

文章编号:1001-5078(2016)07-0805-04

· 激光器技术 ·

大功率半导体激光器腔面氮钝化的研究

何 新,崔碧峰,刘梦涵,李 莎,孔真真,黄欣竹
(北京工业大学光电子技术省部共建教育部重点实验室,北京 100124)

摘 要:针对 980 nm 大功率半导体激光器腔面离子铕氮钝化处理工艺进行了研究,发现腔面离子铕氮钝化可以提高激光器的输出特性及 COD 功率,器件输出功率提高了 32.14%;老化实验后,经过氮钝化的半导体激光器没有明显退化,而未经氮钝化处理的激光器退化严重;使用俄歇谱测试仪(AES)对钝化处理后的半导体激光器试验片进行测试,发现有部分的氮离子遗留在腔面处;氮元素含量由原有的 0% 上升到 20%,与此同时,氧元素的含量由原来的 61% 降至 30%。结果表明,该技术能够改善半导体激光器的腔面特性,器件的可靠性和使用寿命可望得到提高。

关键词:激光器;大功率半导体激光器;腔面钝化;离子铕;灾变性光学损伤(COD)

中图分类号:TN248.4 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2016.07.006

Research on nitrogen passivation for high power semiconductor lasers

HE Xin, CUI Bi-feng, LIU Meng-han, LI Sha, KONG Zhen-zhen, HUANG Xin-zhu
(Key Lab. Optoelectronic Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: The ion bombardment and nitrogen passivation treatment process in the cavity were studied for 980 nm semiconductor lasers. This two treatment processes can improve the output characteristics and COD power of 980 nm semiconductor lasers, and output power increases by 32.14%. Lasers with nitrogen passivation have no evident degradation after the aging experiment, but lasers with non-nitrogen passivation have severe degradation. The part of the nitrogen ions leaves the cavity surface after the lasers with nitrogen passivation are measured by the Auger spectroscopy analyzer (AES). The content of nitrogen increases from 0% to 20%, but the content of oxygen decreases from 61% to 30%. The results show that this process can improve the cavity surface features of semiconductor lasers, which makes the reliability and the life of the device increase.

Key words: lasers; high power semiconductor lasers; cavity passivation; ion bombardment; catastrophic optical damage (COD)

1 引 言

大功率半导体激光器具有高输出功率、高功率

转化效率、体积小和较高的可靠性等优点。目前,大功率半导体激光器已被广泛应用于光通信、光信息

基金项目:北京市教委创新能力提升计划(No. TJSHG201310005001)、国家自然科学基金(No. 11204009)、北京市自然科学基金项目(No. 4142005)资助。

作者简介:何 新(1990-),男,硕士研究生,主要从事大功率半导体激光器的研究。E-mail:luckhexin@163.com

通讯作者:崔碧峰(1972-),女,副教授,主要从事半导体激光器的研究。E-mail:cbf@bjut.edu.cn;

收稿日期:2015-10-26

储存、泵浦固体激光器、直接材料加工、激光医疗等领域^[1]。随着其应用的不断扩大,对于器件的可靠性要求进一步提高,其中器件的工作寿命是影响其应用的一个关键因素,器件的工作寿命较短主要是由于退化造成的。

通常半导体激光器在空气中解理,解理后的腔面暴露在空气中,容易受到玷污和氧化形成表面态,这些表面态会对载流子起到散射中心和非辐射复合中心作用,在前腔面较高的光功率密度和电流密度下,这些由表面态形成的散射中心和非辐射复合中心,会使得腔面温度升高,温度的升高使得腔面附近带隙减小,加剧了腔面处的光吸收,同时电流也更集中于腔面附近窄带隙区域。这样形成正反馈环,当温度足够高时,导致腔面烧毁,即发生 COD^[2-4]。

为了解决腔面问题,目前可采用的途径是:减少光和载流子在腔面的分布、减少腔面附近光的吸收,如采用大光腔结构^[5]、透明窗口结构^[6]、电流非注入窗口结构^[7]等。而为了减少表面态,去除光吸收和非辐射复合中心,可采用的方法有:真空解理、腔面离子铣、腔面钝化技术等^[8-10]。其中真空解理机造价高昂,不易实现,而腔面离子铣钝化技术成本较低,更易于实现,而且这种方法不会对激光器的电光特性造成影响,因此成为研究较为广泛的技术之一。

本文采用离子铣氮钝化技术对半导体激光器试验片进行处理,对处理后的实验片进行 AES 测试,得到腔面处的元素成分比例,分析测试结果,并对器件进行了老化和 COD 测试,分析了离子铣氮钝化技术对提高半导体激光器寿命和可靠性的作用。

2 实验过程

2.1 实验原理

离子铣腔面钝化首先使用不同等离子体轰击解理后的半导体激光器腔面,达到溅射去除腔面处的残留气体及有机玷污,同时去除部分氧化物的目的。使得清洗后的腔面处的悬挂键与等离子体结合生成较稳定的化合物。离子铣后立即在腔面处镀制一层 ZnSe 薄膜,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,同时可以有效地隔绝外界与腔面,防止腔面受到再次的玷污和氧化的作用^[11]。之后即可进行常规的腔面膜的镀制,如图 1 所示。

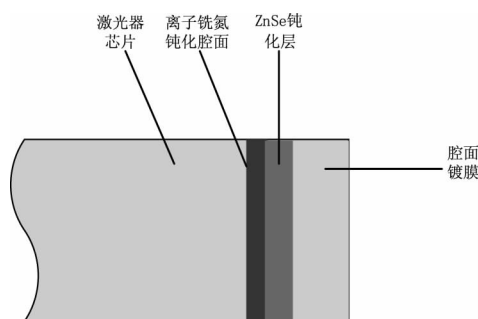


图 1 半导体激光器腔面离子铣钝化原理图

Fig. 1 A schematic of Ion bombardment passivation the facet of the semiconductor laser

2.2 实验步骤

将制备好的 980 nm 半导体激光器原片在空气中解理,解理成 8 片宽 4 mm 长 12.5 mm 的激光器巴条,将其分成三组,依次为 2 片、3 片、3 片,分别装入不同的夹具 1、2、3,依次进行实验,记为实验 a、b、c。

实验 a:将夹具 1 放入电子束真空镀膜机中进行试验,将镀膜机的真空抽至 10^{-7} torr 后,开始试验。首先向镀膜机中通入氩气,在等离子体的作用下,氩离子开始轰击激光器腔面,设定轰击时间为 90 s,离子源电流为 1.5 A,轰击结束后将腔室及管道内部残余的氩气抽空,再向镀膜机中通入氮气,在等离子体的作用下,氮离子开始轰击激光器腔面,设定轰击时间为 20 min,离子源电流为 3.5 A,轰击结束后将腔室内部及管道内部残余的氮气抽空,离子铣结束。而后,再次向镀膜机中通入氩气,在氩离子的辅助下,在经过离子铣的激光器腔面处镀制 ZnSe 薄膜。将激光器夹具翻转,在激光器的另一面不经过离子铣同样镀制 ZnSe 薄膜。

实验 b:将夹具 2 放入电子束真空镀膜机中进行试验,将镀膜机的真空抽至 10^{-7} torr 后,向镀膜机中通入氩气,在等离子体的作用下,氩离子开始轰击激光器腔面,设定轰击时间为 20 min,离子源电流为 3.5 A,轰击结束后将腔室内部及管道内部残余的氮气抽空,离子铣结束。而后,再次向镀膜机中通入氩气,在氩离子的辅助下,在经过离子铣的激光器腔面处镀制 ZnSe 薄膜并继续镀制一层增透膜,增透膜的构成为 35 nm Al_2O_3 和 130 nm SiO_2 。将激光器夹具翻转,重复上述工艺直至最后一步,在镀制完 ZnSe 薄膜后继续镀制一层高反膜,高反膜的构成为 4 对 168 nm SiO_2 和 110 nm TiO_2 。

实验 c:将夹具 3 放入电子束真空镀膜机中进行试验,将镀膜机的真空抽至 10^{-7} torr 后,向镀膜机

中通入氩气,在氩离子的辅助下,不经过钝化在激光器腔面处直接镀制 ZnSe 薄膜并继续镀制一层增透膜,增透膜的构成为 35 nm Al_2O_3 和 130 nm SiO_2 。将激光器夹具翻转,重复上述工艺直至最后一步,在镀制完 ZnSe 薄膜后继续镀制一层高反膜,高反膜的构成为 4 对 168nm SiO_2 和 110 nm TiO_2 。

3 结果分析

在实验 a 中所得激光器试验片中抽取 1 片激光器巴条,对其上下两个腔面依次进行 AES 测试。测试结果分别如图 2 和图 3 所示。

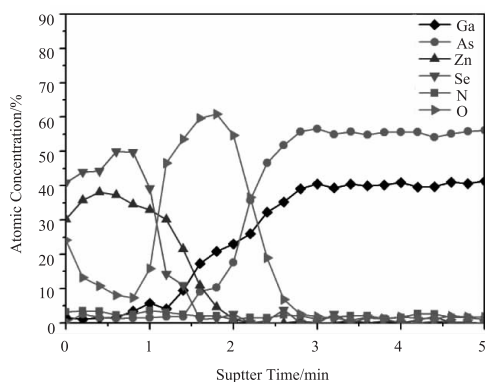


图2 实验 a 中得到的试验片未经氮钝化面进行 AES 的测试结果

Fig. 2 The test result of the facet of test piece were not passivated by nitrogen obtained from Experiment a for AES

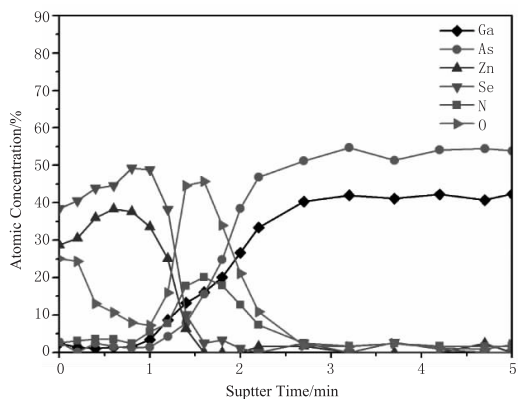


图3 实验 a 中得到的试验片经过氮钝化面进行 AES 的测试结果

Fig. 3 The test result of the facet of test piece were passivated by nitrogen obtained from Experiment a for AES

结合图 2 和图 3 可以看到,经过钝化后的半导体激光器腔面处的氧元素的含量明显下降。图 2 为未经过钝化的实验片测试结果,此时腔面处的氧含量为 61%,对应的镓含量为 20%;从图 3 中找到镓含量为 20% 的点 (1.8 min 处),因钝化前后镓元素的含量基本没有变化,因此此处对应着钝化后的腔面处,这时可以看到腔面氧含量为 30%,但此处的氧含量并非图中氧含量曲线的峰值处,分析其原因可能是由于在镀制 ZnSe 薄膜时引入了

部分氧元素;与此同时氮元素含量由原有的 0% 上升到 20% 左右。由此我们可以看出对半导体激光器腔面进行氮钝化处理可以在一定程度上降低氧元素的含量,并由氮元素来替换这部分的氧元素,氮元素与镓元素可以生成氮化镓,这种材料可以有效地屏蔽光学声子散射、电离杂质散射等因素^[12]。

在实验 b、c 中得到的实验片中分别取出一片进行解理(每组 20 只管芯),使用大功率半导体激光器测试仪对每个单管进行测试,得到其 $P-I$ 曲线,如图 4 所示。

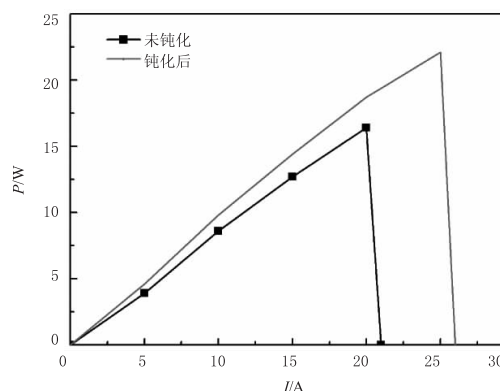


图4 使用大功率半导体激光器测试仪测得激光器单管的 $P-I$ 曲线

Fig. 4 The $P-I$ curve of laser were tested by high-power semiconductor laser tester

如图所示,可以看到钝化后的半导体激光器单管拥有更高的 COD 阈值和输出功率,这进一步说明使用氮钝化的方法可以提高器件的 COD 阈值和输出功率。

表 1 实验测试结果(室温)

Tab. 1 Measurement results(room temperature)

NO	1	2	3	4
发生 COD 时功率/W	16.8	16.5	22.2	22.1
阈值电流/A	0.72	0.73	0.67	0.69
前腔面反射率 $R/\%$	5	~5	~5	~5
后腔面反射率 $R/\%$	95	~95	~95	~95

为了研究钝化后加镀腔面膜对激光器输出特性的改善情况,将实验 b、c 中剩余 4 片试验片解理后(每组 20 只管芯)在室温、连续电流的条件下分别进行测试,测试结果如表 1 所示。1、2 两组管芯为未经过钝化的试验片,3、4 两组管芯为经过钝化的试验片,比较这两种不同工艺条件下得到的 980 nm 半导体激光器管芯,可以看到使用氮钝化并镀膜后可以得到较理想的激光输出特性。使用氮钝化的方

法得到了更大的 COD 阈值,说明该方法效果明显,降低了 COD 灾变几率,使器件工作特性有了明显的改善。连续电流工作时,实现器件最大输出功率提高 32.14%;10 W 功率输出的情况下,其 64 h 加速退化率小于 5%。

4 结 论

通过对 980 nm 半导体激光器腔面进行离子铈氮钝化处理,得到了较理想的激光输出特性和更大的 COD 阈值,降低了 COD 灾变几率,使器件工作特性有了明显的改变;测试的激光输出功率表明:钝化后的 980 nm 半导体激光器比未经钝化的 980 nm 半导体激光器的最大输出功率提高了 18.9%,10 W 功率输出的情况下,其 64 h 加速退化率小于 5%;使用 AES 测试仪对钝化处理后的半导体激光器试验片进行测试,发现有部分的氮离子遗留在腔面处。这说明离子铈氮钝化技术是提高大功率半导体激光器腔面激光损伤阈值的一个行之有效的方法。

参考文献:

- [1] Hu L, Liu Y, Lu Z, et al. Skin welding with a combination of 980 nm and 1064 nm lasers[J]. Chinese Journal of Lasers, 2011, 38(4): 0404001 - 7.
- [2] Ziegler M, Tömm J W, Reeber D, et al. Catastrophic optical mirror damage in diode lasers monitored during single-pulse operation[J]. Applied Physics Letters, 2009, 94(19): 191101.
- [3] Silfvenius C, Sun Y, Blixt P, et al. Nitride facet passivation raises reliability, COMD, and enables high-temperature operation of InGaAsP, InGaAs, and InAlGaAs lasers[C]//Lasers and Applications in Science and Engineering. International Society for Optics and Photonics, 2005: 189 - 200.
- [4] Li Z J, Hu L M, Wang Y, et al. Facet coating for 808 nm Al-containing semiconductor laser diodes[J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18(6): 1258 - 1263.
- [5] Fendler D, Mohrle M, Spiegelberg M, et al. 1480nm InGaAsP LOC broad-area-lasers with > 18W pulsed output power at 20° C[C]//Indium Phosphide and Related Materials(IPRM), 2013 International Conference on. IEEE, 2013: 1 - 2.
- [6] Walker C L, Bryce A C, Marsh J H. Improved catastrophic optical damage level from laser with nonabsorbing mirrors[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2002, 14(10): 1394 - 1396.
- [7] LIU Bin, ZHANG Jingming, MA Xiaoyu, et al. The investigation of 980nm ridge waveguide lasers with current non-injection regions by proton implantation[J]. Laser & Infrared, 2003, 33(2): 109 - 111. (in Chinese)
刘斌, 张敬明, 马晓宇, 等. 980nm 脊型波导激光器腔面非注入区的研究[J]. 激光与红外, 2003, 33(2): 109 - 111.
- [8] Ressel P, Erbert G, Zeimer U, et al. Novel passivation process for the mirror facets of Al-free active-region high-power semiconductor diode lasers[J]. Photonics Technology Letters, IEEE, 2005, 17(5): 962 - 964.
- [9] Lambert R W, Ayling T, Hendry A F, et al. Facet-passivation processes for the improvement of Al-containing semiconductor laser diodes[J]. Journal of lightwave technology, 2006, 24(2): 956.
- [10] Ichikawa H, Fukuda C, Hamada K, et al. Facet passivation of GaInAsP/InP laser diodes by aluminum ultrathin layer insertion[C]//2006 IEEE 20th International Semiconductor Laser Conference, 2006. Conference Digest. 2006.
- [11] PENG Haitao, JIA Xiuyun, ZHANG Shizu, et al. Facet passivation of high power semiconductor laser[J]. Micro-nanoelectronic Technology, 2009, 46(10): 591 - 594. (in Chinese)
彭海涛, 家秀云, 张世祖, 等. 大功率半导体激光器的腔面钝化[J]. 微纳电子技术, 2009, 46(10): 591 - 594.
- [12] QIAO Zhongliang, BO Baoxue, GAO Xin, et al. High brightness high power broad area semiconductor lasers with no-absorption mode filter[J]. Chinese Journal of Lasers, 2011, 38(4): 0402003. (in Chinese)
乔忠良, 薄报学, 高欣, 等. 无吸收模式滤波结构高亮度大功率宽条形半导体激光器[J]. 中国激光, 2011, 38(4): 0402003.