

文章编号: 1001-3806(2004)03-0228-03

半导体激光器加速寿命测试系统研制

亢俊健¹, 张世英², 苏美开³, 王大成⁴

(1. 石家庄经济学院 光电技术研究所, 石家庄 050031; 2. 西安武警工程学院 通信系, 西安 710086; 3. 北京理工大学 光电工程系, 北京 100081; 4. 交通部 水运科学研究所, 北京 100088)

摘要: 介绍了半导体激光器(LD)加速寿命测试的理论依据, 给出了寿命测试的数学模型, 并据此研制了新型 LD 寿命测试系统。该系统在密封抽真空充氮环境下, 通过采集恒功工作 LD 的工作电流随时间变化的信息及所处环境的温度, 绘制出 LD 的老化曲线, 即恒功条件下的“ $F-t$ 曲线”, 然后推断 LD 的使用寿命。

关键词: 激光与光电子学; 半导体激光器; 加速寿命测试; Arrhenius 模型

中图分类号: TN248.4 文献标识码: A

Development for semiconductor laser accelerating lifetime testing system

KANG Jun-jian¹, ZHANG Shi-ying², SU Mei-kai³, WANG Da-cheng⁴

(1. Institute of Optoelectronic, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang, 050031, China; 2. Department of Communication, Xi'an Engineering College of Armed Police Force, Xi'an 710086, China; 3. Department of Optoelectronic Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; 4. Institute of Waterborne Transportation, Ministry of Communications, Beijing 100088, China)

Abstract: This paper introduces the theory of laser diode (LD) accelerating lifetime testing and mathematic model of life testing, based on which a new type of LDs burr in & automatic life testing system was developed. It continuously samples the power of LDs which works under automatic current control and under the airtight condition filled with nitrogen at testing temperature, plots power time curve of LD and deduces the working life of LD.

Key words: laser and optoelectronics; semiconductor laser; accelerating lifetime testing; Arrhenius model

引 言

随着半导体激光器(LD)广泛应用于光纤通信、激光唱盘、信息存储、医疗、泵浦固体激光器等领域, 其可靠性测试研究已成为当前的热点问题^[1~5]。这些研究归纳起来有电导数测量法、热阻测量法^[6]等等, 但是这些研究大多只做了些理论的研究和探讨, 很少涉及实际应用系统研究。笔者根据半导体激光器研发需要提出了研制“新型 LD 寿命测试系统”。该系统处于密封抽真空充氮环境, 通过高精度采集恒功工作 LD 的工作电流, 在高温环境下随时间变化的数据, 绘制 LD 的退化曲线, 即恒功条件下的“ $F-t$ 曲线”, 推断 LD 的使用寿命。

1 理论依据

作者简介: 亢俊健(1960), 男, 副教授, 博士, 主要从事智能及 LD 参数测试仪器等方向的研究。

E-mail: kangjj@sjzue.edu.cn

收稿日期: 2002-12-02; 收到修改稿日期: 2003-11-16

LD 的寿命测试原理是基于 Arrhenius 模型^[7], 利用该模型可以发现由温度应力决定的反应速度的依赖关系, 即:

$$\ln L = A + E_a/kT \quad (1)$$

式中, L 为寿命, E_a 为激活能, A , k 为常数, T 为绝对温度。根据(1)式可计算出理论寿命, 而实际应用是通过试验来测得。

大量的实验表明, LD 失效随时间的统计分布规律呈浴盆状^[8]。可将失效过程分为 3 个失效时域, 即早期的快速退化失效、中期的偶然失效与后期的又一快速失效。早期失效主要是激光器材料生长不均匀, 在外延片局部形成较多的晶体缺陷, 这可将外延片解理并制成激光器芯片后经过室温较长时间老化后筛选掉; 偶然失效期的时域较宽, 在此期间只是由于一些偶然因素(如焊料爬至解理面, 引线脱落等)而引起的几率较小的失效; 在后期主要是各种失效机理发展、积累与综合爆发引起较高几率的失效^[9]。

半导体激光器的加速老化研究表明^[10]: 一些半导体激光器在其工作特性稳定之后会阻止初期的迅

速退化,采用苛刻条件(如大电流、高温、高功率)下激光器工作的实验发现,性能差的激光器会很快失效,这主要因为这些样品中的 DLD 和 DSD 缺陷会迅速增长,导致阈值电流随之迅速增加,而性能优越的激光器会逐渐趋于稳定状态(DLD 和 DSD 缺陷数量趋于饱和)。

图 1 中为 $1.3\mu\text{m}$ InGaAsP 掩埋异质结激光器的高温老化实验结果。从图上可以看到,在 60°C 维持单面输出 5mW 功率的条件下,初期,工作电流随老化时间迅速增加,随后出现“拐点”,之后明显趋于饱和,初期快速退化期发生在 $500\text{h}\sim 1000\text{h}$ 之间。寿命测试就是从拐点开始计算。

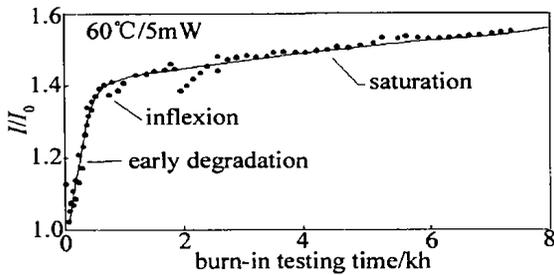


Fig. 1 The InGaAsP LDs relationship between working current and times at 60°C after accelerating aging test

半导体激光器的期望寿命是指半导体激光器工作在偶然失效期的时间长度,测试 LD 的期望寿命的实验条件^[10]是:让 LD 工作在 $25^\circ\text{C}\sim 85^\circ\text{C}$ 的高温密封并有氮气保护的环境下,采集恒流工作状态下 LD 的光功率信息,例如,LD 在偶然失效期的输出光功率减少 50% 就认为该 LD 寿命终止或 LD 的输出光功率减少 20% 就认为该 LD 寿命终止。则测试系统通过记录 $P-t$ 曲线,就可以绘制高温加速寿命曲线,记录每个器件的寿命,得到器件的统计平均寿命后,通过 (1) 式便可以计算器件的常温寿命。当然由于 (1) 式有两个未知数,则需至少得到两个温度下的寿命后,推算任意温度下的寿命。如果不能测量两个温度下的寿命,则根据 Bellcore 标准^[11],可以假设 $E_a = 0.7\text{eV}$, 进行计算。

2 测试系统设计方案

该系统采用一台工控机作为数据采集及处理子系统,操作系统选用 Windows98,数据分析处理软件自行设计,采用 VC++ 作为软件开发语言;电流信号的采集和控制采用 GP-IB 接口进行通信;温度及密封箱控制接口也采用工控机上的 GP-IB 接口进行通信;LD 驱动电源由 LD 电流源和 LD 电流源控制两部分组成,LD 驱动电流源可提供驱动电流为 $0\text{mA}\sim$

1000mA ,输出电流误差为满标度的 $\pm(1/4096)$,并有欠压过压保护和尖脉冲保护功能。LD 电流源控制部分采用 51 系列单片机来监测电源的实时工作以及输出光功率,控制电流源实现恒流(ACC)和恒功(APC),并通过 GPIB 接口与上端工控机通信,完成信息的交流。温度控制系统是提供进行 LD 老化和寿命实验的工作环境,包括密封箱和温控设备。该系统使用密封箱将受试器件与大气隔绝,箱体内存充氮气,保护受试器件不会因表面氧化而非正常老化。箱体温度通过仪器控制,测试是经过传感器与温度变送设备与上位机相连,实现温度监察、温度报警等功能,能够安全实现受试器件的氮气保护和温度环境,样品架装置设计成 1310nm TO5 .6 封装 LD 的受试样架。该系统的示意图见图 2。

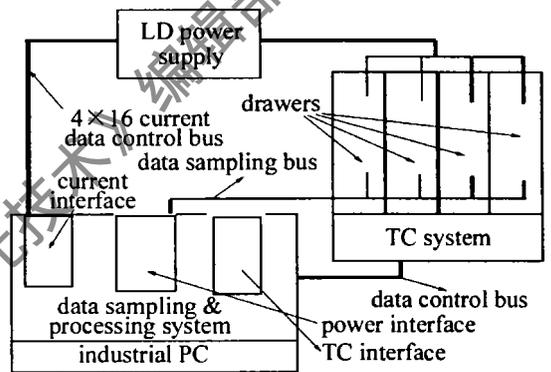


Fig. 2 The general frame chart of the system

硬件接口包括电流采集及控制接口、光功率及温度采集接口和温度及密封箱控制接口。

电流采集及控制接口实现与 LD 驱动系统进行通信,包括 64 路电流信息的采集及控制。该接口采用 GP-IB 接口标准,光功率及温度采集接口是负责从受试 LD 采集 64 路光功率信号和 4 路温度信号,并把采集到的模拟信号转换成工控机的数据分析处理系统可以处理的逻辑信号。光功率及温度采集接口采用一块数据采集卡和一个多路选择放大电路组成,完成对 68 路数据分时采集的功能。温度及密封箱控制接口实现与温度控制子系统的温控模块和抽真空充氮控制模块进行通信,完成以下功能:对密封箱内实验温度的设定、发送抽真空命令、发送充氮命令和接收完成情况汇报。

数据采集及处理系统的分析处理功能是由专用软件来完成的,该软件的操作平台选用 Windows98,采用 VC++ 作为软件开发语言。依据系统功能特性和用户需求将该系统划分为以下几个主体功能模块:原始数据采集模块、原始数据存储模块、数据分析处理模块、图表模式显示模块(包括显示“ $P-I$ 曲

线”,“ $P-t$ 曲线”,“ $I-t$ 曲线”)、数据报表模块、控制模块和输出模块。

LD 驱动电源部分作为 LD 的驱动源必须满足以下两个条件:(1) 因为 LD 的非线性特性,并且在在工作点附近电压有一个非常小的变化量将引起电流剧变,所以电源应该是一个恒流源,这样可以保证 LD 不受损坏;(2) 为了满足不同的试验电流要求,恒流源应是可以调整的,并且可以由单片机来控制调整。

LD 驱动电源控制部分主要功能是监测电源的实时工作,控制电源实现恒流(ACC)和恒功(APC),并通过 GP-IB 接口与上端工控机通信,完成信息的交流。与上端工控机通过 GP-IB 标准接口通信。一个 89c51 单片机和 16 路电源模块组成一个受控电源,4 个受控电源与工控机通过 GP-IB 通信,组成电源自动测量和控制系统。

根据受试器件的性能,老化与测试系统需要隔绝氧气,防止受试器件氧化,引起非正常老化,因此,要让器件在氮气保护的情况下受试。为使系统内的氮气含量足够充分,采用密封箱作为温度控制子系统的框架,将箱内的空气抽掉,再充入氮气,实现受试器件的氮气保护。密封箱内有加热设备,形成实验的热源。温度的控制使用高精度温度控制仪表,控温精度在 $\pm 1^\circ\text{C}$,控温范围在 $20^\circ\text{C} \sim 95^\circ\text{C}$,并有温度保护设备。密封箱上设有排气口、引线接口、钢化玻璃观察窗、保温层等实验装置,同时有压力仪表、限压阀等保护装置。外围设备包括抽气泵、电磁阀、氮气源、加热膜、温度传感器、温控仪表等。

受试样品以 1310nm TO5.6 封装的 LD 为例设计。样品架由过渡热沉、恒温体、绝缘体和供电电路板及光探测几部分组成。恒温体固定在控温热源上,要求面接触,恒温载体受热均匀,温度 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。恒温体前端布有绝缘导热片,后端是供电电路板。导热片上开孔,与恒温体上的螺孔相对应。16 路受试 LD(1310nm)通电工作以后,光信号照射到对面 Ge 光电探测器上。Ge 光电探测器接收到 LD 光信号信息,得出 LD 光功率输出大小,并传给上位机。

3 实验结果

从一批 1310nm LD 选出 16 只(试验编号为 1~16)作为试验用品,用本系统对其进行了寿命试验。采用恒功控制(APC),光功率为 5mW 下进行周围环境温度为 80°C 的加速老化试验。寿命测试的标

准采用工作电流增加 20% 就认为该 LD 寿命终止。结果有 3 只 LD 仅工作不到 600h(2 号管: 300h; 12 号管: 200h; 15 号管: 600h) 寿命就终止了,其余 12 只 LD 都工作了 2000h 以上。试验的 $I-t$ 曲线如图 3 所示。

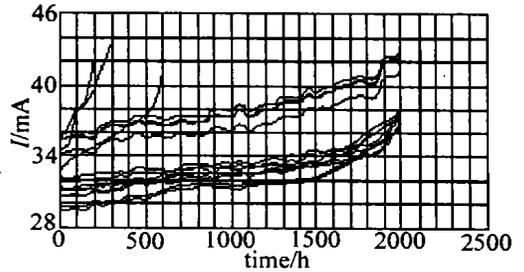


Fig. 3 $I-t$ curve chart of 16 LD's life testing data

4 结论

新型 LD 寿命自动测试系统,具有 80 路独立工作单元;恒功率(APC)或恒电流(ACC)控制; 4×16 路 $0\text{mA} \sim 1000\text{mA}$ 可调 LD 驱动电流源, 1×16 路 $0\text{mA} \sim 5000\text{mA}$ 可调 LD 驱动电流源,电流控制误差均小于满标度的 $\pm 1/4096$; 受试器件测试环境为抽真空充氮密封箱体,工作温度室温 $\sim 85^\circ\text{C}$ 可调,控温误差不大于 $\pm 1^\circ\text{C}$; 抽屉状样品架每屉可装受试器件 16 只,且装卸便利; 受试器件封装类型包括 TO(4×16); Butterfly(2×16),且极性可以调整。

系统通过采集以恒定功率工作的半导体激光器的工作电流随时间变化的信息及所处环境的温度,绘制老化“ $I-t$ 曲线”,然后推断半导体激光器的使用寿命,并能打印测试的数据,形成测试报告。

参考文献

- [1] BARRY J D, EINHORN A J, MECHERLE G S *et al.* Thermally accelerated life testing of single mode, double heterostructure, AlGaAs laser diodes operated pulsed at 50 mW peak power [J]. IEEE J Q E, 1985, QE21: 365~ 376.
- [2] FRIEDHELM D, DAMINGER F X. Aging tests of high power diode lasers as a basis for an international lifetime standard [J]. Proc SPIE, 1996, 2870: 381~ 389.
- [3] DILIP P K. High power semiconductor diode lasers Reliability data and lifetest methodology[A]. Fiber Optics Reliability: Benign and Adverse Environments [C]. Bellingham: Society of Photo Optical Instrumentation Engineers, 1987. 86~ 94.
- [4] MASAYUKI I, HAJIME O, KAZUHIKO I *et al.* Long term reliability tests for InGaAlP visible laser diodes [J]. Japan J A P. 1989, 28: 1615~ 1621.
- [5] SASAKI K, MATSUMOTO M, KONDO M *et al.* Highly reliable high power AlGaAs laser with window grown on facets [J]. Proc SPIE, 1992, 1634: 204~ 209.
- [6] 李红岩. 半导体激光器可靠性研究 [D]. 长春: 吉林大学, 1999. 12.

(下转第 254 页)

曲线相重合。

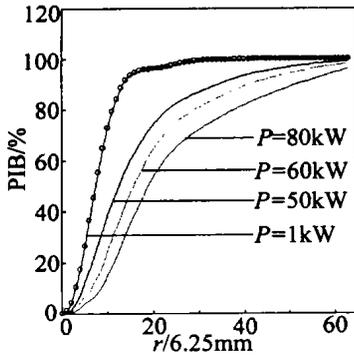


Fig.6 PIB curves of annular beams with $s=2$ for different values of P
“...” PIB curve of a non uniform beam propagating in vacuum

热晕对远场光束质量影响的数值计算结果见表1。当峰值光强很大,且峰值光强与光束重心位置不重合时,峰值光强位置可作为描述远场光束质量的一个参数。表中 x_{01}, x_{01}' 分别为光束经真空和大气在内光路出口处峰值光强位置, x_{02}, x_{02}' 分别为光束经真空传输至远场和光束在内光路经大气在外光路经真空传输至远场的峰值光强位置(峰值光强的 y 坐标为0),计算参数与前同。由表1知:(1) Strehl 比^[7] $S_r < 1$,即热效应的作用使得远场光强峰值下降,且发射功率越大, S_r 越小,热效应越严重,峰值光强越小;(2) $x_{01} = x_{01}', x_{02} = 0, x_{02}' \neq 0$,即内光路的热效应不改变内光路出口峰值光强位置,光束经真空传输至远场,

Table 1 Numerical results for the beam quality parameters ($s=2$)

P/kW	80	60	50	1
S_r	0.353	0.419	0.516	0.996
x_{01}/mm	-37.5	-37.5	-37.5	-37.5
x_{01}'/mm	-37.5	-37.5	-37.5	-37.5
$ x_{01}' - x_{01} /\text{mm}$	0	0	0	0
x_{02}/mm	0	0	0	0
x_{02}'/mm	175.0	100.0	50.0	0
$ x_{02}' - x_{02} /\text{mm}$	175.0	100.0	50.0	0
$ x_{02}' - x_{01}' /\text{mm}$	212.5	137.5	87.5	37.5

峰值光强位于中心,而内光路的热效应使得远场峰值光强位置发生偏移。其物理原因是激光在大气中传输时,大气中的分子和粒子会吸收激光而加热膨胀,密度减小,导致局部折射率减小。对于非均匀分布的光束,在光强最大处局部折射率最小,导致远场峰值光强向相反方向移动,并越过中心而位于另一侧($x_{02}' > 0, x_{01}' < 0$)。发射功率 P 越大,热效应越厉害,位移量 $|x_{02}' - x_{01}'|$ 越大。当发射功率减小到 $P=1\text{kW}$ 时, x_{02}' (与真空传输情况相同),即非线性热效应可忽略。

3 小结

从近轴波动方程和等压近似下的流体力学方程出发,研究了光束分布的非均匀性和内光路中的非线性热效应对远场光束特性的影响,并与光束通过真空的传输作了比较。研究表明,非均匀分布会影响光束的可聚焦能力,并引起像散。内光路的热效应会进一步减小 PIB 值和加剧像散,并使远场峰值光强降低,位置移动。为提高远场光束质量,应采取有效措施使激光空间分布均匀化和减小内光路热效应。此外,外光路长程大气传输对大功率激光远场特性有重要影响,对此应另作研究。

参考文献

- [1] 金钢,刘顺发,李树民 *et al.* 激光热效应对光束控制系统发射光束质量的影响[J].中国激光,2002,A29(10):895~899.
- [2] FLECK J A, MORRIS J R, FEIT M D. Time dependent propagation of high energy laser beams through the atmosphere [J]. Appl Phys, 1976, 10: 129~160.
- [3] 陈栋泉,李有宽,徐锡申 *et al.* 激光大气传输中热晕的数值模拟[J].强激光与粒子束,1993,5(2):243~252.
- [4] LÍ B D, LUO Sh R, ZHANG B. Propagation of three dimensional flattened Gaussian beams [J]. J Mod Opt, 1999, 46: 1753~1762.
- [5] COLLINS S A. Lens system diffraction integral written terms of matrix optics [J]. J O S A, 1970, 60(7): 1168~1177.
- [6] GARAY A. Continuous wave deuterium fluoride laser beam diagnostic system [J]. SPIE, 1998, 888: 17~22.
- [7] 吕百达. 强激光的传输与控制[M].北京:国防工业出版社,1999. 66.
- [9] 江剑平. 半导体激光器[M].北京:电子工业出版社,2000. 333.
- [10] 黄章勇. 光电子器件和组件[M].北京:北京邮电大学出版社,2001. 7.
- [11] Bellcore GR 468 CORE 1998, Generic Requirements [S]: 4 1~4 34; 8 1~8 19.

(上接第230页)

- [7] 中国科学技术情报研究所重庆分所《半导体器件的可靠性》编写组. 半导体器件的可靠性[M].重庆:重庆科学技术文献出版社,1977. 59.
- [8] 黄德修,刘雪峰. 半导体激光器及其应用[M].北京:国防工业出版社,1999. 5.