

ICS 31.260

L51

备案号:



中华人民共和国电子行业标准

SJ/T 11403—2009

通信用激光二极管模块可靠性评定方法

Laser diode modules used for telecommunication -
Reliability assessment

2009-11-17 发布

2010-01-01 实施



中华人民共和国工业和信息化部 发布

目次

前言.....	II
引言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义、缩略语和符号.....	1
3.1 术语和定义.....	1
3.2 缩略语.....	2
3.3 符号.....	2
4 可靠性和质量评定程序的一般要求.....	3
4.1 产品质量认证.....	3
4.2 检验职责.....	3
4.3 质量改进程序.....	3
5 试验程序和质量评定标准.....	3
5.1 试验程序.....	3
5.2 老练和筛选.....	4
5.3 质量评定程序.....	6
6 信息反馈及修正.....	12
6.1 可靠性结果的分析.....	12
6.2 技术交流.....	12
6.3 设计和/或工艺调整.....	13
6.4 产品交付.....	13
6.5 供应商文件.....	13
附录 A（规范性附录） 激光二极管和激光二极管模块失效机理.....	14

前 言

本标准的附录A是规范性附录。

本标准由工业和信息化部电子工业标准化研究所归口。

本标准起草单位：中国科学院半导体研究所。

本标准主要起草人：王欣、谢亮、王幼林。

引言

编制本标准目的是：

——建立评价激光二极管模块可靠性的标准方法，以降低使用风险并促进产品的开发和可靠性检测；

——建立预测失效随时间分布的方法，为预测设备失效率提供依据。

另外，提供以下方面的指导：

——系统供应商从激光二极管模块制造商处获得激光二极管模块使用前应该保证的试验；

——系统供应商为证明激光二极管模块制造商可靠性的一系列试验评定方法。



复制无效

版权专有

复制无效

复制无效

版权专有

复制无效

通信用激光二极管模块可靠性评定方法

1 范围

本标准适用于光通信用激光二极管模块（以下简称激光二极管模块）的可靠性评定。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 2423.1—2001 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温（IEC 60068-2-1:1990，IDT）

GB/T 2423.2—2001 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温（IEC 60068-2-2:1974，IDT）

GB/T 2423.5—1995 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ea和导则：冲击（IEC 60068-2-27:1987，IDT）

GB/T 2423.10—1995 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc和导则：振动（正弦）（IEC 60068-2-6:1982，IDT）

GB/T 2423.22—2002 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验N：温度变化（IEC 60068-2-14:1984，IDT）

GB/T 2423.23—1995 电工电子产品环境试验 试验Q：密封

GB/T 15651—1995 半导体器件 分立器件和集成电路 第5部分：光电子器件（IEC 60747-5:1992，IDT）

GB/T 17573—1998 半导体器件 分立器件和集成电路 第1部分：总则（IEC 60747-1:1983，IDT）

GB/T 18904.2—2002 半导体器件 第12-2部分：光电子器件——纤维光学系统或子系统用带尾纤的激光二极管模块空白详细规范（IEC 60747-12-2:1995，MOD）

GB/T 19001—2000 质量管理体系 要求（ISO 9001:2000，IDT）

GJB 128A—1997 半导体分立器件试验方法

GJB 548A—1996 微电子器件 试验方法和程序

GJB 915A—97 纤维光学试验方法

3 术语和定义、缩略语和符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1.1

激光二极管模块 laser diode module

本标准中的激光二极管模块是指用激光二极管芯片、背光探测器、热敏电阻、热电致冷器、光纤和隔离器等密封在一起，以实现稳定的光学输出及简易电连接控制的元器件组合。

3.1.2

衬底 submount

激光二极管模块中,激光二极管和背光探测器等可以在上面进行装配的热沉。

3.1.3

激光二极管模块制造商 laser diode module manufacturer

激光二极管模块制造商负责提供满足详细规范和客户要求,且性能可靠的激光二极管模块。

3.1.4

系统供应商 system supplier

制造含有激光二极管模块的通信与数据传输设备的制造方,即激光二极管模块的用户。

3.1.5

系统运营商 system operator

在其经营传输通路上含有半导体激光二极管模块的通信与数据传输设备的网络运营商。

3.1.6

性能限定元件 capability qualifying components

可以表征机械与光电设计过程中临界阶段和边界特性的元件。这些元件的选取应该有助于鉴定最终产品的失效机理以确定激活能量。

3.1.7

结构相似性

对于同一个激光二极管模块制造商制造的一系列激光二极管模块,很多不同型号的产品之间具有结构相似性,适用时,允许共用不同试验程序的结果。但是应该充分考虑到技术或者程序上的微小不同可能对可靠性带来的重大影响。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本标准。

3.2.1

ACC automatic current control

自动电流控制。

3.2.2

APC automatic power control

自动功率控制。

3.2.3

CQC capability qualifying components

性能限定元件。

3.2.4

LSL lower specification limit

规范下限值。

3.2.5

USL upper specification limit

规范上限值。

3.2.6

TEC thermoelectric cooler

热电制冷器。

3.3 符号

下列符号适用于本标准。

3.3.1

P period

周期(月)。

3.3.2

E

激活能。

3.3.3

T_s

热沉温度。

3.3.4

$T_{s\text{ nom}}$

推荐的热沉温度。

3.3.5

$P_{o\text{ nom}}$

典型光功率值。

4 可靠性和质量评定程序的一般要求

4.1 产品质量认证

本标准是激光二极管模块制造商对激光二极管模块的可靠性和质量评价程序的一部分,是提供给系统供应商、系统运营商和激光二极管模块制造商进行可靠性评定的指导方法。激光二极管模块制造商可以通过制造过程中的器件技术指标认证、技术认证或是性能认证来证明:

- 所采购元器件制造商通过 GB/T 19001 标准认证的相关程序文件;
- 执行鉴定程序,包括对元器件和模块的加速寿命试验、老练及筛选;
- 确保性能、可靠性、连续性的鉴定维持程序;
- 向研发和生产单位反馈可靠性信息的程序。

4.2 检验职责

4.2.1 检验过程的实施

表1和表2规定的检验由激光二极管模块制造商和元器件供应商(要求时)进行。检验的详细项目应有检验大纲和操作方案,只要能够用来剔除早期失效产品,并为改善失效机理提供参考即可,通常,这样的方案需要大量的数据和可靠的设备做为技术支持。如有必要,可根据详细规范要求附加试验。

4.2.2 推荐给激光二极管模块用户/系统供应商的程序

系统供应商应能建立一套包括失效分析在内可以对结果进行分析和证明的程序。该程序包括一个对完全封装激光二极管模块的独立寿命试验,见表2试验2和/或试验3和/或试验5(每个试验样本数大于10)。系统供应商可能有不同的途径来完善产品,通常测试方案需要根据实际资源情况来制定。

4.2.3 推荐给系统运营商的程序

系统运营商应建立一套足够详细的监控程序和报告使用现场失效率情况的程序,使系统供应商和激光二极管模块制造商能够据此来改进产品,达到提高激光二极管模块的可靠性水平的目的。

4.3 质量改进程序

质量改进程序应该由元器件供应商和用户(激光二极管模块制造商、系统供应商和系统运营商)共同制定,以便找到产品的缺陷(包括激光二极管模块使用寿命过程中质量和可靠性问题)。通过产品缺陷的纠正和预防以及质量改进程序实施后消除和预防不良因素的影响,使产品质量与可靠性水平大大提高。质量改进程序应该在质量评定程序和性能评价文件中得到体现。

5 试验程序和质量评定标准

5.1 试验程序

5.1.1 总则

在表1和表2中规定的试验是用来加速激光二极管模块中常见的主要失效过程（见5.4）。选择适当的CQC可以使最终产品具有预防失效机理产生的能力。最终产品的有效性需要证明CQC是在程序和技术范围内执行的。这些试验将降低不可靠元件在系统中使用的风险，并且能够预计激光二极管模块寿命和失效分布。

试验样本的大小和级别将随着激光二极管模块制造商和激光二极管模块的用户/系统供应商交易量大小的不同而不同。这个方案应在性能评价文件和相关的详细规范中给出。

注：待评价的激光二极管模块应能够充分代表标准的产品，并应通过详细规范规定的老练和筛选的程序。

5.1.2 鉴定检验

见表1。这些试验通常作为初始质量鉴定程序的一部分，由激光二极管模块制造商执行。

5.1.3 质量一致性检验

见表2。针对批量生产的激光二极管模块作周期性检验以保证这些器件的质量和可靠性得到保持或提高。

5.2 老练和筛选

老练和筛选的要求见5.3.1.13。

表1 鉴定检验

试验序号	试验	标准	条件	n
1	持久性试验：			
1.1	a) 带有热电制冷器的模块	GB/T 18904.2—2002	规定的 P_L （连续工作） 温度： $T_c = T_{op, max}$ $T_h = T_{sig, max}$ 持续时间：5 000 h	25
1.2	b) 没有热电制冷器的模块	GB/T 18904.2—2002	规定的 P_L （连续工作） 温度： $T_c = T_{op, max}$ 持续时间：5 000 h	25
1.3	激光二极管（带热沉）	GB/T 18904.2—2002	至少两个试验温度： 规定的 P_L （连续工作） $T_h = T_{sig, max}$ 持续时间：5 000 h	200
1.3.1	试验温度 1		$T_h = T_{sig, max}$ 持续时间：5 000 h	按详细规范
1.3.2	试验温度 2		$T_h \leq T_{sig, max} - 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续时间：5 000 h	按详细规范 200
1.4	探测器（典型封装型式）	GB/T 18904.2—2002	至少两个试验温度： 规定的 P_L 或 I_L $T_h = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$ （min） 持续时间：>1 000 h	按详细规范 按详细规范 25
1.4.1	试验温度 1		$T_h = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$ （min） 持续时间：>1 000 h	
1.4.2	试验温度 2		$T_h \leq (T_h - 30\text{ }^{\circ}\text{C})$ 持续时间：>1 000 h	
1.5	热电制冷器的高温贮存	见表3和表9	制冷器的 $T_h = T_{sig, max}$ 持续时间：1 000 h	25
1.5.1	热电制冷器的功率循环试验	见表3和表9	循环数目：20 000 $T_c = T_{op, max}$ $T_h = T_c$ 到 $(T_c - \Delta T_{max})$ 传感器的 $T_h = T_{sig, max}$	
1.6	热敏电阻的高温贮存			

表 1 (续)

试验序号	试验	标准	条件	<i>n</i>
1.8	光纤反复弯曲试验	GJB 915A—97	按详细规范	10
1.9	光纤动态拉伸试验	GJB 915A—97	按详细规范	10
3	温度循环	GB/T 2423.22—2002	温度: $T_A = T_{\text{sig min}}$ $T_B = T_{\text{sig max}}$ 循环次数: 50 循环次数: 500	200
	密封	GB/T 2423.23—1995 Qk 试验接着 Qc 试验	按详细规范	
4	振动(正弦) 和/或冲击	GB/T 2423.10—1995 GB/T 2423.5—1995	按详细规范	10
5	高温贮存	GB/T 2423.2—2001	温度: $T_A = T_{\text{sig max}}$ 持续时间: >1 000 h 见 5.3.1.10 和表 11	10
6	ESDS (模块) a) 激光二极管 b) 探测器	GB/T 17573—1998 GJB 548A—1996 方法 3015	见 5.3.1.11	每圆片 5 个样品
7	内部水汽含量试验	GJB 128A—1997 方法 1018	见 5.3.1.12	6
8	低温贮存	GB/T 2423.1—2001	$T_A = T_{\text{sig min}}$ 持续时间 >2 000 h 见 5.3.1.4	10
<p>* 关于使用寿命分布的数据应是精确的累加, 针对出货产品的临时批准, 应给予 2 000 小时的试验。推荐进行连续试验使得在 10 000 小时的上限内, 能够对寿命精确外推。作为精确的寿命预测, 5 000 小时的持续时间试验是必须的。</p> <p>^b 表明技术限制。</p>				

表2 质量一致性检验

试验 序号	试验	标准	条件	<i>n</i>	<i>p</i>
2*	可靠性试验: a) 模块(带制冷器) b) 模块(不带制冷器) c) 激光二极管(带热沉) d) 探测器	GB/T 18904.2—2002 GB/T 2423.1—2001	周期试验: 表1 试验1.1 表1 试验1.2 表1 试验1.3 表1 试验1.4	见注 10 10 25* 25*	6
3	温度循环 密封	GB/T 2423.22—2002 GB/T 2423.23—1995 Qk 试验接着 Qc 试验	温度: $T_1 = T_{sig min}$ $T_2 = T_{sig max}$ 周期试验: 循环次数: 200 次 循环次数: 500 次 见注	10	6
4	振动(正弦) 和/或冲击	GB/T 2423.10—1995 GB/T 2423.5—1995	按详细规范 周期试验: 见注	10	12
5	高温贮存	GB/T 2423.2—2001	温度: $T_1 = T_{sig max}$ 持续时间: >2 000 h 周期试验: 见注和 5.3.1.10 及表 11	10	12
6	ESDS(模块) a) 激光二极管 b) 探测器	GB/T 17573—1998 GJB 548A—1996 方法 3015	周期试验: 见注和 5.3.1.11	每圆片 5 个样 本	
7	内部水汽含量试验	GJB 128A—1997 方法 1018	周期试验: 见注和 5.3.1.12	按详细规范	6
注: 试验结果应补加由激光二极管的用户/系统供应商针对完全封装好的模块按照表2中试验2和/或试验3和/或试验5(每个试验, 样本数≥10)单独所作的试验。见4.2。					
* 表示出于不同的圆片。					

5.3 质量评定程序

5.3.1 检验程序

5.3.1.1 寿命试验——通用

为了证明激光二极管模块的长期可靠性, 需要进行加速老练。在一个规定的持续时间试验中, 热加速试验是应用最广的提供元器件可靠性的方法, 并且适用于激光二极管和背光探测器。对于加热的情况, 寿命时间与温度的关系由阿列纽斯关系得到:

$$t_1/t_2 = \exp[(E_a/k)(1/T_1 - 1/T_2)] \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- t_1 —— T_1 温度下的寿命时间;
- t_2 —— T_2 温度下的寿命时间;
- E_a ——是失效机理的激活能;
- k ——是玻尔兹曼常数;
- T_1 ——绝对温度 1;
- T_2 ——绝对温度 2。

为了得到激光二极管模块可靠性的评估,仅有激光二极管模块的寿命试验是不够的。很多导致现场失效的失效机理都与封装有关,因此一个完整模块的环境试验与寿命试验同样重要。烧结在热沉上的激光二极管,背光探测器,或其它所含元件的寿命试验的结果,为有源器件的可靠性提供了必要的支持数据。实际上对于这样的元器件,寿命试验能够在较宽的温度范围内进行而无需考虑封装材料的限制。因此,这样的寿命试验最好由元器件制造商来进行,而激光二极管模块的用户/系统供应商应该进行完整模块的独立试验(每个试验的样品多于10个,表2,试验2和/或试验3和/或试验5)。为得到有效的结果,所有参加寿命试验元器件的制造必须符合规定的制造程序,包括老练和筛选试验(适用时,按详细规范)。

5.3.1.2 试验标准

可靠性试验的标准依赖于系统要求和系统运营商的具体应用,特别是所要求的失效率(或寿命)和置信水平。所选择的样本数应该足以确定系统的总失效率(耗损失效率+随机失效率)并保证足够的精确性。为证明某一低的总失效率具有高的置信度,需要很多器件的长时间数据统计。现场数据、湿度确认和老练结果可用于寿命试验结果以提高置信度。为确保预测结果长期有效,必需进行较少样本数的周期性试验。

5.3.1.3 包含热电制冷器的激光二极管模块寿命试验(表1中试验1.1)

对于含有热电制冷器的激光二极管模块,很难同时对所有关键元器件施加显著的过应力。在通常工作时,激光二极管热沉温度控制在 $T_c=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。然而,对于模块外壳温度 $T_h=T_{op,max}$ 的寿命试验,当制冷器工作在相对高的电流并保持热沉温度 $T_c=T_{c,min}$ 时,才能得到对激光二极管、光纤固定件、背光探测器和热敏电阻有用的应力。

推荐一些附加的制冷器试验,如 $T_c=T_{c,min}$, 且 $T_h=T_h+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

表3 推荐的含帕尔帖制冷器的激光二极管模块的寿命试验条件

外壳温度	$T_{op,max}$
激光二极管热沉温度	$T_c=T_{c,min}$
光功率	光纤出射设定为寿命试验初始的 P_{out} (使用监测回路)
激光二极管正向电流	保持恒定的出射功率
监测电流	正常工作条件下的偏置电流
热敏电阻电流	正常工作条件下的偏置电流
制冷器电流	保持恒定的热沉温度
持续时间	$>5\ 000\text{ h}$

5.3.1.4 激光二极管模块寿命试验——无制冷模块(表1中试验1.2)

对于没有热电制冷器的模块,寿命试验可以在规定的模块最高工作温度的范围内进行。对于基本的质量检验,建议在两个或以上的温度进行使用寿命试验,如 $T_c=T_{op,max}$ 和 T_c 从 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

对于包含环氧树脂或者有机材料的激光二极管模块可能会要求进行附加的低温寿命试验(在 $T_{op,min}$ 持续时间 $>2\ 000\text{ h}$)。

如果进行单次寿命试验,例如进行质量一致性检验,推荐下列的试验条件:

表4 推荐的非制冷激光二极管模块的寿命试验条件

外壳温度	$T_{\text{op max}}$
光功率	光纤出射功率设定为寿命试验初始的 P_{out} (使用监测回路)
激光二极管电流	保持恒定的出射功率
监测电流	正常工作条件下的偏置电流
持续时间	>5 000 h

5.3.1.5 热沉上的激光二极管的寿命试验 (表1中试验1.3)

当正常工作时,激光二极管的寿命试验应在恒定出射光条件下进行,除非光网络系统有特殊要求。常用温度在 $T_i=50\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。因此退化速率的加速度,相对于通常工作情况而言会相对较小。保证寿命试验在激射条件下进行的最高温度通常在 $T_i=70\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。然而,在研究金属化接触点的可靠性时,可进行高达 $T_i=150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的恒定电流的寿命试验。对于 $T_i<90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的试验,经过筛选的激光二极管实际失效的很少。为了估算激光二极管的寿命,需要进行外推法以预测何时阈值电流或工作电流将超过预先确定的失效判据。为获得工作电流适当的上升,必须使寿命试验的持续时间超过 5000 h。

如果进行单次寿命试验,例如进行稳定性质量鉴定,推荐表5的试验条件:

表5 推荐的激光二极管寿命试验条件

温度	$T_i=70\text{ }^{\circ}\text{C}$
光功率	额定的最大值
偏置	保持恒定的背光探测器输出电流
持续时间	>5 000 h

5.3.1.6 背光探测器的寿命试验 (表1中试验1.4)

因背光探测器的暗电流随温度变化很难确定,所以寿命试验应在反向偏置下进行。为了找到适当时间内的失效机理,一般温度范围在 $T_i=125\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。对于有机钝化的器件,应在钝化温度以下进行试验。

偏置电压增加也可用来加速失效,但电压对寿命的影响则需要在估算工作寿命之前确定。

探测器暗电流的测量必须包含正常工作温度下的测量。只在寿命试验的温度下进行测量可能测量不到表面泄漏的增加,因为在高温下体暗电流起主要作用。

探测器在暗电流增大导致失效时,通过无偏置高温存放通常会很快恢复。在试验期的最后,必须保持反向偏置状态直至温度降到 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下。最后测量应该在 3 h 内完成。

表6 推荐的探测器寿命试验条件

温度	范围 $T_i=125\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$
偏置	指定的最大反向偏压。偏置在冷却过程中优先于试验保持。
持续时间	1 000 h
环境条件	典型封装条件下的探测器

5.3.1.7 温度循环 (表1和表2中试验3)

当模块外壳温度 T_i 从 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间变化,能够揭示激光二极管模块中光纤装配的不稳定、各部分(如制冷器与热沉)之间的热失配和光纤断裂等潜在的缺陷。

对于基本的质量检验,要求 $T_{\text{stg min}}$ 到 $T_{\text{stg max}}$ 的循环次数为 500 次。对于周期性试验(三个月和/或六个月),要求循环次数为 100 次。温度循环过程应符合:

- GB/T 2423.22—2002, 试验 Na: 规定转换时间的快速温度变化;
- GB/T 2423.22—2002, 试验 Nb: 规定温度变化速率的温度变化。

拥有良好设计和结构的模块应能经受这样的试验并保持模块的性能不变。

5.3.1.8 密封 (表 1 和表 2 中试验 3)

试验 3 是细检漏试验 Qk 和粗检漏试验 Qa。为排除光纤端面对氢的吸收对试验结果的影响,应对其做适当的保护。

5.3.1.9 冲击和振动 (表 1 和表 2 中试验 4)

这些试验是为模拟元器件和激光二极管模块在工作或运输过程中的振动和冲击而设计。

5.3.1.10 高温贮存 (表 1 和表 2 中试验 5)

高温贮存试验由于无需偏置电路而具有相对成本低的优点。如果试验的温度等于或小于模块的最高贮存温度 $T \leq T_{max}$, 可以认为对激光二极管模块没有损害。高温贮存 (如 $T = 70^\circ\text{C}$, 持续时间为 1 000 h) 虽然应力相对较小, 但能有效的避免光纤装配的不稳定问题, 并且可发现一些潜在的金属化与焊接的失效机理, 例如热电制冷器或热敏电阻的失效。

5.3.1.11 静电放电敏感度 (ESDS) (表 1 和表 2 中试验 6)

光电子器件在制造、试验、装配以及工作的各阶段都易遭受静电放电损坏。ESD 可能导致激光二极管模块突然失效、参数改变、甚至潜在的失效引起后续使用中工作寿命的缩短。应当确定激光二极管和背光探测器承受静电敏感度的能力, 以便采用合适的防范级别来避免损坏。

推荐的最低试验标准是将六个激光二极管和六个背光探测器放置于一个圆片上并按照 GJB 548A—1996 方法 3015 中的“人体模型”试验进行。

失效应该由下列参数的变化来判定:

- 探测器暗电流或激光二极管阈值电流;
- 斜率效率;
- 正向电压;
- 发光光谱。

失效判定按表 9。

5.3.1.12 内部水汽含量试验 (表 1 和表 2 中试验 7)

某些由于封装中含水汽量高而导致激光二极管模块可靠性问题难以用表 1 和表 2 中的试验发现。单一的高温寿命试验不能发现封装中含水汽量高而引起的可靠性危害, 所以要求对激光二极管模块进行内部水汽含量试验。激光二极管模块的密封性试验和内部水汽含量试验能够证明模块封装在整个工作寿命过程中保持干燥、惰性气体保护是十分必要的。

5.3.1.13 元器件筛选 (包含老练)

筛选试验应该由激光二极管模块的制造商根据其模块加工工艺特点而设计, 任何其它制造商采用类似方法也可用于比较。但是对于光学元件, 由于供应商之间差别, 其它制造商的方法可能并不适用。

如果制造商能够证明元件和工艺过程及质量一致性的稳定性, 可以对筛选过程进行修改。

5.3.1.14 激光二极管

对于一个激光二极管, 无论是在热沉上或是在一个无光纤的子模块中, 施加老练的条件都是温度和光功率或者驱动电流的共同作用。最常使用的筛选方法有两种: 一种是 APC 老练 (自动功率控制), 其中光功率通过探测器反馈回路保持恒定; 另一种是 ACC 老练 (自动电流控制), 短时间的 ACC 试验不会缩短激光二极管寿命, 因此对筛选比较理想。

对于当今的激光二极管制作工艺, 一般采用两步老练来筛选激光二极管, 见表 7。

表7 推荐的激光二极管筛选和老练条件

条件	第一步 ^a ACC	第二步 ^b APC
温度	100 ℃ (min.) ^c	T_{max}
持续时间 ^d	96 h	96 h
失效判据 ^e	$\Delta I_{\text{th}}/I_{\text{th0}} > x\%$	$\Delta I_{\text{th}}/I_{\text{th0}} > y\%$, $y\% < x\%$

^a 第一步激光二极管的老练应足够严格以实现饱和的初始退化。

^b 第二步有时对最终封装好的激光二极管（即模块）进行。阈值电流以外的参数也能够被监测，但一个重要的要求是第二步的退化率要明显小于第一步，并且满足详细规范的要求。

^c 对于某些掩埋异质结（BH）型激光二极管，高温老练相比于相对较低温度值的退化机制不同。因此，对于BH结构激光二极管，第一步的老练温度可以设置在推荐的100 ℃以下。

^d 持续时间依赖于温度，如：ACC的条件100 ℃，150 mA，96 h；或125 ℃，100 mA，24 h。

^e 规定的失效判据 $x\%$ ， $y\%$ 依赖于激光二极管的工艺水平，特别是初始饱和退化。

5.3.1.15 背光探测器

背光探测器位于激光二极管模块内，通过外部反馈控制光功率。

PIN 二极管的老练标准采用 HTRB（高温反偏），即在规定的反向偏置（如 V_{R} 等于 0.8 倍的规定击穿电压，或 I_{R} 在击穿时反向电流）和高温（125 ℃~200 ℃）下进行的。

表8 推荐的背光探测器筛选条件

偏置条件	$V_{\text{R}}=0.8\times\text{击穿电压（按规定的额定值）}$
温度	125 ℃~200 ℃
持续时间	48 h~96 h
失效判据	$\Delta I_{\text{R}} > 2 I_{\text{VD}}$ 或规定值，取大者。

注： I_{VD} —初始值。

5.3.1.16 激光二极管模块的其它元件

其它元器件应在装配前进行筛选：

TEC（热电制冷器）：功率循环；

有源器件：高温和/或反偏；

光元件：插入损耗的可重复性。

5.3.2 失效判据

针对激光二极管、背光探测器和激光二极管模块试验中的失效判据应在详细规范中规定，试验方法和试验条件也依据应用和器件规范。

寿命试验中确定寿命（必要时外推）的常用参数在表 9 中给出。如果试验方法会影响寿命试验数据，可以省略某些参数。

表 10 给出了推荐的附加失效判据。

表 11 提供了温度循环试验之后的激光二极管模块的失效判据。为了满足特殊系统要求，表 9、表 10 和表 11 中的参数或数值允许有变化。判据应在详细规范中规定。

表9 推荐的寿命试验失效判据

器件	参数	失效判据	试验条件
激光二极管	阈值电流或工作电流	上升 50%或上升 10 mA ($I_{th}<20\text{ mA}$)	25℃或寿命试验温度
	斜率效率	改变 10%	25℃或寿命试验温度
	正向偏压	改变 10%	25℃或寿命试验温度
	L-I 曲线拐点	1. $2P_{max}$ 以内有拐点 (线性改变 $\geq 10\%$)	$T_{op\ min}$, 25℃, $T_{op\ max}$
	波长	按详细规范	按详细规范
背光探测器	暗电流	$>USL$ 或 $\geq 20\%IVD$	25℃
激光二极管 模块	激光二极管阈值或 工作电流	上升 50%或上升 10 mA ($I_{th}<20\text{ mA}$)	25℃或寿命试验温度
	光纤出射功率	变化 10%	寿命试验温度和 T_{amb} 恒定
	P-I 曲线拐点	1. $2P_{max}$ 以内有拐点 (线性变化 $\geq 10\%$)	$T_{op\ min}$, 25℃, $T_{op\ max}$
	波长	按详细规范	按详细规范
	跟踪比 (I_{amb}/P_o)	$>USL$	额定功率下 $T_{op\ min}-T_{op\ max}$
	探测器暗电流	$>USL$ 或 $\geq 20\%IVD$	25℃
	热敏电阻	变化 5%以上	25℃或热沉寿命试验温度
	TEC 电流	变化 10%以上	寿命试验中保持恒定 ΔT
	TEC 电压	变化 10%以上	寿命试验中保持恒定 ΔT
<p>注1: 失效判据中数值为试验前后变化值。</p> <p>注2: 如果不影响寿命试验数据, 附加的参数应在寿命试验开始或最后测量, 并在长的试验周期中进行。某些参数的试验可能容易进行, 如L-I, L-V, 但其它的会相对比较费时, 故可能不会在整个试验中对全部样本进行(详细规范中应规定)。表10给出推荐的参数。其它的对于特定系统(如连接系统或线性系统)需要的参数包括光噪声、出射光的线性、啁啾和谱线宽。</p> <p>注3: 对反射光敏感的试验(如光谱试验和噪声试验), 应在系统应用(详细规范应规定)中对反射光损耗具有代表性端面的激光二极管模块中进行。</p> <p>注4: ΔT为稳定工作状态下, 衬底温度的变化量。</p>			

表10 推荐可选的激光二极管模块寿命试验的失效判据

参数	失效判据	试验条件
系统调制状态下的工作峰值波长	$<LSL$ 或 $>USL$	$T_{op\ min}$, 25℃, $T_{op\ max}$
系统调制状态下的工作谱宽度	$>USL$	$T_{op\ min}$, 25℃, $T_{op\ max}$
系统调制状态下的工作边模抑制比	$<LSL$	$T_{op\ min}$, 25℃, $T_{op\ max}^a$
转折点(来源于一阶微分的 P-I 曲线)	P-I 曲线的一阶微分 $\geq 15\%$	$T_{op\ min}$, 25℃, $T_{op\ max}^a$ $I_o<I_{o\ max}$ 和/或 $P_o<P_{o\ max}$
P-I 曲线拐点	10% ^b	$T_{op\ min}$, 25℃, $T_{op\ max}$
反向漏电流	制造商推荐的最大值	25℃
<p>^a 见图A.1。</p> <p>^b 激光二极管发光区的数值孔径可能对探测P-I曲线的拐点有很大影响。测量未封装激光二极管(热沉上)应该取封装后光纤数值孔径的典型值。</p>		

表11 推荐的对温度试验和高温贮存试验后的激光二极管模块的失效判据

参数	失效判据	试验条件
激光二极管阈值电流	上升 10%*	$T_r=25\text{ }^{\circ}\text{C}$
光纤出射功率	改变 1 dB	$T_r=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, I_r 恒定
探测器暗电流	升高 10 nA	$T_r=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_r=T_{op\max}$
热敏电阻	改变 5%	$T_r=25\text{ }^{\circ}\text{C}$
帕尔帖制冷器电流	改变 $\pm 10\%$	寿命试验中保持恒定 ΔT_r
帕尔帖制冷器电压	改变 $\pm 10\%$ 见表 9	寿命试验中保持恒定 ΔT_r
* 对于激光二极管阈值电流 $I_{th}<30\text{ mA}$ 的情况, 试验前后值的改变标准为最大 3 mA。		
* 温度循环试验后模块应保持密封。		

6 信息反馈及修正

6.1 可靠性结果的分析

激光二极管模块的用户/系统供应商应制定分析和检验激光二极管模块的可靠性报告, 内容至少应包括:

- 完整激光二极管模块的寿命试验数据;
- 初始元器件的寿命试验数据, 如激光二极管和光电探测器;
- 环境试验结果, 如详细规范的B组和C组的检验要求;
- 需要时, 见第5章中相关的CQCs的数据和试验结果。

报告中结果的分析应该针对每一种类型激光二极管模块的可靠性判定参数。最基本的可靠性参数在表12中给出。

表12 激光二极管模块的可靠性参数列表

参数	试验值
中值寿命 (25 $^{\circ}\text{C}$)	年
偏移 Δ	
损耗失效率	
5 年 (λ) 5	FITs
10 年 (λ) 10	FITs
20 年 (λ) 20	FITs
损耗激活能	eV
随机失效率 (λ_a) (25 $^{\circ}\text{C}$)	FITs
置信度	%
随机失效激活能	eV
注1: 本表假定了对数型的失效时间分布。偏移参数是指失效时间以e为底的对数函数的标准偏差。	
注2: 数据表明存在一种以上的失效机理时, 每种情况的平均寿命和偏差都要说明。	
注3: 当给出激活能时, 可以采用另一个温度条件, 如: 50 $^{\circ}\text{C}$ 。	
注4: 可靠性参数的失效判据应该由激光二极管用户/系统供应商和激光二极管模块制造商共同确认。判据应在详细规范中规定, 由5.3.2给出。	
注5: 用到的所有外推模型应该给予说明, 并且给出用于可靠性预测的激活能判据。	

6.2 技术交流

激光二极管模块的制造商应不断改进产品性能,同时新产品的可靠性必须得到验证。在此过程中激光二极管模块的制造商要不断与使用方进行技术交流,直到有足够成熟的工艺保证产品的可靠性。这些技术交流应以激光二极管模块的质量和可靠性为议题,直到激光二极管模块的制造商能够表明:其选用的CQCs可以完全表达相关的设计、改造过程满足可靠性要求;且拥有完善的质量自检系统。

6.3 设计和/或工艺调整

关于任何可能引起终端产品外形、配件和功能设计的改变,激光二极管模块制造商应该及早通知用户和/或系统运营商。

6.4 产品交付

激光二极管模块的设计应持续改进,并且每个交付批应按照规定的技术和制造过程生产。这一过程应该由系统供应商和/或用户在交付前进行检验。

6.5 供应商文件

系统供应商、元器件生产商和激光二极管模块制造商应该互相合作,执行本标准规定的试验和活动,并按相应采购规范进行相关能力的鉴定。该文件将作为提供给用户的可靠性技术依据、投标依据和销售依据。

附录 A
(规范性附录)

激光二极管和激光二极管模块失效机理

A.1 引言

很多发表的激光二极管可靠性数据(和激光二极管芯片的可靠性数据)都来自与热沉或特制支架结合的激光二极管芯片的工作寿命试验。结果通常为阈值和工作电流的增大所导致失效。并且激光二极管的其它特性也同时在退化,应该在寿命试验中被监测如:P-I曲线。

在光纤传输系统中使用的激光二极管模块,包含多个重要部分和元器件,它们同样容易发生失效。例如,光纤与激光二极管芯片之间的耦合固定存在应力,应力释放过程易导致光纤出射功率的衰减,是激光二极管模块中一个重要的失效机制。

一个典型激光二极管模块的顶视图如图A.5,其中,激光二极管芯片、探测器和热敏电阻置于热沉之上,热敏电阻和帕尔贴制冷器与外电路形成温控回路,通过热沉导热来控制激光二极管温度。这里带光隔离器的封装形式通常应用于高速光纤通信系统,以减小光反射。

A.2 影响激光二极管芯片和激光二极管模块的主要失效机理的描述

A.2.1 激光二极管芯片

A.2.1.1 概述

图A.6给出了典型的InGaAsP/InP的掩埋双异质结结构的激光二极管的横截面图。一般来说,失效机理主要与激光二极管中半导体材料的缺陷、端面退化、金属化电极、以及管芯与热沉的焊接有关。这些机理在下面给予详细描述。

A.2.1.2 材料缺陷导致的退化

引起激光二极管早期失效的原因常常是暗线缺陷和暗点缺陷引起网状位错,导致非辐射复合增加,进而引起阈值电流的增加和出光功率的降低。利用阴极发射或者电子束感应电流扫描电子显微镜下可以观察到线和点缺陷的存在。在早期的GaAlAs(850 nm)激光二极管中,由外延层衬底上的回丝缺陷引起的退化非常典型。激光二极管收到的应力加速了缺陷的生长,例如压焊引起的缺陷。激光二极管热沉上的铜穿透也有利于暗点缺陷阵列的生长。在InGaAsP/InP材料的1 300 nm和1 550 nm的激光二极管中,三元或四元材料与InP衬底的晶格失配会导致断层网络。通过使用低缺陷密度衬底和改进的外延材料生长使得暗线缺陷或暗点缺陷引起的快速失效可以避免。另外,严格的老练筛选能够有效的去除个别存在暗线缺陷或暗点缺陷的激光二极管。尽管材料导致的快速失效已经被大大降低,但激光二极管仍然会表现出长期缓慢的退化,引起阈值电流的缓慢上升或效率的改变。退化方式与激光二极管的结构有关,退化速度(激光二极管寿命)主要依赖于材料生长的质量和批量生产的波动性。

对于掩埋异质结激光二极管,限制层二次外延生长时,有源区暴露在外面导致有源层的界面易于形成缺陷。这些缺陷引起非辐射复合的增加,由此导致阈值电流上升。退化分为两个阶段,第一个阶段是快速的退化;第二阶段的退化速率非常缓慢。作为老练机制,一个短周期的高温和大电流应力,将使第一阶段的退化饱和。使用者因此只需关注阈值电流或工作电流长期缓慢的上升。

对于脊形波导激光二极管,有源层在处理过程中不做切断,这样生长时便不暴露。脊形激光二极管因此不会表现出掩埋激光二极管的两阶段退化,而仅表现出逐渐的退化。

A.2.1.3 端面退化

激光二极管端面会由于装配操作不当而损坏,且易受高的瞬态电流破坏,即使轻微的瞬态损坏都将导致GaAlAs激光二极管严重退化,由此降低激光二极管寿命。

封装污染能引起有源区端面污染物（如碳、氯、铜）的堆积，从而降低出射光功率。

A.2.1.4 激光二极管的金属化和压焊

早期的GaAlAs激光二极管失效的一个常见原因是激光二极管芯片焊接中钎/金金属间键合热阻增大引起的失效。这是由于管芯与镀金的热沉键合时使用钎焊料造成的。这种情况可通过小心控制金层厚度来减小，但有焊接系统的激光二极管在高于50℃工作仍然很危险。钎焊料不再广泛应用于InGaAsP激光二极管，但对于GaAlAs激光二极管常常是必须的。

金属渗透到有源层会导致激光二极管失效，包括来自金属电极或铜质热沉的金属离子。因此，激光二极管与衬底的有效掩蔽金属成为关键，如激光二极管p型金属电极上的TiPtAu和铜衬底上的NiAu。

晶须生长会导致激光二极管的突然失效，可通过选择合适的焊料避免晶须生长。

A.2.2 背光探测器

背光探测器的主要失效原因是暗（失效）电流的增加。

A.2.3 帕尔帖制冷器和热敏电阻

帕尔帖制冷器由陶瓷片构成的三明治结构，一系列p掺杂和n掺杂的碲化铋焊料通过铜导线焊接到一起。它们相对比较脆弱，易受封装机械应力和其它封装材料热失配的影响。金属离子从焊料或者金属电极扩散到元件将导致制冷效果降低、连接变差和碲化铋元件的损坏。

金属和焊料的相互作用将引起热敏电阻的改变。热沉的控制温度高于预期值将导致激光二极管驱动电流的增加。

A.2.4 封装和光纤

光纤头和激光二极管端面之间必须严格对准，以保持恒定的尾纤输出光功率。对于单模光纤与激光二极管的耦合，要求对准精度在亚微米内，或者用透镜降低对准容差。

激光二极管模块工作寿命试验中的某些早期失效，是因为光纤位置改变引起的光纤出射光功率损耗导致的。光纤出光功率降低引起的失效在温度循环试验中可以观察到。温度循环试验也可以观察到纤尾收缩导致的光纤损坏。对于密封封装，管壳内部要充以干燥的惰性气体，以避免内部金属被腐蚀一类的问题。因此密封性和内部水汽含量试验是必要的。

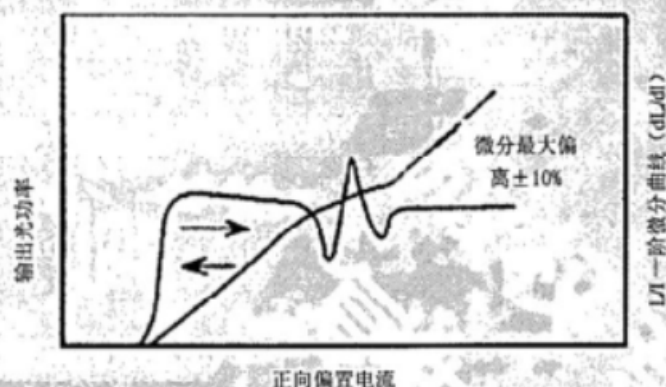


图 A.1a 辐射功率扭折—正向电流曲线

版权专有

复制无效

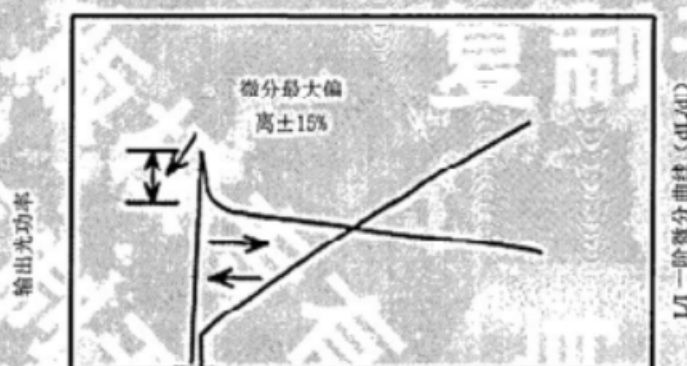


图 A.1b 辐射功率突变

图 A.1 激光二极管电流的非线性特性



图 A.2 典型失效率曲线

版权专有

复制无效

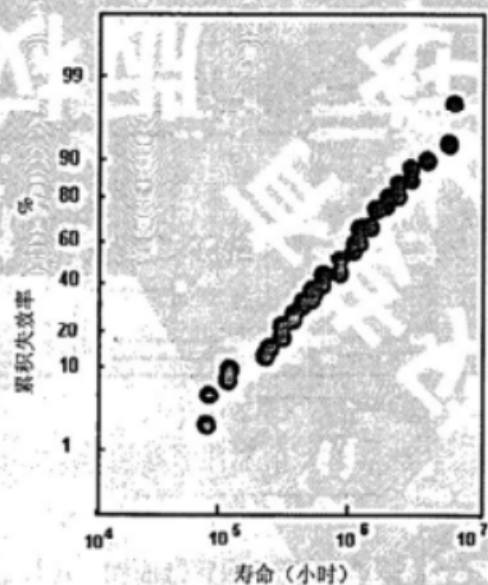


图 A.3 显示失效率对数分布

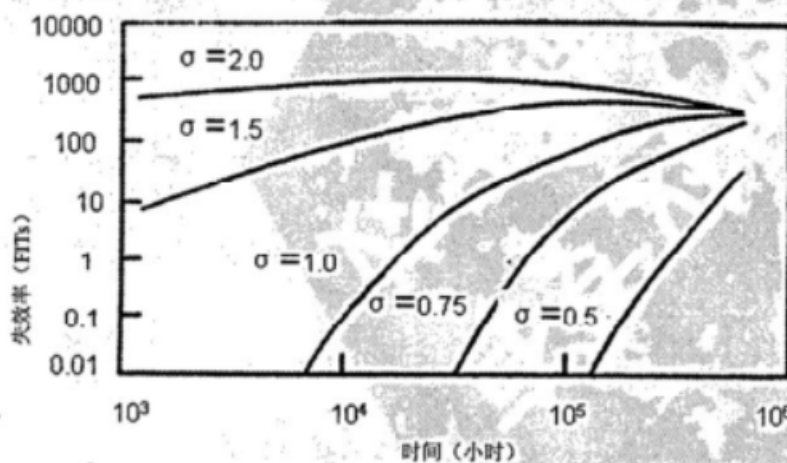


图 A.4 元件的理论失效率相对于寿命呈对数分布, 平均寿命在 0.5×10^6 到 2.0×10^6 小时之间

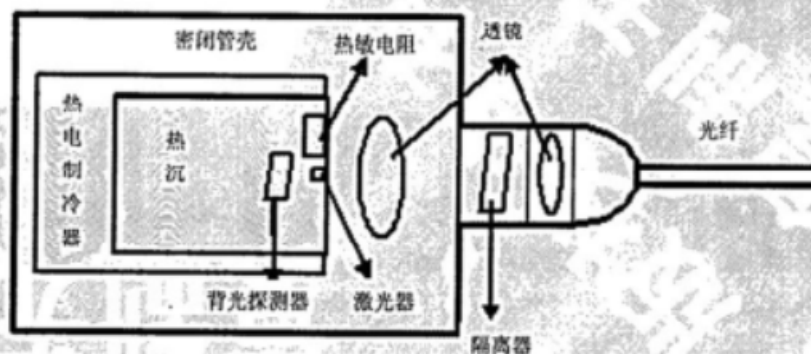


图 A.5 典型激光二极管模块顶视图, 关键元件如图所示

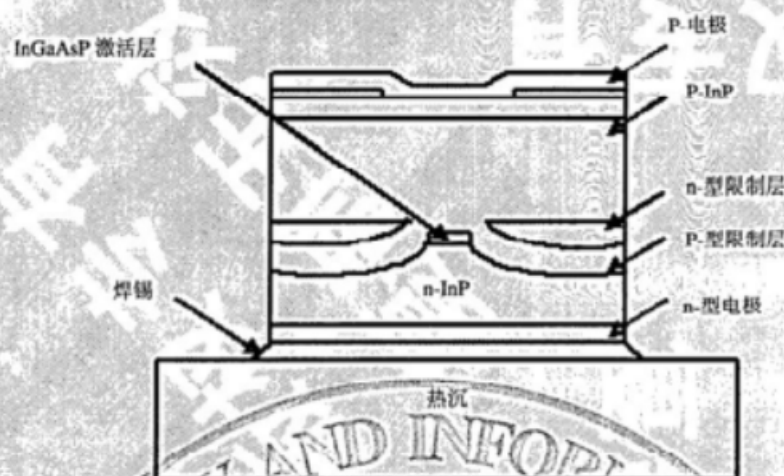


图 A.6 典型掩埋异质结激光二极管截面图 (压焊面向上)

中 华 人 民 共 和 国
电 子 行 业 标 准
通信用激光二极管模块可靠性评定方法
SJ/T 11403—2009

*

中国电子技术标准化研究所 编制
中国电子技术标准化研究所 发行

电话: (010) 84029065 传真: (010) 64007812
地址: 北京市安定门东大街1号
邮编: 100007
网址: www.cesi.ac.cn

*

开本: 880×1230 1/16 印张: $1\frac{9}{16}$ 字数: 29千字

2009年12月第一版 2009年12月第一次印刷
印数: 200册 定价: 55元

版权专有 不得翻印
举报电话: (010) 64007804