

## 用于电信设备的光电子器件的一般可靠性保证要求

### 目录

<b>1. 绪论</b>	
1.1 范围和目的.....	8
可靠性保证 - 概述和基本原理	
1.2.1 可靠性保证概述.....	8
1.2.2 可靠性保证一般要求的基本原理(略)	
1.3 文件的历史(略)	
1.4 相关的 Telcordia 文件(略)	
1.5 术语.....	9
1.5.1 器件术语.....	9
1.5.2 供应商, 厂商和客户.....	12
1.5.3 工作环境.....	12
1.5.3.1 CO 环境.....	12
1.5.3.2 UNC 环境.....	12
1.5.4 质量水平.....	12
1.5.5 失效率.....	13
1.5.6 要求术语.....	13
1.6 要求标记惯例(略)	
<b>2. 可靠性保证程序</b> .....	13
2.1 供应商资格审查和器件验证.....	13
2.1.1 规范和控制.....	14
2.1.2 供应商资格审查.....	14
2.1.3 器件验证一般程序的相关标准.....	15
2.1.3.1 验证测试文件.....	15
2.1.3.2 相似器件的验证.....	16
2.1.3.3 验证的组件水平(略)	
2.1.3.4 临时使用的器件.....	16
2.1.3.5 使用供应商提供的资料.....	17
2.1.3.6 内部制造器件的处理.....	17
2.1.3.7 验证测试的抽样.....	17
2.1.3.7.1 LTPD 抽样方案.....	17
2.1.3.7.2 验证中不合格器件的使用.....	18
2.1.3.7.3 小批量器件的处理.....	18
2.1.3.7.4 附加样品的特性测试数据.....	19
2.1.3.7.5 应力测试的附加考虑因素.....	19
2.1.3.8 验证失败的器件规则.....	19
2.1.4 重新验证.....	19
2.2 逐批控制.....	21
2.2.1 批的定义.....	21
2.2.2 采购规范.....	22

2.2.3	逐批控制的抽样.....	22
2.2.3.1	以 AQL 为基础的抽样.....	22
2.2.3.2	小批量器件的处理.....	22
2.2.4	源流检验 / 进料检验.....	22
2.2.4.1	使用供应商提供的数据.....	23
2.2.4.2	内部制造器件的处理.....	23
2.2.4.3	用于采购模块的器件的控制.....	23
2.2.5	逐批控制文件.....	23
2.2.6	逐批控制的测试范围.....	23
2.2.6.1	外观检验.....	23
2.2.6.2	电气和光学测试.....	24
2.2.6.3	筛选.....	25
2.2.7	数据记录和保留.....	25
2.2.8	供应商历史记录数据的汇总.....	25
2.2.9	不良器件和不良批的处理.....	26
2.2.10	来料免检程序.....	26
2.3	反馈和纠正措施.....	27
2.3.1	逐批控制数据.....	27
2.3.2	电路板测试和老化(略)	
2.3.3	系统水平测试和老化(略)	
2.3.4	现场返回器件的修复.....	27
2.3.5	未经证实的电路板失效.....	28
2.3.6	数据的收集和分析.....	28
2.3.7	器件失效的分析.....	28
2.4	器件的存储和处理.....	28
2.4.1	不合格材料.....	28
2.4.2	材料复查系统.....	28
2.4.3	仓库存货规则.....	29
2.4.3.1	FIFO 存货法.....	29
2.4.3.2	重工器件.....	29
2.4.4	ESD 预防.....	29
2.5	文件和测试数据.....	29
2.5.1	文件的可用性.....	30
2.5.2	其它信息的可用性.....	30
2.6	器件的可用性.....	31
2.7	环境，健康，安全和物理设计考虑因素(略)	
3.	测试程序.....	31
3.1	一般测试程序标准.....	31
3.1.1	标准化测试程序.....	31
3.1.2	测试仪器.....	31
3.1.3	通过 / 失败标准的制定.....	31
3.1.4	可选的测试条件.....	32
3.1.4.1	等效测试条件的计算.....	32

3.1.4.2	活化能量.....	33
3.1.4.3	与多重失效机理相关的附加考虑因素.....	33
3.2	特性测试程序.....	34
3.2.1	光谱特性.....	34
3.2.1.1	MLM激光器的光谱特性.....	35
3.2.1.2	SLM激光器的光谱特性.....	36
3.2.1.2.1	连续波激光器的考虑因素.....	37
3.2.1.2.2	WDM激光器的考虑因素(略)	
3.2.1.2.3	可调激光器的考虑因素(略)	
3.2.1.2.4	高比特率应用的考虑因素.....	37
3.2.1.3	LEDs的光谱特性.....	37
3.2.2	输出功率 / 驱动电流特性.....	38
3.2.2.1	一般输出功率和L-I曲线测量考虑因素(略)	
3.2.2.2	激光阈值电流.....	38
3.2.2.3	激光阈值电流的温度灵敏度.....	38
3.2.2.4	特定电流水平的输出功率水平	
3.2.2.4.1	阈值电流的激光输出功率(略)	
3.2.2.4.2	LED输出功率.....	39
3.2.2.5	激光L-I曲线的线性度.....	39
3.2.2.5.1	整体线性度.....	39
3.2.2.5.2	拐点.....	39
3.2.2.5.3	饱和度(略)	
3.2.2.6	激光器的斜效率.....	40
3.2.2.7	相对强度噪声.....	40
3.2.2.8	EELED高效发光.....	40
3.2.2.9	EELED激光发射的阈值.....	41
3.2.3	激光器的电压 - 电流曲线.....	41
3.2.4	调制输出特性.....	41
3.2.4.1	调制信号形状.....	41
3.2.4.1.1	眼孔图样.....	41
3.2.4.1.2	上升和下降时间.....	42
3.2.4.2	消光比和调制深度.....	44
3.2.4.3	导通延迟.....	44
3.2.4.4	截止频率.....	45
3.2.5	可调激光器特性.....	45
3.2.6	出射光场和元件排列	
3.2.6.1	远场图形.....	45
3.2.6.2	耦合效率.....	46
3.2.6.3	前后向寻迹比值偏差.....	46
3.2.6.4	前后向寻迹误差.....	47
3.2.6.5	偏振消光比.....	47
3.2.7	调制器的光学和电气特性.....	47
3.2.7.1	EA调制器特性.....	47

3.2.7.2	外部调制器特性.....	48
3.2.8	光电检测器特性	
3.2.8.1	效率.....	49
3.2.8.2	空间同质性.....	49
3.2.8.3	线性度.....	50
3.2.8.4	监控光电检测器的光电流.....	51
3.2.8.5	暗电流.....	51
3.2.8.6	容抗.....	51
3.2.8.7	截止频率.....	51
3.2.8.8	击穿电压.....	51
3.2.8.9	过量噪声因数.....	51
3.2.9	接收机特性.....	52
3.2.9.1	接收的光功率水平.....	52
3.2.9.2	输入信号的衰变容限.....	52
3.2.10	器件的物理特性	
3.2.10.1	内部湿度和密封性(略)	
3.2.10.2	ESD测试.....	53
3.2.10.3	易燃性.....	53
3.2.10.4	晶片抗切强度(略)	
3.2.10.5	可焊性(略)	
3.2.10.6	线粘合强度(略)	
3.3	应力测试程序.....	53
3.3.1	机械完整性测试.....	53
3.3.1.1	机械冲击和振动测试.....	53
3.3.1.1.1	机械冲击.....	53
3.3.1.1.2	振动.....	54
3.3.1.2	热冲击.....	54
3.3.1.3	光纤性能测试.....	54
3.3.1.3.1	扭曲测试(略)	
3.3.1.3.2	侧面拉力测试.....	54
3.3.1.3.3	Cable保持力测试(略)	
3.3.1.4	连接器和插口器件的耐久性测试.....	54
3.3.1.4.1	配对耐久性测试.....	54
3.3.1.4.2	摆动测试.....	54
3.3.1.4.3	拉力测试.....	54
3.3.2	无驱动的环境应力测试	
3.3.2.1	存储测试.....	55
3.3.2.2	温度循环.....	55
3.3.2.3	湿热测试.....	55
3.3.3	有驱动的环境应力测试	
3.3.3.1	高温工作测试.....	55
3.3.3.1.1	测试时间和温度的考虑因素.....	56
3.3.3.1.2	其它测试条件的考虑因素.....	56

3.3.3.1.3 高温工作测试的适用性.....	57
3.3.3.2 循环抗湿性.....	57
3.3.3.3 湿热(非密封器件的有驱动测试).....	58
3.4 加速老化.....	58
3.4.1 高温加速老化.....	58
3.4.1.1 恒温测试.....	58
3.4.1.2 替代的(变温)测试.....	59
3.4.1.3 激光器的附加考虑因素.....	59
3.4.1.4 光电二极管的附加考虑因素.....	59
3.4.1.5 外部调制器的附加考虑因素.....	59
3.4.2 温度循环测试.....	59
3.4.3 非密封模块的湿热测试.....	60
3.4.4 失效率和可靠性计算	
3.4.4.1 失效率.....	60
3.4.4.2 逐步劣化分析.....	60
3.4.4.3 可靠性计算.....	61
3.4.4.4 结果报告.....	61
<b>4. 光电子器件的验证.....</b>	<b>62</b>
4.1 特性	
4.1.1 特性测试.....	63
4.1.2 特性测试的通过/失败标准.....	67
4.2 应力测试	
4.2.1 机械完整性和环境应力测试.....	68
4.2.2 应力测试的通过 / 失败判定.....	71
4.3 泵浦激光模块验证的考虑因素.....	71
4.4 集成模块验证的考虑因素	
4.4.1 样品大小和组件水平的考虑因素.....	72
4.4.2 工作冲击和振动测试.....	72
<b>5. 光电子器件的可靠性测试</b>	
5.1 加速老化测试.....	72
5.2 加速老化的寿命结束门槛值和失效.....	74
<b>6. 光电子器件的逐批控制.....</b>	<b>75</b>
6.1 外观检验(略)	
6.2 电气和光学测试.....	75
6.3 筛选	
6.3.1 程序.....	75
6.3.2 筛选的通过 / 失败标准.....	75
<b>7. 其它组成器件的验证和逐批控制.....</b>	<b>76</b>
7.1 热电冷却器.....	76
7.1.1 TEC 的指定测试信息	
7.1.1.1 热电冷却器和温度传感器的检查.....	76
7.1.1.2 功率循环测试.....	76
7.1.2 TEC 的验证.....	76

---

7.1.3 TEC 的逐批控制.....	77
7.4 光纤尾线和光学连接器.....	78
7.5 一般电气 / 电子元件(略)	
7.6 混合器(略)	
附录 A :抽样计划表.....	79
附录 B : 参考资料(略)	
附录 C : 符号, 单位, 缩写词和首字母简略词.....	82

### 图目录

图 1-1 可靠性保证程序的组成要素.....	9
图 1-2 光电子器件模块的设计实例.....	10
图 1-3 一般激光模块的设计原理图.....	11
图 3-1 有不同活化能量的两个失效机理实例.....	34
图 3-2 MLM 激光器的光谱.....	36
图 3-3 带拐点的 L-I 和 $dL / dI$ 曲线图.....	40
图 3-4 高比特率信号眼孔图样测试的遮光板实例图.....	42
图 3-5 上升和下降时间的定义.....	43
图 3-6 导通延迟的测量.....	44
图 3-7 激光远场图样测量.....	46
图 3-8 空间同质性测试结果图.....	50
图 3-9 光电检测器的线性测试结果图.....	50

表目录

表 1-1 质量水平定义.....	12
表 2-1 验证中器件的临时使用.....	16
表 3-1 理论活化能量.....	33
表 3-2 失效率报告格式.....	62
表 4-1 光电子器件特性的典型性能参数.....	64
表 4-2 器件的物理特征.....	67
表 4-3 机械完整性测试.....	68
表 4-4 无驱动的环境应力测试.....	69
表 4-5 有驱动的环境应力测试.....	69
表 4-6 集成模块的工作冲击和振动条件.....	72
表 5-1 加速老化测试.....	73
表 7-1 TECs 的物理特性和应力测试.....	77
表 A-1 LTPD 抽样表.....	79
表 A-2 样品大小字码(一般检验水平) .....	79
表 A-3 正常检验的一次抽样方案(主抽样表) .....	80
表 A-4 正常检验的二次抽样方案(主抽样表) .....	81

## 1. 绪论

### 1.1 范围和目的

本文以 Telcordia 的观点提出了建议性的一般可靠性保证规则，这些规则适合大部分用于电信设备的光电子器件，例如异步的和同步的光纤终端设备和分插复用器(TMs 和 ADMS)，数字交叉连接系统，光放大器，通用的或综合数字环路载波系统以及光纤回路(FITL)系统。本文涵盖的器件包括主动器件：例如激光(激光二极管和激光模块)，发光二极管(LEDs 和 LED 模块)，光电检测器(光电二极管和检测器或接收机模块)，以及 EA 调制器和外部调制器等。忽略封装形式或集成度，这些器件的预期工作寿命为 20 年。

本文直接面向设备厂商和光电子器件供应商的设计，工程，制造和品保部门。帮助确保通信设备中，光电子器件的可靠工作，并且帮助厂商、服务提供商和最终用户将成本减至最低。通过确立一套最低的可靠性保证规则，来降低成本，确保器件的性能，厂商、服务提供商和最终用户都能够从中受益。

#### 1.2.1 可靠性保证概述

光电系统的基本可靠性基本上可以等同于组成元件的可靠性。而且在许多情况下，一旦元件组合成更高级别的组件，通常就不能够彻底测试它们的性能和可靠性。因此让器件供应商和设备厂商制定程序，来帮助确保元件水平，很有必要。

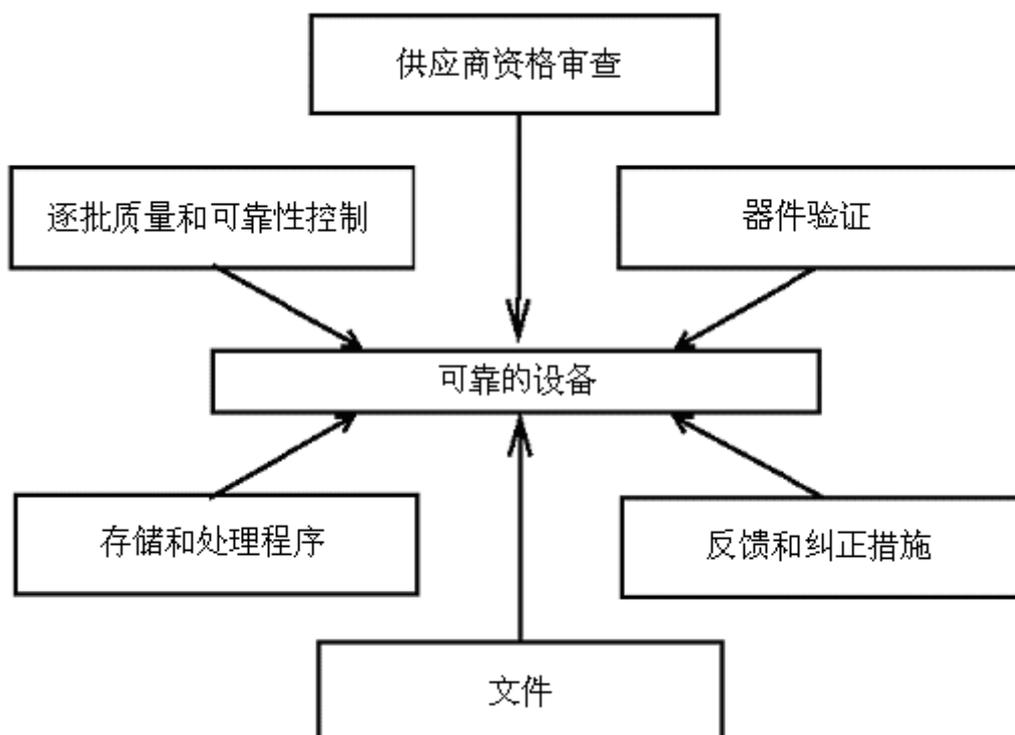
一个完整的可靠性保证程序包括：

- 供应商资格审查
- 器件验证
- 逐批质量和可靠性控制
- 反馈和纠正措施
- 存储和处理程序
- 文件

因此，在一个设计良好的可靠性保证程序中，器件都购自经过资格审查的供应商，做过初始验证，并且以适当的时间间隔做重新验证。另外，每一批次都经过测试和分析，在制程和现场应用中发现的任何问题，都有纠正和改善措施。同时相关信息都有及时反馈给供应商，作为供应商资格审查的参考。器件经过适当的存储，避免了过热和过湿。对于特殊器件，供应商和厂商都有采取ESD预防措施。最后，可靠性保证程序的记录非常完整，确保

了文件的一致性和持续性。图1-1列出了所有的组成要素(一个完整的可靠性保证程序)。

图1-1 可靠性保证程序的组成要素



## 1.5 术语

为了确保一般应用和对术语的理解，下文描述了与标准，光电子器件，工作环境及其它要素相关的各种术语。

### 1.5.1 器件术语

下面定义了光电子器件组立的5级水平。从“最低级”到“最高级”，分别为晶片，二极管，次模组，模块和集成模块水平。

- 晶片水平 - 是指在制作阶段，单个的元件仍然结合在半导体材料的“基片”中。总体而言，本文没有包括该水平的相关测试标准。
- 二极管水平 - 在晶片刻线或晶片切割后，每一个二极管或芯片通常被安装在基座，散热片或者其它类型的载体上，同时还会有机械，电气和热接触。这些简化了测试和/或包装的处理，但是没有增强器件的功能性。因此，可以对“基座组件”上的二

极管或芯片进行有效的测试。本文的许多标准涉及确保器件在二极管水平的可靠性，主要是为了降低制造和测试成本。

- 次模组水平 - 在某些情况下，基座组件可以封装成一个晶体管外壳(TO)类型的金属套壳或类似封装，形成一个次模组。跟模块水平不同，次模组通常不会直接应用于电信系统的电路组件中。特别是对于直接的光学接触面，大多数次模组都没有必要的防护设计。因此，本文通常不包括特别适用于该水平的标准。
- 模块水平 - 这里定义的模块，是一个小型组件单元，包含一个或者多个激光器，LED，光电二极管或调制器件(或一个或多个更小的，包含这些器件的模块)。与基座组件或次模组相比，模块提供了更简单的电气和光学连接。另外，模块通常是能够影响耦光的最高级别组件，同样也是可以密封封装的最高级别组件。

除了主要的光电子器件之外，一般的模块设计可以包含许多元件。下面列出了可能用到的一些模块元件。其中，蓝色字体指的是：组立光电模块必须用到的器件。

- 激光二极管，LED，光电二极管或调制器件
- 载体结构
- 监控光电二极管(适用于激光模块)
- 光学隔离器(适用于激光模块，可能还有其它模块，包括光源)
- 热电冷却器(TEC)
- 控制器电路
- 有电气接触或导线的模块盒
- 光纤尾线，光学连接器或者插口

图 1-2 列举了几个光电次模组的例子，它们通常用于电信系统。图 1-3 是某一种类型模块的一般设计图。

- 集成模块 - 它是一个复杂的组合部件，至少含有一个光电子器件，不符合模块的定义，并且比一块电路板还要小。例如，一个集成的 transceiver 模块由一个光发射机模块，一个接收机模块和若干电子元件(焊在 PCB 板上)构成。对于集成模块的光电子器件，通过测试获得的光学和电气参数极为有限。此外，基于成本的考虑，会限制集成模块样品的数量，但是不会影响器件的验证。

图 1-2 光电子器件模块的设计实例

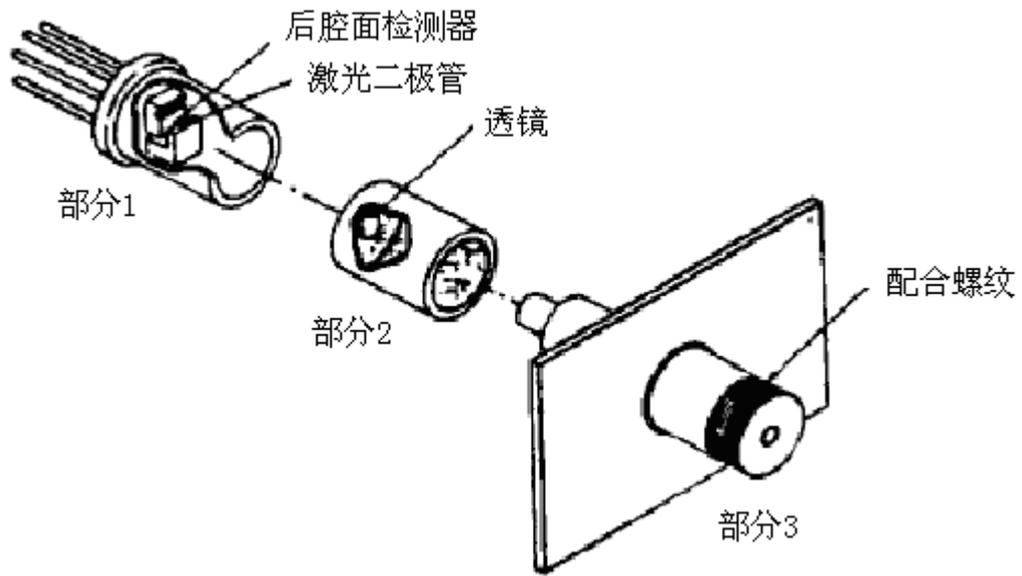


图 1-2 光电子器件模块的设计实例(接上图)

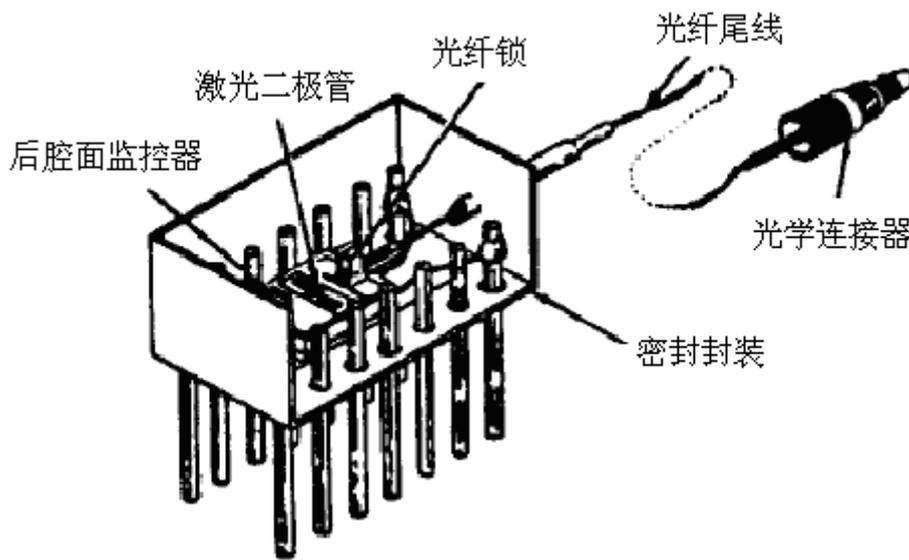
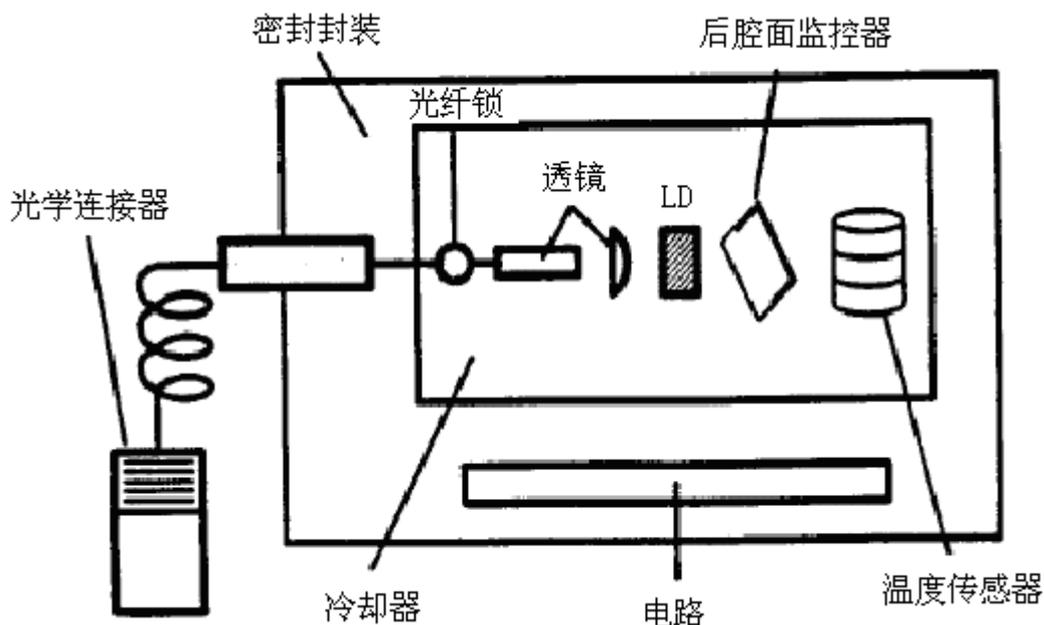


图1-3 一般激光模块的设计原理图



### 1.5.2 供应商，厂商和客户

在本文中，术语“器件供应商”指将器件/元件提供给“设备厂商”的任何实体。另外，“客户”指任何接受和使用器件/元件/设备的实体。

### 1.5.3 工作环境

光电子器件通常用于两种工作环境：分别为中心控制室(CO)和其它控制环境(通称CO环境)以及未受控(UNC)环境。这些环境对器件的应力测试有重要影响，如果器件不够稳定，会产生可靠性问题。因此，在器件可能要工作的特殊环境中，会有许多相关的可靠性保证标准。

#### 1.5.3.1 CO环境

CO环境：将长期的环境温度限定在 $+5 \sim +40$  的范围。另外对于短周期(也就是，达到96个连续小时，并且每年总共不超过15天)，温度最低可以达到 $-5$  或最高 $+50$  。这些相同的限制可以在远程站点以适当的环境控制完成(如在受控环境舱(CEVs)中)。本文的“CO”同时指中心控制室和其它受控环境。

#### 1.5.3.2 UNC环境

UNC环境的温度范围是  $-40 \sim +46$  。可以参见[GR-487-CORE, 电子设备箱的一般要求](#)

### 1.5.4 质量水平

“质量水平”指出了器件供应商和/或设备厂商的器件可靠性保证程序的范围和深度。

[表1-1](#)定义了四种质量水平，质量水平0最低；质量水平 最高。

表1-1 质量水平定义

质量水平	描述
0	该水平适用于商业级别的器件，已经采取了重新设计，重新制造，重工，回收加工等措施，来确保器件的兼容性。但是没有进行器件验证和逐批控制。另外，该水平同样适用于(采用了这些器件的)设备。
I	该水平适用于商业级别的器件： (a) 已经采取措施确保器件和设计应用(如质量水平0)以及制程兼容。 (b) 具备有效的反馈和纠正措施程序，来快速确定和解决制程和现场产生的问题，但是没有进行彻底的器件验证和逐批控制。另外，该水平同样适用于(采用了这些器件的)设备。
II	该水平的器件满足上面的(a)和(b)，加上下列各项： (c) 采购规范中，应该清楚地注明重要的特性(光学，电气以及机械特性)和逐批控制的允收质量水平(AQLs) (d) 在核准的器件 / 供应商目录上，应该证明器件和供应商是合格的(器件验证应该包括适当的特性和可靠性测试)； (e) 逐批控制应该有足够的AQLs，来确保质量。 另外，该水平同样适用于(采用了这些器件的)设备。
III	该水平的器件满足上面的(a) - (e)，并加上下列各项： (f) 器件系列必须定期做重新验证 (g) 逐批控制应该包括100% 筛选(例如，温度循环和老化)的初期寿命可靠性控制；如果能够保证结果，可以简化为一个“可靠性”稽核(例如，对一个样本主要成分的老化) 或者一个有效的，累计初期失效值(根据预期的随机失效率)在10000小时以上的“可靠性监控” (h) 在使用筛选的地方，应该指定容许不良率(PDA)并且指定 (i) 一个持续的可靠性改善程序(由器件供应商和设备厂商共同执行)。 另外，该水平同样适用于(采用了这些器件的)设备。

### 1.5.5 失效率

通常根据特殊类型器件的“FIT率”来提出它的失效率，这里的一个FIT相当于每十亿器件工作时间有一个失效。虽然通常在讨论和介绍的时候，它好像是一个常数，但是它的比率一般会随时间发生明显的变化。此外，在器件寿命的不同部分中，不同类型的失效通常具有不同的失效率特性。在许多情况下，主要的失效类型如下：

- 初期失效：发生在寿命初期，通常可以由一个设计良好的筛选程序检测出来。
- 随机失效：发生率相对稳定，如果没有良好的测试，通常不可能预测准确。
- 衰减失效：失效率通常会随时间增大，并且有时能够根据加速老化的测试结果做出合理的预测。

三种类型的失效组合在一起，就构成了完整的失效率函数，它是一条近似的“浴缸曲线”。

### 1.5.6 要求术语

本文用到了下列术语：

- **要求** - 特征或功能，根据Telcordia的观点，必须满足一个典型客户公司的需求。不满足需求可能会引起应用限制，导致不正确的产品机能，或者器件不能正常工作。要求用字母“R”标记。
- **条件要求** - 特征或功能，根据Telcordia的观点，必须满足一个特定客户公司的需求。条件要求用字母“CR”标记。
- **目标** - 特征或功能，以Telcordia的观点，是一个品质目标。目标用字母“O”标记。

## 2 可靠性保证程序

本章包括不同程序的标准，这些程序可用于确保所有类型光电子器件的可靠性。这些程序包括供应商资格审查和器件验证，逐批控制，反馈和纠正措施程序，器件存储和处理，以及文件和测试数据。

### 2.1 供应商资格审查和器件验证

供应商资格审查和器件验证用于判定器件能否满足设备厂商的要求。它涉及对供应商的质量和可靠性保证程序的评估，对器件特性的衡量以及对长期可靠性的检验。由于用在操作系统上的光电子器件非常关键，(产品中使用了这些器件的)电信设备厂商必须确保供应商提供的器件性能良好。

**R2-1 [1v2]** 制造电信设备的设备厂商在使用光电子器件时，应该制定供应商资格审查和器件验证程序，并做相应的记录。这些程序包括：从核准的供应商名录 (ASL, 又称为 AVL (核准的卖家名录) 或 AML (核准的厂商目录)) 和核准的零件目录 (APL)中增加和删除供应商和器件信息。

**R2-2 [2v2]** 除了2.1.2节之外，作为供应商资格审查程序的一部分，设备厂商应该参观供应商的制造场所，同时检查生产设备和执行的测试规则。对供应商正在使用的品保 / 品检 (QA / QC)程序，以及现有的产品质量和可靠性数据，设备厂商应该引起特别的注意。只有那些产品质量可靠的供应商才可以考虑作为合格的供应源。

对预期使用的光电子器件，设备厂商通常要从许多验证和逐批控制的测试中获得结果。在许多情况下是由他们自己执行测试来获取这种结果的。然而在其它情况下，设备厂商可能会选择在自己的独立试验室中进行测试，或者使用供应商提供的数据(如果供应商的正式稽核 / 监控程序结合在一起)。

#### 2.1.1 规范和控制

设备厂商有责任指定和控制 (用于产品中的) 器件。主要有两种方式：规范和ASLs/APLs。

**R2-3 [4v2]** 对所有用于系统制造的光电子器件，都应该确定规范或者类似的管制文件。内容包括所有相关的性能，质量和可靠性要求，允许的工作条件(例如，最低和最高额定

工作温度，电源电压等)，以及逐批控制。在做初始验证时，应该包括大部分用于描述器件特性的功能参数。

**R2-4 [5v2]** 应该由制造、QA 和采购部门共同维护 AVLs 和 APLs, 以作为常规应用，并且视为一种“受管制的”文件。除了 2.1.3.4 节论述的以外，只有通过资格审查的供应商和通过验证的部件，才可以作为采购规范的参考，并列入 AVLs 和 APLs 中。

### 2.1.2 供应商资格审查

在器件验证之前(或同时进行)，器件供应商需要经历资格审查程序。它是一个正式的，成文的程序，通常包括检查供应商的工厂设施或者复查。除了本章中的标准以外，ISO9000标准中也制定了一部分关于供应商的资格审查程序。

**R2-5 [6v2]** 供应商的资格审查标准包括审查供应商的QA / 统计质量控制(SQC)数据 ,以及可靠性数据的有效性。供应商应该提供典型的质量和可靠性测试数据(例如，加速老化测试数据和筛选结果)。这些数据应该能够表明：器件的设计可靠，性能良好，具有长期的稳定性。

**R2-6 [7v2]** 设备厂商应该清楚地记录供应商资格审查的结果(包括对供应商的调查)，参见 R2-1 [1v2]。

**R2-7 [8v2]** 供应商的接受报告至少应该保留5年。

**R2-8 [9v2]** 至少要每隔2年对通过资格审查的供应商做重新考核。

如R2-2 [2v2] 所指出，在供应商资格审查过程期间，通常希望设备厂商亲自参观供应商的工厂并且完成调查。即使器件在不同的国家生产，组立或测试，仍然适用。但如果这样做存在困难，设备厂商通过彻底核查可靠性测试数据和统计质量控制数据，也可以证实供应商的管控工作良好。如果供应商通过ISO质量合格认证组织的认证，符合ISO9000相关标准，就不需要对供应商做实地评估，这取决于设备厂商。

### 2.1.3 器件验证一般程序的相关标准

器件验证主要有两个目的。首先，验证过程的特性部分用于证实器件满足设备厂商性能要求的能力。同样，程序的机械完整性和环境应力测试部分(即应力测试部分)旨在证明器件设计，制造材料以及工艺的良好，并且具有长期的可靠性。

#### 2.1.3.1 验证测试文件

本文提供了合适的测试程序，顺序和单个器件代码验证测试的样本大小。

**R2-9 [10v2]** 测试发生变更时，应该向客户提供书面通知。另外，应该依据请求提供支持的数据。

**R2-10 [389]** 验证规则和程序文件应该包括：

- 验证测试的计划表

- 执行的测试和测量
- 测试和测量程序
- 抽样计划和待测样品(从经过验证的器件中选出)的任何允许偏差。
- 确定测试是否通过的标准
- 测试数据保留格式的规范
- 测试失效结果和报告的分类
- 当发生失效时采取的纠正措施

**R2-11 [11]** 记录用于器件验证的实际规则和程序。

**R2-12 [12]** 应该清楚地记录验证测试的结果，至少保存5年。

**R2-13 [390]** 验证程序的结果报告应该包括足够的信息和详细资料，这样就一目了然。该报告至少应包括下列各项：

- 验证程序的范围和验证的工作条件是有效的(例如，CO，UNC环境)
- 执行的一系列测试，以及测试方法的描述
- 用于每一个测试的器件的描述，以及开始数量
- 对于每一个应力测试，则包括判定器件是否通过测试的描述，以及每一个测量方法的描述或参考。
- 每一个测试或测量的通过 / 失败标准，以及特殊值的判定。
- 测试和测量的结果，包括测试通过和失败的器件数量。

**O2-14 [13]** 验证测试的结果至少应该保存10年。

除了验证规则，程序和结果以外，在某些情况下，可能有必要保留(用于验证程序的)实际的样品。

### 2.1.3.2 相似器件的验证

因为器件制作，组立或筛选的一小差异就会对可靠性产生重大影响，所以光电子元件不能按照普通(非光电子的)元件做相似的验证。然而在某些情况下，这种验证是可行的。例如激光模块的“产品系列”，具有相同的模块封装和相同的激光二极管芯片(出自同一产线)，不同的只是耦合输出功率。在这种情况下，该系列的测试必须采用最高的测试要求。此外，如果新器件是在原有产品的基础上研发的，那就没有必要重复整个验证。相反的，充分了解失效和劣化机理，可以用来确定哪些验证测试必须执行。如果应用了相同的技术平台，由同一供应商生产，制程相同且在一个指定的生产场所管控，复杂程序和封装类似，就可以使用现有相似产品的验证数据。

**R2-15 [185v2]** 如果提出了相似器件的验证，应该记录其主要内容。

#### 2.1.3.4 临时使用的器件

由于市场策略和竞争问题，设备厂商通常希望所有验证测试完成之前使用新产品。至于证明可靠性所必需的漫长测试是一个敏感的问题。根据许多厂商以及Telcordia的可靠性测试经验，通常在测试结束之前，会出现明显的可靠性问题。因此，如果满足下列条件，就可以认为经过初始验证的（有时指初步验证或临时验证）临时使用的器件满足本文的要求（仅允许使用通过验证的器件）。

**R2-17 [17v2]** 为了准许临时使用，器件规范必须通过本文涵盖的其它验证要求。另外，已经完成的测试周期 / 小时的最小数值不小于表2-1的数值。器件临时使用周期的持续时间不超过表2-1所示的最大周期。

表2-1 验证中器件的临时使用

全部测试总时数	在(...时间)以后允许临时使用	临时使用最长时间
500个周期	100个周期	3个月
1000小时	500小时	3个月
2000小时	1000小时	3个月
5000小时	2500小时	6个月

**R2-18 [18v2]** 设备厂商和器件供应商应该有适当的程序给器件 / 设备的客户发通知，里面对在剩余的测试中(也就是，在临时使用期间)发现和证实任何可靠性问题的日期达成了协议。设备厂商和器件供应商同样应该记录采取的措施（有效的，除了通知客户的内容外）程序。

**O2-19 [392]** 在 **R2-18 [18v2]**中涉及的“协议的日期数”应该 5 天，如果为了获取初步的失效分析结果需要延长时间，可以延长为 7 天。

#### 2.1.3.5 使用供应商提供的资料

在许多情况下，器件供应商会执行与验证测试（通常由设备厂商执行）类似的测试。如果测试良好，设备厂商可以使用供应商提供的资料，来满足验证程序中特定部分的要求。

**R2-20 [22v2]** 如果对供应商提供的资料作重要应用，设备厂商应该设定程序来核实这些信息的准确性和有效性。在使用供应商提供的验证资料时，还应该有稽核 / 监控程序。

**O2-21 [23v2]** 这些稽核 / 监控程序应该包括重复特定的测试(通过设备厂商或独立实验室)，和 / 或详细地检查器件供应商的测试方法，设施，数据收集和分析规则等。

**R2-22 [24]** 所有验证测试的结果都应该记录。

O2-23 [25] 验证记录的报告至少应该保存5年。

### 2.1.3.6 内部制造器件的处理

R2-24 [26v2] 由设备厂商自己，或者由相同母公司的其它公司内部制造的器件，应该满足关于采购部件的相同验证和重新验证标准。

R2-25 [27v2] 应该从设备厂商的工厂获取实时的（内部制造器件的）测试数据，并且定期复查这些信息。如果出现问题，厂商应该能够迅速提供这些数据。

### 2.1.3.7 验证测试的抽样

#### 2.1.3.7.1 LTPD抽样方案

“LTPD”，“SS”和“C”的定义如下。

- LTPD指的是批容许不良率。
- SS指的是在指定的LTPD下，推荐的样本大小。
- C是推荐的样本大小中允许的最大失效数。

附录A中给出了LTPD抽样简表

R2-26 [105v2] 用于验证测试(和 / 或可靠性测试，见第5节)的器件样品至少要从三个晶片或批中随机选取，并且经过正常的筛选步骤。如果不可行，器件供应商或设备厂商应该证明采取的步骤是正确的并做记录。

注意，特别是在模块的情况下，经过验证，从3个不同的批中(例如，在验证期间，所有可用的模块可能来自于一个单独批) 选抽样品不可行。同样也要注意，在将二极管水平的测试延迟到模块水平(见2.1.3.3节)时，仍然适用 (样本至少从3个晶片中选取)的二极管抽样要求。

R2-27 [393] 在每一个验证或加速老化测试中，待测器件数目不少于R4-8[110v2] 或者相应表中(例如，表4-2，表4-3)的“注释”或“SS”列中指定的样本大小。同样，除了下面的例外，验证测试失败的器件样品数不大于 (要求或者表中) 给定的数值“C”。

下面是R2-27[393]中提到的例外：

- LTPD抽样程序本身允许使用更大的样本量，允许的失效数取决于实际的样本大小，如表A-1所示。
- 对潜在的供应商做初步调查时，允收 / 拒绝标准不需要太严格(例如，对允许的失效数，不需要一个特定值)。

上面的第二种例外，适用下面的目标。

**O2-28 [111v2]** 设备厂商对潜在的供应商做初步调查时，如果发现失效，需要考虑的是停止待解决的失效分析，以确定问题的原因和严重程度。

注意，对于任何特殊的验证测试，本文指定的LTPD数值通常不是10就是20，而且跟这些值对应的最小样本大小是22和11。根据表A-1中LTPD值为10的信息，如果在最初的22个样品测试中发现一个不良器件，可以从最初的总体中抽取含有16个器件的第二套样本并做测试。如果在第二套样本中没有发现不良器件，可以认为产品在38个样品中只有一个不良，并且通过10%的LTPD标准。同理，对于数值为20的LTPD，如果在最初的11个样品的测试中发现一个不良器件，可以对第二套样本的7个器件做测试。如果没有发现另外的不良器件，那么它满足20%的LTPD标准。

#### 2.1.3.7.2 验证中不合格器件的使用

在许多情况下，由于次要原因不满足设备厂商(或器件供应商)的性能标准的器件可以用于特定的验证测试，这样减少了验证测试的成本。例如，一个光学波长或者谱宽在规范之外的器件，对于各种物理特性测试(有几个是破坏性的)或应力测试来说已经足够。

**R2-29 [16v2]** 设备厂商(或器件供应商)应该详细记录在验证测试中如何使用不合格器件。

#### 2.1.3.7.3 小批量器件的处理

即使可能用到的数量很小，本文涵盖的光电子器件仍然非常重要。同样的，它们通常不能免除任何完整的验证程序。

**R2-30 [19v2]** 由于使用量小(或其它原因)而免除完整的验证程序，应从技术上证明其合理性。并且根据请求复查时，需要具备有效的证据。

#### 2.1.3.7.4 附加样品的特性测试数据

**O2-31 [394]** 除了从R4-8[110v2]和表4-2中的样本总体获得的数据之外，设备厂商同样可以从器件供应商的一个更大总体中(例如，50 - 200个器件，至少有3个不同的日期喷码)得到数据。统计分布(例如，最小值，最大值，平均值和 $3\sigma$ )的实测参数应该同规格范围和设计要求的富余量。

#### 2.1.3.7.5 应力测试的附加考虑因素

通常将相同的测试样品用于多个应力测试中，来减少验证需要的样品总数。但是，在一次测试中产生的器件失效不能忽略，也不能作为累积应激损伤的结果，而必须计算在当前测试的失效内。因此，当采取这些措施时，需要小心。同样，虽然应力测试用于检测一种类型的失效机理，但是其它未预料的失效机理常常也会发生，并且通常不能排除。意外的损坏和特殊的环境除外。

**R2-32 [145v2]** 如果相同的器件样品经历了多次应力测试，并且以绝对条件(例如，光输出功率必须是  $-5.0 \sim 0.0\text{dBm}$ ) 指定特殊参数的范围，把它作为通过 / 失败判断程序的一部分做测量，那么累积的劣化应该与当前测试的通过 / 失败标准比较。

同R2-32[145v2]描述的情况相比，如果以相对条件指定特殊参数的范围（例如，前后跟踪限量的变化必须小于5%），仅当变化是由当前测试引起时，才认为是可以接受的。

**R2-33 [33v2]** 如果没有另外指定（也就是，在测试程序中，或者由于意外损坏或特殊环境），对在应力测试中观测到的所有失效都应该做统计和记录，而不管它的失效模式如何。从测试结果中除去任何失效，都要给出正确理由，并且确保这些失效的相关信息在复查时有效。

#### 2.1.3.8 验证失败的器件规则

所有验证都失败的器件类型，定义为器件的验证评估失败。

**O2-34 [14v2]** 对所有验证都失败的器件类型重新测试之前，应该采取适当的失效分析和纠正措施。

**R2-35 [15v2]** 当纠正措施需要对器件的材料，处理，组立或者筛选做重大变更时，应该重复整个验证顺序(不仅仅是失败的测试)。

反之，如果纠正措施轻微或者失效由一系列应力测试(参看2.1.3.7.5节)的累积损伤产生，只需重复失败的测试或重新开始（失败的测试后面的）一系列测试。

#### 2.1.4 重新验证

**R2-37 [34v2]** 由于某些原因（例如，提高性能，削减成本，在制造和现场使用时的质量和可靠性问题），要对产品设计，材料，处理，组立(包括厂房搬迁)或筛选做重大变更时，应该由设备厂商(或器件供应商)执行重新验证。

“重大的”设计或者制造变更的特性需要由设备厂商明确定义。大体上，定义需要包括能够影响产品的性能，安全，质量或可靠性的任何变更(例如，筛选时间的减少，生产场地的变化，材料或元器件有了新的供应商等)。

**R2-38 [35v2]** 设备厂商(或器件供应商)应该记录重新验证的条件。

**R2-39 [36v2]** 设备厂商的合同或采购协议应要求供应商提前告知产品的变化(供应商对产品的设计、材料、工艺、组立或筛选等做一些变更)。

**O2-40 [37v2]** 如果没有一个实时的、有效的可靠性监控程序(符合R2-41[38v2])，当产品没有重大变更时，每一个系列的器件至少应该每两年做一次重新验证。

- 两年内的所有验证标准中(执行测试时，时间间隔不能太小)，执行顺序循环的可靠性测试，是降低成本的一种方法。
- 另一种减少成本的可行方法是使用的样本大小比本文给出的验证标准的最小数量还要小。如果重复测试相同的产品，使两年内测试的器件总数满足样本大小的要求，

对于定期的重新验证是可以接受的。

- 第三种方法使用较短的，但更频繁的应力测试。在这种情况下，最小测试时间应该和这些器件(见表2-1)的“临时使用”的标准相一致。

注意，在第二种方法中，单个器件的验证失败是否会导致重新验证结果的“失败”，取决于仍然在测试的器件总数。例如，如果在一个测试中，需要将一个20%的LTPD分给两个顺序组，每组都有9个器件(总共允许一个失效)，当第一组中有一个器件测试失败时，测试并不自动产生一个“失效”。但是，如果每一组中有一个或多个器件测试失败时，则认为测试“失败”。

如上所述，在某些情况下，器件供应商的“可靠性监控”程序能够有效取代设备厂商执行的重复验证测试。

**R2-41 [38v2]** 如果可靠性监控程序用作验证程序的一部分(参照O2-40[37v2])，那么：

- 在产品验证中，程序应该处理失效机理
- 程序应该和失效模式工程分析结合
- 验证结果应该包括关键的过程控制信息
- 结果不需要记录在器件系列的基本原理中，除非设备厂商主动联系并且同意“系列”的定义。
- 确认现场返回的器件没有可靠性问题。
- 监控程序的测试和条件范围应该符合或超过定期重新验证测试中给定的标准。

## 2.2 逐批控制

除了执行验证测试来确定器件最初的质量和可靠性之外，同样需要全面的控制来确保单批的质量和可靠性。作为这项工作的一部分，在器件规范中必须详细说明重要的性能要求，并且为每一种器件或产品系列建立批量验收标准。另外要定期总结每一个供应商产品的测试结果，并且由供应商分析质量性能。程序文件应该采取措施解决问题，或取消产品质量不合格的供应商资格。

对于光电子器件，逐批控制用于确保单批的质量和可靠性，通常包括外观检验，电气和光学测试，以及筛选。一旦光电子器件用于电路中，通常就不可能充分测试它们的性能或可靠性。因此，单个器件测试可以在供应商的工厂(源流检验)，或在应用的工厂中(进料检验)进行。另外，设备厂商和器件供应商也可以订立“来料免检”程序，在该程序中供应商承担主要责任。此外在某些情况下，质量控制标准如ISO 9000是理想的替代标准(也就是，如果器件供应商符合质量控制标准，就没必要依照其它的特定标准)。

下面的小节处理光电子器件的一般逐批控制问题，而第6节和第7节的标准适用于特殊类型的

光电子器件和特殊器件。

### 2.2.1 批的定义

依照惯例，将批定义为一套满足下列条件的器件：

- 器件由同一个供应商制造，具有相同的器件编号和包装
- 器件的包装日期喷码范围小于6个星期
- 除了特殊情况外（见R2-45[39v2]），一套中的器件数目不超过5000。

一般来说，这个定义比较完善，可以直接用于组成一系列分立批的元件，每一批小于5000个器件[例如，大部分的集成电路(ICs)和晶体管]。然而，在许多情况下，光电子器件以别的方式组成。反之，其它(特别是激光二极管)由很大的数量构成，仅有少数的衬底材料薄片。在后一种情况中，器件批(交付给设备厂商并且组立成模块)应该持续6个月或者更长时间。因此，批的定义用于满足本文的标准，这个标准跟下列标准指定的不同。

**R2-43 [40v2]** 对于以分立批制造的光电子器件，应该使用上述的批定义。

**R2-45 [39v2]** 如果器件批量的定义超过5000个部件，那么抽样规则能够绝对确保随机选择元件的检验和应该执行的测试。

**R2-46 [398]** 如果使用的批有不同的定义，设备厂商(或器件供应商)应该能够证明其技术合理性。

**R2-47 [41v2]** 应该清楚地记录设备厂商(或器件供应商)对批的定义。

### 2.2.2 采购规范

**R2-48 [42v2]** 应该记录逐批控制，作为采购规范的参考。

**O2-49 [43]** 如果器件是在筛选前(例如老化时)购买的，应该在采购规范中指定PDA.

### 2.2.3 逐批控制的抽样

在许多情况下，100%的光电子器件批都要做逐批控制。但是在某些情况下，不需要对100%的器件执行逐批控制。

#### 2.2.3.1 以AQL为基础的抽样

在以AQL为基础的抽样中，批中需要检验或测试的样品数量由下列因素决定：

- 检验程序 - 典型的参数是“正常”。

- 抽样表的类型(即一次、二次或多次抽样方案)
- 批大小(即批中器件的数目)
- AQL - 这是器件不良率的指定值，认为是允收的(大多数时候这些批是允收的)。它类似于基于LTPD抽样的LTPD值(见2.1.3.7.1节)。
- 检验水平 - 一般而言，如果批中不良器件的百分比等于指定的AQL值，那么这个参数是决定接收批概率的主要因素。它有点类似于在2.1.3.7.1节提到的置信水平，但用户不能由选择三个“一般检验水平”或四个“特殊检验水平”来选择一般水平的置信度，并且在一个特殊的检验水平内的概率稍微跟批大小不同。因此，根据抽样的AQL的置信水平并不和基于LTPD的抽样一样固定在90%。
- 批被拒绝之前容许的不良样品数(也就是，跟基于LTPD的抽样的“C”值类似的一个变量)。

### 2.2.3.2 小批量器件的处理

因为本文涵盖的光电子器件很关键，它们通常不能免除任何批测试标准。

**R2-50 [62v2]** 当批规模很小，并且不能证明或支持批允收测试抽样计划的合理性，则整个批都应该经历所有的逐批控制，那些认为具有破坏性的(如果有的话)除外。

**R2-51 [63]** “小批量器件”编号的跟踪应该包含在数据收集和分析程序里面。

### 2.2.4 源流检验 / 进料检验

一般来说，逐批控制可以由设备厂商在供应商的工厂(源流检验)或厂商自己的工厂(进料检验)执行。

**R2-52 [44v2]** 符合的采购规范可以在器件供应商的工厂(源流检验)，也可以在设备厂商的工厂(进料检验)，由设备厂商通过单独器件逐批控制来评估。

在某些情况下，应该由源流检验或进料检验来代替来料免检程序(见2.2.10节)。其它任何有别于传统的源流检验或进料检验的例外都应该制定具体标准。

#### 2.2.4.1 使用供应商提供的数据

如果器件供应商和设备厂商达成了协议，并且满足下列各项标准，设备厂商也可以使用器件供应商提供的数据来代替它自己执行的逐批控制。

**R2-53 [66v2]** 在供应商提供的数据用于逐批控制的情况下，厂商关于批质量的记录应该能够提供可验证的测试结果。

**R2-54 [67v2]** 设备厂商应通过记录验证程序，定期核实供应商提供的结果。

#### 2.2.4.2 内部制造器件的处理

**R2-55 [68v2]** 由设备厂商自己，或者由相同母公司的其它公司内部制造的器件，应该满足关于采购器件的相同逐批控制标准。

如果已经在设备厂商的工厂进行了批测试，在其它地方就不需要重复。

### 2.2.4.3 用于采购模块的器件的控制

**R2-57 [127v2]** 如果正在采购完整的模块(或集成的模块)，设备厂商应该证实供应商对用于采购模块的光电子二极管模块或更低水平的模块采取了适当的逐批控制。设备厂商同样应定期联系供应商来复查二极管模块或更低水平模块的数据(采购模块数据除外)。

### 2.2.5 逐批控制文件

**R2-58 [46v2]** 单个器件的规范应该包括实际的逐批控制规则或参考文件。

**R2-59 [45v2]** 当电气和光学测试用来确定遵循采购规范时，应建立完整的测试计划并做记录。计划应包括执行的测试，测试方法(或参考方法)，测试条件，抽样水平，通过/失败标准，数据收集以及数据的有效使用。

**R2-60 [399]** 当逐批控制程序包含筛选时，应建立一个详细的筛选计划并做记录。该计划包括：执行的筛选(例如，老化，温度循环)和条件，器件的通过/失败标准，批最大允许初始失效率，以及任何条件下的中止或100%筛选的重新制定等(见2.2.6.3节)。

**R2-61 [48]** 逐批控制程序会受到文件管制程序的影响(例如，当它们被新版本取代时，以适当的处理注明日期，作好标记然后删除)。

### 2.2.6 逐批控制的测试范围

如前文所述，用于光电子器件的逐批控制通常包括外观检验，电气和光学测试和筛选。

#### 2.2.6.1 外观检验

外观检验是逐批控制程序的一个部分，在每一个批中至少有一个器件的子集。

**R2-62 [400]** 器件的逐批控制包括外部标记的外观检验。应该记录主要的检验项目，并且应满足一般检验水平II(最小的AQL为2.5%)。

**R2-63 [401]** 对二极管水平的外观检验，检验项目包括：

- 晶体支架，散热片或者其它类型载体的接触良好
- 良好的电线焊接
- 重工时无(外观的)损伤
- 运输或包装材料性能良好

**R2-63 [402]** 对模块(或集成模块)水平的外观检验，检验项目包括：

- 正确的标记(包括标记的持久性和易读性)
- 正确的物理尺寸
- 全部模块有良好的设计，包括没有明显的重工痕迹
- 光纤尾线，连接器或插口没有损伤
- 运输或包装材料性能良好

### 2.2.6.2 电气和光学测试

作为逐批控制程序的一部分，每批中100%的光电子器件都需要做电气和光学测试。但是在特定的条件下，可以采取抽样措施，或延迟到一个更高的器件水平执行测试。

1. 已通过来料免检程序的器件，不需要执行全部的(100%)电气和光学测试。(参见2.2.10节)
2. 总数为100 (或更多)的器件至少要从5种不同的晶片中选取，根据此结果，如果模块水平失效或与这些参数相关的舍弃率低于1%，二极管的特殊参数测量可以延迟到模块水平。
3. 对于激光二极管，如果晶片一致，可以用10个样品(尽量少)在不同地方对晶片做远场图形测量。
4. 如果设备厂商能够为进料模块(或者集成模块)建立一个合理的统计抽样检验方案，该方案可以取代全部的(100%)测试。

**R2-65 [403]** 除了上述第二条例外，如果推迟二极管水平测试，应该使用统计过程控制程序进行监控，以确认最大容许舍弃率不超过1%。发现更高舍弃率时，设备厂商应该能够恢复100%的二极管水平。

### 2.2.6.3 筛选

在许多情况下，通过筛选除去“不耐用的”器件，可以提高一个批的整体可靠性。光电子器件的筛选通常在二极管或晶片水平，其它元器件的筛选在模块(或集成模块)水平。此外，筛选通常还包括在二极管或者晶片水平的老化，在模块(或集成模块)水平的温度循环和老化。老化能够保证器件使用时光学性能稳定。对检测器件潜在的ESD损伤(有时会导致门槛电流或其它特性的不正常变化，并且用其它“被动的”测试不能观测到，例如高温烘烤)也很有用。温度循环有助于消除模块里的耦光元件的不稳定性(对于许多模块的长期可靠性来说，这是一个关键环节)。

虽然筛选通常设计用来检测一种类型的失效机理，但是其它未预料的失效机理也会发生，而且无法排除，因为它们可能会提供有效的信息。

**R2-66 [70v2]** 如果没有另外指定，应该统计在批测试中观测到的所有失效，而不管失效类型如何。

对一批器件通常执行100%的筛选，如6.3.1节所指出。对于大部分光电子器件，通常需要作为逐批控制的一部分执行筛选。然而，在某些情况下可以修改程序，使得每一个批中只有样品器件需要筛选和测试。尤其是，根据前面的筛选结果，不需要100%的筛选时(即初始失效率可以忽略)，就可能修改程序。这样的话，新的程序就叫“可靠性稽核”。与筛选不同，可靠性稽核不是为了除去不耐用的器件，而是为了检测（并且拒绝）较差质量和可靠性的“劣质”批。

**R2-67 [404]** 如果批中的器件不做100%的筛选，设备厂商(或器件供应商)应该证明其合理性，并且制定可靠性稽核程序。

**R2-68 [405]** 设备厂商(或者器件供应商)应该有记录程序处理可靠性稽核中的失效批，并且应该重新制定100%筛选(例如，如果两个连续的或者从Y批中选出的X在可靠性稽核中失效)，记录相关的条件。

### 2.2.7 数据记录和保留

**R2-69 [54v2]** 为了今后的回顾和总结，与逐批控制相关的所有信息都应该记录和保留。收集的信息至少应包括：

1. 器件编号，供应商，批的大小，和 / 或日期编号和 / 或序列号
2. 测试器件的数量和（每一个测试系列中发现的）不良器件的数量
3. 不良分布，必须采取的后续措施以及任何其它特殊的注释（例如，拒绝整批）。

### 2.2.8 供应商历史记录数据的汇总

**R2-70 [59v2]** 设备厂商应定期整理并总结逐批控制的结果（由器件供应商提供）。

注意，上面提到的总结可以作为“供应商管理”程序的一部分。

**O2-71 [60v2]** 没什么历史数据的供应商必须提供纠正措施，否则将从ASL中除名。

**O2-72 [61v2]** 数据总结的详细报告至少应该保留5年，用于判定反馈程序是否正常工作。

### 2.2.9 不良器件和不良批的处理

**R2-73 [55v2]** 对于在批允收测试中失败的批，都应该记录并执行相应的处理程序。

批不良处理的典型程序包括：测试一个附加的器件样本(例如，如果使用表A-4的二次抽样检验方案)或者将整批返还给器件供应商(附带问题的描述)。

**R2-74 [56v2]** 器件供应商必须提供及时的反馈措施（对性质严重或者经常发生的问题采取的措施）。

### 2.2.10 来料免检程序

来料免检程序或者其它替代方案绕过“正常的”源流检验或进料检验，对质量水平I和质量水平II的光电子器件一般不适用，但可以用于质量水平III的器件。一般而言，如果光电子器件的性能长期稳定可靠，没有任何不良问题（在进料检验或源流检验中，在设备制造或使用现场均无问题），则设备厂商可以提出来料免检程序。如果使用了该程序，则适用下列标准。

**R2-75 [51v2]** 如果使用来料免检程序，那么设备厂商应该仔细确认损伤的光电子器件，并且记录详细的程序。

**R2-76 [52v2]** 设备厂商只能根据下列两项之一，核准来料免检程序

- 单独的器件代码
- 器件供应商已经证明，系列代码具有足够的技术相似性（例如，这可能适用于具有不同波长的DWDM 激光器）。

**R2-77 [406]** 如果器件使用了来料免检程序，设备厂商应该能够证明：指定器件的进料检验或源流检验以及现场数据的历史记录，能够反映器件的良好质量和可靠性。如果是新器件，那么检查（器件的）产品系列的历史数据(见2.1.3.2节)。

**R2-78 [407]** 如果器件使用了来料免检程序，则设备厂商指定的（包括所有参数的）最终测试结果应该由器件供应商提供，包括出货批，作为常规信息。也可由客户事先核准供应商的逐批控制。

**R2-79 [408]** 设备厂商应该从来料免检批中随机挑选样本，进行光学和电气测试，获得的数据应该可验证。至少要检验10%（平均数）的来料免检批。

**R2-80 [409]** 设备厂商应该定期（间隔6个月或更短时间），随机挑选一个批并执行整套的批允收测试(和本文的相关标准一致)。需要测试该批中的所有器件。

**R2-81 [410]** 设备厂商应该记录特定的标准（在来料免检表中，已经核准的器件和被删除的器件）。

**R2-82 [53v2]** 根据下面两项之一，拒绝一个单独批：

- 没有通过随机的或定期的稽核（**R2-79[408]** 或 **R2-80[409]**）
- 在系统制造或现场返回中发现问题，将器件代码（从来料免检状态中）删除。

### 2.3 反馈和纠正措施

一般而言，（一个有效的）反馈和纠正措施程序的核心部分是数据的及时收集和分析。另外，提供的信息实质上是让相关部门（如器件工程部和QA/QC）有信心 — 证明它们的程序是

有效的。

注意：虽然本节的标准对设备厂商特别合适（因为器件供应商不能够完成必要的的数据收集），但是器件供应商需要考虑类似的反馈和纠正措施程序，以帮助控制和改善它们的规则和产品。同样要注意，为了使器件供应商的程序更加有效，要由它们的客户(设备厂商)及时提供器件的失效信息。

**R2-84 [77v2]** 除了收到的（供应商提供的）所有资料外，设备厂商应该从下列各项(至少)中收集器件水平的失效数据：

1. 进料检验或源流检验和筛选，或者与来料免检程序相关的任何测试
2. 设备制造的每一级，包括
  - 电路板的测试
  - 电路板的老化
  - 系统水平测试
  - 系统水平老化
3. 系统安装
4. 现场返回器件的修复

对收集的数据加以分析，找出失效率比预期值更高的器件。

### 2.3.1 逐批控制的数据

从逐批控制程序中收集的数据能够最直接地说明：哪些器件供应商管控良好，那些供应商需要采取纠正措施。

**R2-87 [78v2]** 当在逐批控制程序中发现问题时，器件供应商应该正式通报这些问题。供应商应该对它的评定和任何已经执行的纠正措施作出反应。

### 2.3.4 现场返回器件的修复

根据出货数量，设备厂商通常能够估计每一种类型元件预期的现场失效数。这种估计的置信度取决于现场的器件数和合计的工作时间，累积的器件时间多，置信度就会提高。当元件类型的失效率比预期值更高时，需要引起注意。然而，用相对较少的样品很难预测新设计预期失效率的置信水平；因此，解决这些问题必须用失效分析。

**R2-89 [80v2]** 使用每一种器件的（预测的）器件失效率，设备厂商应该能估计出（在指定的时间内）现场使用器件的预期失效数。如果除去的器件(在现场返回的修复中)的失效率高于预期值，应检查并确定发生额外失效的原因，并确保主要问题没有恶化。

### 2.3.5 未经证实的电路板失效

从现场返回的电路板，由设备厂商证实没有失效的情况，称为未发现问题(NTF)，未发现故

障(NFF)或类似的术语。NTFs预示了测试程序不完善，设计存在缺陷，电路板兼容性不好等问题。

**R2-90 [412]** NTFs可以作为现场返回的数据收集的一部分来追踪。

**O2-91 [84v2]** 设备厂商应该为(每一种类型的电路板所允许的)NTFs比率设定一个阈值。当电路板的NTFs比率超过它的阈值时，应调查其原因并纠正。设备厂商同样应该证明设定的NTF阈值是正确的。

### 2.3.6 数据的收集和分析

**R2-92 [81v2]** 器件的舍弃/失效数据收集系统应该以这样一种方式执行:快速整理和分析信息，并反馈给相关的责任部门(例如，器件工程部，QA/QC，制造部主管)。

**R2-93 [82v2]** 分析报告应总结不同的组立和测试阶段，器件的舍弃率和电路板的回收率。报告应定期发行(至少每三个月一次)，供上级管理人员复查。报告应该包括:收到的(须修复的)单元数，NTFs，改良的单元以及修复的单元。

### 2.3.7 器件失效的分析

**R2-95 [85v2]** 鉴于光电子器件的重要性，所有失效的器件(在现场工作不到一年)，会返还给设备厂商，并做失效分析。

**R2-96 [86v2]** 设备厂商应该记录(具有相似失效模式，“坏”器件的典型样本的)授权失效分析的条件。

**R2-97 [87v2]** 设备厂商可以运用它自己的设备，也可以在一个独立的试验室，还可以由器件供应商来执行任何必需的失效分析。

## 2.4 器件的存储和处理

**R2-98 [88]** 接收光电子器件的正常流程是:在电路板上测试成功或者在流程图或相关文件中详细描述了测试系统。

### 2.4.1 不合格材料

**R2-99 [89v2]** 不符合采购规范的器件和批应该从良品和待测器件中分离出来。

### 2.4.2 材料复查系统

**R2-100 [90v2]** 设备厂商和器件供应商应该制定并记录(所有不合格材料的)处理规则。

**R2-101 [91v2]** 如果不合格产品没有得到改善，或者经过某种形式的附加测试和筛选后，要有器件工程师和品保工程师参与决定(通过正式授权停止)。

**R2-102 [92]** 处理所有不合格材料的详细记录至少应该保留1年。简要记录至少应该保留5年。应定期复查结果，确保类似的问题不再发生。

**R2-103 [93]** 在质量系统中发现的问题，应在指定期限内采取纠正措施或质量改善程序来解

决。应该监控和记录纠正措施的时效性。

### 2.4.3 仓库存货规则

#### 2.4.3.1 FIFO存货法

**R2-104 [94]** 需要设计仓库规则，以确保先入先出 (FIFO)法的有效落实。应定期审查存货规则和存储架来检查当前程序的有效性，确保器件没有超过保存期限。

#### 2.4.3.2 重工器件

**R2-105 [95]** 在送回仓库之前，所有重工器件都必须通过进料检验。

### 2.4.4 ESD预防

在生产各个阶段，以及测试，安装和现场使用中，ESD是器件失效的一个重要原因，许多光电子器件特别容易受ESD影响。ESD损伤会产生一些问题，如器件的完全失效，参数变化以及器件性能下降。另外，一些器件可能会缩短使用寿命（但没有明显的征兆）。

在设备组装和现场使用时，适当的处理程序能够预防ESD。对于电子元件，有效的ESD预防措施能够减小初期失效率，并且同样适用于光电子器件。因此，处理光电子器件或电路板的所有人员，对ESD必须有一个清楚的认识。

**R2-106 [96v2]** 设备厂商和器件供应商应该定义并记录ESD预防程序。该程序是一个完整的，全厂适用的程序，明确地定义了（散装元件和贴装电路板的）允收和拒绝规则。

**R2-107 [413]** 在操作器件时，设备厂商和器件供应商要遵循ESD预防规范。需要ESD预防的地方应该安装静电环和静电桌。安装后，应定期检查整个接地系统，确保其持续有效性。

### 2.5 文件和测试数据

**R2-109 [99v2]** 应该记录所有的可靠性保证程序，规则和测试方法。而且必须正式验证这些文件，并做正式的管制。

**O2-110 [100v2]** 设备厂商的质量和可靠性手册必须确保，任何特殊的可靠性保证要求(例如，测试，筛选，处理)对于光电子器件来说都是唯一的。

**R2-109 [99v2]** 涉及的内容如下：

1. 供应商资格审查规则
2. 器件验证程序和重新验证规则
3. 单独的器件规范
4. 在 ASL 和 APL 中增加供应商和器件的程序
5. 从 ASL 和 APL 中删除供应商和器件的程序
6. 进料检验或源流检验程序

7. 筛选规则
8. 存储和处理规则
9. ESD 控制程序
10. 数据收集和分析程序
11. 与现场返回相关的处理，修复，失效分析和纠正措施的程序
12. 内部稽核程序（用于确保上述各项程序的正常工作）

### 2.5.1 文件的可用性

为了理解设备厂商或者器件供应商的可靠性程序，背景资料必不可少。在现场问题和其它可靠性问题的分析中，同样需要类似的信息。

**O2-111 [101v2]** 除了 **R2-112 [414]** 论述的情况外，设备厂商和 / 或器件供应商应该根据请求提供下列信息：

1. 温度控制电路(如果使用)，发送机电路和接收机电路的电路图及相关资料
2. 辅助检验和测试的程序流程图
3. 器件结构
4. 处理技术
5. 基座载体和散热片材料，以及粘性材料
6. 组立程序(包括烘烤和 / 或固化步骤)
7. 模块描述
8. 耦光灵敏度
9. 重工及其它

**R2-112 [414]** 如果不能提供(例如，涉及敏感的专有信息) **O2-111 [101v2]** 中列出的信息，厂商 / 供应商应该提供书面的解释。

### 2.5.2 其它信息的可用性

复查人员同样需要获得总结报告和测试数据，来验证规则是否有效的落实。如涉及敏感信息和 / 或专有信息，可以允许设备厂商屏蔽敏感条款，或者要求复查人员签署不泄漏协议。

**R2-114 [103v2]** 应该提供以下信息供复查（根据客户要求）：

1. 特殊器件的长期环境应力测试结果
2. 特殊器件的（新近的）进料检验或源流检验，以及筛选数据

3. 特殊器件在第一次电路板测试，电路板老化，系统测试，系统老化以及现场返回器件修复的舍弃率和失效水平
4. 特殊器件的失效分析结果
5. 指定的纠正措施和后续措施

## 2.6 器件的可用性

在某些情况下，设备买家(或其代理人)可能希望获得少量的(通常少于 20)光电子器件(为特殊的类型，有独立的可靠性测试和其它分析)。

**R2-115 [104v2]** 设备厂商应及时，正式地回应样本请求（加上附带的功能说明书或性能表），并且仅当有特殊原因无法履行时，才能拒绝这种请求。

申请成功后，样本申请方应支付设备厂商提供的器件的正常成本。

## 3.测试程序

本节涉及用于验证，逐批控制和加速老化测试的程序和通过 / 失败标准，均适用于光电子器件。另外也论述了可靠性计算问题。

### 3.1 一般测试程序标准

#### 3.1.1 标准化测试程序

为了确保器件供应商和设备厂商之间，以及设备厂商和客户之间的结果一致，在测试过程中使用相同的程序非常重要。

**O3-1 [72]** 如果没有另外指定，本文中用于性能测试和参数测量的程序，按照现有的国内标准或国际标准。

#### 3.1.2 测试仪器

**R3-3 [49v2]** 在进行器件验证和加速老化测试，逐批电气和光学测试和筛选时，设备厂商(或器件供应商)需要使用测试仪器。仪器应该定期维护和校验（频率不少于测试设备厂商的推荐值）。

**O3-4 [50]** 根据ISO9000的相关标准，对测试仪器进行维护、校验和其它管制。

#### 3.1.3 通过 / 失败标准的制定

**R3-5 [108v2]** 设备供应商（或器件厂商）应该为所有的特性测试和应力测试制定通过 / 失败标准。此外，要为每一个高温加速老化测试确定寿命结束的门槛值。应力测试或加速老化测试的通过 / 失败标准中应包括（器件物理损伤的）外观检验。

**R3-6 [136v2]** 特性测试的通过 / 失败标准应该和（设备厂商的器件采购规范中描述的）限制范围和属性一致。

#### 3.1.4 可选的测试条件

在许多情况下，本文提供的（测试或工作的）程序或条件包括具体的测试时间，温度，在某些情况下，还包括其它的变量如光功率水平。这些变量不同的组合通常可以特殊的测试或程序。但在这种情况下，设备厂商或者器件供应商需要证明它的条件至少和这里列出的条件一样严格有效。

**R3-8 [32v2]** 对特殊器件，如果没有另外指定，应该使用阿列纽斯关系(见3.1.4.1节)来计算温度依赖型失效机理(例如，高温工作和加速老化测试)的测试的等效时间和温度条件。应该从理论上(如果可能)和经验上论证受其它应力 [例如，光功率，电流，湿度或者相对湿度(RH)] 影响的失效机理的加速模型。需要确定所有相关的加速 / 减速因子。

### 3.1.4.1 等效测试条件的计算

为了获取温度依赖性失效机理的测试和程序的等效测试时间和温度条件，用下面的阿列纽斯关系来表示非常有效：

$$\frac{D_2}{D_1} = e^{\left[ \frac{1}{k} \left( \frac{E_{a2}}{T_2} - \frac{E_{a1}}{T_1} \right) \right]} \quad (3-1)$$

这里

$D_1$ 是本文指定的测试持续时间

$D_2$ 是建议的或者供替换的测试持续时间

$k$  是玻尔兹曼常数 ( $8.618 \times 10^{-5}$  eV/K)

$E_{a1}$  是同测试条件相关的理论活化能量(见表3-1)

$E_{a2}$  是建议的或者供替换的活化能量(见R3-9 [124v2])

$T_1$  是绝对温标 (单位：开尔文)

$T_2$  是建议的或者供替换的温度 (单位和  $T_1$  相同)

根据这些，设备厂商可以通过施加更高的活化能量和 / 或以更高的温度执行测试，来减少测试所需的时间。同理，如果由于某些原因，使执行测试的温度比本文列出的温度更低，通过施加更高的活化能量有可能避免延长测试。

### 3.1.4.2 活化能量

一般而言，对器件执行高温测试的设备厂商或器件供应商有责任确定适合器件（虽然在某些

情况下，设备供应商可以从器件供应商那里获得信息)的活化能量( $E_a$ )。这些信息对于特定的器件来说必须是特殊的，因为不同的器件设计和不同厂商，活化值会有所不同，而且二极管与模块也存在差异。另外需要注意，在衰减失效的逐步劣化模式中，不能通过计算随机失效率而得到活化能量值。可以预料，大部分的随机失效是由组立或者封装不良引起的，跟大部分衰减失效机理相比，它们通常具有更低的活化能量（即更低的温度依赖性）。

**R3-9 [124v2]** 如果器件活化能量的实验数据或其它支持数据无效，那么可以使用表3-1列出的理论活化能量，用于相关的计算。

表3-1 理论活化能量

器件	衰减失效的 $E_a$	随机失效的 $E_a$
激光二极管	0.4eV	0.35eV
激光模块	0.4eV	0.35eV
LEDs	0.5eV	0.35eV
LED 模块	0.5eV	0.35eV
光电二极管	0.7eV	0.35eV
检测器模块	0.7eV	0.35eV
接收机模块	0.7eV	0.35eV
EA调制器	0.4eV	0.35eV
外部调制器	0.7eV	0.35eV

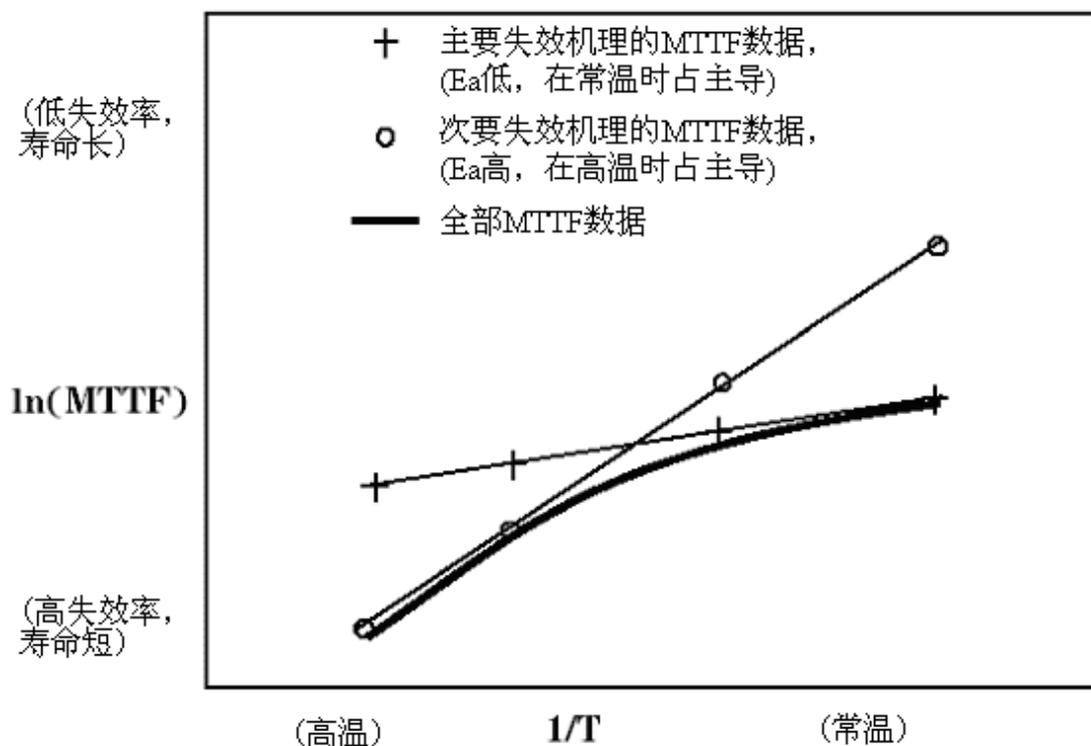
**R3-10 [416]** 如果要使用另外的活化能量，至少应该在三个不同的温度，最小样本量为25个，进行失效的(如果可能)加速老化测试来获得这些活化能量值。

例如，在+65 ，+85 和+105 三个温度执行老化测试，来确定激光二极管的衰减失效的活化能量。

### 3.1.4.3 与多重失效机理相关的附加考虑因素

一般而言，高温会同时加速器件的主要失效机理和其它次要的失效机理。此外，在某些情况下，同活化能量相关的各种失效机理可能就是这样的次要机理，通常在高温时会占据主导地位(见图3-1)。在高温工作测试中，这些次要的失效机理会导致不必要的器件验证失败，而对高温加速老化测试的影响取决于（用于各种可靠性计算的）活化能量。例如，如果使用了跟主要失效机理相关的活化能量，就不必对失效率和平均无故障时间(MTTF)的计算悲观。反之，如果(相对较高的)使用了跟次要失效机理相关的活化能量，这些计算就不容乐观。此外，使用“太高”的活化能量计划出来的测试条件，会导致应力测试的持续时间或者水平不够。因此，在确定活化能量的测试中，谨慎地指定测试条件，仔细地检查多重失效机理的结果非常重要。

图3-1 有不同活化能量的两个失效机理实例



### 3.2 特性测试程序

为了器件验证和逐批控制,本节包含了许多经常用于描述光电子器件特性的参数和测试程序的信息。在许多情况下,适用的参数和测试程序取决于器件的特殊类型(例如,用于激光二极管和用于光电二极管的参数和测试程序,就明显不同)。但是,正如下面的章节和表4-1及表4-2所指出,在某些情况下,这些参数和程序同时适用于几种类型的器件(例如,激光器和LEDs)。

#### 3.2.1 光谱特性

一般来说,激光器或LED在二极管水平或模块水平的光谱特性,会在正常水平和/或最高额定光输出功率水平下测量,并适用指定的最大调制。[注意,激光器以连续波的模式工作,在这些测试中不需要调制。]此外,在许多情况下,这些指定的测试在光程中以最差反射(例如, - 8.2dB)进行测量。

对器件包含的激光器,感兴趣的光谱参数取决于这些因素:光源是多束纵向模式(MLM)的激光还是单束纵向模式(SLM)的激光(波长固定或可调),激光器是直接调制还是外部调制,以及特定的比特率。如下文所述,参数包括中心或峰值波长(或波长范围),谱宽,边模抑制比(SMSR),自激源发射(SSE),啁啾系数( $\alpha$ )等。

### 3.2.1.1 MLM 激光器的光谱特性

在多数情况下，MLM 激光器有两个感兴趣的光谱参数。它们是中心波长( $\lambda_c$ )和均方根谱宽

( $\Delta\lambda_{rms}$ )。计算公式如下：

$$\lambda_c = \left( \frac{1}{P_0} \right) \sum_{i=-m}^{i=n} p_i \lambda_i \quad (3-2)$$

$$\Delta\lambda_{rms} = \left[ \frac{1}{P_0} \sum_{i=-m}^{i=n} p_i (\lambda_i - \lambda_c)^2 \right]^{0.5} \quad (3-3)$$

这里

$\lambda_i$  是  $i^{th}$  的峰值波长

$p_i$  是  $i^{th}$  的峰值功率

$P_0$  是从  $i = -m$  到  $i = n$  的所有峰值的功率总和：

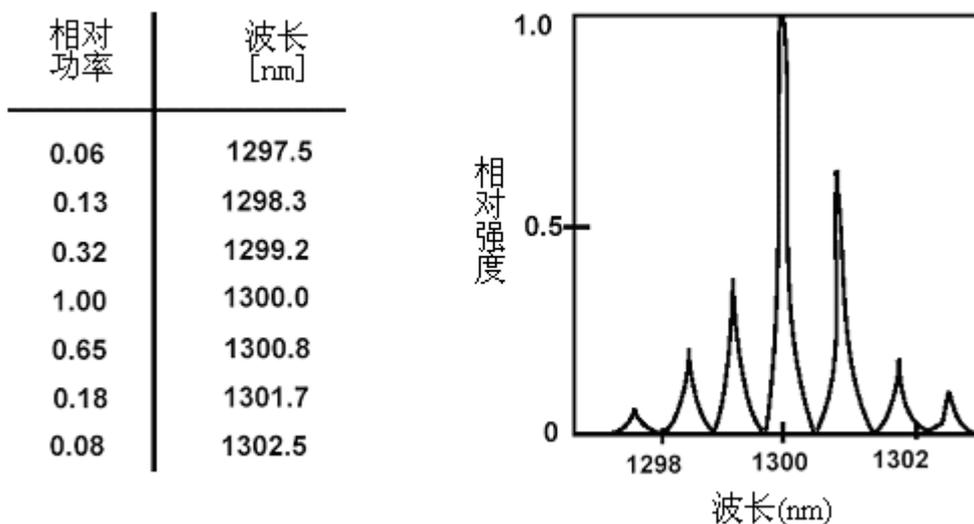
$$P_0 = \sum_{i=-m}^{i=n} P_i \quad (3-4)$$

如前面的方程式所述，求和范围从  $i = -m$  到  $i = n$ 。如果没有另外说明，相应的波长  $\lambda_{-m}$  和

$\lambda_n$ ，是所有保留峰值功率与最大峰值功率的差值超过20dB，最大峰值任意一边的波长。

举个例子，观察图3-2中所示的光谱。给定  $\lambda_c = 1300.2nm$  和  $\Delta\lambda_{rms} = 1.0nm$ ，通过等式3-2和3-3计算中心波长和谱度。

图3-2 MLM 激光器的光谱



注意在前面的例子中，光谱由一个单模群组成，它包括一个1310nm的主峰值和围绕周围的六个副峰值(也就是光谱中的局部极值)。而这种光谱是典型的，在某些情况下，激光光谱可以包括一个或多个独立的副峰模式群(也就是，一套附加的光谱峰值)，或者与主峰值模式群部分层叠的副峰模式群。根据激光的使用目的，副峰模式群的存在会预示一些问题，因此在某些情况下，有没有副峰模式群，可以判定激光器是否通过测试。另一方面，在许多情况下，任何副峰模式群对中心波长和谱宽参数的影响，可能已经足够发现潜在的问题。

### 3.2.1.2 SLM 激光器的光谱特性

对于SLM 激光器，感兴趣的光谱参数主要有：中心波长或峰值波长( $\lambda_c$ 或 $\lambda_p$ )，最大-20dB谱宽( $\Delta\lambda_{20}$ )，SMSR，在某些情况下还有SSE。跟MLM的情况不同，SLM 激光器的主要光谱参数不需要计算，它们可以应用下面的定义从光谱中直接得到：

$\lambda_c$ 或 $\lambda_p$  - 输出光功率为最大时的波长

$\Delta\lambda_{20}$  - 从中心波长的最大幅值下降到1% (-20dB)时两点间的谱宽

SMSR - 在SLM 激光器中，主纵模的平均光功率与最大边模光功率的比值(通常用dB表示)。

SSE - 激光频率峰值功率的最大本底发射功率水平，通常以0.1nm的带宽测量，单位是dBc / nm。

一般来说，上面提到的“最大边模”可以是一个边模(也就是一种不完全抑制模式，是相同模式群(像主峰值)的一部分)，或者是一个独立模式群中的模式。不管是哪种情况，该模式的

光功率必须远低于主模式的光功率，即SMSR值相对较大(例如30dB)。

### 3.2.1.2.1 连续波激光器的考虑因素

一般而言，SLM 激光器以连续波模式(即没有直接调制)工作的谱宽相当窄，但它是否大于某些最大值，可能与激光器的验证和逐批控制程序无关。另一方面，在某些应用中，可能需要测量这种激光器的谱宽，并将结果与指定的最小值比较。其原因是，如果大功率激光器的谱宽太窄，光谱功率密度(SPD)就会很大，从而产生布里渊散射，引起严重的性能劣化。

以连续波模式工作的激光器的谱宽非常重要(因此器件供应商或设备厂商将它作为特性参数)，跟直接调制激光器的谱宽以及直接调制和连续波激光器的SMSR相比，它需要使用不同的测量方法和仪器。[而未调制的SLM 激光器的谱宽可能是10MHz 级的(对于在1550nm波长范围的信号，近似值为 $8 \times 10^{-5}$  nm)]

### 3.2.1.2.4 高比特率应用的考虑因素

通常当光信号的频谱发生变化时，会产生啁啾信号，高比特率光学系统的性能明显受啁啾信号的影响，例如，对激光源的“开”和“关”(也就是看作调制)。这种效应有时可以用啁啾系数来描述，定义如下：

$$\alpha = \frac{\frac{d\varphi}{dt}}{\frac{1}{2P} \left( \frac{dP}{dt} \right)} \quad (3-5)$$

这里 $\varphi$ 是光信号的相位，P是光功率。应用这种定义，在脉冲的上升沿，正啁啾参数对应于正频率移位(蓝光移位)，而在脉冲的下降沿是负频率移位(红光移位)。

在一些应用中，啁啾信号的影响可以是有益的，而在其它情况下会产生相反效果。在任何情况下都需要测定啁啾信号对系统性能的影响。另外，如果这种影响很大，那么需要做适当的限制，并且执行测试来检验器件的啁啾特性，使器件发挥满意的性能。

**O3-11 [112v2]** 对于高比特率系统(大于2.5Gb/s)，应该由设备厂商检验激光啁啾信号，并以此来测定它对系统误比特率(BER)的影响。

**O3-12 [335v2]** 应该由设备厂商检验EA调制器，来测定啁啾信号对系统误比特率的影响。

### 3.2.1.3 LEDs的光谱特性

一般而言，有三个参数可以用于描述LED或LED模块的波长。它们是：

- 峰值波长( $\lambda_p$ ) - 在器件的光谱中，最大功率处的波长。
- 中心波长( $\lambda_c$ ) - LED光谱的统计加权中心波长

- 平均波长( $\lambda_d$ ) - 光功率下降到峰值功率一半处的两个波长的平均值

同样的，任意一个谱宽参数都可以用于LEDs。它们的定义如下：

- 半峰全宽( $\Delta\lambda_{FWHM}$  或 FWHM) - 当功率降到峰值功率一半时的谱宽。
- 均方根谱宽( $\Delta\lambda_{rms}$ )。

### 3.2.2 输出功率 / 驱动电流特性

如下文所述，许多用于描述激光器或者LED特性的重要参数跟器件的光输出功率相关，通常是驱动电流的函数(在这种情况下，输出功率 / 驱动电流数据指的是“L-I 曲线”)。

#### 3.2.2.2 激光阈值电流

激光的阈值电流是指：由受激发射产生的最小电流。一般采用下面三种方法来测定阈值电流，三种方法的结果很相近。

- 方法I(两段拟合)：在L-I曲线的拐弯下面以及拐弯上面的另外一条线段的线性部分拟合一条直线。阈值电流定义为两条线段相交点处的电流值。
- 方法II(一阶求导)：取L-I曲线的一阶导数(即 $dL/dI$ )。阈值电流定义为导数降到峰值一半处的电流值。
- 方法III(二阶求导)：取L-I曲线的二阶导数(即 $d^2L/dI^2$ )。阈值电流定义为对应于峰值处电流的二次导数。在测定阈值电流时，这是首选的方法。

#### 3.2.2.3 激光阈值电流的温度灵敏度

激光的阈值电流易受温度的影响，这种效应可以用等式3-6所表示。这里 $T_0$ 是“特征温度”，并且对于任何特殊的激光二极管来说，它都是一个常数。激光器的 $T_0$ 越高(高特征温度)，温度变化对阈值电流的影响就相对较小，而 $T_0$ 较低时产生的影响相对较大(低特征温度)。

$$I_{TH}(T_1) = I_{TH}(T_2) \times e^{\left[ \frac{T_1 - T_2}{T_0} \right]} \quad (3-6)$$

得到 $T_0$ 的结果如式3-7

$$T_0 = \frac{T_1 - T_2}{\ln[I_{TH}(T_1)] - \ln[I_{TH}(T_2)]} \quad (3-7)$$

当特征参数用于描述激光器的特性时，(推荐用于测量阈值电流的) 温度需要计算，参数是最高指定工作温度(例如，+70 或343K)和室温(例如，+20 或293K)。典型的  $T_0$  值范围是 45 - 90K。

### 3.2.2.4 特定电流水平的输出功率水平

#### 3.2.2.4.2 LED输出功率

对于LED来说，感兴趣的光输出功率主要是：器件在正常工作电流下的输出功率(即  $P_{op}$ )。

如果连续工作和调制工作的结果一致，那么  $P_{op}$  的输出功率可以从L-I 曲线得到。但如果不一致，光输出功率需要从一个单独的模拟实际(调制)工作的测试中获得。

### 3.2.2.5 激光L-I 曲线的线性度

一般来说，下文论述的三个线性相关参数都适合用于数字应用的激光器。另一方面，对用于模拟应用的所有激光器，主要感兴趣的参数是整体线性度。

#### 3.2.2.5.1 整体线性度

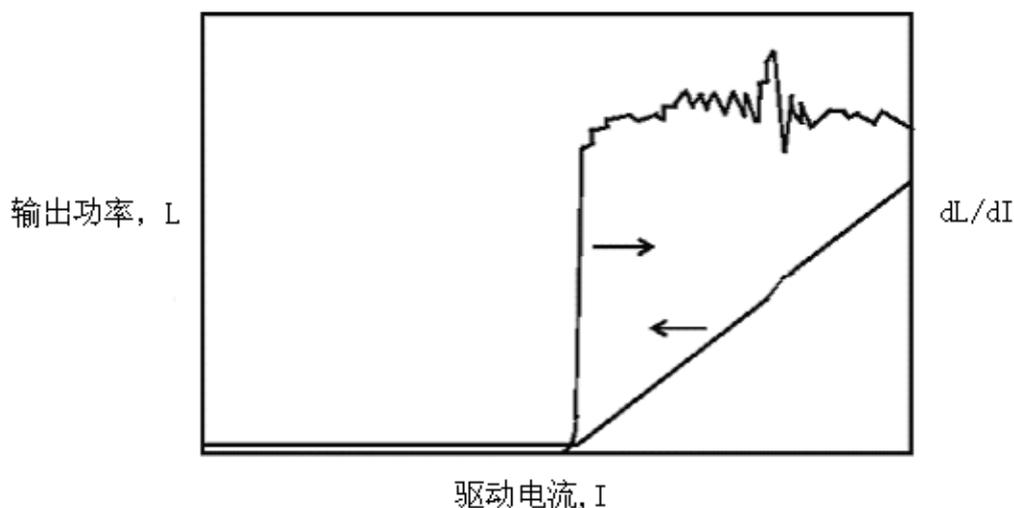
测量 / 计算激光器的L-I曲线的整体线性度的三种方法如下面所论述。通常对数字应用的激光器而言，第一种方法是首选，而方法II用于模拟应用的激光器。

- 方法I (dL/dI)：取L-I曲线的一阶导数并且在L-I曲线和饱和度(例如，激光器的最大额定光输出功率为10%和90%时的驱动电流)之间由dL/dI vs I 曲线的(相关的)常数部分拟合一条直线。于是整体线性度定义为直线和dL/dI值之间的最大差值。通常执行该程序可以结合拐点测试(见3.2.2.5.2节)。
- 方法II(谐波)：将激光偏置在最大额定光输出功率的50%处，然后使用正弦曲线调制(例如，在最大额定频率处)来对整个工作范围进行前后扫描。使用线性检波器捕获光功率并且将电气输出从检波器传到光谱分析仪。在产生的光谱中，二阶(或者更高阶)谐波具有非线性，需要适当限制。
- 方法III(绘图分析)：在L-I曲线中，在最大额定光输出功率对应的10%和90%的点上做好标记，然后通过这两点绘制一条直线。由最大偏差确定线性度。

#### 3.2.2.5.2 拐点

激光L-I中的拐点通常使用dL/dI vs I曲线来定义和量化。图3-3 是带拐点的dL/dI曲线实例图。

图3-3 带拐点的L-I和dL/dI曲线图



### 3.2.2.6 激光器的斜效率

激光器的斜效率是光输出功率的变化对某些特定范围输出功率(也就是L-I曲线的斜率)的驱动电流变化的比值,通常用单位瓦特/安培来表示。对用于数字应用的直接调制激光器,感兴趣的输出功率范围通常是“关断”状态(例如当发送位是“0”时)的输出功率和“开启”状态(例如当发送位是“1”时)的输出功率。这些功率又和更普通的参数(例如:最小和最大容许平均输出功率水平,最小消光比或调制深度)联系在一起。

在大多数情况下,激光器的斜效率会随着温度的增加而减少(降低)。因此,将测试获得的斜效率结果与规范或者早期的测试结果相比,测试温度是一个重要的考虑因素。

### 3.2.2.7 相对强度噪声

相对强度噪声(RIN)用来衡量激光器输出振幅的波动状况。它是光强度噪声的均方与平均光功率的平方的比率:

$$RIN = \frac{\langle \Delta P^2 \rangle}{P_0^2} \quad (3-8)$$

通常用单位  $dB/Hz$  来表示,一般在某些特定的频率范围(例如,一个10Gb/s器件的10MHz - 10GHz)以及在光程中的最差反射处测量。

### 3.2.2.8 EELED高效发光

我们知道,自发发射在离开壳体之前会开始放大,如果驱动电流增加到超过自发发射水平时,边缘发射LED (EELED)会产生超级发光效应。发生这种效应时结果非常大,器件输出功率的非线性变化响应驱动电流的微小变化。通常可以从EELED的L-I曲线的电流和相应的输出功率来确定产生的超级发光,而且在许多应用中这些值预示了器件正常工作的最大可能限度。

### 3.2.2.9 EELED激光发射的阈值

另一种可以限制EELED的工作驱动电流和输出功率的效应,是激光发射的阈值。可以从EELED的L-I曲线中,确定存在一个激光发射的阈值。主要在低温时关注这种效应。

### 3.2.3 激光的电压 - 电流曲线

跟激光器的阈值电流和相应的光输出功率水平一起,在特性描述过程中需要指定和测量一个重要的参数:阈值的前向电压 $[V_F(TH)]$ 。此外,如果记录了前向电压和L-I曲线,就可以绘出电压 - 电流曲线,可以检查激光器的任何异常状况。

### 3.2.4 调制输出特性

如果对特定参数没有特别说明,下列章节描述的测量要使发送机处于最大指定调制速率的状态。此外,通常需要将栅流和调制电流设置为正常(系统设计)值。(注意:栅流通常要比阈值电流稍微大一点)。

#### 3.2.4.1 调制信号形状

根据用途以及(正在测试的)激光器,LED或调制器件的组立水平不同,用(脉冲编码调制的)眼孔图样或者它的上升时间和下降时间来描绘调制的输出信号形状非常合适。例如,如果指定激光二极管以一个相对较低的速率调制,并且使用外部驱动电路来测试,则感兴趣的参数通常是上升时间和下降时间。反之,如果设计用于SONET OC-192的激光器模块正在测试,那么眼孔图样很可能就是指定和测试的参数。

##### 3.2.4.1.1 眼孔图样

对多数光纤传输应用来说,根据信号需要与测量的眼孔图样(或视觉图表)中的遮光板一致的原则,来指定传输的光学信号的波形。因此在描述激光器,LEDs或调制器件的特性过程中,进行眼孔图样测试会很方便并且很有用。此外,在计算其它的参数值如消光比或者调制深度时,需要用到从眼孔图样测试中获取的信息(见3.2.4.2节)。

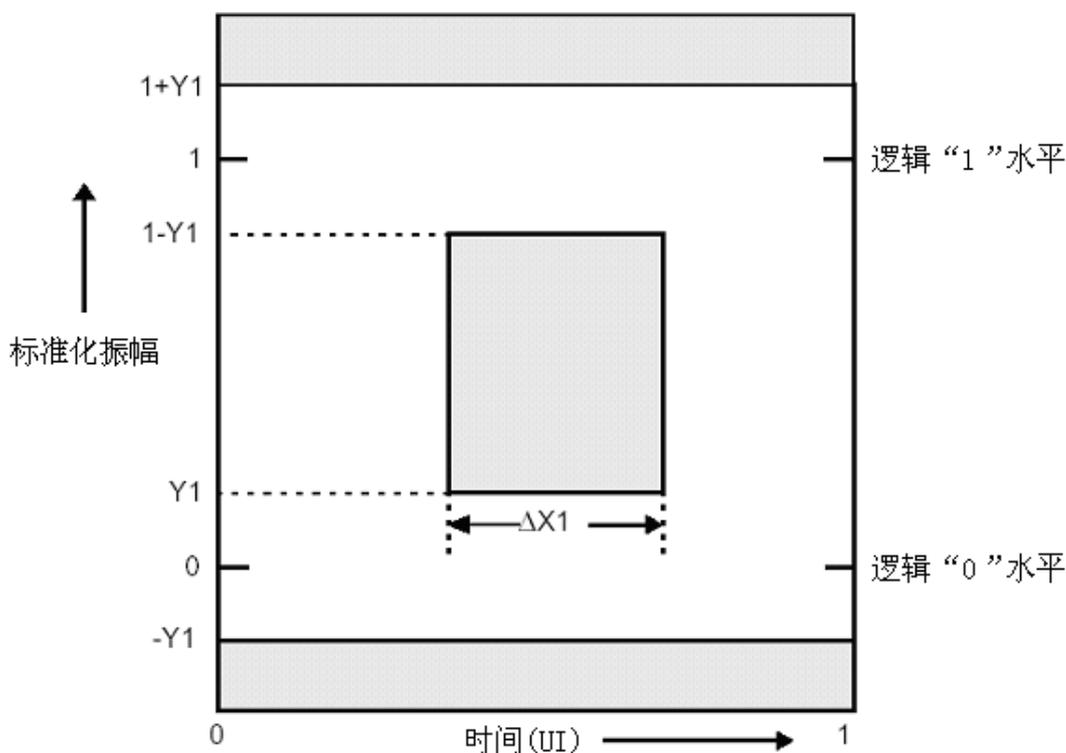
通常可以使用数字采样示波器来执行眼孔图样的测试。眼孔测试性能的关键因素主要包括下列各项。

- 测量仪器的截止频率 - 对于大多数应用来说,会指定使用有特定截止频率的低通滤波器来测量眼孔图样(例如在SONET应用中,四阶贝塞尔-汤姆逊滤波器的截止频率是信号比特率的四分之三)。当光源在“关断”和“开启”状态变换时,可以明显减少超调量和负脉冲信号的幅度,一个典型的光接收机也会提供类似的滤波类型。

- 测量仪器的响应 - 一般而言，从直流电到指定的低通测量滤波器截止频率的响应应该是平直的。这对正确测定“关断”状态发送的光功率，计算消光比或调制深度非常重要。
- 数据累积触发 - 在一个正确的眼孔图样中，示波器上存储的数据点必须能够代表在信号中预计会发生的所有位图样。这样传输信号就不能包括短固定数据样式，而且对于特定的数据模式，用于触发示波器的信号不能是同步信号。

图3-4显示了一个典型的眼孔图样遮光板。图中一个UI是一个“单位间隔”(也就是一个比特周期)，阴暗区域是信号不允许出现的区域， $Y1$ 和 $\Delta X1$ 的值取决于特定的应用。

图3-4 高比特率信号眼孔图样测试的遮光板实例图



### 3.2.4.1.2 上升和下降时间

如图3-5所注解，上升时间( $t_r$ )是指调制光脉冲的上升沿从10%的幅度上升到90%的幅度所需要的时间。同理，下降时间( $t_f$ )是指光脉冲的下降沿从90%的幅度上升到10%的幅度所需要的时间。由于中等调制速率相对较低，可以使用光电检测器，示波器以及下面的方程式获得这些参数：

$$t_r = \left[ t_{r_{obs}}^2 - t_{r_{inp}}^2 - t_{det}^2 - t_{scope}^2 \right]^{0.5} \quad (3-9)$$

$$t_f = \left[ t_{f_{obs}}^2 - t_{f_{inp}}^2 - t_{det}^2 - t_{scope}^2 \right]^{0.5} \quad (3-10)$$

这里

$t_{r_{obs}}$  和  $t_{f_{obs}}$  是在示波器中观测到的光输出的上升时间和下降时间

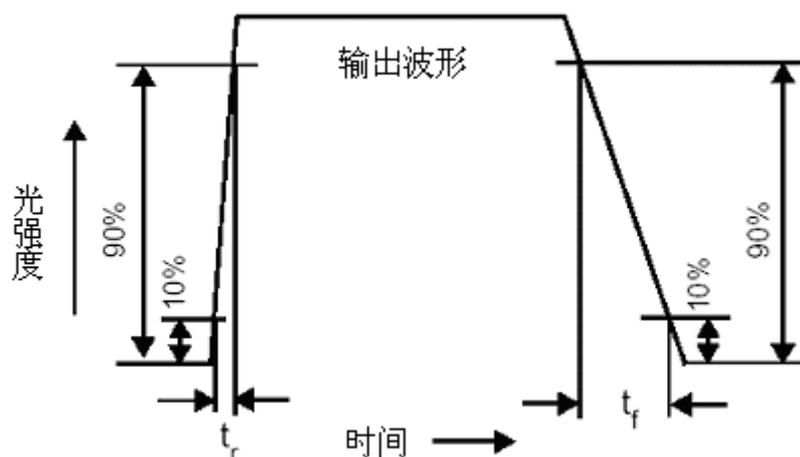
$t_{r_{inp}}$  和  $t_{f_{inp}}$  是电输出脉冲的上升和下降时间

$t_{det}$  是检测器的响应时间

$t_{scope}$  是示波器的响应时间

在许多情况下，这些方程式中的最后三个参数可以忽略(通过使用高速光电检测器，高带宽示波器和驱动电路能够产生一个本性矩形电脉冲)，此时从示波器观测到的时间可以直接同应用的标准比较。

图3-5 上升和下降时间的定义



对于不能以必需的分辨率来记录单个波形的更高调制速率，应用方程式3-9和3-10以及在数字采样示波器中记录的眼孔图样，仍然能够测定上升和下降时间。尤其是

- 如果眼孔图样相对“规则”，大体上可以采用上面指出的关于较低调制速率的方式来测定各种时间。

- 如果在“标准的”眼孔图样中观测到上升沿和下降沿有明显的模糊斑点，那可能是由于独立图样方式例如开启延迟和 / 或上升时间取决于零优先脉冲的数目。在这种情况下通过带有特殊位组合格式的同步示波器采样功能或许可以将模糊边沿变成许多相对清晰的边沿。

最后，在某些情况下可能无法（以足够的精度和分辨率）测量上升和下降时间。此时，与眼孔图样相关的参数是调制光信号的形状。

### 3.2.4.2 消光比和调制深度

消光比( $r_e$ )和调制深度( $P_{\text{mod}}$ )是两个非常相似的参数，跟在全可调状态(通常出现在光程的最差反射处)下，由激光器，LED或调制器发射的不同水平的光功率相关。在数字应用中，更确切的定义是：消光比是指“on”状态(例如，传送的位是“1”时)的平均光能量对于“off”状态(例如，传送的位是“0”时)的平均光能量的比值。在这两个状态中，调制深度不同。消光比通常用dB表示，而调制深度用百分比表示。计算公式如下：

$$r_e = 10 \times \lg \frac{E_R(1)}{E_R(0)} \quad (3-11)$$

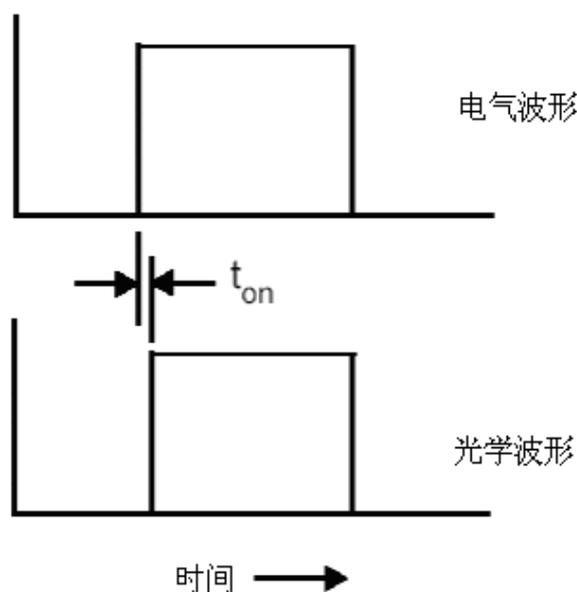
$$P_{\text{mod}} = \frac{E_R(1) - E_R(0)}{E_R(1)} \times 100 \quad (3-12)$$

式中， $E_R(1)$ 和 $E_R(0)$ 是平均光能量水平，以线性单位表示。这些值通常可以由3.2.4.1.1节中，对“眼孔图样”指定的测量区域进行计算得到。然而需要注意的是，为了确保 $E_R(0)$ 的测量精度，测试系统(例如，O/E转换器，放大器，示波器)的响应必须是线性的。[在消光比中，由于 $E_R(0)$ 比 $E_R(1)$ 小很多，一点小误差就会引起 $r_e$ 很大的误差。在调制深度中，虽然由 $E_R(0)$ 的小误差引起的 $P_{\text{mod}}$ 误差很小，但是 $P_{\text{mod}}$ 的允许值范围也相对受限。]

### 3.2.4.3 导通延迟

导通延迟( $t_{\text{on}}$ )指的在施加电信号后，调制光脉冲的上升沿达到振幅的10%需要的时间。图3-6描述了一个“理想的”波形。

图3-6 导通延迟的测量



#### 3.2.4.4 截止频率

截止频率( $f_c$ )是调制包络线的振幅从它的全值下降3dB时的调制频率，这里“全值”定义为在指定的调制频率下（一般是预期截止频率的0.01倍）测量的振幅。截止频率通常会受到偏电流的影响，因此在测试时使用标准的参数值非常重要。此外，测量通常使用常规的信号响应测试治具，并且（用于检测和测试光输出的）光电二极管和测试治具（对预期的频率范围）必须要有足够的带宽。

#### 3.2.5 可调激光器特性

下面列出的是可调激光器的附加特性参数。

- 频率调谐时间( $t_{tuning}$ ) - 从收到调谐请求(任何通道之间)开始，到以预定的频率和指定的特性发射光束为止，经过的最长时间延迟。
- 模块预热时间( $t_{warmup}$ ) - 从模块启动，到模块能够顺利执行调谐命令，经过的最长时间延迟。
- 通道关断或禁用时( $P_{tuning}, P_{disabled}$ )的光功率 - 对于给定的通道，当发射激光的频率不在指定的频率范围时，激光发射的最大功率(通常在模块进行调谐且模块没有光输出时进行测量，以dB表示)。

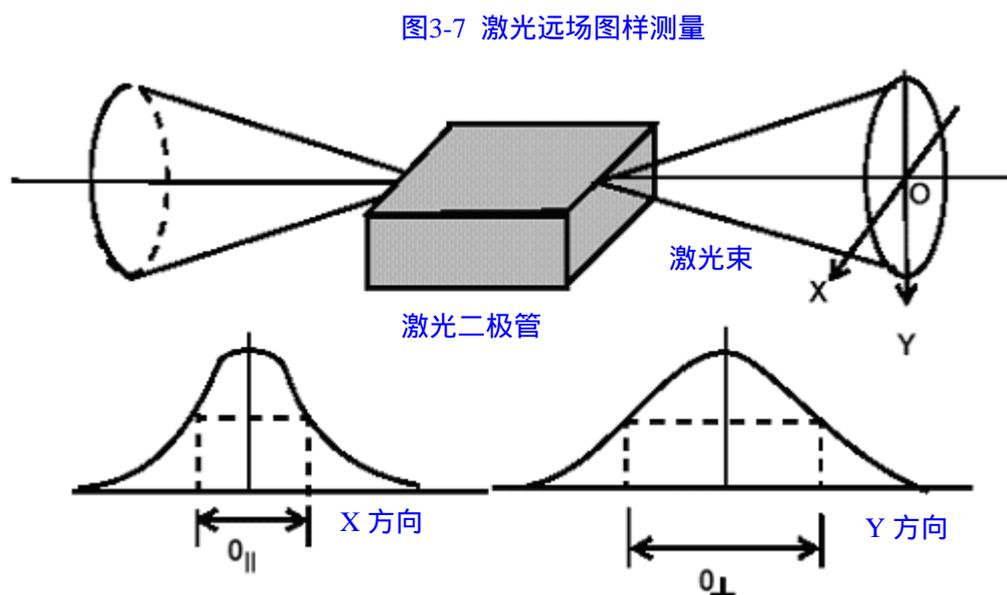
#### 3.2.6 出射光场和元件排列

##### 3.2.6.1 远场图样

虽然远场图样不是电信终端产品指定的参数，但是它对光纤的信号耦合有重要影响，并且图样的变化(从预定的图样)有可能是质量问题的征兆。因此，测试装置需要有足够的分辨率和

灵敏度来显示异常状况。通过 / 失败标准的定义：如果有重大的异常，则是测试失败，而正常的或者在预定的变化范围内则是合格的。

激光器的远场图样通常用两个“半峰全宽”角度来描述(见图3-7)。



### 3.2.6.2 耦合效率

**耦合效率(CE)**是在光纤尾线处测得的光功率对激光二极管或LED的实际输出功率的比值。由于不同的功率计之间都存在参考基准问题，所以通常关心的是同一生产批量中或者不同的生产批量之间耦合效率的变化性或者变化趋势(而不是CE的绝对值)。

激光器或LED模块的耦合效率的典型测量方法：以特定的驱动电流重复测量二极管的光功率(在模块组立前)。推荐的电流值：达到二极管额定光输出功率的50%，但是不能小于指定的最小值。

### 3.2.6.3 前后向寻迹比值偏差

前后向寻迹比值偏差的测量涉及的是由温度变化而引起的激光器前后输出光功率比值的变

化(在激光器模块中，指的是传输介质和后腔面监控器的耦合)，它是驱动电流 / 输出光功率的函数。某些可靠性问题，例如背光损伤会引起该比值的变化或减小。由于存在物理约束，下面推荐的测试方法，会与激光二极管或者激光模块稍有不同。

- 1、对于激光二极管，要测量前向和后向背光的输出功率，来选择驱动电流。激光模块类似，测量耦合的光输出功率和后向背光监控的光电流，来选择驱动电流。不管是激光二极管还是激光模块，驱动电流产生的光功率输出水平均为最大额定输出功率的20% - 120%。
- 2、对于每一个驱动电流，由前向(背光或耦合)输出功率除以后向背光功率或者监控光电流，并且对每一个驱动电流或前向输出功率画出曲线图。
- 3、使用数据点绘制水平线，通常该线形是一条斜率为零的直线。也可用特殊的数据点，如用达到最大额定光输出功率90%的数值来绘制。
- 4、测量离中心线的最大偏差。

对于激光二极管和激光模块，最大偏差量必须小于指定值。

#### 3.2.6.4 前后向寻迹误差

前后向寻迹误差测量指的是：由于温度变化引起的激光器前后光输出功率比值的变化。通常，它可以用于检测当温度变化时，激光器模块的耦合变化。当温度补偿(在额定工作温度和实际工作温度之间)最好时，耦合变化通常最大。因此，该测试涉及的温度至少有3个：模块的最低工作温度，最高工作温度以及额定工作温度(或室温)。

为了进行该测试，需要调整激光器的驱动电流，使后向背光监控光电流相对于前向光功率输出水平的额定值(在额定工作温度下)，维持在一个常数。前后向寻迹误差的计算公式如下：

$$F/R \text{ 寻迹误差}(T) = \left[ \frac{P_f(T) - P_f(T_{nom})}{P_f(T_{nom})} \right] \quad (3-13)$$

这里， $P_f(T_{nom})$ 是在室温下的前向功率， $P_f(T)$ 是在其它温度下的前向功率(例如，最低或最高工作温度)。

#### 3.2.6.5 偏振消光比

偏振消光比(PER)定义：在所有偏振状态下，耦合到光纤的最大光功率与最小光功率的比值。它通过一个旋转的偏光片来测量，通常为 某个最小值，单位以dB表示。

#### 3.2.7 调制器的光学和电气特性

将电信号添加到光载波中，以前最通用的方法是激光器的直接调制。然而，该方法一般只限于(相对来说)低数据传输率和 / 或短距离应用。当传输率和距离增加时，就需要采用其它技术来解决模式和光谱的色散罚值问题。这些系统通常包括：工作在CW(Continuous Wave，连续波)模式的SLM激光器，以及单独的调制器件(即调制器)。

调制器有两种基本类型：EA调制器和外部调制器。特性过程包含的一系列光学和电气参数，在下面的章节中会讲述。

### 3.2.7.1 EA调制器特性

对EA调制器来说，通过或吸收的光取决于施加的电压值，这点跟激光器的制造技术类似。在许多情况下调制器是激光器芯片的一部分。EA调制器的优点包括：尺寸小，驱动电压低，响应速度快，而且啁啾信号很小。

EA调制器的许多特性参数跟直接调制激光器(虽然在某些情况下，它们的测量会更复杂，而且由于调制器的非线性，不确定性会更高)的参数非常相似。这些包括：参数主要取决于器件的激光器部分，调制器工作在全“on”模式(例如：光谱特性，与输出功率和驱动电流相关的特定参数)耦合/耦合问题，而且许多参数取决于连接到调制器部分的激光和射频(RF)驱动器。最后一点，器件的性能是调制器和驱动器的参数，因此驱动器的选择至关重要。

除了前面描述的各种参数外，在EA调制器中可能会用到几个新参数。这些参数包括：

- 电气回波损耗( $S_{11}$ ) - 以特定的阻抗(例如，50  $\Omega$ )驱动时，从调制器反射回去的RF电能。该参数通常用dB表示，是RF频率的一个重要参数。
- 带宽( $S_{21}$ ) - 调制器工作的RF频率范围。
- 调制电压( $V_{mod}$ ) - 在全带宽范围内，以任意频率驱动调制器，使其达到特定的消光比所需的最大RF电压。
- 色散罚值(DP) - 调制器的输出信号通过指定色散特性的，一定波长的光纤后，基准接收机外观灵敏度的减小。该参数(与3.2.9.2节定义的接收机的“色散容限”密切相关)通常用dB表示，当光纤的长度/色散可以忽略时，它与接收机的灵敏度相关。通过在短光纤和指定色散两种情况下，测量BER对接收的光功率关系，然后画出曲线图。

### 3.2.7.2 外部调制器特性

外部调制器通常是由马赫-曾德干涉仪以光波导的形式放入各种感光材料中组立而成的。这些感光材料具有很好的电光特性(即施加电场时，材料的折射率会发生变化)。最常用的感光材料是铌酸锂(LiNbO<sub>3</sub>)，但是也可以使用其它材料。不管怎样，都需要对RF和控制电极施加电场来控制干涉仪的光输出水平。除了各种RF和控制线路外，通常为器件提供了带有光学连接器输入输出端的外部封装。此外，外部调制器通常需要特殊的控制电路，而且对输入信号的波长和偏振态很敏感。相对于EA调制器，它们体积更大，构造更复杂，而且需要更高的驱动电压。另一方面，外部调制器的啁啾信号更小，因此成为远距离DWDM系统的主要选择。

因为外部调制器通常是同时具备光输入输出(因为它不含激光器)的独立器件,所以前面3.2.1节 - 3.2.3节论述的各种光学参数通常不适用(至少要将器件整合到激光器模块或者集成模块中才行)。另一方面,许多与激光器和LEDs的调制工作(参见3.2.4节)相关的参数可以用于外部调制器。此外,在3.2.6节和3.2.7.1节论述的几个参数(或参数变化)同样适用于外部调制器。这些参数包括: $S_{11}$ 和 $S_{12}$ (电气回波损耗和带宽,参见3.2.7.1节),PER(偏振消光比,对于外部调制器来说,是在所有偏振状态下,最大输出功率和最小输出功率的比值),以及下面这些参数(与3.2.7.1节定义的“调制电压”密切相关)。

- RF驱动电压(RF  $V_{\pi}$ ) - 以特定的频率或比特率控制调制器的开关状态所需的RF电压。
- 直流驱动电压(DC  $V_{\pi}$ ) - 控制调制器的开关状态所需的DC(或低频)电压。

最后,外部调制器特有的参数包括下面这些:

- 工作波长范围( $\lambda_{op}$ ) - 调制器工作的波长范围。
- 最大光输入功率( $P_{max}$ ) - 调制器能够连续提供的最大光输入功率。
- 插入损耗(IL) - 调制器在完全开启状态时,连接到光路中产生的光功率损耗。
- 输入光的回波损耗(ORL) - 输入光功率对反射回光纤的光功率的比值 [(一般dB表示)通常用光纤连接到低后向反射的器件中测得,而且会同时在调制器的开启和关断状态测量]。

## 3.2.8 光电检测器特性

### 3.2.8.1 效率

光电检测器的效率通常由两个密切相关的参数中的任意一个来指定。这两个参数,一个是响应度(R)(输出光电流( $I_{ph}$ )和输入光功率( $P_o$ )的比值),另一个是量子效率( $\eta_Q$ ),定义为每一个输入光子产生的电子数。计算公式如下:

$$R = \frac{I_{ph}}{P_o} \quad (3-14)$$

$$\eta_Q = \frac{I_{ph}}{P_o} \times \frac{1240}{\lambda(nm)} \quad (3-15)$$

一般来说,这两个参数值会随着入射信号波长的不同而发生明显的变化。因此需要在特定的测试条件下进行测量。通常使用的测试条件为:

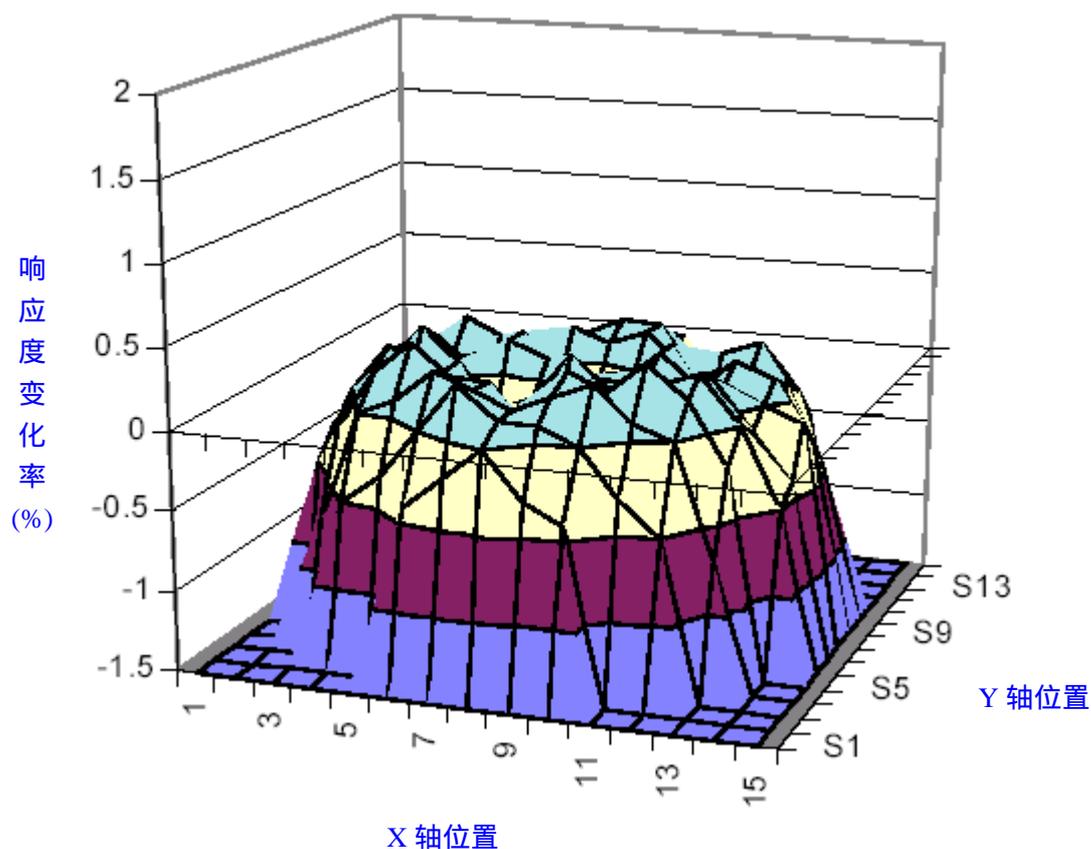
- 25 的环境温度,以及器件指定的最低和最高工作温度(即三次独立的测量)。
- 入射光功率:100uW
- 波长:1310nm或1550nm

· 5V的反向偏压(P-I-N光电二极管)或  $M=10$ [雪崩二极管(APDs)]。

### 3.2.8.2 空间同质性

虽然在3.2.8.1节中，响应度或量子效率似乎(在特定的测试条件下)是一个常数，但实际上它们会沿着检测器的表面发生变化。这种变化，或者空间同质性的缺乏，需要检测器部分相对较小，而且使用时会被激活。对于器件的验证，在器件表面的各个位置测得的响应度通常以中心处的响应度为标准，图3-8给出了近似的曲线图。

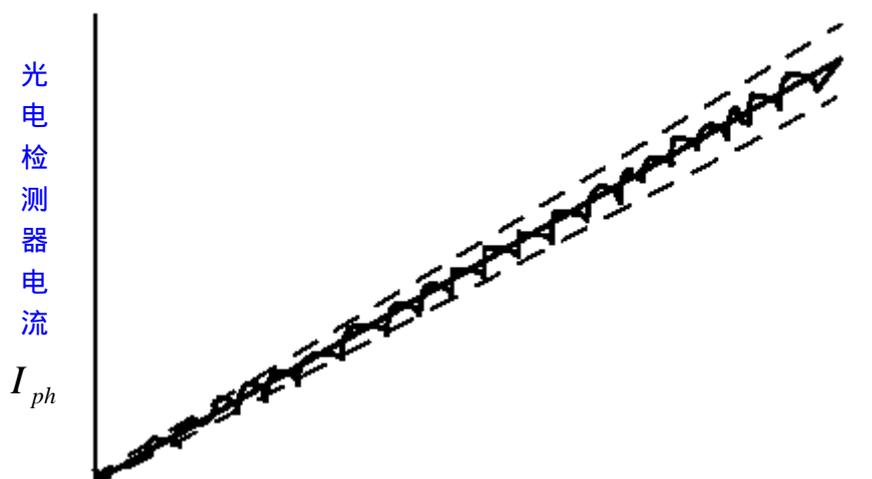
图3-8 空间同质性测试结果图



### 3.2.8.3 线性度

描述光电探测器响应的另外一个重要参数是整体线性度(或者线性度偏差)。使用一个功率可变的光源作为输入，在整个指定的动态范围内，就可以测得检测器的响应度，如图3-9所示。[注意：在图中，光电流曲线的频繁波动是不正常的。中间的实线是线性度的理想状况，另外两条虚线界定了线性度的可能范围。] 线性度的定义：在最大输入光功率下，测得的光电流相对于其理想拟合曲线的最大偏差。

图3-9 光电探测器的线性测试结果图



### 3.2.8.4 监控光电探测器的光电流 输入光功率

对于一些监控光电探测器，例如用于激光器模块的，通常不需要执行一套详细的响应度测试，这跟用于光接收机的光电探测器(即3.2.8.1节 - 3.2.8.3节所描述的)不同。相反，在激光器的最大光输出功率水平 [即  $P_0(\max)$ ] 测量产生的光电流已经足够。对于包含TEC的激光器模块，TEC通常用来设置正常工作的散热片温度。

### 3.2.8.5 暗电流

光电探测器的暗电流是指无光照时产生的电流，它通常会随着反向偏压的增大而增大。一般而言，在反向偏压值大于正常工作的反向偏压时，确定和测量该参数。

### 3.2.8.6 容抗

在某些情况下，测量光电二极管或检测器模块的容抗非常有用。它可以用于检测各种应力测试中会发生的特定类型的劣化。测量时通常施加正常工作时的反向偏压，而频率则取决于器件的用途。

### 3.2.8.7 截止频率

光电探测器的截止频率定义：输出电流的峰峰值从它的“全值”减小3dB时的输出信号调制频率。全值指的是在相同的光输入功率水平和调制深度，以及指定的调制频率(预期截止频率的0.01倍)下测得的数值。通常是将光电探测器设置在正常工作条件下(例如，电压，负载，输入光功率)进行测试。APDs的增益一般设置为10倍。从激光器或者LED发出的正弦调制光信号可以作为器件的输入信号。

### 3.2.8.8 击穿电压

光电检测器的击穿电压定义：产生一个特定的(不允许的)暗电流水平需要的反向偏压。一般通过测量暗电流来确定。测量时反向偏压在整个范围内变化(包括击穿区域)。

除了确立一个适当的电压水平作为该测试的通过 / 失败标准外,由器件供应商或设备厂商选择一个合适的暗电流水平用于确定击穿电压也很重要。尤其是,选择电流水平时需要考虑到器件的“软击穿”和“二次击穿”情况。

### 3.2.8.9 过量噪声因数

APD的过量噪声因数F的计算公式如下：

$$F = \frac{V_n^2}{2qI_{ph}(M=1)BR_L^2} \quad (3-16)$$

这里，

$V_n$  是APD的输出噪声电压的均方根

$q$  是一个电子所带的电量( $1.6022 \times 10^{-19} C$ )

$I_{ph}(M=1)$  是单位增益时的光电流。[即反向偏压时,增加的光电流与没有载波倍增(倍增因数为M)的光电流比值为1]

B是滤片的带宽

$R_L$  是负载电阻

注意：为了确定  $I_{ph}(M=1)$  的值：

- 需要很小的初始电压值，将载波倍增限定在可以忽略的水平，并且
- 需要调整光功率，使没有载波倍增的光电流比暗电流大。

同时注意：在某些情况下(例如，异质结构二极管)，可能达不到单位增益点。那么比较合理的参考增益，例如M=2，可以选择作为基准值。

### 3.2.9 接收机特性

下面论述的这些参数，可以在验证程序中用于描述光电接收机的性能。

#### 3.2.9.1 接收的光功率水平

接收机输入信号的功率水平涉及到的主要参数如下：

- 接收机灵敏度( $P_{Rmin}$ ) - 完成特定的BER(例如,  $1 \times 10^{-10}$ )的平均接收功率的最小值。
- 接收机过载( $P_{Rmax}$ ) - 完成特定的BER的平均接收功率的最大值。

这些参数的单位通常用dBm表示。

### 3.2.9.2 输入信号的衰变容限

本节讨论的参数涉及接收机输入信号的衰变容限。这种衰变会在(远端)接收机产生光信号以及光信号的传输过程中发生。通常，接收机对各种衰变的容限很大程度上取决于器件提供的电子性能 [例如，时钟数据恢复(CDR)电路]。

- 色散容差 - 接收机容许的最大色散量。
- 微分群延迟偏差 - 接收机容许的最大微分群延迟量 [通常由偏振模色散(PMD)引起]。
- 抖动公差 - 为频率的函数，是接收机容许的最大抖动量。
- 最大和最小比特率容差 - 接收机可以接收和处理的输入信号的最大和最小比特率。

## 3.2.10 器件的物理特性

### 3.2.10.1 内部湿度和密封性

本节论述的测试用于检验湿度和密封性。包括确认：制程中密封模块的湿气限定在适当的水平，并且模块维持良好的密封特性(例如，在各种机械应力和环境应力的暴露后)。多数情况下，应用单独的测试(测量内部湿度和密封性)，可以完成预期的两个目标。但是在其它情况下，进行内部水汽含量测试就可以了。

### 3.2.10.2 ESD测试

通常在室温下(25 )对完整器件(已经通过标准的进料检验 / 源流检验和筛选程序)进行ESD测试。为了不影响测试结果，需要遵循下面的预防措施：

- 运输时，测试的模块需要放在导电泡沫中。
- 操作器件时，所有作业员都要佩戴静电环。

### 3.2.10.3 易燃性

通常，光电子模块和集成模块需要满足一些易燃性标准，器件需要满足：

- 通过针焰测试，或者

- 满足UL94 V0等级标准，或
- 满足VI等级标准，氧指数 28%

### 3.3 应力测试程序

应力测试适用于本文涵盖的光电子器件类型的验证，包括机械完整性测试和环境应力测试(包括有驱动的和无驱动的)。

#### 3.3.1 机械完整性测试

该测试用于检验光电子器件和模块的机械完整性。

##### 3.3.1.1 机械冲击和振动测试

通常，该测试的目的在于检验器件经受机械冲击和振动(由于粗率的处理以及在运输和现场操作时产生)的能力。两种测试需要相同的器件样品，详见表4-3。

注意：需要进行特定的集成模块性能测试时，冲击和振动测试的条件是完全不同的(参见4.4.2节)。

###### 3.3.1.1.1 机械冲击

MIL-STD-883E, Method 2002.4, 机械冲击 中的机械冲击测试流程，定义了许多不同的测试条件 [即最大g (重力加速度) 水平和脉冲持续时间]，通常要对6个方向 (即X1, X2, Y1, Y2, Z1 和 Z2) 施加冲击，每个方向5次，加速脉冲波形是正弦半波。如表4-3所示，对于二极管或模块，适用条件A(500g, 1.0ms)，对于集成模块，适用的条件取决于器件的集成度。另外，每个方向都需要进行5次重复测试。

###### 3.3.1.1.2 振动

(无外力的)振动测试程序适用于 MIL-STD-883E, Method 2007.3, 可变频率的振动 中的所有光电子器件，其中定义了三个不同的测试条件(即加速度峰值)。此外，振动频率从20Hz - 2000Hz 近似以对数的方式变化，变化周期为4分钟(或更长)，器件沿着三个轴的每一个方向都要做4个周期。本文涵盖的所有器件，适用的条件为A (即加速度为20g)。

###### 3.3.1.2 热冲击

热冲击测试用于检验模块封装的密封性能。MIL-STD-883E, Method 1011.9, 热冲击 列出了三种可行的测试条件(高温和低温)。对本文涵盖的器件，适用条件A(0 - 100 )。

###### 3.3.1.3 光纤性能测试

通常所有的光电子器件，包括光纤尾线，都要做光纤性能测试。另外，需要根据 GR-326-CORE，单模光纤连接器和跳接线组件的一般要求 测试光纤和连接器接头。

###### 3.3.1.3.2 侧面拉力测试

GR-326-CORE中已经给出了测试治具和流程(如“施加拉力时的传输性能”测试，90°)。但在本文中，施加的负载(90°，距离器件本体22 - 28cm)为0.25kg 或0.5 kg 侧面拉力(分别对应涂覆光纤和紧套光纤，或松套光纤和增强型光纤)，仅需要在测量前后判断测试器件的通过或失败(即施加负载时不用进行测量)。

### 3.3.1.4 连接器和插口器件的耐久性测试

同3.3.1.3节中光电子器件(包括光纤尾线)的光纤性能测试类似，连接器和插口器件的测试包括外部光纤跳线的插入测试。下面给出了几种测试。

#### 3.3.1.4.1 配对耐久性测试

在配对耐久性测试中，重复将外部(测试)光纤跳线与测试器件连接和断开，定期测量光功率来检验损耗，反射比和可插拔性满足相关标准。GR-326-CORE的4.4.3.8节提供了详细的测试流程。

该测试对连接器和插口器件都适用。但是要注意，插口器件与跳线连接时，需要配备特殊类型的连接器本体。因此，测试结果与插口器件和连接器本体的性能都相关。

#### 3.3.1.4.2 摆动测试

摆动测试包括一系列拉力测试(在不同的方向，对器件施加不同角度的拉力)。跟3.3.1.4.1节的配对耐久性测试类似，摆动测试也适用于连接器和插口器件，且插口器件的测试结果与器件本身还有测试连接器本体都相关。

#### 3.3.1.4.3 拉力测试

拉力测试仅适用于带推拉式接头的连接器件(即不适用于带其它类型接头的连接器件或插口器件)，下面是测试流程。

- 使用适当的插入力(对于特定的连接器类型)，将带有光纤跳线的连接器插入连接器本体中。
- 施加适当的负载(对于特性的连接器类型)，测试光纤的连接性能。跟光纤保持力测试一样，最大加载速率为400um / s，直到达到最大负载或者连接器被拔出来为止。
- 断开连接器(如果需要)，重复测试流程，每个样品的连接器本体至少要测试10次。

### 3.3.2 无驱动的环境应力测试

#### 3.3.2.1 存储测试

该测试的目的在于确定光电子器件在运输和存储过程中能否承受高低温变化。因此，在测试时不需要对器件操作，但是在测试前后需要做适当的功能性测量。

#### 3.3.2.2 温度循环

一般而言，温度循环测试的主要目的取决于光电子器件的测试水平。更确切地说：二极管的测试目的是确保能够通过稍后的温度循环和热冲击测试；对于模块，则是为了验证模块封装的长期稳定性。

温度循环测试流程通常根据《MIL-STD-883E, Method 1010.7, 温度循环》来进行。但是，如表4-4所示，本文涵盖的器件的极值温度比标准中定义的更低(即 - 40 和85 )，而标准中列出的极值温度是 - 55 和85 )，循环周期比标准中列出的(最少10个周期)更多。另外，如果使用一般性能(加热和冷却性能)的环测机，高低温之间的最大跃迁时间从小于1分钟，变为最小温度变化率为10 / 分钟(从 - 40 到85 )，即最大跃迁时间为12.5分钟)。如标准中

所述，在高温和低温处的停留时间必须足够长，为了使器件达到该温度，至少需要10分钟。

### 3.3.2.3 湿热测试

同时施加温度和湿度应力，是非常重要的测试，可以用于评定密封模块(例如，检验气密性)和非密封器件(用于非密封模块的二极管，以及模块本身)的性能。对于本文涵盖的器件，应用下面的流程测试已经足够：

- 在相对较高的温度(大约40 )和低湿度下放置24小时。
- 在放置结束时进行测量。
- 在高温和高湿的条件下进行暴露。
- 在室温和正常湿度下，做1 - 2小时的干燥。
- 在干燥结束时进行测量。

表4-4中列出了具体的信息。

## 3.3.3 有驱动的环境应力测试

### 3.3.3.1 高温工作测试

一般而言，高温下的暴露会加速器件的特定失效，减少工作寿命。因此，高温作用的测试目的是在相对较短的时间内，验证器件的长期性能。理想的情况是，具备完整的失效机理和加速因素的信息，使所有器件经过适当的测试后具有确定的操作寿命(例如20年)。而实际操作中，没有足够的时间和信息来验证。因此，做一些假设来确定本文中包含的测试条件，是十分必要的。在下面的章节中，将会论述这些假设和高温工作测试。

另外还要注意：本节中高温工作测试指定的条件和3.4.1节的高温加速老化测试的条件通常是一致的。大多数情况下，唯一的区别是测试样品的数量和测试的持续时间不同。这样在高温工作测试器件，可以通过定期进行适当的“寿命终止”测量，合并一些测试(降低测试成本)，取回一定数量的样品，当高温工作测试完成后，就可以进行附加的温度老化测试。

#### 3.3.3.1.1 测试时间和温度的考虑因素

下面是假设和测试设计准则，用来确定高温工作测试的条件。

- 温度对器件的主要工作失效机理遵循阿列纽斯关系(Arrhenius relationship)，并且在正常的操作和高温测试中，特殊的失效机理占主导。
- 用于阿列纽斯关系的活化能量取决于光电子器件的类型，参见表3-1。
- 除了光电二极管外(见下文)，这些测试中主要的失效机理是衰减失效，因此感兴趣的是衰减失效的活化能量。
- 当器件衰减失效的活化能量  $0.6\text{eV}$  时，需要的测试时间为5000小时；而当衰减失效的活化能量  $> 0.6\text{eV}$  时，测试时间为2000小时。
- 光电子器件的正常(平均)工作温度为40 。

- 除了光电二极管以外，器件只有在CO环境中需要的测试温度为+70 或指定的最高温度，以两者中较高者为准。
- 除了光电二极管以外，器件在UNC环境中需要的测试温度为+85 或指定的最高温度，以两者中较高者为准。
- 即使在高温时，对于光电二极管来说，衰减失效率(有相对较高的活化能量)与随机失效率(活化能量非常低)相比也很小，可以忽略。为了证实这一点，并且获取产品随机失效率的相关信息，同时避免不必要的验证延迟，将光电二极管的高温工作测试时间和环境温度指定为2000小时和175 。
- 如果“可忽略的衰减失效率”假设不适用于某种特殊类型的光电二极管(例如，采用某种新技术的光电二极管)，则适用上面列出的(针对其它所有器件类型的)准则。
- 在这些测试中，二极管水平器件的最小数量为22个，模块水平器件的最小数量为11个。

当假设或准则发生变化以减少测试时间或降低测试温度时，器件供应商或设备厂商要负责进行测试，同时证明修改后的假设是正确的(例如，如果需要更高的活化能量，推荐值要基于适当的数据，在3.1.4.2节有论述)。另外，建议使用下面的条件。

- 对于随机失效机理，器件的等效时间是首要的考虑因素。因此，可以通过简单地增加样品数量来减少测试时间(在限定范围内，见下文)。
- 对于衰减失效机理，每一个器件的等效时间是首要的考虑因素。通常不能通过增加样品数量来减少测试时间。
- 所有类型的器件，最小测试时间为2000小时。

### 3.3.3.1.2 其它测试条件的考虑因素

同时对器件施加多种应力时，产生的效果跟单独施加每一种应力时的效果不同。这意味着在高温工作测试和加速老化测试时，如果施加温度以外的应力，结果可能是：测试的模拟时数会与需要的时数，或者根据阿列纽斯关系预测的时数完全不同。因此，通常为高温工作测试和加速老化测试指定其它变量。例如，将驱动电流设置为最大额定值(即在正常工作中预期会达到的最大值)。

对于可调激光器，改变指定的波长和频率会对性能产生重大影响，可能还会引起器件的老化。另一方面，通常不可能在各种变量组合条件下测试一整套样品。因此，确定应力最大的变量组合，并对样品应用这些条件非常重要。

对于外部调制器，预计影响器件性能或老化的主要变量(除了室温外)是调制速率。增大调制速率会使器件内部热温上升，因此在表 4-5 和表 5-1 中都有说明：在高温工作测试和加速老化测试中，器件需要工作在“最大指定调制速率”。外部调制器通常以最高比特率，输入 PRBS 或类似信号来进行测试。但随着各种产品支持的比特率大幅增加(例如，达到 10Gb/s 或 40Gb/s)，译码的测试设备成本也越来越高。因此也可以使用正弦调制，产生的内部热温或功率耗散效应与前面类似。一般来说，器件供应商或设备厂商需要确定合适的调制频率，并做相关记录。调制频率要比换算频率(简单的将指定的最大比特率转换成频率单位)低

(如在上面的例子中，调制频率  $\leq 10\text{GHz}$  或  $40\text{GHz}$ )。

### 3.3.3.1.3 高温工作测试的适用性

对于某些光电子器件，跟高温工作测试相关的器件失效机理与器件是否工作无关。这样，该测试就和高温存储测试重复，可以省略。下文中有提及。

- 如果新的光电子模块是在早期产品(已经做过高温工作测试和高温存储测试)的基础上设计的，并且可以证明两项测试的失效模式是一样的，那么对新模块就不需要重新测试。相反，只需重做产生更大应力的那个测试。

注意：在这两项测试中，除了指定环境温度和测试持续时间外，还要考虑哪个测试产生的局部热温更严重。同时，如果两项测试的局部热温产生的失效机理同都不一样，就需要进行这两项测试。

高温工作测试是新产品所必需的，其原因之一是：对那些耦光和温度变化(例如，激光发热)敏感的失效机理来说，它是一个更加有效的测试。因此，新产品需要做两项测试。

### 3.3.3.2 循环抗湿性

循环抗湿性测试的目的：在一个相对较短的时间内，验证器件阻抗的劣化类型。这些情况在 UNC 环境中，高温 / 高湿和冰冻 / 解冻的条件下会发生。程序包括下列各项：

- 初始调节和测量
- 7个步骤，24小时“循环”，每一个循环包括：
  - 两个温度上升曲线(从室温到 $+65^\circ\text{C}$ ，高湿状态)
  - 两个均热期( $+65^\circ\text{C}$ ，高湿状态)
  - 两个温度下降曲线(回到室温，高湿状态)
- 不管是在室温和高湿下的状态保持，还是(至少占一半循环)器件的低温子循环，在 $-10^\circ\text{C}$ 时至少要保持3小时。
- 最后测量

测试器件时，不需要初始调节。另外，在测试时模块指定在正常工作状态。表4-5指定的循环数为“20”；但是特殊情况下，也可以将循环数减少到10个(仅适用于密封室内的大型仪器，温度变化的时间常数维持在一个或几个小时)。上面提到的低温子循环至少要占一半循环以上。

### 3.3.3.3 湿热 (非密封器件的有驱动测试)

除了3.3.2.3节提到的湿热测试(用于无驱动力的测试器件)之外，对于有驱动力的非密封光电子器件，通常也需要进行湿热测试。测试条件除了考虑温度，湿度，暴露的持续时间之外，还需要考虑一些工作参数(如驱动电流 / 光功率水平或者栅流)。拿激光器模块来说，使用最大的额定驱动电流会明显的降低湿度，这样就减少了湿度应力。因此，模块的测试条件(参

见表4-5)指定为高温，高湿并且相对较低的驱动电流 / 输出功率。

同3.3.2.1节和3.3.3.1.3节类似，对于同样的非密封器件，湿热测试(无驱动的和有驱动的)在产生其它不同的失效模式时，也会产生相同的失效模式。在高温测试时，如果跟湿热测试相关的失效机理与器件是否有驱动无关，那么无驱动测试和有驱动测试会重复，只要一个就行了。下文有陈述。

- 如果新的光电子模块是在早期产品(已经做过有驱动和无驱动测试)的基础上设计的，并且可以证明两项测试的失效模式是一样的，那么对新模块就不需要重新测试。相反，只需重新检验(产生更大应力的)那个测试。

### 3.4 加速老化

3.2节和3.3节中论述的基本上都是定性测试，用于验证器件是否通过测试，以及允收 / 拒绝器件批。相反，本节和第5章论述的加速老化和可靠性测试都是带数值结果的定量测试，主要用于定性测试中可靠性的计算(见3.4.4节)以及条件的改变(如时间，温度)。

对于做加速老化测试的器件，高温、湿度和驱动电流这些应力会施加到一系列的“标准”设备中(即样品的制造和筛选通常会使用这些器件)。如下文所述，在有些情况下施加应力旨在加速逐步劣化而引起的衰减失效。而在其它情况下，会加快随机失效发生的速率。

#### 3.4.1 高温加速老化

在加速老化测试中，施加的主要环境应力是高温。在性能参数确定的情况下，可以假定测试结果遵循阿列纽斯关系(见3.1.4.1节)。在这些测试中，要定期对选定的参数进行劣化监控(最好在原位)，直到达到“寿命结束”的门槛值或者指定的测试时间。如果测试结束后器件仍然工作，就可以根据观测到的劣化来推断器件何时达到“寿命结束”的门槛值。这些估计时间就可以和其它器件(“寿命终结”的)门槛跨越时间一起使用，用于可靠性的相关计算(见3.3.4节)。

##### 3.4.1.1 恒温测试

同3.3.3.1.1节中的高温工作测试类似，在确定高温加速老化测试的条件时，需要若干假设。这些和3.3.3.1.1节列出来的差不多，只有下面的例外：

- 初期所需的测试时间是5000和10000小时，而不是2000和5000小时。
- 用于测试的器件最小数目是10或5，而不是22或11。

一般来说，如果测试时间增加，会使衰减失效率和随机失效率的数值更好。对于“新”器件来说，这一点特别重要(因为器件无现场数据可用)。

##### 3.4.1.2 替代的(变温)测试

作为恒温加速老化测试的替代，3.4.1.1节和表5-1中论述并列出了测试条件。设备厂商或器件供应商会发现，这对于进行一个变温加速老化测试非常有用(例如，缩短所需的时间来完成器件验证)。为此，越来越高的温度(例如，+60，+85，+100)会按顺序用于指定的周期，实际的测试时间会适用时间(表5-1中列出)，有效的老化时间预示的老化时间

(在表5-1中可以由测试时间和温度推断出来)。

### 3.4.1.3 激光器的附加考虑因素

除了时间和操作温度外,有些资料指出:激光器的门槛电流值的劣化还取决于光输出水平(即激光工作的光输出功率)。至少在某些情况下,这种关系可以由方程式3-17描述:

$$\frac{\Delta I_{TH}(L_2)}{\Delta I_{TH}(L_1)} \propto \left[ \frac{L_2}{L_1} \right]^n \quad (3-17)$$

这里  $n$  是经验指数,  $L_1$  和  $L_2$  是不同的光功率水平,用于加速老化测试的不同光功率输出。

从式中可以看出,光功率水平可以作为应力用于测试中(即可以使用高于最大额定值的电流/光功率水平)。但是还没有足够的数据采用这种方法来进行逐一分析。因此,可以使用基于光输出水平的加速因子(非本文指定),而在适当的情况下,还是可以作为一个真正的可靠性测试程序(与可靠性保证测试相反,见第5章)。

### 3.4.1.4 光电二极管的附加考虑因素

在高温加速老化测试中,与其它光电子器件相比,光电二极管更容易产生意外的(随机的)失效,但很少会显示特殊性能参数的逐步劣化。而在某些测试时,光电二极管有时还会做一些“改善”(例如,暗电流减小),此时就无法推断出失效时间。但是如果劣化真的发生,根据这些劣化推导出“寿命结束”的门槛值非常重要。

### 3.4.1.5 外部调制器的附加考虑因素

除了温度,偏压对外部调制器的老化也有很重要的影响。另外,调制速率,调制电压和光功率也可能产生一定的影响(相对较小)。在将它们用于加速因子计算之前,需要附加的数据来验证和描述这些影响。

## 3.4.2 温度循环测试

除了光电子器件必须进行温度循环(见3.3.2.2节)之外,对模块做附加的温度循环也非常有效(用于“加速老化”的目的)。跟高温加速老化测试不同,附加温度循环的主要目的通常不是使特殊的性能参数(例如激光器的门槛电流)产生逐步劣化。相反,它论证了模块封装的长期稳定性。

### 3.4.3 非密封模块的湿热测试

对于一些非密封模块,虽然已经有湿度加速因子模型,但是数据还相对较少(湿度对于二极管的长期衰变和光耦合的可靠性影响),所以需要时间相对较长、较严格的测试,结果主要用于随机失效率(而不是衰减失效率)的计算。

## 3.4.4 失效率和可靠性计算

### 3.4.4.1 失效率

衡量一个器件的可靠性最直接的就是失效率。然而,这是一种“事后”的指标。本文的可靠性保证措施主要是提供某种程度的置信水平,失效率会和公共交换网络的需求一致。由于NEs种类繁多,用处各异,不可能列出适用于每一种情况的最大失效率。就是特别设计的硬件或系统也会存在差异。另一个复杂的因素是失效率会随着时间的改变而发生变化(见1.5.5

节)。

由于光电子器件的现场可用数据有限，因此估计器件的失效率，实验室的测试数据是主要来源。在某些情况下，衰减失效率可以合理地预测加速老化测试的结果，各种测试结果能够帮助确定器件的异常随机失效率。然而，器件如果没有工作数百万小时，则可能无法获得精确的失效率。

当新产品进入市场时，工作时间通常会小于一百万小时，因此没有充分的器件工作时间来证明失效率低于1000 FITs。此外，器件的测试时间和工作时间的转换涉及许多假设。一些数据显示，即便在更极端的测试环境下，结果几乎没有什么影响。因此出现低(总的)失效率时，用户需谨慎，同时无须担心表面上的高失效率。

#### 3.4.4.2 逐步劣化分析

在高温加速老化测试中，很少有器件能够真正达到“寿命结束”阈值。因此，当劣化发生时(例如，激光器阈值电流值的突然增加)，需要预测将来某个时候的失效。常见的推断或预测方法如公式3-18所示。

$$\Delta X(t) = A \times X(0) \times t^m \times e^{\left[ \frac{-E_a}{kT} \right]} \quad (3-18)$$

这里，

X是相关的参数(如  $I_{TH}$  ,  $P_{op}$ )

A和m是经验值

$E_a$  是活化能量

k是波尔兹曼常数( $8.618 \times 10^{-5} eV / K$ )

T是绝对温度值(单位：开尔文)

t 是时间

对于一个给定的温度，令  $m=1$  (使式3-18与阿列纽斯关系一致)，在方程式的两边同时加上相关参数的初始值，做一个简单的线性拟合：

$$X(t) = X(0) + A_1 \times t \quad (3-19)$$

这里  $A_1$  是另外一个经验值。

如果  $m \neq 1$ ，幂律模型可以从式3-18推导出来。可以写为：

$$\Delta X(t) = A_t \times t^m \quad (3-20)$$

或者

$$\log[\Delta X(t)] = \log A_1 + m \times \log t \quad (3-21)$$

遗憾的是，对于所有类型光电子器件的设计，似乎没有任何一种方式或“m”值可以提供最精确的老化预测。另一方面，老化数据的线性拟合(m=1)通常可以认为是一个安全的“最坏”方式。如果该结果可以由其它方式获得，设备厂商或器件供应商需要证明已选的方式有更好的拟合效果，尤其是数据要超过1000小时。需要绘制 X 和时间的曲线(根据加速老化测试中获得的的数据)用于复查。

**R3-15 [116v2]** 测试样品(高温加速老化测试)的预期寿命(或器件在测试时达到“寿命结束”门槛值时的实际寿命)分布图应该有效，可以用于复查。

#### 3.4.4.3 可靠性计算

一般来说，可以从加速老化测试中计算出来的主要参数是衰减失效率(是时间的函数)和随机失效率 [通常根据指数失效率分布模式，计算60% - 90%的单边置信限(CLs)] 这些参数和其它参数一起，适用于特殊的失效模式 / 寿命模式。可以采取多种计算方法，包括使用复杂的计算机程序。

**R3-16 [165v2]** 随机和衰减失效率可以由加速老化测试数据计算出来。这些数据应辅以现场数据以供使用。

在进行可靠性相关计算时，应该注意：随机失效率和衰减失效率不能互换，这一点非常重要。也就是说，它们由不同的失效机理产生，并代表了不同的可靠性措施，器件的总体失效率是这两种分布的总和(假定有一个完美的筛选程序，没有初始失效率)。

#### 3.4.4.4 结果报告

二极管的失效率信息通常使用如表3-2格式的报告表单。模块的结果要稍微复杂一点，也采用类似的方式记录和存档，但通常要提供模块元件的附加信息。

表3-2 失效率报告格式

	衰减失效率@40 (FITs)	随机失效率@40 (FITs)	
		@60% CL	@90% CL
@5年			
@10年			
@15年			

@20年			
@25年			
失效率的来源 (例如, 加速老化测试, 现场数据, SR-332) 衰减失效率 随机失效率			

除了这些基本信息, 设备厂商或器件供应商还需要提供(例如, 根据客户要求)其它的补充资料。典型的失效率(根据长期加速老化测试的结果得到)信息, 应该包括:

- 1、 样本大小
- 2、 测试条件
- 3、 寿命结束门槛值
- 4、 允许的失效数量以及观测到的数量
- 5、 失效分析结果
- 6、 从结果中排除的失效数量(以及原因)。

同样, 在某些情况下, 可能还需要报告在第二个工作温度下(例如, @55 )的失效率。

#### 4 光电子器件的验证

如1.5.1节所述, 在许多情况下都有两个或三个主要的组立水平用于确保光电子器件的可靠性。分别是二极管水平(通常将二极管封装在基座上组立后, 进行测试), 模块水平以及集成(逐渐增加的)模块水平。同样在许多情况下, 在二极管水平不能测试, 至少有一些参数要在组立成模块后才能获得, 而另外一些参数需要在模块水平或集成模块水平下测试得到。因此, 本章(提供了各种类型光电子器件的验证标准), 第5章(提供了可靠性测试的相关标准)和第6章(提供了逐批控制的相关标准)包括了整个二极管, 模块和集成模块水平。此外, 第7章也提供了许多其它元件的类似标准。

**R4-1 [419]** 光电子器件的验证应该包括下列信息。

- 1、 光电子元件验证: 如果光电子器件包含一个或多个更低水平或更小的光电子元件(即光电二极管或模块, 适用4.1节和4.2节的标准), 需要参照标准验证这些元件。
- 2、 其它元件验证: 如果光电子器件包含其它光学元件或电子元件, 应该根据第7章的标准验证这些元件。
- 3、 器件验证: 根据4.1节和4.2节的标准验证完全组立好的器件。

## 特性

### 4.1.1 特性测试

**R4-2 [106v2]** 光电子器件需要测试性能(例如，光学性能和电气性能)和物理特性。

**O4-3 [107v2]** 特性测试至少要包括器件供应商指定的所有性能参数。

除了在特性测试过程中确定并验证一套特殊的性能参数外，设备厂商和器件供应商还需要考虑这些测试完成的特定条件。在大多数情况下，主要的参数是环境温度。但是如下文所述，在某些情况下，其它的参数可能也需要加以控制。

**R4-4 [420]** 对所有器件而言，(一套合适的参数)需要将环境温度设为最小和最大工作温度(除了室温以外)，并做测量。

**R4-5 [421]** 对于可调激光器，(一套合适的参数)需要将波长指定在最小工作波长，最大工作波长以及靠近指定工作波长范围的中点处波长。

**O4-6 [422]** 如果没有满足下面论述的条件，当器件在三个水平(低水平)的冲击和振动条件(如4.4.2节所述，见表4-6)下时，需要测量集成模块的参数。

**CR4-7 [423]** 对于所有器件，当环境温度以1 / 分钟变化时，需要测量一整套参数。

**R4-8 [110v2]** 对二极管水平和模块水平做性能相关的特性测试时，至少需要20个器件。  
4.4.1节论述的例外，对集成模块水平的特性测试至少需要10个器件。不允许有失效。

**R4-9 [424]** 表4-2中列为“R”的测试 / 参数应该包括光电子器件验证程序的物理特性部分。

**O4-10 [425]** 表4-2中列为“O”的测试 / 参数应该包括光电子器件验证程序的物理特性部分。

在鉴定表4-1中的许多光电子器件性能时，预计会用到参数清单。这些参数通常已经测试过，适用于这些类型的器件。在使用表4-1时需要注意：在某些情况下，列出来的参数适用于特定类型的器件，但是可能不适用于该种类型的特殊器件。同理，为了描述特殊器件，在某些情况下可能需要测量附加参数(不是表4-1所列出的参数)。

表4-1 光电子器件特性的典型性能参数

标题	参数	符号	参考章节	适用
光谱	波长	$\lambda$	3.2.1	激光二极管和模块， LEDs和LED模块
	谱宽	$\Delta\lambda$	3.2.1	激光二极管和模块， LEDs和LED模块

	边模抑制比	SMSR	3.2.1.2	SLM 激光二极管， 带SLM 激光器的激光模块
	自激源发射	SSE	3.2.1.2	SLM 激光二极管， 带SLM 激光器的激光模块
	啁啾系数	$\alpha$	3.2.1.2.4	传输速率 > 2.5Gb/s的直接调制 激光二极管和模块， EA调制器
光输出 和光电 特性曲 线	光功率	P	3.2.2.1	指定功率输出水平的 激光器和LED模块
	门槛电流	$I_{TH}$	3.2.2.2	激光二极管和模块
	特征温度	$T_O$	3.2.2.3	激光二极管
	光功率@ $I_{TH}$	$P_{TH}$	3.2.2.4.1	激光二极管和模块
	光功率@ $I_{OP}$	$P_{OP}$	3.2.2.4.2	LEDs和LED模块
	整体L-I线性度	-	3.2.2.5.1	激光二极管和模块
	谐波失真	-	3.2.2.5.1	模拟用途的激光二极管和模块
	L-I拐点	-	3.2.2.5.2	激光二极管和模块
	L-I饱和度	-	3.2.2.5.3	激光二极管和模块
	斜效率	$\eta$	3.2.2.6	激光二极管和模块
	相对强度噪声	RIN	3.2.2.7	激光二极管和模块
	超级发光	-	3.2.2.8	EELEDs，带EELEDs的 LED模块
	激光门槛值	-	3.2.2.9	EELEDs，带EELEDs的 LED模块
电压 - 电流曲 线	前向电压@ $I_{TH}$	$V_F(TH)$	3.2.3	激光二极管和模块
调制 输出	眼孔图样或 上升&下降时间	- 或 $t_r$ & $t_f$	3.2.4.1	直接调制激光二极管和模块， LEDs和LED模块，EA调制器 以及外部调制器

	消光比或调制深度	$r_e$ 或 $P_{\text{mod}}$	3.2.4.2	直接调制激光二极管和模块，LED模块，EA调制器以及外部调制器
	导通延迟	$t_{\text{on}}$	3.2.4.3	直接调制激光二极管和模块，LEDs和LED模块，EA调制器以及外部调制器
	截止频率	$f_c$	3.2.4.4	直接调制激光二极管和模块，LEDs和LED模块，EA调制器以及外部调制器
可调激光器特性	频率调谐时间	$t_{\text{tuning}}$	3.2.5	可调激光模块
	模块预热时间	$t_{\text{warmup}}$	3.2.5	可调激光模块
	通道禁用或关闭时的光功率	$P_{\text{disable}}$ 或 $P_{\text{tuning}}$	3.2.5	可调激光模块
光输出场耦合	远场FWHM角	$\theta_{\parallel}$ 或 $\theta_{\perp}$	3.2.6.1	激光二极管，EA调制器
	耦合效率	CE	3.2.6.2	激光模块
	F/R寻迹比率	$r_f/r$	3.2.6.3	激光二极管和模块
	F/R寻迹误差	$T_e$	3.2.6.4	激光模块
	偏振消光比	PER	3.2.6.5, 3.2.7.2	激光二极管和模块以及外部调制器
调制器电气特性	电气回波损耗	$S_{11}$	3.2.7.1	EA调制器 外部调制器
	带宽	$S_{21}$	3.2.7.2	EA调制器 外部调制器
	调制电压	$V_{\text{mod}}$	3.2.7.1	EA调制器
	DC驱动电压	DC $V_{\pi}$	3.2.7.2	外部调制器
	RF驱动电压	RF $V_{\pi}$	3.2.7.2	外部调制器

调制器 光学特性	色散罚值	DP	3.2.7.1	EA调制器
	工作波长范围	$\lambda_{OP}$	3.2.7.2	外部调制器
	最大光输出功率	$P_{\max}$	3.2.7.2	外部调制器
	插入损耗	IL	3.2.7.2	外部调制器
	输入回波损耗	RL	3.2.7.2	外部调制器
检测器 或监控 器操作	响应度或 量子效率	R或 $\eta_Q$	3.2.8.1	光电二极管和检测器模块
	空间同质性	-	3.2.8.2	光电二极管和检测器模块
	线性度	-	3.2.8.3	光电二极管和检测器模块
	光电流@ $P_O(\max)$	$I_{ph}$	3.2.8.4	监控光电二极管
	暗电流	$I_{dark}$	3.2.8.5	监控光电二极管， 光电二极管和检测器模块
	容抗	C	3.2.8.6	光电二极管和检测器模块
	截止频率	$f_c$	3.2.8.7	光电二极管和检测器模块
	击穿电压	$V_{br}$	3.2.8.8	光电二极管和检测器模块
	过量噪声因数	F	3.2.8.9	雪崩二极管(APD) 基于APD的检测器模块
接收机 操作	灵敏度	$P_{R\min}$	3.2.9.1	接收机模块
	过载功率	$P_{R\max}$	3.2.9.1	接收机模块
	色散容差	-	3.2.9.2	接收机模块
	DGD容差	-	3.2.9.2	接收机模块( 10Gb/s的系统)
	抖动公差	-	3.2.9.2	接收机模块
	比特率偏差容限	-	3.2.9.2	接收机模块

表4-2 器件的物理特性

参数	参考章节	附加信息	抽样	适用范围
----	------	------	----	------

			LTPD	SS	C	
内部湿度	3.2.10.1.1	-	20	11	0	<b>R</b> 所有密封光电子模块
密封性	3.2.10.1.2	-	20	11	0	<b>R</b> 所有密封光电子器件
ESD	3.2.10.2.1	HBM,最小门槛值基于器件的ESD灵敏度分类,参照FOTP-129	-	6	0	<b>R</b> 所有光电子集成模块(除了注释3中的模块)
	3.2.10.2.2	± 8kV和 ± 15kV放电,参照GR-78-CORE	-	2	0	<b>O</b> 所有光电子集成模块
易燃性	3.2.10.3	-	-	3或5	-	<b>R</b> 所有光电子模块和集成模块(除了注释6中的模块)
晶片抗切强度	3.2.10.4	适用于所有相关的连接(例如,二极管/散热片和散热片/子基座)	20	11	0	<b>R</b> 所有光电二极管(子基座组件)
可焊性	3.2.10.5	无须蒸气老化	20	11	0	<b>R</b> 所有光电子模块
线粘合强度	3.2.10.6	适用条件取决于粘合类型	20	11	0	<b>R</b> 所有光电二极管(子基座组件)

**表4-2的注释：**

3、除非模块和集成模块中的所有元件都做测试,且ESD门槛值大于4000V,或者是LiNbO3(铌酸锂)调制器(通常认为不受ESD影响),否则类似的器件都要事先做ESD测试。

5、阻燃的密封金属或陶瓷封装不需要做易燃性测试。但是,附带有潜在易燃性材料的封装就需要做测试。

**4.1.2 特性测试的通过 / 失败标准**

除了一般的相关标准(3.1.3节中提供的通过 / 失败标准),下面的要求适用于内部水汽含量测试。

**R4-11 [426]** 如果不满足**R3-7 [415]**,对内部水汽含量测试,设备厂商或器件供应商应该使用下面列出的通过 / 失败标准。

· 水汽含量 5000ppm

注: ppm, parts per million, 百万分之...

**4.2 应力测试****4.2.1 机械完整性和环境应力测试**

**R4-12 [113v2]** 光电子器件验证程序的机械完整性和环境应力测试部分应该包括:表4-3,4-4和表4-5列出的带“**R**”的测试,指定的测试环境为CO或UNC(酌情选择)。

R4-13 [427] 光电子器件验证程序的机械完整性和环境应力测试部分应该包括：表4-3，4-4和表4-5列出的带“O”的测试，指定的测试环境为CO或UNC(酌情选择)。

表4-3 机械完整性测试

测试	参考章节	附加信息	适用范围
机械冲击	3.3.1.1	条件A (500g, 1.0ms) , 5次 / 方向	R 所有光电二极管和模块
		300g, 3ms, 5次 / 方向	R 质量 0.225Kg的所有 光电集成模块
		5g, 11ms, 5次 / 方向	R 0.225Kg < 质量 1.05Kg 的所有光电集成模块
振动	3.3.1.1	条件A (20g) , 20 - 2000 - 20Hz, 4分钟 / 循环 , 4个循环 / 轴 , 无驱动	R 所有光电二极管, 模块和 集成模块
		5g, 10 - 100 - 10Hz, 1分钟 / 循环 , 10个循环 / 轴 , 有驱动	O 所有光电集成模块
热冲击	3.3.1.2	条件A (0 和100 )	R 所有密封光电模块
光纤性能 - 扭曲测试	3.3.1.3.1	0.5kg, 10个循环, 距离 器件本体3cm 或是 耐扭迫紧式Cable	R 有外被, 带紧套或松套光 纤尾线的光电子模块和 集成模块
		1.0kg, 10个循环, 距离 器件本体3cm或是 耐扭迫紧式Cable	R 带增强型光纤尾线的所 有光电模块和集成模块
光纤性能—侧面拉力 测试	3.3.1.3.2	0.25kg, 90度, 距离本体 22 - 28cm	R 带外被或紧套光纤尾线的 光电模块或集成模块
		0.5kg, 90度, 距离本体 22 - 28cm	R 带松套或增强型光纤尾线 的光电模块或集成模块
光纤性能—Cable 保持力测试	3.3.1.3.3	0.5kg, 1分钟	R 带外被或紧套光纤尾线的 光电模块或集成模块
		1.0kg, 1分钟	R 带松套或增强型光纤尾线 的光电模块或集成模块
连接器 / 插座耐久性 - 配对耐久性测试	3.3.1.4.1	200次配对	R 连接式或插座式光电模块 或集成模块
连接器 / 插座耐久性 - 摆动测试	3.3.1.4.2	具体流程还在进一步 研究	O 连接式或插座式光电模块 或集成模块
连接器耐久性 - 拉力测试	3.3.1.4.3	至少连接10次, 拔出次 数不能超过3次	R 连接式或插座式光电模块 或集成模块

表4-4 无驱动的环境应力测试

测试	参考章节	附加信息	环境		适用范围
			CO	UNC	
高温存储	3.3.2.1	85 , 2000小时	R	R	所有光电模块和集成模块
低温存储	3.3.2.1	- 40 , 72小时	O	O	所有光电模块和集成模块
温度循环	3.3.2.2	- 40 / +85 , 50个周期	O	R	激光二极管, LEDs, 光电二极管以及 EA调制器
		- 40 / +85 , 100个周期	R	-	用于CO环境的所有光电 模块和集成模块
		- 40 / +85 , 500个周期	-	R	用于CO环境的所有光电 模块和集成模块
湿热	3.3.2.3	85 / 85%RH, 500个周期	R	R	指定用于非密封模块的 所有光电二极管, 以及所 有光电模块和集成模块

表4-5 有驱动的环境应力测试

测试	参考章节	一般条件	抽样			环境		适用范围 (以及器件的指定条件)
			LTPD	SS	C	CO	UNC	
高温操作	3.3.3.1	70 , 5000 小时	10	22	0	R	-	激光二极管(最大额定 功率或电流) LEDs(最大额定电流) 和EA调制器(适当的条 件)
		85 , 5000 小时	10	22	0	-	R	激光二极管(最大额定 功率或电流) LEDs(最大额定电流) 和EA调制器(适当的条 件)
		175 , 2000 小时	10	22	0	R	R	光电二极管 ( $2 \times V_{OP}$ )
		70 , 2000 小时	20	11	0	R	-	用于CO环境的所有光电 模块(除了外部调制器)和 集成模块(激光器和LED 模块的最大额定功率和 电流, 检测器模块的正常 偏压, 接收机模块的正常 工作条件)

						<b>O</b>	-	用于CO环境的外部调制器 (适当的条件, 包括指定的最大调制速率)
		85 , 2000 小时	20	11	0	-	<b>R</b>	用于UNC环境的所有光电模块(除了外部调制器)和集成模块(激光器和LED模块的最大额定功率和电流, 检测器模块的正常偏压, 接收机模块的正常工作条件)
						-	<b>O</b>	用于UNC环境的外部调制器 (适当的条件, 包括指定的最大调制速率)
循环抗湿性	3.3.3.2	20个周期	20	11	0	-	<b>R</b>	用于UNC环境的所有光电模块和集成模块
湿热测试	3.3.2.3	85 / 85%RH, 2000小时	20	11	0	<b>R</b>	<b>R</b>	指定用于非密封模块的所有光电二极管 [激光二极管: $1.2 \times I_{TH}$ , LEDs: $0.1 \times I_{OP}(\max)$ , 光电二极管: 正常偏压 EA调制器: 适当的条件]
		85 / 85%RH, 1000小时	20	11	0	<b>R</b>	<b>R</b>	所有非密封光电模块 [LED模块: $1.2 \times I_{TH}$ , 检测器模块: 正常偏压, 外部调制器: 适当的条件, 接收机模块: 正常工作条件
		最高操作温度(85), 85%RH, 1000小时	20	11	0	<b>O</b>	<b>O</b>	所有光电集成模块 (正常工作条件)

#### 4.2.2 应力测试的通过 / 失败判定

一般来说, 一整套的测试 / 测量, 包括验证程序中的特性鉴定部分, 需要在大多数机械完整性测试和环境应力测试前后进行, 以此来判断每一个器件是否能够通过下一个测试。除了 3.1.3 节的通过 / 失败标准之外, 下面的标准, 同样适用于这些测试。

**R4-14 [428]** 电气测量和光学测量用于表征器件的特性(见表4.1)，应该在每一个应力测试前后进行，用来检测器件的性能变化或劣化。这套测试用来解决光电子器件和其它元件的光学、电气性能和物理特性。

**R4-15 [20v2]** 对于密封封装器件，在一整套测试 / 测量中应该包括密封性测试，以确定器件是否已经通过下面各项应力测试。

- 表4-3中的机械完整性测试 (单独或整套测试)
- 高温存储或工作测试
- 温度循环测试
- 循环抗湿性测试
- 湿热

### 4.3 泵浦激光模块验证的考虑因素

目前常用的泵浦激光器工作波长为980nm和1480nm。对于1480nm的泵浦激光器，通常没有附加的验证相关问题，它主要用于光纤通信发射机。另一方面，砷化镓基激光器 (例如采用了980nm泵浦的激光器)曾经产生过意外失效，如光学灾变(COD)，腔面损伤，过电应力(EOS)等。针对这种情况，不断地开发新技术，以减小或消除潜在的隐患。总的来说，取得了较好的效果。然而，一些现场返回的数据 (根据泵浦厂商提供的资料) 仍然表现出较高的失效率，主要是EOS失效。其中有些失效可能是器件使用了早期的工艺或者制程中的误操作引起的。不过，对这个问题最关心的还是最终用户。

**O4-16 [171v2]** 可靠性程序用来解决意外失效，如EOS失效。设备厂商或器件工业商应该改善(使用的或生产的)砷化镓泵浦模块的性能。

**R4-17 [172v2]** 对于砷化镓(GaAs)泵浦激光器，现场返回的失效模式分析数据可以用来处理EOS失效。

除了上述的意外失效问题，早期980nm泵浦的器件封装，也出现过较严重的不良。主要是由封装气体中的微量有机杂质造成的，通过在气体中掺杂氧气或其它吸气气体解决了该问题。但是这样提高了水汽(在高温时，由氧气或有机杂质产生)。因此，内部水汽含量测试非常重要(用来判断器件是否通过了高温工作测试)。

**R4-18 [173v2]** 高温工作测试完成后，执行GaAs泵浦模块封装的内部水汽含量测试。

### 4.4 集成模块验证的考虑因素

#### 4.4.1 样本大小和组件水平的考虑因素

如1.5.1节所述，测试获得的 (集成模块的) 光电子器件的光电参数相当有限。另外，基于成本的考虑，会限制集成模块样品的数量。因此，完整的验证和加速老化测试通常在一个较低的水平(即所有的器件都装入集成模块中)进行。但是在某些情况下，在集成模块水平测试一

组更小的样本，也是可以的。

**R4-19 [429]** 在任何情况下，如果用于（集成模块）验证或者加速老化测试的样本值小于相应的标准或表中的指定值，就需要由设备厂商或器件供应商做有效论证。此外，测试至少要需要三个样品。

#### 4.4.2 工作冲击和振动测试

如 **O4-6 [422]** 所述，一套合适的集成模块性能测试通常在器件经受冲击和振动（正常工作水平）时进行。**表 4-6** 中总结了这些条件。

**表 4-6 集成模块的工作冲击和振动条件**

条件	参考章节	描述
工作冲击		10g, 0.3 ms 半正弦波冲击脉冲，3 轴
工作振动 #1	<a href="#">GR-63-CORE, 5.4.2 节</a>	扫频正弦波 1.0g, 最大位移：3mm 5Hz - 100Hz 0.1 倍频程 / 分钟，3 轴
工作振动 #2	-	扫频正弦波 2.0g, 100Hz - 200Hz 8 倍频程 / 分钟，3 轴

## 5、光电子器件的可靠性测试

一般而言，真正的可靠性测试侧重于物理失效，在三个或更多(例如，三个或更多温度)应力水平下产生的失效，通常比器件验证的应力条件更强，使用较小的样本大小。因此，除了 ESD 测试(可能还有晶片抗切强度测试和线粘合强度测试)之外，本文中的其它测试没有一个是真正的可靠性测试。另一方面，本章论述的加速老化测试是一个真正可靠性测试的起点。

### 5.1 加速老化测试

**O5-1 [430]** 对指定用于 CO 或 UNC 环境(酌情选择)的光电子器件，可靠性保证程序的加速老化测试应该包括**表 5-1** 中列出的测试。

**O5-2 [163V2]** 对于包含“新”光电子器件的模块，建议要么以更大样本的模块，更长的持续时间(与**表 5-1** 比较)来进行高温加速老化测试，要么向二极管厂商索要附加的加速老化测试数据。

除了**表 5-1** 中列出的温度和湿度测试外，真实的可靠性方案预计将包括(旨在探讨其他可能加速的因素的)测试。例如，激光器有可能在器件的正常工作温度和输出功率 / 驱动电流的几个不同极值水平(例如， $1.5 \times I_{\max}$ ， $1.75 \times I_{\max}$ ， $2.0 \times I_{\max}$ )进行加速老化测试

(最好产生失效)，并利用这些测试的结果进行可靠性计算，得到  $I_{\max}$  的衰减失效率。

(也可参考 [3.4.1.3 节](#))

表 5-1 加速老化测试

测试	参考章节	一般条件	样本大小	环境		适用范围 (以及器件的指定条件)
				CO	UNC	
高温	3.4.1	70 , 10000 小时	10	O	-	激光二极管(最大额定功率或电流) LEDs (最大额定电流),以及 EA 调制器(适当的条件)
		85 , 10000 小时	10	-	O	激光二极管(最大额定功率或电流) LEDs (最大额定电流),以及 EA 调制器(适当的条件)
		175 , 5000 小时	10	O	O	光电二极管 ( $2 \times V_{OP}$ )
		70 , 5000 小时	5	O	-	用于 CO 环境的所有光电模块和集成模块(激光器和 LED 模块的最大额定功率和电流,接收机模块的正常工作条件,适当的条件,包括外部调制器的最大指定调制速率)
		85 , 5000 小时	5	—	O	用于 UNC 环境的所有光电模块和集成模块(激光器和 LED 模块的最大额定功率和电流,检测器模块的正常偏压,接收机模块的正常工作条件,包括外部调制器的最大指定调制速率)
温度 循环	3.4.2	- 40 / +85 , 500 个循环	5	O	-	用于 CO 环境的所有光电模块和集成模块
		- 40 / +85 , 1000 个循环	5	-	O	用于 UNC 环境的所有光电模块和集成模块

湿热	3.4.3	85 / 85%RH , 5000 小时	5	O	O	指定用于非密封模块的所有光电二极管 [激光二极管： $1.2 \times I_{TH}$ ， LEDs： $0.1 \times I_{OP}(\max)$ ， 光电二极管：正常偏压 EA 调制器：适当的条件]， 以及所有非密封光电模块 [激光模块： $1.2 \times I_{TH}$ LED模块： $0.1 \times I_{OP}(\max)$ 检测器模 块：正常偏压， 外部调制器：适当的条件， 接收机模块：正常工作条件
		最高工作温度 (85 ) / 85%RH, 5000 小时	5	O	O	所有光电集成模块(正常工作条件)

## 5.2 加速老化的寿命结束门槛值和失效

一般而言，(测定光电器件寿命结束的)监控参数需要根据器件的设计来确定。其中一个重要的考虑是：整个器件性能的任何劣化都必须在监控参数值上反映出来。可能起到监控作用的参数是：激光器的门槛电流，激光器或 LED 在指定输出功率时的驱动电流(或在指定驱动电流时的输出功率)，WDM 激光器的中心波长，或者调制器的导通 / 关断对比率。此外，如果器件包含一个控制回路，以维持某一个参数保持在恒定值。那么就可能需要适当地监控该回路的变化，并且利用这些变化来预测该参数何时偏离设定值。最后，如 3.3.3.1.1 节和 3.4.1.4 节所述，光电二极管的衰减失效率通常是无关紧要的(即使在高温时也一样)。因此对这些器件来说，高温加速老化测试产生的主要是随机失效，并不适用寿命结束门槛值的概念。另一方面，对于特殊类型的光电二极管，如果随机失效是一个重大问题，寿命结束门槛值可以适当地增加暗电流。

**R5-3 [117v2]** 寿命结束门槛值由设备厂商或器件供应商来确定(还要做技术认定)，如果测试条件已知，至少要与系统报警条件一样严格。

**R5-4 [119v2]** 应该在相同的温度下，对(用于寿命结束门槛值的)参数做初始，中间和最后测量(如果可能的话，最好在原位置)。

**R5-5 [125v2]** 在加速老化测试后，器件不符合特性测试规格应该算作随机失效。另外，任何主要参数的变化都需要做进一步的研究。

**R5-6 [150v2]** 在温度循环测试中，发现有任何失效，都应该认真研究并提出有效的改善措施。

## 6 光电子器件的逐批控制

如 2.2 节所述，逐批控制由外观检验，电气和光学测试以及筛选组成，以帮助确保所有类别和级别的光电子器件单批的质量和可靠性。如果没有制订来料免检程序，通常会由设备厂商执行单个器件的测试（在供应商处现场测试，即源流检验；或在使用的工厂进行测试，即进料检验）。

### 6.2 电气和光学测试

**R6-2 [129v2]** 除了 2.2.6.2 节之外，每一个批次中的所有光电子器件都应该加以记录，并合理确定一套最少的电气和光学测试。

一般来说，R6-2 [129v2] 提到的一组电气和光学测试预计是器件验证程序特性部分的子测试。与这些测试类似，不同类型器件的电气和光学测试都不一样，因此必须在技术上合理，有案可稽。另一方面，跟特性测试不同，逐批控制中的一些电气和光学测试仅在室温下进行。

### 6.3 筛选

#### 6.3.1 程序

**R6-3 [131v2]** 除了不需要进行筛选的情况或者一些例外，二极管(或晶片)水平的光电子器件的筛选应该包括老化，而模块或集成模块水平的光电子器件的筛选应该包括温度循环和老化。

**R6-4 [431]** 筛选的条件和流程是：

- {a} 器件的性能和劣化率应该稳定：
- {b} 确保只接受那些符合质量和可靠性要求的器件。

在 R6-3 [131v2] 中提到了一些例外情况，除了可以由器件厂商或设备供应商自己论证的情况外，主要包括以下几方面：

- 如果模块仅由一个封装的二极管组件(有自己的老化)和少量的被动光学元件(例如，透镜，隔离器，光纤尾线，连接器等)构成，就不需要在模块水平进行老化。
- 如果激光模块做为一个整体进行了老化，监控光电二极管就无须老化。
- EA 调制器无须老化。

根据器件总体测试的有效统计结果，来确定合适的筛选条件。需要考虑的变量有：光功率或电流水平，偏压，调制速率，温度，暴露时间或循环次数。理想的情况是，选择的条件能够加速器件的早期寿命失效机理(使筛选时发生这些失效)，而对衰减失效率几乎没什么影响。温度循环通常要做 20 次( - 40 ~ 85 )。

#### 6.3.2 筛选通过 / 失败标准

**R6-6 [388v2]** 如果筛选引起(器件)任何“较大的”变化(由设备厂商和器件供应商定义和记

录)，该器件就没有通过筛选程序。

为了确定器件是否通过筛选程序，可以监控下列参数：前后向跟踪率误差，耦合效率，暗电流，击穿电压，门槛电流以及驱动电流 / 光输出功率。此外，在某些情况下通过 / 失败的门槛值按照参数的绝对水平来确定。而在另外一些情况下，可以根据筛选结果的变化来确定。

## 7 其它组成器件的验证和逐批控制

除了光电子器件本身，光电模块或集成模块通常会包含许多其它部件，它们也会影响整体的质量和可靠性。本章包括适用于这些器件的验证和逐批控制标准。大多数器件可以参照其它适用的标准；但对于本章的 TECs，则包含了较为详细的标准。

**R6-6 [388v2]** 光电模块或集成模块的所有组成部器件都要执行自己的验证测试和逐批控制。

**O7-3 [190v2]** 非光电器件应该满足质量水平 III 的验证和逐批控制标准(见参考文献)。

**R7-3 [191v2]** 对于组立到模块或集成模块中的所有器件，都应该计算失效率(或者从器件供应商那里获得)。

### 7.1 热电冷却器

在许多光电模块中，热电冷却器是一个重要器件。因为它影响其它关键器件(如激光二极管和监控二极管)的温度，并且还会影响耦光和散热。

#### 7.1.1 TEC 的指定测试信息

##### 7.1.1.1 热电冷却器和温度传感器的检查

一般通过测量 TEC 的电流( $I_{TEC}$ )和电压( $V_{TEC}$ )，将它们与指定范围比较，来确定热电冷却器是否正常工作。测试时，一般将环境温度设定为：室温以及模块的额定最低和最高工作温度。此外，通常还将 TEC 的温度设置为指定的最低温度。

同时还要检查温度传感器的特性。如果传感器是一个热敏电阻，相关的参数通常是它的阻值( $R_{TS}$ )。对于二极管，通常要测量参考温度下的前向电压( $V_{TS}$ )。

##### 7.1.1.2 功率循环测试

表 7-1 中列出了功率循环测试的信息：

- 当有驱动时，TEC 通常设置为指定的最低温度(或最大额定电流)。
- 假设满足下面列出的条件，循环近似为 1.5 分钟 (开) 和 4.5 分钟 (关)。
- 在“开”的时间里，TEC 的冷端温度至少要下降： $(\text{环境温度} - T_{\min}) \times 90\%$

#### 7.1.2 TEC 的验证

**R7-5 [432]** TEC 的测试应该依据一套合适的性能 / 特性规范 (如 7.1.1.1 节所论述的相关参数规范)。

**R7-6 [433]** 性能 / 特性相关测试至少需要 20 个器件。不允许发生失效。

**R7-7 [434]** 表 7-1 列出的带“R”的测试包括：TECs 验证程序的物理特性和应力测试部分。

**R7-8 [435]** 表 7-1 列出的带“O”的测试包括：TECs 验证程序的应力测试部分。

表 7-1 TECs 的物理特性和应力测试

类别	测试	参考章节	水平	抽样			附加信息
				LTPD	SS	C	
物理特性	晶片抗切强度	3.2.10.4	R	20	11	0	适用于所有相关的连接 (例如, TEC / 散热片)
机械完整性	机械冲击	3.3.1.1	R	10	22	0	条件 A (500g, 1.0ms), 5 次 / 方向
	振动	3.3.1.1	R	10	22	0	条件 A (20g), 20 - 2000 - 20Hz 4 分钟 / 循环, 4 个循环 / 轴
无驱动的环境应力	高温存储	3.3.2.1	R	10	22	0	85 , 2000 小时
	温度循环	3.3.2.2	R	10	22	0	- 40 / 85 , 100 个循环
			O	10	22	0	- 40 / 85 , 500 个循环
有驱动的环境应力	功率循环 (开 / 关)	7.1.1.2	R	10	22	0	热端温度 最高工作温度, 5000 个循环

**R7-9 [192v2]** 在每一个应力测试前后都要做一组测量, 以检测器件性能的变化。测量应针对器件的重要特性来做 (由设备厂商或器件供应商来定义相应的通过 / 失败标准, 参见 3.1.3 节)。

通过 / 失败标准应该包括：

- 在最大负荷 (例如, 激光二极管工作在最大额定驱动电流或最大额定输出功率), 额定最高温度下测量时, TEC 的最大冷却性能几乎没有变化。
- 在最大负荷, 给定电流和温度 (如 65 ) 的条件下测量时, TEC 的最大冷却性能几乎没有变化。
- 增加的阻值超过其指定的最大值。

### 7.1.3 TEC 的逐批控制

---

**R7-10 [207v2]** TECs 的逐批控制应该包括外观检验，电气测试和(除非确定不需要)筛选。只要是需要筛选的器件，都必须做电气测试。

#### 7.4 光纤尾线和光学连接器

如3.3.1.3节所述，GR-326-CORE包括用于光电子器件的光纤和连接器的相关可靠性保证标准。除了这些标准之外，下面的要求同样适用。

**R7-12 [201v2]** 应该通过机械完整性和耐久性测试来验证光纤尾线和 / 或光学连接器，来证实其达到模块的可靠性目标。

**R7-13 [202v2]** 通过 / 失败标准主要是：允许玻璃纤维暴露(由活塞效应引起)的最大长度。

**R7-14 [210v2]** 应该由供应商和 / 或设备厂商制订光纤尾线和光学连接器的逐批控制程序。

在 **R7-13 [203v2]** 中提到的“活塞效应”是指：当温度变化时，由于各种材料的伸缩特性不同，会使连接器 ferrule 的后端和 cable 的外被之间有玻璃纤维暴露出来。它通常会产生附加损耗或引起光纤断裂。

## 附录 A：抽样计划表

## A.1 批容许不良率(LTPD)抽样

表 A-1 LTPD 抽样表

LTPD[%]	50	30	20	15	10	7	5	3	2	1.5
接受数目(C)	最小样本量(Minimum Sample Sizes, SS)									
0	5	8	11	15	22	32	45	76	116	153
1	8	13	18	25	38	55	77	129	195	258
2	11	18	25	34	52	75	105	176	266	354
3	13	22	32	43	65	94	132	221	333	444
4	16	27	38	52	78	113	158	265	398	531
5	19	31	45	60	91	131	185	308	462	617
6	21	35	51	68	104	149	209	349	528	700
7	24	39	57	77	116	166	234	390	598	783
8	26	43	63	85	126	184	258	431	648	864
9	28	47	69	93	140	201	282	471	709	945
10	31	51	75	100	152	218	306	511	770	1025

表 A-2 样本大小字码(一般检验水平)

批量大小	一般检验水平		
	I	II	III
2 - 8	A	A	B
9 - 15	A	B	C
16 - 25	B	C	D
26 - 50	C	D	E
51 - 90	C	E	F
91 - 150	D	F	G
151 - 280	E	G	H
281 - 500	F	H	J
501 - 1200	G	J	K
1201 - 3200	H	K	L

表 A-3 正常检验的一次抽样方案(主抽样表)

样本大小 字码	样本大小	允收质量水平(正常检验)															
		0.10		0.15		0.25		0.40		0.65		1.0		1.5		2.5	
		Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re
A	2																
B	3																
C	5														0	1	
D	8												0	1			
E	13											0	1				
F	20								0	1						1	2
G	32						0	1						1	2	2	3
H	50				0	1						1	2	2	3	3	4
I	80			0	1					1	2	2	3	3	4	5	6
J	125	0	1				1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	
K	200					1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11
L	315			1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15
M	500	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22
P	800	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22		

采用箭头下第一个抽样方案，如样本大小等于或超过批量时，则做 100% 检验。

采用箭头上第一个抽样方案。

Ac 允收数

Re 拒收数

表 A-4 正常检验的二次抽样方案(主抽样表)

Sample Size Code Letter	Sample	Sample Size*	Total Sample Size	Acceptable Quality Levels (Normal Inspection)															
				0.10		0.15		0.25		0.40		0.65		1.0		1.5		2.5	
				Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re
A	-	-	-	↓		↓		↓		↓		↓		↓		↓		↓	
B	1st 2nd	2 2	2 4	↓		↓		↓		↓		↓		↓		↓		↓	
C	1st 2nd	3 3	3 6	↓		↓		↓		↓		↓		↓		↓		○	
D	1st 2nd	5 5	5 10	↓		↓		↓		↓		↓		○		↑		○	↑
E	1st 2nd	8 8	8 16	↓		↓		↓		↓		○		↑		↓		○	↓
F	1st 2nd	13 13	13 26	↓		↓		↓		○		↑		↓		↓		0	2
G	1st 2nd	20 20	20 40	↓		↓		↓		○		↑		↓		0	2	0	3
H	1st 2nd	32 32	32 64	↓		↓		○		↑		↓		0	2	0	3	1	4
J	1st 2nd	50 50	50 100	↓		○		↑		↓		0	2	0	3	1	4	2	5
K	1st 2nd	80 80	80 160	○		↑		↓		0	2	0	3	1	4	2	5	3	7
L	1st 2nd	125 125	125 250	↑		↓		0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	5	9
M	1st 2nd	200 200	200 400	↓		0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	5	9	7	11
N	1st 2nd	315 315	315 630	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	5	9	7	11	11	16
P	1st 2nd	500 500	500 1000	0	3	1	4	2	5	3	7	5	9	7	11	11	16	26	27
				3	4	4	5	6	7	7	9	12	13	18	19	26	27		↑

采用箭头下第一个抽样方案，如样本大小等于或超过批量时，则做 100% 检验。  
采用箭头上第一个抽样方案。

Ac 允收数

Re 拒收数

- \* 如果第一批样品测试中，不合格器件数介于允收数和拒收数之间，就需要测试第二批样品，总不合格数与第二组数据做比较。
- 采用对应的一次抽样方案(或者也可选二次抽样方案)。

## 附录 C：符号，单位，缩写词和首字母简略词

缩写	英文全称	中文名称
<b>ACC</b>	Automatic Current Control	自动电流控制
<b>ADM</b>	Add/Drop Multiplexer	分插复用器
<b>AML</b>	Approved Manufacturer List	核准的厂商名录
<b>ANSI</b>	American National Standards Institute	美国国家标准协会
<b>APC</b>	Automatic Power Control	自动功率控制
<b>APD</b>	Avalanche Photodiode	雪崩二极管
<b>APL</b>	Approved Parts List	核准的零件目录
<b>AQL</b>	Acceptable Quality Level	允收质量水平
<b>ASL</b>	Approved Supplier List	核准的供应商名录
<b>AVL</b>	Approved Vendor List	核准的卖家名录
<b>B</b>	bandwidth	带宽
<b>BER</b>	Bit Error Ratio	误比特率
<b>C</b>	allowed failures (in LTPD sampling)	允许失效(在LTPD抽样中)
<b>C</b>	capacitance	电容，电容值，容抗
<b>C</b>	coulombs	库仑
	degree Celsius	摄氏度
<b>CDR</b>	Clock Data Recovery	时钟数据恢复
<b>CE</b>	Coupling Efficiency	耦合效率
<b>CEV</b>	Controlled Environment Vault	受控环境舱
<b>CL</b>	Confidence Limit	置信限
<b>cm</b>	centimeter	厘米
<b>CO</b>	Central Office	中心控制室
<b>COD</b>	Catastrophic Optical Damage	光学灾变
<b>CR</b>	Conditional Requirement	条件要求
<b>CWDM</b>	Coarse Wavelength Division Multiplexed	稀疏波分复用
<b>D</b>	duration	持续时间
<b>dB</b>	decibels	分贝
<b>dBc</b>	decibels, referenced to the carrier	相对于载波功率
<b>dBm</b>	decibels, referenced to one milliwatt	表示功率绝对值 公式：10lgP (功率值/1mw)

<b>DC</b>	Direct Current (0 Hz)	直流电
<b>DC V</b>	DC drive voltage	直流驱动电压
<b>det</b>	detector	检测器
<b>DGD</b>	Differential Group Delay	微分群延迟
<b>DIP</b>	Dual In-line Package	双列直插式封装
<b>DP</b>	Dispersion Penalty	色散罚值
<b>DWDM</b>	Dense Wavelength Division Multiplexed	密集波分复用
$E_a$	activation energy	活化能量
<b>EA</b>	Electro-Absorption	电吸收
<b>EELED</b>	Edge-Emitting Light Emitting Diode	边缘发射发光二极管
<b>EIA</b>	Electronics Industry Association	美国电子工业协会
<b>EOS</b>	Electrical Overstress	过电应力
$E_R$	average optical energy level	平均光能量水平
<b>ESD</b>	Electrostatic Discharge	静电放电
<b>eV</b>	electron-volts	电子伏
<b>F</b>	excess noise factor	过量噪声因数
$f_c$	cutoff frequency	截止频率
<b>FIFO</b>	First-In / First Out	先入先出
<b>FIT</b>	Failures In Time	失效时间
<b>FITL</b>	Fiber-In-The-Loop	光纤环路
<b>FOTP</b>	Fiber Optic Test Procedure	光纤测试规程
<b>F/R</b>	Front-to-Rear	前后
<b>FR</b>	Family of Requirements	要求系列
<b>FWHM</b>	Full Width at Half Maximum	半峰全宽
<b>g</b>	gravitational acceleration	重力加速度
<b>Gb/s</b>	$10^9$ bits per second	$10^9$ 比特 / 秒
<b>GHz</b>	$10^9$ Hertz	$10^9$ Hz
<b>GR</b>	Generic Requirements document	一般要求文件
<b>HALT</b>	Highly Accelerated Life Test	高加速寿命测试
<b>HAST</b>	Highly Accelerated Stress Test	高加速应力测试
<b>HBM</b>	Human Body Model	人体模型
<b>Hz</b>	Hertz	赫兹
<b>I</b>	(drive) current	(驱动)电流
<b>IC</b>	Integrated Circuit	集成电路
$I_{dark}$	dark current	暗电流
<b>IEC</b>	International Electrotechnical Commission	国际电工委员会

<b>IL</b>	Insertion Loss	插入损耗
<b>inp</b>	input	输入
$I_{op}$	operating current	工作电流
$I_{ph}$	photocurrent	光电流
$I_{TEC}$	thermoelectric cooler current	热电冷却器电流
$I_{TH}$	threshold current	门槛电流
<b>ITU-T</b>	International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector 国际电工委员会 - 电信标准化部门	
<b>K</b>	Kelvin	开尔文
<b>k</b>	Boltzmann's constant	玻尔兹曼常数
<b>L</b>	light level (optical power)	光水平(光功率)
<b>LAN</b>	Local Area Network	局域网
<b>LEC</b>	Local Exchange Carrier	本地交换运营商
<b>LED</b>	Light Emitting Diode	发光二极管
<b>L-I</b>	light vs. current	光 - 电
<b>LTPD</b>	Lot Tolerance Percent Defective	批容许不良率
<b>M</b>	multiplication factor	倍增因数
<b>max</b>	maximum	最大值
<b>MAN</b>	Metropolitan Area Network	城域网
<b>MHz</b>	$10^6$ Hertz	$10^6$ Hz
<b>min</b>	minimum	最小值
<b>ML</b>	Median Life	中值寿命
<b>MLM</b>	Multi-Longitudinal Mode	多纵模
<b>MTTF</b>	Mean Time To Failure	平均无故障时间
<b>NE</b>	Network Element	网络元件
<b>NFF</b>	No Fault Found	未发现故障
<b>nm</b>	$10^{-9}$ meter	$10^{-9}$ m
<b>NRZ</b>	Non-Return to Zero	不归零
<b>nom</b>	nominal	标称的
<b>NTF</b>	No Trouble Found	未发现问题
<b>O</b>	Objective	目标
<b>obs</b>	observed	观测的
<b>OC-N</b>	Optical Carrier - Level N (N = 1, 3, 12, 48, 192)	光载波 - 等级 N (N = 1, 3, 12, 48, 192)
<b>OFSTP</b>	Optical Fiber System Test Procedure	光纤系统测试规程
<b>op</b>	operating	工作的

<b>ORL</b>	Optical Return Loss	光学回波损耗
<b>P</b>	optical power (light level)	光功率(光水平)
<b>PDA</b>	Percent Defective Allowed	允许不良率
<b>PER</b>	Polarization Extinction Ratio	偏振消光比
<b>PM</b>	Polarization Maintaining	保偏(即偏振保持)
<b>PMD</b>	Polarization Mode Dispersion	偏振模色散
$P_{\max}$	maximum optical input power	最大输入光功率
$P_{\text{mod}}$	modulation depth	调制深度
$P_{OP}$	optical power at normal operating current	正常工作电流下的光功率
<b>PR</b>	optical power received	接收的光功率
<b>ps</b>	$10^{-12}$ seconds	$10^{-12}$ 秒
<b>PTH</b>	optical power at threshold	光功率阈值
<b>QA</b>	Quality Assurance	品保
<b>QC</b>	Quality Control	品检
<b>R</b>	requirement	要求
<b>R</b>	resistance	电阻，电阻值，阻抗
<b>R</b>	responsivity	响应度
$r_e$	extinction ratio	消光比
<b>RF</b>	Radio Frequency	射频
<b>RF V</b>	RF drive voltage	射频驱动电压
$r_{f/r}$	front-to-rear tracking ratio	前后向寻迹比值
<b>RGA</b>	Residual Gas Analysis	残留气体分析
<b>RH</b>	Relative Humidity	相对湿度
<b>RIN</b>	Relative Intensity Noise	相对强度噪声
<b>ROSA</b>	Receiver Optical Sub-Assembly	光接收次模组
<b>RQ GR</b>	Reliability & Quality Generic Requirements	可靠性&质量一般要求
<b>RTS</b>	temperature sensor resistance	温度传感器阻抗
<b>RZ</b>	Return to Zero	归零
<b>S21</b>	bandwidth	带宽
<b>SC</b>	a type of fiber-optic connector	一种光纤连接器类型
<b>Scope</b>	oscilloscope	示波器
<b>SLM</b>	Single Longitudinal Mode	单纵模
<b>SMSR</b>	Side-Mode Suppression Ratio	边模抑制比
<b>SONET</b>	Synchronous Optical NETwork	同步光纤网络
<b>SPD</b>	Spectral Power Density	功率谱密度
<b>SQC</b>	Statistical Quality Control	统计过程控制

<b>SS</b>	Sample Size	样本大小
<b>SSE</b>	Source Spontaneous Emissions	自激源发射
<b>T</b>	temperature	温度
<b>t</b>	time	时间
$T_0$	characteristic temperature	特征温度
$T_e$	tracking error	寻迹误差
<b>TEC</b>	Thermoelectric Cooler	热电冷却器
$t_f$	fall time	下降时间
<b>TH</b>	threshold	门槛值
<b>THz</b>	$10^{12}$ Hertz	$10^{12}$ Hz
<b>TIA</b>	Telecommunications Industry Association	美国电信工业协会
<b>TM</b>	Terminal Multiplexer	终端复用器
<b>TO</b>	Transistor Outline	晶体管外壳
$t_{on}$	turn-on delay	导通延迟
<b>TOSA</b>	Transmitter Optical Sub-Assembly	光发射次模组
$t_r$	rise time	上升时间
<b>UI</b>	Unit Interval	单位间隔
<b>UNC</b>	Uncontrolled	不受控制的
$V_{br}$	breakdown voltage	击穿电压
$V_F$	forward voltage	前向电压
$V_{mod}$	modulation voltage	调制电压
$V_n$	noise voltage	噪声电压
$V_{op}$	normal operating voltage	正常工作电压
$V_{TEC}$	thermoelectric cooler voltage	热电冷却器电压
$V_{TS}$	temperature sensor forward voltage	温度传感器前向电压
<b>V-I</b>	voltage vs. current	电压 - 电流
<b>WDM</b>	Wavelength Division Multiplexed	波分复用
$\alpha$	source frequency chirp factor	啁啾系数

$\Delta\lambda_{20}$	spectral width 20 dB down from maximum	最大 -20dB 谱宽
$\Delta\lambda_{rms}$	root mean square spectral width	均方根谱宽
$\lambda$	wavelength	波长
$\lambda_C$	central wavelength	中心波长
$\lambda_{OP}$	operating wavelength range	工作波长范围
$\lambda_p$	peak wavelength	峰值波长
$\eta$	efficiency	效率
$\eta_Q$	quantum efficiency	量子效率
$\sigma$	standard deviation	标准差
$\theta_{  }$	FWHM angle measured parallel to the laser's active layer 半峰全宽角度，在与激光器的激发层平行处测得	
$\theta_{\perp}$	FWHM angle measured perpendicular to the laser's active layer 半峰全宽角度，在与激光器的激发层垂直处测得	
$\varphi$	optical phase of the signal	光信号的相位