

1300 nm 超辐射发光二极管寿命测试

孙孟相 谭满清 王鲁峰

(中国科学院半导体研究所, 北京 100083)

摘要 作为光纤陀螺用光源的超辐射发光二极管(SLD)随着工作时间的延续,其性能会发生退化。采用加速老化的实验方法来估算 InGaAsP SLD 管芯的工作寿命。分别在环境温度 373 K 和 358 K 下对 5 只 SLD 管芯进行加速老化,并通过对 P-t 曲线拟合来推算和估计管芯的老化速率和激活能。计算出了器件的激活能平均值约为 0.82 eV,SLD 管芯在室温下的工作寿命超过 10^6 h,可以满足光纤陀螺用光源的寿命要求。对影响 SLD 管芯可靠性的因素以及管芯的退化机理进行了分析,为研制高可靠性的超辐射发光二极管提供了理论基础。

关键词 光学器件; 超辐射发光二极管; 寿命; 测试; 激活能

中图分类号 TN365 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS20082810.1994

Lifetime Tests of 1300 nm Superluminescent Diodes

Sun Mengxiang Tan Manqing Wang Lufeng

(Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract Superluminescent diode (SLD) for the light source of fiber-optic gyroscope (FOG) will degrade along with the operating time elapse. Operating lifetime of fine SLDs has been estimated from the results of accelerated aging carried out for 3500 h at the ambient temperature of 373K and 358K respectively and the aging rate and active energy were estimated from power-time (P-t) curve fitting. The value of active energy is determined to be 0.82 eV and mean lifetime in practical operation at driving current of 100 mA and an ambient temperature of 298 K is over 10^6 h, and high reliability and long lifetime required for light source of FOG are confirmed. The degrading mechanism of 1300 nm SLDs was analyzed for developing high reliability devices.

Key words optical device; superluminescent (SLD); lifetime; tests; active energy

1 引 言

半导体超辐射发光二极管^[1](SLD)作为一种介于半导体激光器和发光二极管之间的发光器件,由于本身所具有的高输出功率、宽发射谱、低波纹系数等特性,使它作为光纤陀螺的核心元器件在惯性制导、通信等许多领域都得到了广泛的应用^[2~4]。

为了提高光纤陀螺的性能,大批量应用于国防装备,不仅要求超辐射发光二极管模块具有高的光电性能,同时还要求高的器件可靠性。器件寿命是表征可靠性的一个重要方面。超辐射发光二极管模块的寿命主要决定于发光器件管芯的寿命、制冷器和热敏电阻寿命、以及耦合工艺的可靠性等。其中

最主要因素是超辐射发光二极管管芯的寿命。

关于光电子发光器件的可靠性,国内外都展开了大量的研究^[5~8]。Osamu Wada 等^[7]对 InGaAsP LED 可靠性进行了分析和研究, Yasumasa Kashima 等^[8]基于和 Osamu Wada 相同的数学模型对 InGaAsP 超辐射发光二极管寿命进行了研究。本文将重点研究超辐射发光二极管管芯的寿命测试问题,基于半导体激光器寿命测试的方法,通过合理的实验手段测试出管芯的寿命,并给出了有别于 Yasumasa Kashima 等的关于超辐射发光二极管加速老化寿命测试的数学模型。

收稿日期: 2007-11-21; 收到修改稿日期: 2008-04-14

作者简介: 孙孟相(1983—),男,博士研究生,主要从事超辐射发光二极管以及镀膜工艺等方面的研究。

E-mail: mxsun@semi.ac.cn

导师简介: 谭满清(1967—),男,研究员,博士生导师,主要从事光电子有源器件方面的研发。

E-mail: mqtan@semi.ac.cn

2 实验方法

2.1 实验方法

超辐射发光二极管是一类重要的光电子器件,其失效机理类似于半导体激光器,本文采用的寿命测试的实验方法为加速老化测试法,即在外加应力条件下缩短老化时间来获得正常工作条件下器件的寿命。加速老化有两种方式:加大工作电流和提高结温。通过电流或结温处于高于正常工作时的状态来缩短器件的失效时间,然后推算出正常工作条件下器件的寿命。实验在恒流条件下,利用提高结温来缩短器件的失效时间,并基于高应力情况下的寿命分析数学模型外推出正常工作条件下的器件寿命。

本文规定器件的寿命为:在恒流工作条件下,其输出功率下降 70% 时所对应的时间为器件的寿命。实际测试和计算出几只 SLD 管芯的寿命,然后得出器件失效的平均寿命作为器件的寿命。

2.2 数学模型

半导体激光器有多种加速老化测试寿命的数学模型。基于指数函数建立起的数学模型能很好的描述老化早期的状态^[9,10]。因为这种指数模型是由速率方程推过来的,速率方程中假设退化速率是与缺陷密度成比例的,老化早期缺陷密度随老化时间成指数函数增加。

根据 Bellcore 标准^[11]关于半导体发光器件老化测试的数学模型,SLD 输出功率随老化时间的变化规律可以由以下公式表示:

$$P = P_0 + \beta t, \quad (1)$$

式中 P_0 是器件老化前的输出功率, P 为器件老化后的输出功率, t 为老化时间, β 为退化速率。退化速率可以由公式近似表示为

$$\beta = \beta_0 \exp(-E_a/kT), \quad (2)$$

式中 β_0 为常数, E_a 为器件退化的激活能, k 为玻尔兹

曼常数, T 为结温。

根据实验数据分析,利用(1)式拟合计算出高温应力下管芯的老化速率 β ,并外推得出在此高温下管芯的寿命 t_1 。在温度 T_1 和 T_2 两个高温应力下分别对管芯进行加速老化实验,获得两个高温应力下的老化速率 β_1 和 β_2 ,再根据(2)式获得特定管芯的激活能 E_a :

$$E_a = \frac{k \ln(\beta_1/\beta_2)}{1/T_2 - 1/T_1}, \quad (3)$$

最后根据获得的特定管芯的激活能以及高温下的寿命 t_1 来预估出管芯在正常工作条件下($T_0=298$ K, $I_0=100$ mA)的寿命 t_0 :

$$t_0 = t_1 \exp\left[\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_1}\right)\right]. \quad (4)$$

2.3 实验条件

在选择老化条件时需要考虑到器件的实际情况,过高的温度可能会带来过多的应力,导致在老化的过程中引入其他的失效机制,从而影响寿命测试的真实性;而太低的温度会使得老化时间过长而缺乏实际的可操作性。综合各方面的因素,本文选择的加速老化实验温度分别为 373 K 和 358 K。从上面的公式中可以知道,计算器件的激活能 E_a 和老化速率 β 是准确测得器件寿命的关键。

3 实验过程及计算

随机抽取 5 只 SLD 管芯,分别在 373 K 和 385 K 的条件下将其放进恒温箱内进行高温、恒流加速老化实验。工作电流控制在 100 mA。

每隔一定的时间对 5 只管芯的特性参数进行测试,每只管芯的输出功率随老化时间的变化曲线如图 1。从图 1(a)中看出,在老化前期,管芯处于不同程度的快速老化状态,输出功率快速明显的衰减。在一定时间(从图中可以确定在 800 h)之后输出功

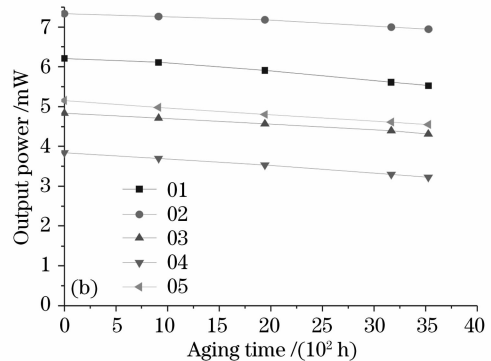
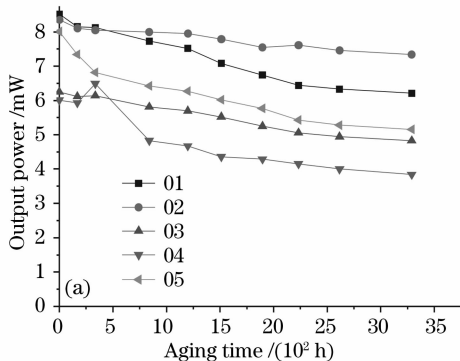


图 1 $T=373$ K (a), $T=358$ K (b) 时输出功率随老化时间的变化曲线

Fig. 1 Degradation of output power with aging time at 373 K (a), 358 K (b)

率的下降平缓,处于缓慢老化的状态,输出功率随老化时间以不同的退化速率线性下降.寿命的测试从处于缓慢老化状态开始计算,截取 800 h 后处于缓慢老化的功率变化曲线如图 2.

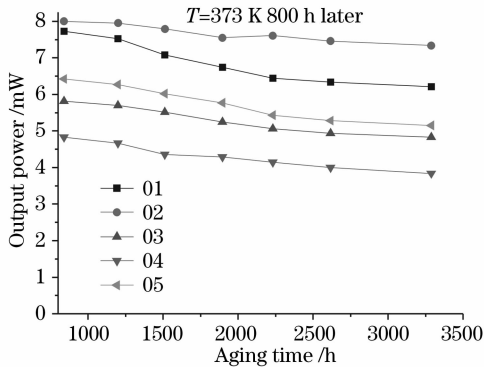


图 2 800 h 后管芯输出功率随老化时间变化

Fig. 2 Degradation of output power after 800 h aging time

对图 2 中的功率老化曲线进行线性拟合出各个管芯在 370 K 的温度下的退化速率 β_1 。对 358 K 的老化温度下的功率变化曲线也进行同样的线性拟合,拟合出各个管芯在 358 K 的温度下的退化速率 β_2 。根据(3)式计算出各个管芯的激活能,如表 1 所示。

表 1 各 SLD 管芯激活能
Table 1 Active energy of SLDs

No.	01	02	03	04	05
Active energy E_a /eV	0.93	0.72	0.83	0.68	0.93

SLD 管芯从正常状态进入劣化状态的过程中,存在势垒,跃过这个势垒所需要的能量必须由外部供给,这个势垒就称为激活能。由于器件向失效发展的机理不同,其势垒的高度是不同的。5 只 SLD 管芯在制备的过程中,所经历的工艺条件有些差异,所以其激活能不同。根据激活能值可以描绘失效过程,据此改进器件设计和生产工艺。激活能的大小决定了器件退化速率的快慢,激活能越大,退化速率越慢,从而器件的寿命长。根据老化实验所得的数据计算出 5 只 SLD 管芯的平均激活能约为 0.82 eV。

根据以上分析得出各只 SLD 管芯的寿命分别如表 2 所示。

表 2 各 SLD 管芯寿命
Table 2 Estimated lifetime of SLDs

No.	01	02	03	04	05
Lifetime t / (10^6 h)	4.9	2.4	2.5	0.72	4.9

5 只 SLD 管芯的平均寿命达到 3×10^6 h,即 SLD 管芯在驱动电流为 100 mA,室温 298 K 的工

作条件下可正常工作百万小时以上。

4 实验结果分析和讨论

超辐射发光二极管管芯的寿命决定多方面的因素,包括器件结构、外延工艺、电极工艺、镀膜工艺等。本次实验的结果说明,SLD 管芯结构和制作工艺有了较大的突破,基本具备研制长寿命的超辐射发光二极管的能力。

随着工作时间的增加,SLD 管芯的工作性能将会劣化,发射功率下降,有时候还会发生突然失效的灾变性损坏。除了温度和工作条件等环境因素可以影响其工作可靠性和寿命外,其本身和内部的因素是造成其退化的根本原因。实验发现管芯的退化分为两个状态:在老化前期管芯处于快速退化状态,在 800 h 内,管芯功率下降很快,有些可靠性比较差的管芯功率会降到初始值的一半从而失效。5 只 SLD 管芯都没有出现快速退化时期的失效现象,可靠性都比较好,因此 SLD 管芯在应用前都要进行快速老化筛选;在 800 h 后,管芯处于缓慢退化状态,其退化的原因是工作时加入电流导致发热以及高温所带来的热效应,引起 SLD 管芯在制备过程中产生的内部缺陷的衍生,导致内部和表面的非辐射复合中心的形成,从而器件的工作性能出现退化。为了进一步提高器件的可靠性,需要从以下几方面加强研究:1)优化器件结构;2)优化金属有机化学气相沉积(MOCVD)外延器件结构的工艺,减少非辐射复合的浓度;3)优化器件镀膜工艺,包括介质光学膜和金属电极膜的工艺,等等。另外,超辐射发光二极管是以模块的形式应用于光纤陀螺,所以,高可靠性耦合工艺也是提高 SLD 器件可靠性的非常重要的技术。

5 结 论

通过加速老化的实验方法,采集了高温、恒流工作条件下的 SLD 输出功率随老化时间变化的测试数据,绘制出相应的 $P-t$ 曲线,推导和估算出 1300 nm SLD 管芯在正常工作条件下的工作寿命。测试结果表明,研制的 1300 nm SLD 管芯寿命超过 10^6 h,满足光纤陀螺用光源的寿命要求。通过对 SLD 管芯的退化机理进行分析,为研制高可靠性的 SLD 管芯打下了理论基础。

参 考 文 献

- 1 L. N. Kurbatov, S. S. Shakhidzhanov, L. V. Bystrova *et al.*. Investigation of superluminescence emitted by a gallium arsenide

- diode[J]. *Soviet Physics-Semiconductors*, 1971, **4**(11): 1739~1744
- 2 Aland K. Chin, Niloy K. Dutta, Robert W. Herrick *et al.*. Test and measurement application of optoelectronic devices[C]. *Proc. SPIE*, 2002, **4648**: 104~115
- 3 William K. Burns, Chin-Lin Chen, R. P. Moeller. Fiber-optic gyroscopes with broad-band sources[J]. *J. Lightwave Technol.*, 1983, **1**(1): 98~105
- 4 Mi Jian, Zhang Chunxi, Li Zheng *et al.*. Effect of polarization interference on fiber optic gyro performance[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(8): 1140~1144
米 剑, 张春熹, 李 铮 等. 偏光干涉对光纤陀螺性能的影响[J]. *光学学报*, 2006, **26**(8): 1140~1144
- 5 Gao Songxin, Wu Deyong, Wei Bin *et al.*. Reliability of high power diode laser stack[J]. *Chin. J. Lasers*, 2006, **33**(suppl.): 6~9
高松信, 武德勇, 魏 彬 等. 高功率二极管激光器阵列可靠性研究[J]. *中国激光*, 2006, **33**(增刊): 6~9
- 6 Ding Ying, Wang Lufeng, Zhao Lingjuan *et al.*. Reliability analysis of 1.55 μm DFB laser diodes for optical fiber communication[J]. *J. Optoelectronics • Laser*, 2004, **15**(4): 393~396
丁 颖, 王鲁峰, 赵玲娟 等. 用于光纤通信的 1.55 μm DFB 激光器的可靠性分析[J]. *光电子 • 激光*, 2004, **15**(4): 393~396
- 7 Osamu Wada, Shigenobu Yamakoshi, Hisashi Hamaguchi *et al.*. Performance and reliability of high radiance InGaAsP/InP LED's operating in the 1.15~1.5 μm wavelength region[J]. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1982, **QE-18**(3): 368~374
- 8 Yasumasa Kashima, Akio Matoba, Hiroshi Takano. Performance and reliability of InGaAsP superluminescent diode [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1992, **10**(11): 1644~1649
- 9 S. K. K. Lam, R. E. Mallard, D. T. Cassidy. Analytical model for saturable aging in semiconductor lasers[J]. *J. Appl. Phys.*, 2003, **94**(3): 1803~1809
- 10 S. L. Chuang, N. Nakayama, A. Ishibashi *et al.*. Degradation of II-VI blue-green semiconductor lasers[J]. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1998, **34**(5): 851~857
- 11 *Reliability Assurance Practices for Optoelectronic Devices in Loop Applications*[M]. Belcore: Technical Advisory TA-NWT-000983 1993, Issue 2, December