

·光电器件与材料·

808 nm 大功率半导体激光器可靠性分析

李雅静¹, 彭海涛²

(1. 咸阳师范学院 物理与电子工程学院, 陕西 咸阳 712000; 2. 中国电子科技集团公司 第十三研究所, 石家庄 050051)

摘要: 激光器是理想的电光直接转换器件, 延长半导体激光器的使用寿命, 提高半导体激光器的可靠性, 是大功率半导体激光器的研究热点。文中采用温度应力加速和电流步进应力两种老化方法对 808 nm 的大功率半导体激光器进行老化试验, 得到寿命分别为 1 682 h 和 1 498 h, 实验结果基本一致, 并在显微镜下观察破坏性老化试验之后的器件, 分析得到失效原因主要来自腔面退化、焊料退化和欧姆接触不良。

关键词: 大功率半导体激光器; 温度应力加速老化; 电流步进应力老化; 可靠性分析

中图分类号: TN248.4

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2015)-04-0005-03

Reliability Analysis of 808 nm High Power Semiconductor Laser

LI Ya-jing¹, PENG Hai-tao²

(1. Dept. Physics & Electronic, Xianyang Normal University, Xianyang 712000, China;

2. The 13th Research Institute, CETC, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: Laser is the ideal electro-optic direct converter, so prolonging the life of the semiconductor laser and improving the reliability of the laser are always the research focuses of high power semiconductor laser. Two methods such as temperature stress acceleration and current stepping stress are used to perform the aging experiment of 808 nm high power semiconductor laser, and the life of the devices are 1 682 h and 1 498 h respectively, the same experiment result is obtained. Observation of the device after destructive aging tests using a microscope, failure reasons are analyzed and obtained, which are due to the surface degradation, solder degradation and bad ohmic contact.

Key words: high power semiconductor laser; temperature stress accelerated aging; current step stress aging; reliability analysis

波长为 808 nm 的大功率半导体激光器由于其发射光谱与 Nd:YAG 等固体激光介质吸收峰值对应, 主要用作固体激光器泵源, 取代氙灯泵浦。随着材料外延技术和激光器工艺技术的逐步完善, 大功率激光二极管器件和阵列器件在国外得到了迅速发展, 器件的可靠性是一个决定性的因素, 延长半导体激光器的使用寿命, 提高半导体激光器的可靠性, 增大半导体激光器的输出功率是大功率半导体激光器研究中不懈追求的目标^[1-6]。

1 老化方案

1.1 温度应力加速老化方案

半导体激光器在正常电流应力(1 A)下工作, 环境温度设定为 70 °C(高于正常工作的环境温度), 加速激光器的退化, 这种老化方式能够加速而又真实地反映半导体激光器的主要失效模式。

高温恒流老化需要实时地监测光功率的变化,

收稿日期: 2015-06-09

基金项目: 咸阳师范学院专项科研项目(12XSYK016)

作者简介: 李雅静(1983-), 女, 河北人, 现工作于咸阳师范学院物理与电子工程系, 主要从事大功率半导体激光器的研究。

设定老化初始的光功率为基准点,随着时间的延续,光功率缓慢下降,直到激光器失效(通常定义光功率下降30%为失效器件)。这样,可以得到功率变化和时间的曲线。基于以往对激光器进行的高温和常温老化试验,检测光功率的变化并统计累积失效率和工作时间,得到了激光器的激活能 E_a ,即

$$\frac{ML(T_2)}{ML(T_1)} = \exp\left[\frac{E_a}{k(1/T_2 - 1/T_1)}\right] \quad (1)$$

式中, $ML(T_2)$ 为在室温 T_2 下器件累积失效率为50%对应的工作时间,也称为 T_2 下的中位寿命; $ML(T_1)$ 为在高温 T_1 下器件累积失效率为50%对应的工作时间,也称为 T_1 下的中位寿命; k 是玻尔兹曼常数; E_a 是激活能($E_a = 0.68 \text{ V}$)。

根据得到的激光器的激活能,可以得到某一较高温度下的温度应力加速系数 F 为

$$F = \frac{L_2}{L_1} = \exp\left(\frac{E_a}{k}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)\right) \quad (2)$$

即在高温度应力 T_1 下的工作时间 t ,相当于低温 T_2 下工作时间 $F \times t$ 。

温度应力加速寿命试验可以比较准确的得到激光器外推寿命,但耗费时间较长,尤其对水冷器件进行高温寿命试验时,对水温的稳定性以及水冷设备工作的长期可靠性要求较高^[7-11]。

1.2 电流步进应力老化方案

在不同的时间段温度不变,而电流应力逐渐变大,加速激光器的老化。步进应力老化能够快速、准确外推激光器工作寿命。

输出功率的下降是激光器退化的主要特征,通常,输出功率下降30%的激光器定义为失效,在寿命试验中,激光器分别在不同的电流应力(1 A, 1.3 A, 1.5 A, 1.7 A, 2 A)下老化,每个应力条件下工作120 h测试激光器输出功率的变化。

在加速寿命试验中用电应力(如电压、电流、功率等)作为加速应力也是常见的。逆幂律模型可用于发现加速寿命试验中用电应力作为加速应力时产品的某些寿命特征与应力的关系,即

$$\ln \varepsilon = a + b \ln v \quad (3)$$

其中, ε 是特征寿命; v 是应力; a, b 是待定的参数^[12-13]。

可见,实验需要测得同一批器件在不同应力下的寿命,然后推得其他应力下的寿命。这就要求被

测器件的数量应足够多,才能避免个性影响,而得到共性,即得到统计寿命值才真实。

2 实验结果与分析

试验样品为波长808 nm的InGaAsP/GaAs大功率半导体激光器,其器件的结构均为氧化物条形分别限制异质结构。本次老化试验采用同一批外延片,在相同工艺、综合解理、统一封装的前提下制作的激光器单管作为试验样品,保证试验数据的可靠性。

2.1 温度应力加速老化方案实验结果

图1为激光器温度应力加速老化曲线。

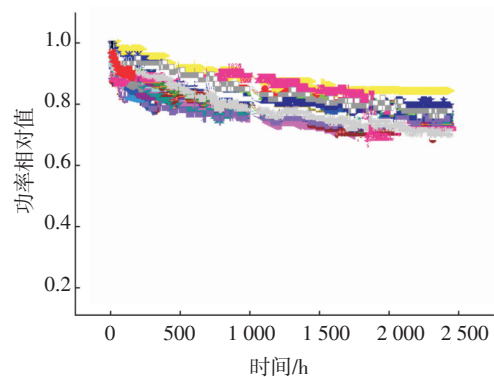


图1 激光器温度应力加速老化曲线

根据图1给出的温度应力加速寿命试验数据,并根据式(2)计算,得到大功率半导体激光器在常温电流1 A的条件下的中位寿命为1 682 h。

2.2 电流步进应力老化方案实验结果

图2为激光器电流步进应力老化曲线。

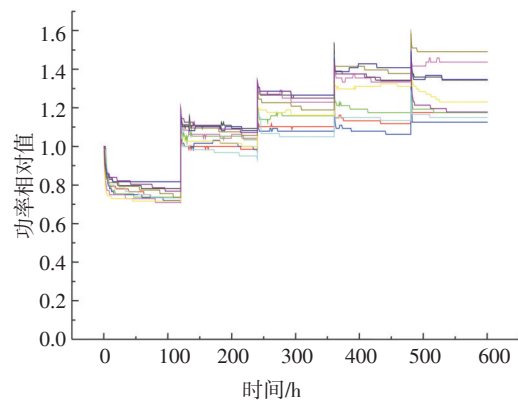


图2 激光器电流步进应力老化曲线

采用逆幂率加速模型,根据给出的电流步进加速寿命试验数据,利用最小二乘法拟和得 $\alpha=7.3119, \beta=-4.2331$,从而得到加速方程为: $\ln \eta=7.3119-4.2331 \ln \nu$,进而推算大功率半导体激光器在常温电流 1 A 的条件下的特征寿命为 1 498 h。

2.3 老化机理分析

老化后器件利用电致发光和扫描电镜等手段分析二极管的失效机理,观察发现,808 nm 的 In-GaAsP/GaAs 半导体激光器的退化主要有以下几种方式:

(1)腔面退化:局部过热、氧化、腐蚀等因素使腔面遭受损伤,有源区局部熔化,甚至遭受毁灭性的破坏(COD)^[14-16]。图3为腔面灾变性损坏结果。

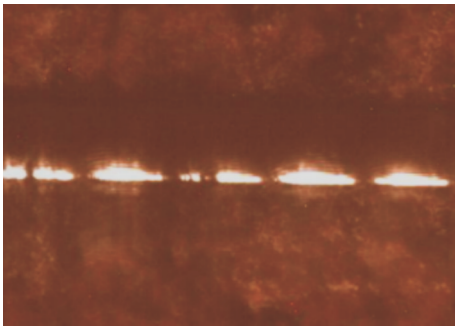


图3 腔面灾变性损坏

(2)焊料退化:焊料淹没解理面而使激光器输出功率下降。图4为焊料粘在外延层示意图。

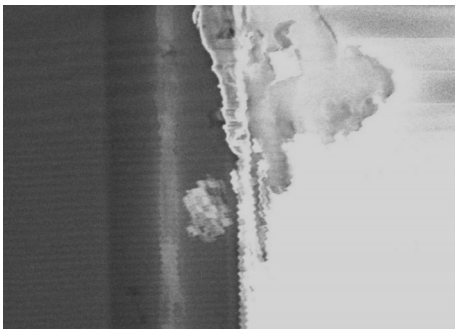


图4 焊料粘在外延层

(3)欧姆接触不良:管芯与载体粘结不好,引起局部过热,接触电阻增加,造成引线脱落等(如图5)所示。

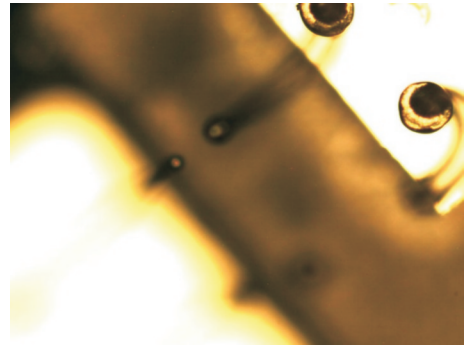


图5 引线脱落

3 结论

文中采用两种老化方法:温度应力加速和电流步进应力分别对两组 808 nm 的大功率半导体激光器单管进行老化试验,得到器件寿命分别为 1 682 h 和 1 498 h,实验结果基本一致,并在显微镜下观察破坏性老化试验之后的器件,分析得到失效原因主要来自腔面退化、焊料退化和欧姆接触不良,对提高大功率半导体激光器寿命有一定的帮助。

参考文献

- [1] 王立军,宁永强,秦莉,等.大功率半导体激光器研究进展[J].发光学报,2015,36(1):1-19.
- [2] 罗威,董文锋,杨华兵,等.高功率激光器发展趋势[J].激光与红外,2013,43(8):845-852.
- [3] 凌小涵,崔碧峰,张松,等.980 nm 大光腔单发光条大功率 LD 失效分析[J].激光与红外,2015,45(4):369-372.
- [4] 李明月,何君.国外军用大功率半导体激光器的发展现状[J].半导体技术,2015,40(5):321-327.
- [5] 杨红伟,彭海涛.808 nm 大功率激光二极管随机失效分析[J].微纳电子技术,2015,52(5):273-278.
- [6] 曹军胜.阵列激光器的结特征参量及其可靠性研究[J].激光杂志,2014,35(3):9-11.
- [7] 路国光,黄云,雷志锋.单 bar 大功率半导体激光器寿命评价技术[J].激光与红外,2012,41(9):2328-2332.
- [8] 李永,杨红伟,陈宏泰,等.大功率半导体激光器腔面抗烧毁技术[J].微纳电子技术,2010,47(4):207-212.
- [9] 杨红伟,黄科,陈宏泰,等.高效率大功率连续半导体激光器[J].微纳电子技术,2010,47(2):71-75.
- [10] 高信松,魏彬,吕文强,等.高功率二极管激光器寿命测试[J].强激光与粒子束,2004,16(6):689-692.

(下转第 79 页)

研究,采用弹性模预抛光与小抛头修正抛光相结合的两步研抛法对零件表面快速抛光,给出了一套规范的非球面数控加工工艺,同时保证了零件具有较高的面形精度,表面光洁度达到Ⅲ级,满足了设计的需要。

随着非球面元件的广泛应用,数控加工非球面正成为各国关注的核心技术之一,优化工艺流程、改善面形精度、缩短加工时间、提高生产效率是非球面加工产业发展的方向。

参考文献

- [1] 蔡立,耿素杰,付秀华.光学零件加工技术[M].2版.北京:兵器工业出版社,2006.
- [2] 潘君弊.光学非球面的设计加工及检验[M].北京:科学出版社,1991.
- [3] H Ta kino. Computer numerically controlled plasma chemical vaporization machining with a pipe electrode for optical fabrication[J]. SPIE,1998,37:5198-5209.
- [4] Tsushima A, Kawazu M, Ito M, et al. Development of ultra-precise injection molding method for thermoplastic lenses[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1992,1720:50-59.
- [5] 王毅,倪颖,余景池.小型非球面数控抛光技术的研究[J].光学精密工程,2007,10:1527-1533.
- [6] ZHENG W M, CAO T N, ZHANG X Z. Applications of a novel general removal function model in the CCOS[J]. SPIE, 2000, 4231:51-58.
- [7] WENZEL D J, MCFALLS D S. An optimal material removal strategy for automated of aircraft canopies[J]. IEEE Conf on Robotics and Automation, 1989, 4532:370-376.
- [8] YANG M Y, LEE H C. Local material removal mechanism considering curvature effect in the polishing process of the small aspherical lens die[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 116:298-305.
- [9] 李全胜,成晔,蔡复之等.计算机控制光学表面成形驻留时间算法研究[J].光学技术,1999,3:56-62.
- [10] Mehta P K, Reid P B A mathematical model for optical smoothing prediction of high-spatial frequency surface errors[J]. SPIE, 1999, 3786:447-459.
- [11] Yoshiharu NAMBA, Morihiko SAEKI, Takatomo SA SAKI. Ultra-precision grinding of KPT crystals for optical surfaces[J]. Japan Soc. Pree. Eng, 1998, 28(1):39-40.
- [12] 王德全.砂轮特性与磨削加工[M].北京:中国标准出版社,2001.

(上接第4页)

- [7] Moharam MG, Pommet Da, Grann EB, et al. Stable implementation of the rigorous coupled-wave analysis for surface-relief gratings: enhanced transmittance matrix approach [J]. Journal of the Optical Society of America A, 1995, 12(5):1077.
- [8] Lalanne P, Morris GM. Highly improved convergence of the coupled-wave method for TM polarization [J]. Journal of the Optical Society of America A, 1996, 13(4):779.
- [9] Ordal M A, Long L L, Bell R J, et al. Optical properties of the metals Al, Co, Cu, Au, Fe, Pb, Ni, Pd, Pt, Ag, Ti, and W in the infrared and far infrared [J]. Appl. Opt., 1983, 22(7):1099-20.

(上接第7页)

- [11] 孙孟相,谭满清,王鲁峰.1300 nm超辐射发光二极管寿命测试[J].光学学报,2008,28(10):1994-1997.
- [12] 闫立华,徐会武,任永学,等.不完全匹配吸收方法测试激光二极管阵列寿命[J].微纳电子技术,2011,48(7):472-476.
- [13] 江剑平.半导体激光器[M].北京:电子工业出版社,2001.
- [14] 雷志锋,杨少华,黄云.高功率半导体激光器的可靠性与寿命评价[J].应用光学,2008,29(1):90-95.
- [15] 张勇,杨瑞霞,安振峰,等.腔长对高功率单管半导体激光器性能的影响[J].半导体技术,2013,38(12):914-918.
- [16] 高信松,魏彬,吕文强,等.高功率二极管激光器失效特性研究[J].强激光与粒子束,2005,17(4):97-100.