

文章编号: 1001-5078 (2006) 05-0358-03

大功率半导体激光器光纤耦合模块的可靠性研究

胡放荣¹, 熊显名¹, 张剑家²

(1. 桂林电子工业学院电子工程系, 广西 桂林 541004;

2. 长春理工大学大功率半导体激光国家重点实验室, 吉林 长春 130022)

摘要: 文章从大功率半导体激光器光纤耦合模块的组成和各个部分的机理出发, 详细分析了影响其可靠性的因素, 主要有以下三个方面: 激光器自身的因素、耦合封装工艺和电学因素。通过优化原有工艺与采用新技术, 提高了模块的可靠性, 拓宽了其应用领域。

关键词: 半导体激光器; 光纤耦合模块; 可靠性

中图分类号: TN248.4 **文献标识码:** A

Research on Reliability of High Power Laser Diode Fiber Coupling Module

HU Fang-rong¹, X DNG Xian-ming¹, ZHANG Jian-jia²

(1. Electronic Engineering Department of Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004; 2. State Key Lab on High Power Semiconductor Laser, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract: Through analyzing constitute and mechanism of high power laser diode (LD) fiber coupling module, the effects on reliability of LD fiber coupling module are detailed as following: crafts of coupling and encapsulation, electricity factors and LD itself. After optimizing correlative crafts and adopting new technology, we have improved its reliability and broaden its application domain.

Key words: laser diode; fiber coupling module; reliability

1 前言

大功率半导体激光器的光纤耦合模块, 以其体积小、重量轻、电光转换效率高、调制方便等优异特性, 而广泛应用于 EDFA 的泵浦、激光通信、激光雷达、激光制导、激光夜视以及航空航天等重要领域, 因而其可靠性也日益成为研究的热点。本文从激光器自身的因素、耦合封装工艺和电学因素三个方面, 阐述了影响模块可靠性的原因, 在对相关工艺进行了优化和改进的同时, 引进了新工艺和新技术。

2 影响可靠性的因素

半导体激光器光纤耦合模块由自动功率控制 (APC) 电路、自动温度控制 (ATC) 电路、驱动器、监视光电二极管 (PD)、激光器二极管 (LD)、热电制冷器 (TEC) 或热敏电阻、耦合光学系统以及输出光纤等几个部分组成, 其示意图如图 1。

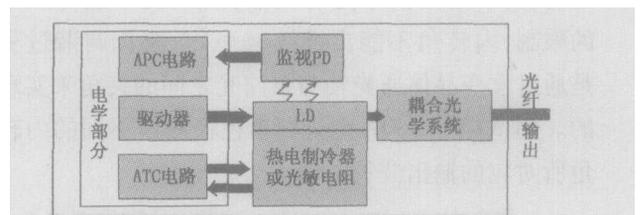


图 1 半导体激光器光纤耦合模块功能框图

Fig 1 schematic of laser diode fiber coupling module

模块的可靠性由以下几个方面引起:

2.1 LD 自身的因素^[1-3]

2.1.1 有源区的退化

在工作条件、散热条件均保持一定时, 有源区的退化主要取决于暗线缺陷。在半导体的生长、制备

作者简介: 胡放荣 (1973 -), 男, 讲师, 硕士, 长春理工大学光学工程专业毕业, 研究方向为半导体光电子器件及半导体激光理论与技术。E-mail: hufangrong02@126.com

收稿日期: 2005-06-02; 修订日期: 2005-08-22

和中间工艺过程中产生的非辐射复合中心,会引起晶格畸变而形成暗线缺陷。这些缺陷一旦侵入有源区,就会增加载流子非辐射复合速率,形成强烈的光吸收,使阈值电流不断增加,电光转换效率下降,发射光功率下降,最终导致光学灾变(COD)的发生。暗线缺陷的形成除了衬底材料、外延生长和工艺过程中引入以外,它还与非辐射电子-空穴复合引起的结构微观变化有关。

2.1.2 腔面退化^[4]

腔面损伤退化可分为化学腐蚀腔面损伤退化和灾变性腔面损伤退化,是高功率半导体激光器在谐振腔面的解理面由于局部过热而导致的热退化现象。

化学腐蚀腔面损伤退化是由于光学作用使腔面表面发生氧化,并在腔面上形成局部缺陷,导致腔面局部的反射系数的变化,增加了非辐射复合速率。特别是含 Al 的 GaAs/GaAlAs 材料半导体激光器,Al 元素吸附水汽和氧气使端面氧化形成局部缺陷,从而影响表面对光的吸收,导致局部大量发热,使激光器性能退化甚至失效。

灾变性腔面损伤退化是指在高功率密度激光的作用下,由于近场的不均匀、局部过热、氧化、腐蚀、介质膜的针孔和杂质等因素使腔面遭受损伤,增加表面态复合和光吸收,使注入电流密度增加,局部大量发热,造成解理面局部熔融、分解,而且温度的增加又使吸收系数加大,形成恶性循环,最终导致灾变性的损伤,使器件完全失效,图 2 为腔面出现严重的局部烧伤时的形貌。



图 2 腔面出现严重的局部烧伤

Fig 2 serious burning at part surface of cavity

2.1.3 电极退化

电极退化是高功率半导体激光器最主要的形式,它主要由欧姆接触、烧结和热沉制备几个工艺环节产生,主要表现为串联电阻和热阻增加,从而加剧了高功率半导体激光器热退化进程。图 3 为芯片与热沉间烧结界面存在很大的空隙时的形貌。

2.2 耦合封装工艺的影响

2.2.1 光纤头的热畸变

当高功率 LD 光纤耦合模块长时间工作时,光

纤头会因高功率激光的烧蚀作用而产生微小的热畸变,从而使得激光器与光纤的光轴不一致,降低耦合效率,影响可靠性。

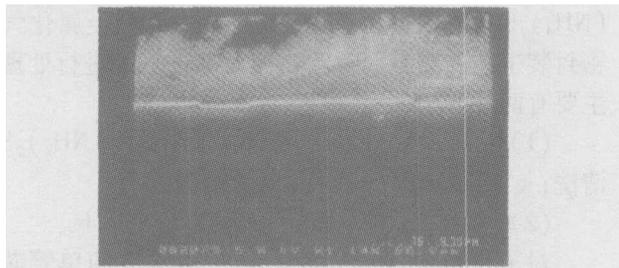


图 3 芯片与热沉间烧结界面存在很大的空隙

Fig 3 large space between surfaces of chip and surface of heatsink

2.2.2 散热不良

高功率 LD 模块在工作时,由于欧姆接触电阻的存在,而产生大量的热量,若没有很好的散热措施,器件的温度会急剧上升。而半导体激光器对温度非常敏感,即使很小的温升,也会引起阈值电流的增加、波长漂移和输出光功率的下降,更可怕的是由于热过载而导致器件的快速失效。

2.3 浪涌的影响

“浪涌”是一种突发性瞬态电压脉冲或电流脉冲,半导体激光器的核心是 p-n 结,它如果承受反向电压过高,会击穿损坏;如果它承受的正向电流超过它允许的最大电流 I_m ,重则立即失效,轻则受损伤,反复多次后性能逐渐下降。产生浪涌的原因主要有以下两种:

(1) 市电电压浪涌; (2) 合闸 开启电源瞬间可能会出现浪涌。

3 提高可靠性的措施

3.1 针对器件自身因素的工艺措施

3.1.1 针对有源区退化的工艺措施

采用量子阱无序技术与端面附近引入非注入区相结合的外延生长模式,延缓有源区退化导致的大功率半导体激光器的热退化进程。

(1) 量子阱无序技术:通过该技术,使端面处带隙增大,形成输出光的透明窗口,减少光的吸收。制作工艺是:在激光器端面附近淀积 SiO_2 薄膜,在适合的热退火条件下,引起空穴诱导的量子阱无序,使端面处带隙增大,形成输出光的透明窗口。实验结果表明,这种带有窗口的激光器在最大输出功率处没有发生 COD,其最大输出功率比普通激光器提高了近 35%;

(2) 端面附近引入非注入区:在激光器的两个端面附近分别引进 $25\mu m$ 长的电流非注入区,以限制电流注入到端面。通过减少端面附近载流子注入,以减少端面处的非辐射复合的发生,同时使端面温度升高得到抑制。实验结果显示,该法能够使

COD 阈值提高约 32%。

3.1.2 针对腔面退化的工艺措施

在原有腔面工艺基础上,增加 $P_2S_5 - NH_4OH$ 和 $(NH_4)_2S$ 处理表面的工艺;激光器采用全金属化气密封装工艺。在腔面镀膜之前对器件表面进行处理主要有两种方法:

(1)用 $P_2S_5 - NH_4OH$ 处理端面,再用 $(NH_4)_2S$ 清洗;

(2) $(NH_4)_2S$ 浸泡器件,然后用氮气吹干。

对于 808nm 发光区为 $1\mu m \times 100\mu m$ 的单管芯高功率半导体激光器,使用该工艺比普通工艺能够使 COD 阈值提高了约 15%。

3.1.3 电极工艺上的措施^[5]

电极工艺主要有欧姆接触工艺(P面为主)、热沉制备工艺和热沉与管芯烧结工艺。

(1)欧姆接触工艺:用在 p 面溅射或蒸镀 TiPtAu 取代以往的 AuZn 合金,以 TiPtAu 取代 CrAu 的优点在于 Pt 的作用, Pt 对 Au 和 Zn 向有源区的扩散能起到势垒阻挡作用,这十分有利于减缓大功率半导体激光器的热退化;

(2)热沉工艺:以金刚石取代常规工艺下的无氧铜作为制备热沉的材料。金刚石比无氧铜的热导率高,热扩散率大,比热大,这三个优点决定了金刚石比无氧铜作为热沉具有更好的散热效果;

(3)烧结工艺:采用免焊接技术,即激光器的芯片不需要焊料来固定,而是用两块金刚石夹住(其优点详见以下 3.2.2)。

3.2 耦合封装工艺上的措施

3.2.1 光纤头镀增透膜

针对激光器的波长镀增透膜,会增加激光的透过率,减少反射损失,提高激光器与光纤之间的耦合效率,并能避免高功率激光引起的局部烧蚀。对于 808nm 单管芯半导体激光器与芯径为 $200\mu m$ 多模光纤耦合的器件,光纤头镀膜前后平均耦合效率分别是 86.2% 和 88%,仅提高了 1.8%;而对于 808nm 具有 19 个发光点的列阵半导体激光器与芯径为 $600\mu m$ 多模光纤耦合的器件,镀膜前后,不同电流下的输出参数如表 1 所示。由表可知,镀膜前后耦合效率有了明显提高,平均提高了 7%。

表 1 808nm 19 个发光点的列阵 LD 与 $600\mu m$ 多模光纤耦合时的输出参数

激光器工作电流 /A	激光器输出功率 /W	光纤头镀膜前		光纤头镀膜后	
		出纤功率 /W	耦合效率 /%	出纤功率 /W	耦合效率 /%
30	26.9	20.7	77.1	22.8	84.6
35	33.3	25.4	76.2	27.7	83.2
40	39.8	30.0	75.3	32.6	81.9

3.2.2 引入免焊封装技术^[6],提高散热能力

在传统的封装技术中,LD 芯片总是通过焊料固定到热沉上,这样接触电阻由焊接材料的高热阻决定。在新的免焊封装中,激光器的芯片不需要焊料来固定,而是用两块金刚石夹住,金刚石既当电极又作散热片。接触电阻仅仅决定于激光器与热沉的接触好坏,通过改善金刚石电极的表面质量,可以减少接触电阻。另外,在免焊封装中,多余的热量可以通过两块散热片散发掉,而传统的封装却只能通过一块散热片散发掉。因此,免焊封装可以减少和改善接触电阻,提高散热能力。

3.3 防止浪涌的措施^[7]

为防止电流浪涌,全部电路实现无触点化;选用高速精密运放和高功率器件等构成高速精密稳流电路;在稳流电路中设计软启动;在稳流输出电路中恰当利用超高速肖特基二极管,抑制振荡。图 4 为滤波和延时电路。

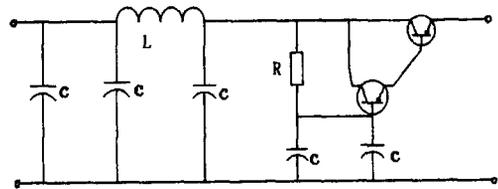


图 4 滤波与延时电路图

Fig 4 filter and delay circuit

4 结论

实验结果表明,针对激光器自身的因素、耦合封装工艺和电学因素,所采取的改进措施和引进的新技术,明显提高了大功率半导体激光器的 COD 阈值、散热能力和耦合效率,增加了模块的可靠性,从而使其在激光雷达、激光制导及航空航天等对可靠性要求高的重要军事领域倍受青睐。

参考文献:

- [1] 舒祥才. 半导体激光器可靠性设计的考虑 [J]. 半导体光电, 1994, 9: 285 - 289.
- [2] 刘斌, 张敬民, 刘媛媛, 等. 980nm 半导体激光器可靠性的研究现状分析 [J]. 激光杂志, 2002 9: 1 - 2.
- [3] 曹玉莲, 王乐, 廖新胜, 等. 大功率半导体激光器的可靠性研究 [J]. 激光学报, 2003 ~ 2: 100 - 102.
- [4] Hideyoshi Horie, Hirotaka Ohta, et al. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics [J]. 1999, 5: 832 - 838.
- [5] Pendse D, et al. Reliability comparison of GaInAs/GaAs and aluminum-free high power laser diodes [A]. Proc SPIE, 1998, 3547: 79 - 85.
- [6] Kathy Kincaid. Assembly improvement of laser diode array without jointing [J]. Laser Focus World, 2004 9: 20 - 21.
- [7] 孙梅生, 卢威, 徐小鹏. 浪涌对半导体激光器的危害及消除方法 [J]. 激光杂志, 2002 6: 18 - 20.