

文章编号: 1000-7032(2012)05-0525-04

980 nm 半导体激光器腔面膜钝化新技术

李再金^{1*}, 李 特¹, 芦 鹏¹, 曲 轶¹,
薄报学¹, 刘国军¹, 王立军²

(1. 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;

2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 研究了不同腔面钝化方法对 980 nm 渐变折射率波导结构 InGaAs/AlGaAs 半导体激光器输出激光功率的影响。将 980 nm 半导体激光器管芯前后腔面不蒸镀钝化膜与蒸镀 Si 钝化膜和蒸镀 ZnSe 钝化膜的方法进行了对比。结果表明 蒸镀 ZnSe 钝化膜比蒸镀 Si 钝化膜的半导体激光器输出光功率提高了 11% , 比不蒸镀钝化膜的半导体激光器输出光功率提高了 42% 。不蒸镀钝化膜的半导体激光器的失效电流为 4.1 A , 蒸镀 Si 钝化膜的半导体激光器的失效电流为 5.1 A , 蒸镀 ZnSe 钝化膜的半导体激光器的失效电流为 5.6 A 。对半导体激光器失效的原因进行了分析。在半导体激光器前后腔面蒸镀 ZnSe 钝化膜能有效地提高器件的输出光功率。

关 键 词: 半导体激光器; 腔面; 钝化

中图分类号: TN248.4

文献标识码: A

DOI: 10.3788/fjxb20123305.0525

The Novel Passivation Method for 980 nm Semiconductor Laser Diode Face Coating

LI Zai-jin^{1*}, LI Te¹, LU Peng¹, QU Yi¹, BO Bao-xue¹, LIU Guo-jun¹, WANG Li-jun²

(1. Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China;

2. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

* Corresponding Author, E-mail: lizaijin@126.com

Abstract: The effect of the output power on difference passivation facet in 980 nm graded index waveguide structure InGaAs/AlGaAs laser diodes was studied. The output power of the 980 nm laser diodes with no facet passivation, Si passivation, and ZnSe passivation at the front and the back facet were compared. The test results show that output power of the ZnSe passivation method is 11% higher than Si passivation method, and is 42% higher than no facet passivation. The laser diode of no facet passivation is failure at the current is 4.1 A, the Si passivation is 5.1 A, ZnSe passivation is 5.6 A. The reasons of failure for difference passivation were analyzed. In conclusion, the method of ZnSe passivation facet can increase the output power of semiconductor lasers.

Key words: laser diode; facet; passivation

收稿日期: 2011-12-15; 修订日期: 2012-03-12

基金项目: 国家自然科学基金(61107054); 吉林省科技发展计划(201201124)资助项目

作者简介: 李再金(1980-), 男, 吉林榆树人, 主要从事大功率半导体激光器高激光损伤阈值薄膜的研究。

E-mail: lizaijin@126.com

1 引 言

半导体激光器已广泛用于通讯、光信息存储、材料加工、泵浦源和激光医疗等领域。980 nm 半导体激光器属于红外波段,已经直接用于材料加工^[1]和激光医疗^[2]等方面,并已形成了数百瓦或数千瓦的光功率模块^[3-5]。这些高功率应用对半导体激光器提出了更高的要求^[6-7]。半导体器件在工作时会受到输出激光功率、电流和前后腔面热量的影响,使器件特性降低^[8-9]。由于半导体激光器芯片材料独有的特性,其解理腔面易发生氧化,产生光吸收,吸收的光转化成热量,加剧了器件退化^[10],严重时可导致器件失效^[11]。为了提高半导体激光器的输出激光功率,人们已发展了多种半导体激光器腔面镀膜技术。最早出现的是腔面硫化技术^[12-14],把半导体激光器的腔面与含有硫的化合物相互作用,除掉器件腔面表面原有的氧化层并生成相对稳定的硫化物钝化层,但是腔面硫化技术硫化效果不够稳定,有效期短。为了防止腔面氧化,研究人员在腔面附近引入电流非注入区,限制电流流入腔面,进而降低腔面附近载流子浓度^[15-16]。M. L. Osaki 等^[17]还通过采用非吸收窗口技术,提高了器件输出功率。

本文对比研究了 980 nm 半导体激光器管芯前后腔面不蒸镀钝化膜、前后腔面蒸镀 Si 钝化膜和前后腔面蒸镀 ZnSe 钝化膜方法,并测试了器件性能,分析了器件失效的原因。结果表明半导体激光器腔面蒸镀 ZnSe 钝化膜能有效的提高半导体激光器的输出激光功率。

2 外延芯片结构

980 nm 半导体激光器外延材料是以 InGaAs/AlGaAs 三元材料为基础的,其结构如图 1 所示,采用渐变折射率波导结构。外延材料结构主要包括:在 n^+ -GaAs(掺杂 Si 浓度为 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) 基底上生长 $2 \mu\text{m Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ (掺杂 Si 浓度为 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) 覆盖层;生长 $0.11 \mu\text{m}$ 不掺杂的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 波导结构,Al 组分的线性变化为 $0.1 \sim 0.3$;生长 $8 \text{ nm In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ 有源区;生长 $0.11 \mu\text{m}$ 不掺杂 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 波导结构,Al 组分线性变化从 $0.3 \sim 0.1$;生长 $2 \mu\text{m Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ (掺杂 Zn 的浓度为 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) 覆盖层;最后生长 $0.1 \mu\text{m}$ 高掺杂的 p^+ -GaAs(掺杂 Zn 的浓度为 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) 接触层。

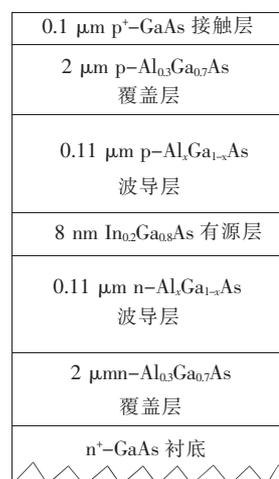


图 1 980 nm 半导体激光器外延材料结构

Fig. 1 980 nm semiconductor laser diode epitaxial material structure

3 腔面钝化膜制备

为了对比不同腔面钝化方法对 980 nm 半导体激光器输出功率的影响,将 980 nm 半导体激光器外延芯片解理成腔长为 $1000 \mu\text{m}$ 的 bar 条,并将解理的 bar 条分成三组:第一组 bar 条前后腔面不蒸镀钝化膜,直接蒸镀含氧的光学薄膜;第二组 bar 条前后腔面先蒸镀 20 nm Si 钝化膜,再蒸镀含氧的光学薄膜;第三组 bar 条前后腔面蒸镀 20 nm ZnSe 钝化膜,再蒸镀含氧的光学薄膜。分别将三组 bar 条装卡到专用的半导体激光器腔面镀膜夹具上,放进全自动电子束真空镀膜机里,抽真空到 $1.5 \times 10^{-4} \text{ Pa}$,用低能离子源清洗 90 s ,除去腔面不稳定的界面态和腔面的氧化层。然后镀上不同的腔面钝化膜和含氧的光学薄膜。最后将制备好的半导体激光器解理成单管,p 面朝下用 Au-Sn 混合焊料焊接到铜钨热沉上。器件性能采用综合参数测试仪测试器件。

4 结果与讨论

图 2 列出了半导体激光器不蒸镀钝化膜、蒸镀 Si 钝化膜和蒸镀 ZnSe 钝化膜的输出光功率与工作电流的变化曲线。从器件功率测试曲线可以看出,其失效顺序分别是不蒸镀钝化膜的、蒸镀 Si 钝化膜的和蒸镀 ZnSe 钝化膜的半导体激光器。由此可见,蒸镀 ZnSe 钝化膜可有效提高半导体激光器输出光功率。从图 2 测试曲线中可以看出,

蒸镀 ZnSe 钝化膜比蒸镀 Si 钝化膜的输出光功率提高 11% ,比不蒸镀钝化膜的提高 42% 。蒸镀 ZnSe 钝化膜对提高半导体激光器输出激光功率有相当大的改进。对于大功率半导体激光器腔面膜来说,腔面膜的选取是很关键的。

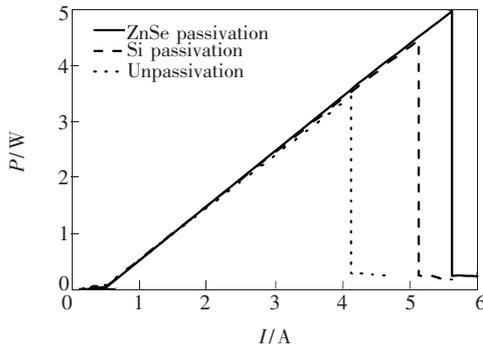


图2 不蒸镀钝化膜、蒸镀 Si 钝化膜和蒸镀 ZnSe 钝化膜半导体激光器的输出光功率与电流变化曲线。

Fig. 2 Output power versus drive current of semiconductor laser diode at unpassivation, Si passivation and ZnSe passivation.

不蒸镀钝化膜的器件在电流为 4.1 A 时就失效了。失效的主要原因是含氧的光学薄膜直接和腔面接触,当腔面有光吸收时,吸收产生的热量会破坏分子间的结合力,形成 Ga—O 和 As—O 结合物,使腔面发生氧化^[18-19],增加腔面光吸收,严重时使腔面产生光学灾变损伤,最终导致器件失效。蒸镀 Si 钝化膜的在电流为 5.1 A 时失效,表明蒸

镀 Si 钝化膜比不蒸镀钝化膜更能防止腔面产生损伤,这也是现在很多公司和研究所普遍采用的一种防止腔面产生损伤的方法^[20]。蒸镀 ZnSe 钝化膜的器件是在电流为 5.6 A 时失效的,这表明在这三组器件中,蒸镀 ZnSe 钝化膜在防止腔面发生损伤能力是最好的。蒸镀 Si 钝化膜比蒸镀 ZnSe 钝化膜先失效,经我们分析, Si 材料的禁带宽度为 1.12 eV, GaAs 材料的禁带宽度为 1.42 eV,由于 Si 材料的禁带宽度比 GaAs 材料的禁带宽度小,所以容易在腔面形成陷阱,使电子和空穴发生复合,产生光吸收,最终导致器件失效。而 ZnSe 材料的禁带宽度为 2.75 eV,比 GaAs 材料的禁带宽度大很多,可在腔面形成势垒,阻止腔面载流子发生复合,降低腔面吸收,提高腔面损伤阈值。蒸镀 ZnSe 钝化膜的半导体激光器失效原因可能是半导体激光器芯片材料由于腔面产生的热量使有源区材料的禁带宽度减小,增加了腔面光吸收,最终导致器件失效。

5 结 论

研究了 980 nm 渐变折射率波导结构半导体激光器腔面不同钝化方法对输出光功率的影响。蒸镀 ZnSe 钝化膜的激光器的输出光功率比蒸镀 Si 钝化膜提高 11% ,比不蒸镀钝化膜提高 42% ,说明在半导体激光器腔面上蒸镀 ZnSe 钝化膜是提高大功率半导体激光器的输出光功率的有效方法。

参 考 文 献:

- [1] Brauch U, Loosen P, Opower H. High-power diode lasers for direct applications [J]. *Springer-Series, Topics in Applied Physics*, 2000, 78: 303-368.
- [2] Hu Liming, Liu Yun, Lu Zhihua, et al. Skin welding with a combination of 980 nm and 1 064 nm lasers [J]. *Chinese J. Lasers (中国激光)*, 2011, 4(38): 0404001-1-7 (in Chinese).
- [3] Zhu Hongbo, Liu Yun, Hao Mingming, et al. High efficiency module of fiber coupled diode laser [J]. *Chin. J. Lumin. (发光学报)*, 2011, 32(11): 1147-1151 (in Chinese).
- [4] Gu Yuanyuan, Feng Guangzhi, Deng Xinli, et al. 808 nm and 980 nm high power laser diode stack with wavelength coupling [J]. *Optics and Precision Engineering (光学精密工程)*, 2009, 17(1): 8-13 (in Chinese).
- [5] Chai Weiwei, Chen Qinghua, Li Linghong, et al. Heat dissipation analysis of high power LED connected to copper coated heat sink by soldering [J]. *Chin. J. Lumin. (发光学报)*, 2011, 32(11): 1171-1175 (in Chinese).
- [6] Price K, Pfeffer F, Leisher P, et al. KW-class industrial diode lasers comprised of single emitters [J]. *SPIE*, 2010, 7583: 75830E-1-9.
- [7] Bao Ling, Wang Jun, Devito Mark, et al. Reliability of high performance 9xx-nm single emitter diode lasers diodes [J]. *SPIE*, 2010, 7583: 758302-1-10.
- [8] 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.
- [9] Fukuda A M. *Reliability and Degradation of Semiconductor Lasers and LEDs* [M]. Norwood ,MA: Artech House ,1991: 38-54.
- [10] Yuasa T ,Ogawa M ,Endo K ,*et al.* Degradation of (AlGa) As DH lasers due to facet oxidation [J]. *Appl. Phys. Lett.* , 1978 ,32(2) :119-121.
- [11] 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.
- [12] Sandroff C D ,Nottenburg R N ,Bischoff J C ,*et al.* Dramatic enhancement in the gain of a GaAs/AlGaAs heterostructure bipolar transistor by surface chemical passivation [J]. *Appl. Phys. Lett.* ,1987 ,51(1) :33-36.
- [13] Kawanishi H ,Ohno H ,Morimoto T ,*et al.* Improvement of high power characteristics of 780 nm AlGaAs laser diode by (NH₄)₂S facet treatment [J]. *SPIE* ,1990 ,1219:309-316.
- [14] Kamiyama S ,Mori Y ,Takahashi Y ,*et al.* Improvement of catastrophic optical damage level of AlGaInP visible laser diodes by sulfur treatment [J]. *Appl. Phys. Lett.* ,1991 ,58(23) :2595-2597.
- [15] Horie H ,Yamamoto Y ,Arai N ,*et al.* Thermal rollover characteristics up to 150 °C of buried-stripe type 980-nm laser diodes with a current injection window delineated by a SiN_x Layer [J]. *IEEE Photonics Technology Letters* ,2000 ,12(1) :13-15.
- [16] Rinner F ,Rogg J ,Kelemen M T ,*et al.* Facet temperature reduction by a current blocking layer at the front facets of high-power InGaAs/AlGaAs lasers [J]. *J. Appl. Phys.* ,2003 ,93(3) :1848-1850.
- [17] Osowski M L ,Hu W ,Lammert R M ,*et al.* Advances in high-brightness semiconductor lasers [J]. *SPIE* ,2008 ,6952: 695208-1-8.
- [18] Schubert E F ,Passlack M ,Hong M ,*et al.* Properties of Al₂O₃ optical coatings on GaAs produced by oxidation of epitaxial AlAs/GaAs films [J]. *Appl. Phys. Lett.* ,1994 ,64(22) :2976-2978.
- [19] Passlack M ,Hong M ,Schubert E F ,*et al.* In situ fabricated Ga₂O₃-GaAs structures with low interface recombination [J]. *Appl. Phys. Lett.* ,1995 ,66(5) :625-627.
- [20] Charache G ,Hostetler J ,Jiang C L ,*et al.* Laser facet passivation: USA ,US7687291 [P]. 2006-05-10.