理学硕士,工程师,主要从事无铝量子阱边发射大功率半导体激光器的研究及其散热、封装、镀膜工艺的开发。E-mail: pled3588@yahoo.com.cn

#### ●下期预告

## 类 Golay6 新型稀疏孔径结构

吴泉英<sup>1</sup>,钱霖<sup>2,3</sup>

(1. 苏州科技学院 数理学院,江苏 苏州 215009;

2. 苏州大学 物理科学与技术学院 光电系,江苏 苏州 215006;

3. 苏州大学 江苏省现代光学技术重点实验室,江苏 苏州 215006

分析了 Golay 稀疏孔径结构阵列,在正三角形网格分布的基础上,找出 Golay 结构子孔径非冗余分布的规律,提出了一种类 Golay6 新型稀疏孔径结构。按照一维阵列排列及其非冗余分布的规律,类 Golay6 结构的子孔径在光瞳面上按三角形网格分布在正三角形的边长上,推导出类 Golay6 调制传递函数公式,给出调制传递函数分布,并且与 Golay6 结构进行了比较。结果显示类 Golay6 结构调制传递函数分布均匀,且子孔径排列简单,最大截止空间频率与 Golay6 结构相等,实际等效口径比大于 Golay6 结构 9.1 个百分点,表明类 Golay6 子孔径排列比 Golay6 结构简单,是非冗余的新型稀疏孔径结构。