

LED 可靠性与测试技术

1 可靠性理论基础

2 LED 寿命测试方法

3 LED 失效分析

4 改善 LED 可靠性的关键技术

LED 产品可靠性与寿命检测

LED 要进入照明领域，其可靠性是人们关注的一大焦点。

较之传统的 LED，照明 LED 的输入功率更大，应用环境和条件更加恶劣和严苛，这对 LED 的可靠性提出了更高的要求。

必须仔细研究 LED 的失效现象，分析其失效机理，找出影响 LED 可靠性的关键因素。

§1 可靠性理论基础

所谓的可靠性有广义和狭义两种解释：

狭义可靠性是指“产品在规定条件下和规定时间内，完成规定功能的能力”，也就是说，在规定的时间内完成规定功能的可能性或概率。

广义可靠性是指产品在整个寿命周期内完成规定功能的能力，它包括狭义可靠性和维修性。

§1 可靠性理论基础

狭义可靠性包含了四个意思：

产品的可靠性是与“规定的条件”分不开的。

对于光电器件“规定的条件”主要是指使用时的工作条件（如电压、电流、功率等）、环境条件（如温度、湿度、气压等）和存储条件。

“规定的条件”不同，则器件的可靠性就不同。

§1 可靠性理论基础

狭义可靠性包含了四个意思：

产品的可靠性是与“规定的时间”密切相关的

一般说来，器件经过筛选后，使用或储存的时间越长，可靠性越低。

因此可靠性必须明确在多长时间内的可靠性，离开时间的可靠性将是无意义的。同一器件因规定的时间不同，其可靠性也是不同的。

§1 可靠性理论基础

狭义可靠性包含了四个意思：

产品的可靠性是与“规定的功能”有密切关系的

所谓“功能”就是指产品的技术指标、技术要求。

也就是要求产品完成某一任务或起到某种作用。

§1 可靠性理论基础

狭义可靠性包含了四个意思：

产品的可靠性是表示在规定时间内完成规定功能的可能性的
大小

从数学的观点看，就是因为一个器件究竟什么时候丧失规定功能而失效是不确知的，但可以借助于概率论与数理统计方法，将其加以定量描述。

§1 可靠性理论基础

LED 可靠性研究主要是为了：

- (1) 确定 **LED** 的失效机制；
- (2) 测试 **LED** 的寿命；
- (3) 通过恰当的老化技术来提高 **LED** 的可靠性；
- (4) 通过改进器件设计和工艺技术来提高 **LED** 的可靠性
；
- (5) 通过设备和系统改进来提高 **LED** 的可靠性。

§1 可靠性理论基础

一、可靠度

根据可靠性的定义，说明对于 **LED** 在规定的条件下和规定的时间内，可能具有完成规定功能的能力，也可能丧失了完成规定功能的能力（称为失效）。这应属于一种随机事件。

描述这种随机事件的概率可用来作为表征 **LED** 可靠性的特征量和特征函数，即用概率来表征发光二极管完成规定功能能力的大小。

§1 可靠性理论基础

一、可靠度

这样，可靠性定义即可定量化为：**LED** 在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的概率。这种概率称之为 **LED** 的可靠度，通常用字母 **R** 表示。

可靠度 **R(t)** 表示 **LED** 产品在规定条件下使用一段时间 **t** 后，还能完成规定功能的概率。如果将这段时间记为发光二极管的寿命，则可靠度表示从开始使用到失效的时间

§1 可靠性理论基础

一、可靠度

可靠度的概率表达式为 $R(t) = P(T \geq t)$

如果有 **N** 个 **LED** 产品从开始工作到 **t** 时刻的失效数为 **n(t)**，当 **N** 足够大时，产品在 **t** 时刻的可靠度可近似表示为：

$$R(t) \approx \frac{N - n(t)}{N}$$

$0 \leq R(t) \leq 1$ 不断增长，将不断下降。它是介于 **1** 与

0 之间的数，即

§1 可靠性理论基础

二、累积失效概率

累积失效概率表示发光二极管在规定条件下工作到 **t** 这段时间内的失效概率，用 **F(t)** 表示，又称为失效分布函数。

其表达式为：

$$F(t) = P(T \leq t)$$

§1 可靠性理论基础

二、累积失效概率

如果 **N** 个 **LED** 产品从开始工作到 **t** 时刻的失效数为 **n(t)**，则当 **N** 足够大时，产品在该时刻的累积失效概率可近似表示为：

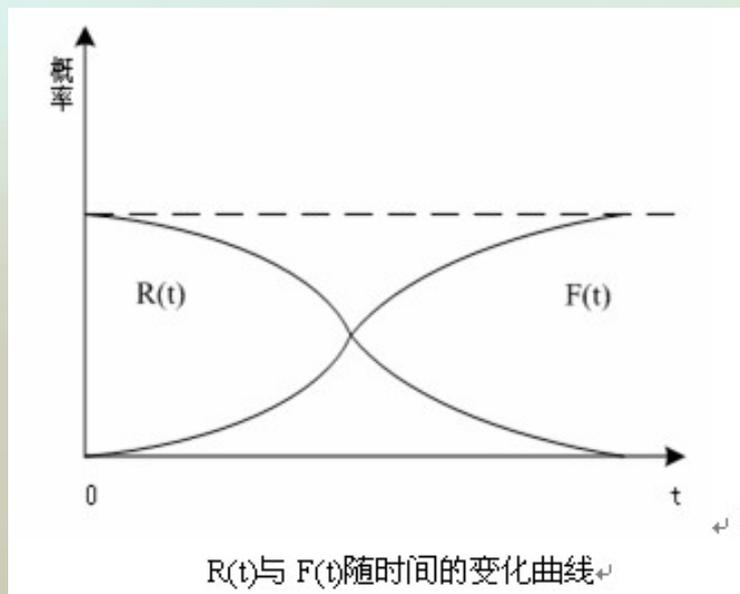
$$F(t) \approx \frac{n(t)}{N}$$

§1 可靠性理论基础

二、累积失效概率

显然 $R(t) + F(t) = 1$ ，与随时间的变化曲线

如下图所示。



§1 可靠性理论基础

三、失效分布密度

失效分布密度表示规定条件下工作的发光二极管在 **t 时刻** 的失效概率。失效分布函数的导函数称为失效分布密度，其表达式如下：

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{d(1-R(t))}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt}$$

$$\int_0^{\infty} f(t)dt = 1$$

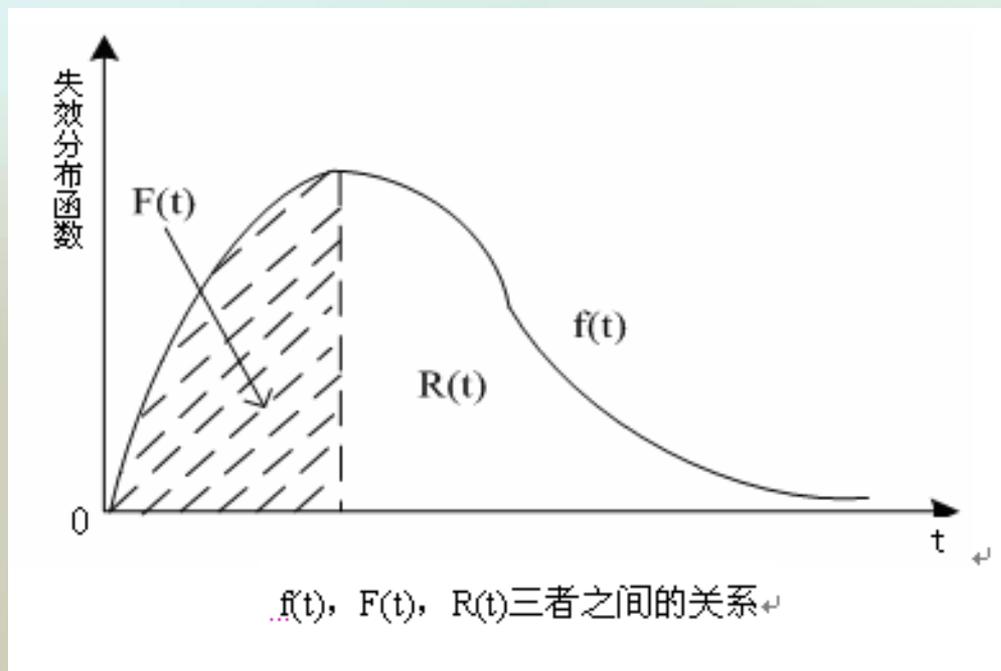
$$F(t) = \int_0^t f(t)dt$$

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt$$

§1 可靠性理论基础

三、失效分布密度

$R(t)$ ， **$F(t)$** ， **$f(t)$** 三者之间的关系如下图所示：



§1 可靠性理论基础

四、失效率

失效率 $\lambda(t)$ 也称为产品的瞬时失效率，是表征发光二极管的可靠性数量的重要标志。

在实际工作中，人们最关心的是在 t 时刻还在正常工作的产品中，在 t 时刻后的 Δt 时间间隔内 $(t+\Delta t)$ 还有多少百分比的产品失效，这就是瞬时失效率的概念。

§1 可靠性理论基础

四、失效率

所以， $\lambda(t)$ 并不表示平均失效率，其数学表达

式如下：

$$F(t+\Delta t) - F(t) = R(t) - R(t+\Delta t)$$

在时间间隔 Δt 内的平均为：

$$\frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{R(t) - R(t+\Delta t)}{R(t)}$$

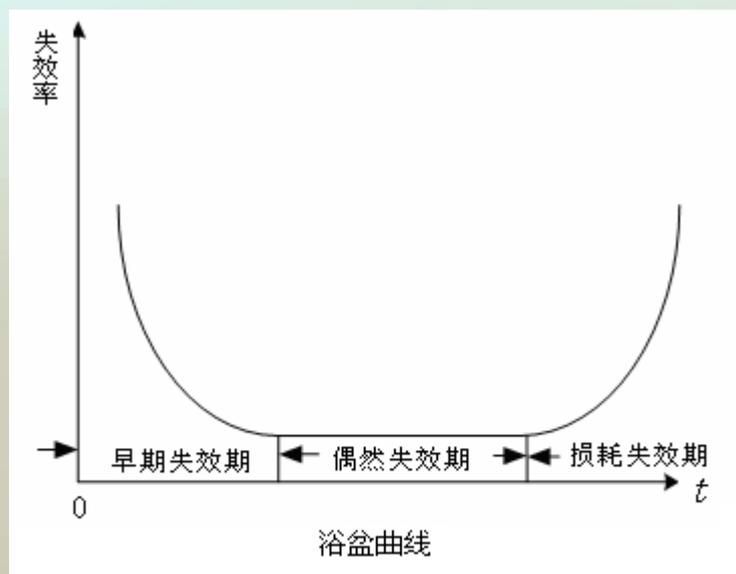
在 $\Delta t \rightarrow 0, n \rightarrow \infty$ 极限情况下，瞬时失效率为：

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt}$$

§1 可靠性理论基础

五、浴盆形失效率函数

经过不断的实验发现，**LED** 的失效随时间的统计分布规律呈浴盆状。



§1 可靠性理论基础

五、浴盆形失效率函数

这一数学模型是现实中最常见的一种失效率模式，可以用来表示 **LED** 在整个寿命期间的失效率。

从变化曲线看出产品的失效率基本可划分为三个时期

早期失效期；

偶然失效期（或稳定使用期）；

§1 可靠性理论基础

五、浴盆形失效率函数

1. 早期失效期

早期失效是 **LED** 中线缺陷和面缺陷生长导致 **LED** 运转初期迅速退化，以及封装过程中由于冷却器结构不合理或焊接质量问题造成器件失效。

同时由于发光二极管初始运行时比较脆弱，很容易因一些偶然因素失效，产生所谓的“婴儿效应”。

§1 可靠性理论基础

五、浴盆形失效率函数

1. 早期失效期

早期失效期的特点是失效发生在产品使用的初期，失效率较高，随工作时间的延长而迅速下降。

造成早期失效的原因大多同生产型缺陷，由产品本身存在的缺陷所致。

§1 可靠性理论基础

五、浴盆形失效率函数

1. 早期失效期

通过可靠性设计、加强生产过程的质量控制可减少这一时期的失效。

进行合理的老化、筛选尽可能在交付使用前把早期失效的器件淘汰掉。

§1 可靠性理论基础

五、浴盆形失效率函数

2. 偶然失效期

偶然失效是指由于外界因素（如静电、腔面污染、机械振动等）引起的突变性损坏，而引起的几率较小的失效。

偶然失效期的特点是失效率很低且很稳定，近似为常数，器件失效往往带有偶然性。这一时期是使用的最佳阶段。

§1 可靠性理论基础

五、浴盆形失效率函数

3. 耗损失效期

耗损失效是器件因芯片制造和封装工艺局限而达到寿命终结的失效。主要是各种失效机构发展、积累与综合爆发引起较高几率的失效。

耗损失效多由于老化、磨损和疲劳等原因使器件性能恶化所致，应及早更换器件以保证设备的正常工作。

§1 可靠性理论基础

五、浴盆形失效率函数

3. 耗损失效期

应该指出，并不是任何一批器件均明显地表现出以上三个失效阶段。

LED 的发展初期，工艺不稳定早期失效表现得很明显，然而它们的偶然失效期的时间相对要长。严格意义上的浴盆形失效率函数只能以分段形式给出。

§2 LED 寿命测试方法

一、寿命

老化：**LED** 发光亮度随着长时间工作而出现光强或光亮度衰减现象。器件老化程度与外加恒流源的大小有关，可描述为：

$$B_t = B_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

B_t 为 t 时间后的亮度， B_0 为初始亮度。通常把亮度降到 $B_t=0.5B_0$ 所经历的时间 t 称为二极管的寿命。

§2 LED 寿命测试方法

一、寿命

寿命是定量表征 **LED** 可靠性的又一物理量。由于可靠性是一种统计的概念，因此，在某一个特定 **LED** 个体发生失效之前，难以标明其确切的寿命值。

但明确了某一批 **LED** 产品的失效率特征后，就可以得到表征其可靠性的若干寿命特征量，如平均寿命、可靠寿命、中位寿命、特征寿命等。

§2 LED 寿命测试方法

一、寿命

1. 平均寿命

平均寿命是最常用的一种寿命特征量，是指一批 **LED** 产品寿命的平均值。

从数理统计的观点，它是寿命的数学期望值。 **LED** 这类产品属于不可修复产品，它们的平均寿命是批产品失效前的工作或储存时间的平均值。

§2 LED 寿命测试方法

一、寿命

1. 平均寿命

如果已知总体的失效分布密度 $f(t)$ ，则得到总体平均寿命的表达式如下：

$$\omega = \int_0^{\infty} t f(t) dt$$

§2 LED 寿命测试方法

一、寿命

2. 可靠寿命

可靠寿命 T_R 是指一批 **LED** 产品的可靠度下降到 r 时，所经历的工作时间。

T_R 可由 $R(T_R) = r$ 求解，假如该产品的失效分布属指数分布规律，则：

$$R(T_R) = e^{-\lambda T_R} = r$$

§2 LED 寿命测试方法

一、寿命

2. 可靠寿命

$$R(T_R) = e^{-\lambda T_R} = r$$

即可求得 T_R 如下：

$$T_R = \frac{-\ln r}{\lambda}$$

§2 LED 寿命测试方法

一、寿命

3. 中位寿命

中位寿命 $T_{0.5}$ 指产品的可靠度 $R(t)$ 降为 **50%** 时的可靠寿命，即：

$$R(T_{0.5}) = F(T_{0.5}) = 50\%$$

对于指数分布情况，可得

$$T_{0.5} = \frac{-\ln 0.5}{\lambda}$$

§2 LED 寿命测试方法

二、LED 寿命测试方法

确定器件的可靠性和寿命原则上应在特定的工作条件下（电流、功率、温度等）对器件进行考核，直至器件失效。

对于高可靠性的电子元器件进行长时间的寿命试验，无论从成本还是时间上来看，都是不合算的，甚至是不可能的。

例如对于某器件，如果要求其失效率为 $2.16 \times 10^{-8}/h$ ，抽取 **1000** 只进行试验，若允许 **5** 只失效

§2 LED 寿命测试方法

二、LED 寿命测试方法

LED 最大的优点就是它的长寿命，可达 **50000** 至 **100000h**。通常 **LED** 不会完全毁坏，但在工作中其光输出会缓慢的减少。在如此长的时间内去监测 **LED** 光输出，采集数据显然是不现实的。

因此提出了加速法来加速 **LED** 光衰减，预测 **LED** 寿命，即用较短的时间加速老化预测 **LED** 寿命。

§2 LED 寿命测试方法

二、LED 寿命测试方法

LED 寿命加速试验的目的概括起来有：

在较短时间内用较少的 **LED** 估计高可靠 **LED** 的可靠性水平

运用外推的方法快速预测 **LED** 在正常条件下的可靠度；

在较短时间内提供试验结果，检验工艺；

在较短时间内暴露 **LED** 的失效类型及形式，便于对失效机

理进行研究，找出失效原因；

淘汰早期失效产品，测定元 **LED** 的极限使用条件。

§2 LED 寿命测试方法

二、LED 寿命测试方法

1. 温度加速寿命测试法

由于通常 **LED** 寿命达到 **10** 万小时左右，因此要测得其常温下的寿命时间太长，因此采用加速寿命的方法

。

根据高温加速寿命得的结果外推其他温度下的寿命。

LED 温度加速老化寿命测试原理是基于 Arrhenius 方程

§2 LED 寿命测试方法

二、LED 寿命测试方法

1. 温度加速寿命测试法

利用该模型可以发现由温度应力决定的反应速度的依赖关系，即

$$\ln L = A + \frac{E_a}{KT}$$

式中 L 为寿命， E_a 为激活能， A 为常数， k 为玻尔兹曼常数， T 为热力学温度。

§2 LED 寿命测试方法

二、LED 寿命测试方法

1. 温度加速寿命测试法

设通过实验可以测得某温度 T_1 下器件寿命为 L_1

，从

$$\ln L = A + \frac{E_a}{KT}$$

仍不能推得其它温度下的寿命，因为有两个未知数。

因此测试温度应有两个，即还需测得另一个温度

§2 LED 寿命测试方法

二、LED 寿命测试方法

1. 温度加速寿命测试法

根据 $\ln L = A + \frac{E_a}{KT}$

可以求得激活能 **Ea**。

这样便可以求得温度 **T₁** 对某温度 **T₃** 下的加速系

数 **K₃**：

$$K_3 = \frac{L_3}{L_1} = \frac{\frac{\text{EXP}(\frac{E_a}{KT_3})}{\text{EXP}(\frac{E_a}{KT_1})}}{\frac{\text{EXP}(\frac{E_a}{KT_3})}{\text{EXP}(\frac{E_a}{KT_1})}} = \text{EXP} \left[\frac{E_a}{K} \left(\frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_1} \right) \right]$$

§2 LED 寿命测试方法

二、LED 寿命测试方法

1. 温度加速寿命测试法

则有：

$$L_3 = L_1 \text{EXP} \left[\frac{E_a}{K} \left(\frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_1} \right) \right]$$

可见实验需要测得同一批器件在两个不同温度下的寿命，然后推得其他温度下的寿命。

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

§2 LED 寿命测试方法

二、LED 寿命测试方法

1. 温度加速寿命测试法

LED 从正常状态进入劣化状态的过程中，存在能量势垒，跃过这个势垒所需要的能量必须由外部供给，这个能量势垒就称为激活能。

由

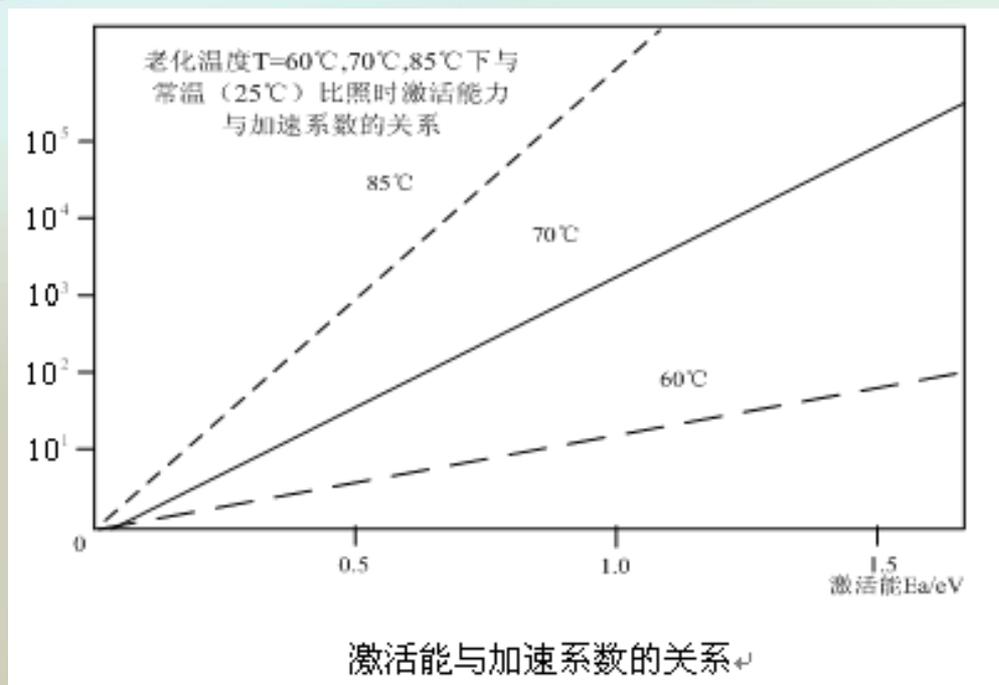
$$K_3 = \frac{L_3}{L_1} = \frac{\text{EXP}\left(\frac{E_a}{KT_3}\right)}{\text{EXP}\left(\frac{E_a}{KT_1}\right)} = \text{EXP}\left[\frac{E_a}{K} \left(\frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_1}\right)\right]$$

可以绘出温度、激活能与加速系数之间的关系如

§2 LED 寿命测试方法

二、LED 寿命测试方法

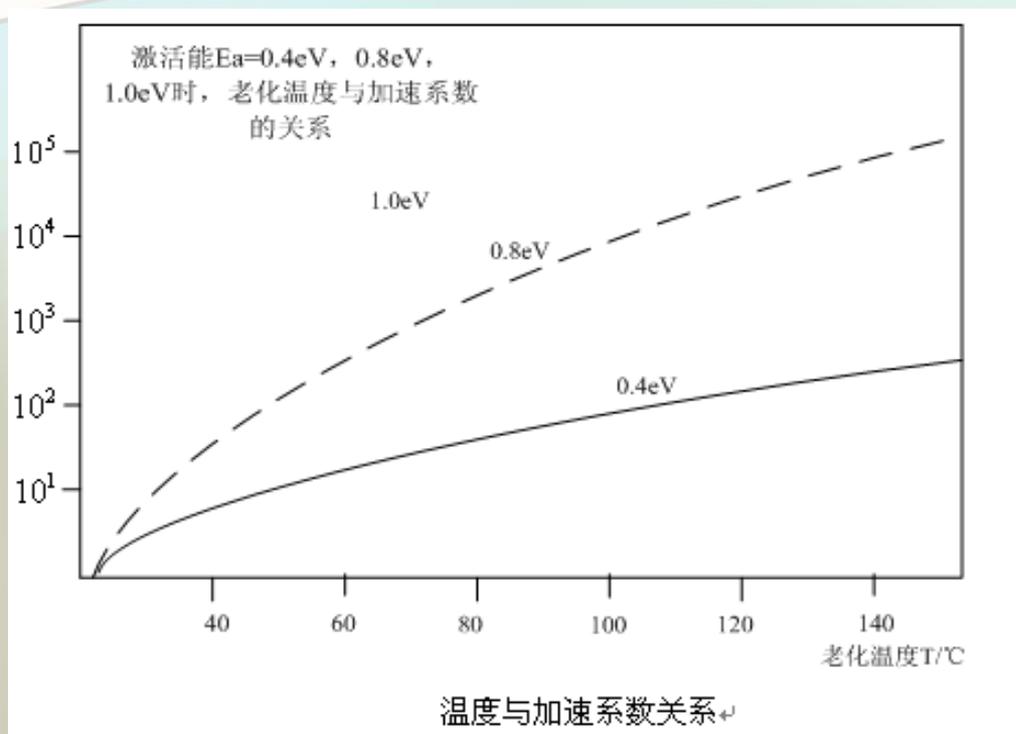
1. 温度加速寿命测试法



§2 LED 寿命测试方法

二、LED 寿命测试方法

1. 温度加速寿命测试法



§2 LED 寿命测试方法

1. 温度加速寿命测试法

可以看出，激活能越大曲线倾斜越大，与温度关系越密切，加速系数越大，温度越高加速系数越大。

由于器件向失效发展的机理不同，其能量势垒的高度也不同，所以其激活能量值 E_a 也不一样，就像其它半导体器件一样，根据激活能量值 E_a 推出失效机理，据此改进器件设计和生产工艺。某一批次器件的 E_a 可看出近似相同。

§2 LED 寿命测试方法

二、LED 寿命测试方法

1. 温度加速寿命测试法

总之，激活 E_a 可以由加速寿命试验测得，也可由设计生产者提供，之后就可以根据

$$L_3 = L_1 \text{EXP} \left[\frac{E_a}{K} \left(\frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_1} \right) \right]$$

外推器件在任意温度条件下的寿命。

§2 LED 寿命测试方法

二、LED 寿命测试方法

2. 电流加速寿命测试法

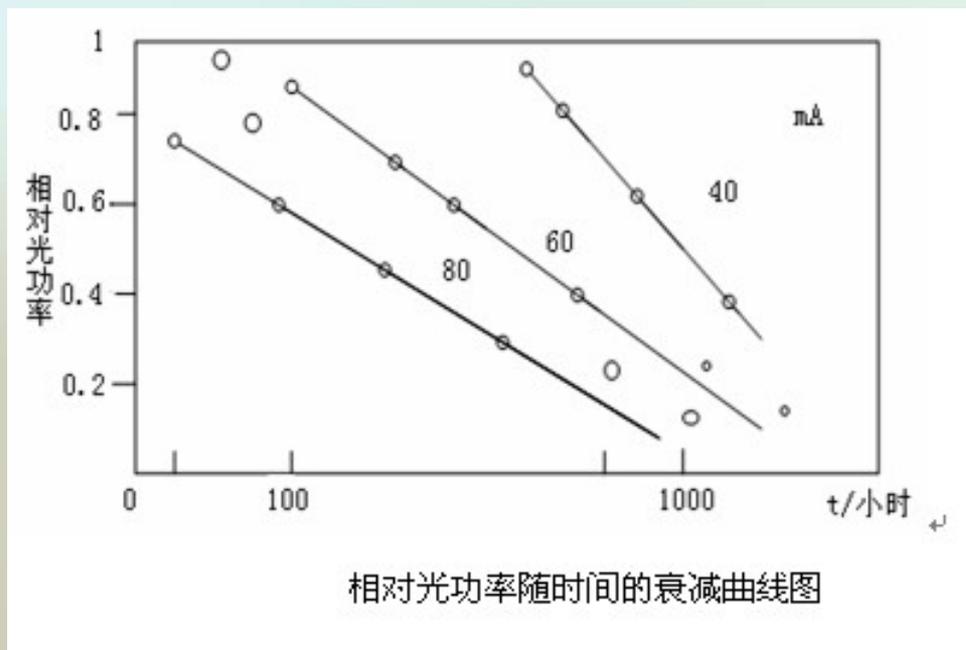
这种方法是将 **LED** 通以较大的工作电流（如 **30mA**、**40mA**、**50mA**，**60mA**、**70mA**、**80mA**）进行老化。

在这种情况下，其相对光功率随时间的衰减曲线如下图所示。

§2 LED 寿命测试方法

二、LED 寿命测试方法

2. 电流加速寿命测试法



§2 LED 寿命测试方法

二、LED 寿命测试方法

2. 电流加速寿命测试法

从图中可以看到，当驱动电流较小时，在老化的初始阶段衰减幅度较小。

当相对光功率衰减到 $P/P_0 < 0.8 \sim 0.9$ 以后，相对光输出功率与老化时间之间满足关系式：

$$1 - P/P_0 = \alpha \ln(t/t_0)$$

§2 LED 寿命测试方法

二、LED 寿命测试方法

2. 电流加速寿命测试法

$$1 - P/P_0 = \alpha \ln(t/t_0)$$

其中 α 是拟合直线的斜率，它与驱动电流无关是一个常数为 **0.27**，将 t_0 定义为 $P/P_0=1$ 时的点，它是与电流强度的大小有关，可表示为：

$$t_0 = A \times I_F^{-\beta}$$

根据实验得到蓝光 LED 的经验值： $A = 4.3 \times 10^6$, $\beta = 2.7$

§2 LED 寿命测试方法

2. 电流加速寿命测试法

将 (1) 式进行适当的变换可以得到:

$$t_F = t_0 \exp(1 - p/p_0) / \alpha$$

(3)

联立 (2)、(3) 式可得功率衰减到一半时 (即 $P/P_0=0.5$) 的寿命:

$$t_F = 2.73 \times I_F^{-2.7} \times 10^7$$

半时 (即 $P/P_0=0.5$) 的寿命:

I_F 为驱动电流强度, 单位为 **mA**; t_F 为老化时间, 单位

§2 LED 寿命测试方法

2. 电流加速寿命测试法

大多数实验中采用的驱动电流有

40mA , **50mA** , **60mA** , **70mA** , **90mA** , **110mA**

。

以 **40mA**

$$t_F = 2.73 \times I_F^{-2.7} \times 10^7$$

通过测量驱动电流为 **40mA** 时的寿命来推导

LED 在驱动电流为 20mA 时的寿命

§2 LED 寿命测试方法

2. 电流加速寿命测试法

假设我们已经测得测量驱动电流为 **40mA** 时的寿命为，则驱动电流为 **20mA** 时的寿命为：

$$t_{F(20)} = t_{F(40)} (20/40)^{-2.7} = 6.498 \times t_{F(40)}$$

也就是说，驱动电流为 **20mA** 时的寿命为驱动电流为 **40mA** 时的寿命的 **6.498** 倍。

§2 LED 寿命测试方法

2. 电流加速寿命测试法

用同样的方法可以计算得到:

$t_{F(20)}$ 为 $t_{F(50)}$ 的 11.87 倍; +

$t_{F(20)}$ 为 $t_{F(60)}$ 的 19.42 倍; +

$t_{F(20)}$ 为 $t_{F(70)}$ 的 29.443 倍; +

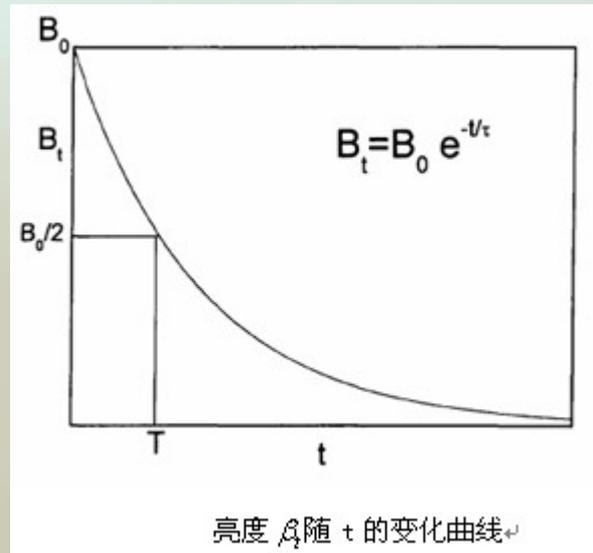
$t_{F(20)}$ 为 $t_{F(90)}$ 的 58.003 倍; +

$t_{F(20)}$ 为 $t_{F(110)}$ 的 99.765 倍。 +

§2 LED 寿命测试方法

3. 普通条件外推法

当 **LED** 通过一定的电流时，认为它的光强随时间的衰减满足一定的指数关系，如下图所示。



§2 LED 寿命测试方法

3. 普通条件外推法

$$B_t = B_0 e^{-t/\tau}$$

其中 B_t 为老化 t 小时后的亮度， B_0 为 **LED** 的初始亮度，而 τ 为与 **LED** 和电流值有关的常数。

通常把亮度降到 $B_t = 0.5B_0$ 所经历的时间 T 称为 **LED** 的寿命。测定 T 要花很长的时间，通常以推算求得寿命。

§2 LED 寿命测试方法

3. 普通条件外推法

在实际的测量过程中，给 **LED** 通额定工作电流 **20mA** 恒流源，点燃 t_1 小时（其中 t_1 一般为 **1000-10000** 小时之间）。

先后测得 B_t ， $B_t = B_0 e^{-t/\tau}$ 些数据代入

就可以求得常数 τ ，再把 $B_t = 0.5B_0$ ，这样就可

§2 LED 寿命测试方法

二、LED 寿命测试方法

3. 普通条件外推法

普通条件外推法在理论上是可行的，用普通条件外推法来计算 **LED** 的寿命时，测量周期太长。

所以在实际测量中一般不采用这种方法，而是采用温度加速老化法和电流加速老化法。

§2 LED 寿命测试方法

三、白光 LED 寿命测试实验

LED 具有超长工作寿命的特点，通常可以达到 **50000** 小时或更长，所谓 **LED** 的工作寿命为 **10** 万小时，主要是指以 **GaAs** 为衬底的红外 **LED** 和以 **GaP** 为衬底的早期可见光 **LED**。

这组实验数据都是通过温度恒定应力加速试验外推而得到的期望寿命。

§2 LED 寿命测试方法

三、白光 LED 寿命测试实验

对于白光 **LED** 与前者所不同的是：

- (1) 发光材料由蓝光 **LED** 芯片和涂在其上的荧光粉构成；
- (2) 蓝光 **LED** 芯片的 **GaN** 与其衬底之间的位错密度比红
外

LED 和早期 **LED** 要高出许多；

- (3) 白光 **LED** 可靠性随芯片的类型和封装结构及用料而

§2 LED 寿命测试方法

三、白光 LED 寿命测试实验

这些势必会影响到白光 **LED** 的可靠性，因此白光功率 **LED** 的期望寿命需要在给定的条件下通过加速寿命试验推出。

造成功率 **LED** 光衰的应力主要来自于结温的影响，因此对白光 **LED** 寿命的测试采用温度作为恒定加速应力比较合适。

§2 LED 寿命测试方法

三、白光 LED 寿命测试实验

1. 试验样品选择

试验器件应是同一类型，取自同一生产线中，包括管壳结构、封装材料、芯片结构、封装工艺完全相同。

考虑到器件要在高温下试验，芯片与管壳底盘采用高温焊料**共晶焊**连接，荧光粉用**硅胶**调配。并全部用硅胶灌封，由硅胶自然形成的拱形球面取代玻璃透镜，以防止因“分层”而引起的光衰，且耐高温。

§2 LED 寿命测试方法

三、白光 LED 寿命测试实验

2. 失效判据

考虑到白光功率 **LED** 光通量的衰减，一个白光功率 **LED** 照明光源的有效寿命可以采用两种判据：

一种是在 **25**°C 的环境温度时光通量衰减到初始值的 **50** % 的工作时间；

另一种是在同样工作条件下光通量衰减到初始值 **70** % 的工作时间。

§2 LED 寿命测试方法

三、白光 LED 寿命测试实验

2. 失效判据

试验过程中以前者作为失效判据，通过试验数据给出了加速寿命的试验结果，

并由此结果推算出失效判据为 **70 %** 的室温预期工作寿命。

§2 LED 寿命测试方法

三、白光 LED 寿命测试实验

3. 加速试验应力摸底

为摸清试验样管所能承受的最高温度，用 **30** 支经过筛选的样管，分为 **6** 组，每组 **5** 支，测试其 **350mA** 的初始光通量后。

分别放入烘箱中，恒温、加电摸底试验，加电的恒定电流均为 **350mA** 。

§2 LED 寿命测试方法

三、白光 LED 寿命测试实验

3. 加速试验应力摸底

烘箱恒定温度 T_a 分别为

85°C、**125°C**、**150°C**、**165°C**、**175°C**、**185°C**。

恒定时间 **96** 小时取出样管。恢复 **1** 小时，再逐支测 **LED** 的光通量。

§2 LED 寿命测试方法

三、白光 LED 寿命测试实验

3. 加速试验应力摸底

摸底试验结果表明：在 **125℃** 以下光通量在有限的时间内几乎没有变化，从 **150℃** 开始略有变化。直至 **185℃** 下出现有 **1** 支样品管光衰较大。

由此选定 **165℃** 和 **175℃**、**185℃**、**350mA**、**96-180** 小时作为恒定加速应力的试验条件。

§2 LED 寿命测试方法

三、白光 LED 寿命测试实验

4. 实验数据处理

由阿仑尼斯模型给出计算不同结温的期望工作寿命和激活能的公式：

$$P = P_0 \exp(-\beta t) \quad (1)$$

P_0 为初始光通量； P 为加温加电后的光通量； β 为某一温度下的衰退系数； t 为某一温度下的加电工作时间

§2 LED 寿命测试方法

三、白光 LED 寿命测试实验

4. 实验数据处理

由阿仑尼斯模型给出计算不同结温的期望工作寿命和激活能的公式：

$$\beta = \beta_0 I_F \exp(-E_a/KT_j) \quad (2)$$

β_0 为常数； E_a 为激活能； k 为波耳兹曼常数； I_F 为工作电流； T_j 为结温； 结温可按公式（ 5-3 ）求得：

§2 LED 寿命测试方法

三、白光 LED 寿命测试实验

4. 实验数据处理

结温可按下式求得：

$$T_j = T_c + V_F I_F R_{j-c}$$

T_c 为壳温； **V_F** 为正向电压； **R_{j-c}** 为结到壳的热阻。

§2 LED 寿命测试方法

三、白光 LED 寿命测试实验

4. 实验数据处理

在此若把寿命失效判据为 **50 %** 时的工作寿命用 **t** 值表示，那么不同结温下达到期望寿命时都有

P (t) = 0.5P₀ ；依据公式 **(1)** 得到：

$$\ln(P/P_0) = -\beta t \quad \text{(3)}$$

§2 LED 寿命测试方法

4. 实验数据处理

依据某一温度下 (假定 **165°C**) 的试验数据 (**P_1**

$$\ln(P/P_0) = -\beta t$$

即由:

$$\begin{cases} \ln(P_1/P_0) = -\beta t_1 \\ \ln(P_t/P_0) = -\beta t_{165} \\ P_t = 0.5 P_0 \end{cases}$$

可得到:

$$t_{165} = t_1 \times \frac{\ln(P_1/P_0)}{\ln(P_t/P_0)}$$

5°C)

的寿命 t

§2 LED 寿命测试方法

4. 实验数据处理

$$\beta = \beta_0 I_F \exp(-E_a/KT_j)$$

$$\ln(P/P_0) = -\beta t$$

和

得到

$$\ln(P/P_0) = -\beta t \begin{cases} \ln(0.5) = -\beta_1 t_1 \\ \ln(0.5) = \beta_2 t_2 \end{cases}$$

$$\beta = \beta_0 I_f \exp(E_a/KT_{j1})$$

$$\beta_1 = \beta_0 I_f \exp(Ea/KT_{j1})$$

$$\beta_2 = \beta_0 I_f \exp(Ea/KT_{j2})$$

§2 LED 寿命测试方法

4. 实验数据处理

以上公式经过变换即得到激活能 **E_a** 和给定温度下的试验加速寿命 **t** 计算公式:

$$E_a = [K \times LN(t_2/t_1)] / (1/T_{j2} - 1/T_{j1})$$

$$t_2 = t_1 \times \exp[E_a / K (1/T_{j2} - 1/T_{j1})]$$

§3 LED 失效分析

一. LED 的主要失效现象

1. LED 的失效类别:

- ① 严重失效：关键的光电参数改变至 **LED** 不能点亮的程度。
- ② 参数失效：关键光电参数由初始值改变至超过规定的程度。

§3 LED 失效分析

一. LED 的失效模式

2. 失效现象

LED 的主要失效现象

序号	失效现象	失效类别
1	开路式短路	严重失效
2	在正常测试条件下光输出中止	严重失效
3	闪烁	严重失效
4	不正常光衰（寿命变短）	参数失效
5	色移	参数失效
6	光指向性变坏	参数失效
7	电参数（ V_F 或 I_R ）变坏	参数失效
8	结构受损	严重/参数失效

§3 LED 失效分析

二. LED 的失效模式

1. 失效模式

- (1) 芯片失效：指芯片本身失效或其他原因造成芯片失效，从而引发 **LED** 失效。
- (2) 封装失效：指封装设计或生产工艺不当而引发 **LED** 失效。
- (3) 热过应力失效：指由于发生周期性热量变化或 **LED** 内部温度超过最大额定值而引发 **LED** 失效。

§3 LED 失效分析

二. LED 的失效模式

1. 失效模式

- (4) 电过应力失效：指由于承受了超过额定的电参数条件或过高的瞬态电流而引发 **LED** 失效。
- (5) 装配失效：指实际使用过程中由于装配不当而引发 **LED** 失效。

在以上五种失效模式当中，任何一种模式起作用，都会引发 **LED** 不同程度的失效，同时可能连带引发其他模式起作用，从而加剧 **LED** 的失效。

§3 LED 失效分析

二. LED 的失效模式

2. 固有可靠性和应用可靠性

元器件的可靠性由固有可靠性和应用可靠性两部份组成：

- (1) 固有可靠性是指出厂前的设计制造过程中决定的元器件本身具有的可靠性特性；
- (2) 应用可靠性是指元器件交付使用后，由于电路的工作条件、环境条件、人为因素等引发的可靠性问题的特性。

§3 LED 失效分析

二. LED 的失效模式

2. 固有可靠性和应用可靠性

芯片失效和封装失效两种模式属于固有可靠性范畴，热过应力失效、电过应力失效和装配失效更多的属于应用可靠性范畴。

对 **LED** 封装业界而言，一方面要努力提高 **LED** 的固有可靠性，以最大限度地消除来自于应用端的不利因素对 **LED** 可靠性的影响；另一方面还要悉心指导应用端用好 **LED**，以提高 **LED** 的应用可靠性。

§3 LED 失效分析

三. 影响 LED 可靠性的主要因素

LED 在实际使用过程中，芯片不良会导致 **LED** 直接失效。

环境温度的变化和 **LED** 发热在封装结构中产生的机械应力会破坏芯片、金线和电极引脚之间的连接，造成裂痕、机械性脱落或金线断裂，导致 **LED** 失效。

§3 LED 失效分析

三. 影响 LED 可靠性的主要因素

热过应力产生的高温还会导致芯片发光效率降低，光衰加快、色移等严重后果，是 **LED** 可靠性中需重点关注的问题。

电过应力产生的冲击有可能直接损坏芯片，或造成金线熔断等现象，致使 **LED** 失效。

§3 LED 失效分析

三. 影响 LED 可靠性的主要因素

由此可见，影响 **LED** 可靠性的因素主要有：芯片的可靠性、机械应力、热应力和电应力等。

要提高 **LED** 的可靠性，就必须采取相应的可靠性技术，使 **LED** 的封装结构尽可能消除或减少这些因素的影响，或提高抵御这些因素影响的能力。

§4 改善 LED 可靠性的关键技术

一. 散热技术

在 **LED** 芯片耗散的能量当中，只有小部分（**<15%**）转化成光，绝大部分（**>85%**）变成热。如果不及时将芯片的发热导出并消散，大量的热量将积聚在 **LED** 内部，芯片的结温将严重升高，发光效率将急剧下降，可靠性（如寿命、色移等）将变坏。同时高温高热将使 **LED** 封装结构内部产生机械应力，可能引发一系列的可靠

§4 改善 LED 可靠性的关键技术

一. 散热技术

所以，解决散热问题是改善 **LED** 可靠性的重中之重。下面以 L 公司的 **Lxx** 封装 **S** 型产品为例，分析 **LED** 热量消耗的路径，找出散热技术的关键点。

1. LED 的散热路径

与传统 **LED** 不同，**Lxx** 封装 **S** 型产品的散热设计的特点是将电流通道和主散热通道分离。

§8.4 改善 LED 可靠性的关键技术

一. 散热技术

1. LED 的散热路径

LED 芯片有源层（发光区）产生的热量，通过以下三条路径消散：

- ① 芯片→荧光粉胶层→灌封硅胶→透镜 / 管体→环境
- ② 芯片→金线→电极引脚 / 管体→环境
- ③ 芯片→固晶胶→热沉→粘合胶→铝板→环境

其中第 1、2 条路径消散的热量有限，大部分的热量是通过第 3 条路径消散的，它是 **LED** 散热的主要

§4 改善 LED 可靠性的关键技术

一. 散热技术

2. 散热通道分析

(1) 好的散热通道应该具备以下条件:

- ① 通道尽可能短，环节尽可能少；
- ② 通道材料具有较高的热传导能力，即热传导系数较高；
- ③ 通道物质的热传导能力连续匹配，避免在通道中形成散

§4 改善 LED 可靠性的关键技术

一. 散热技术

2. 散热通道分析

(2) 在第 1 条散热路径中，荧光粉胶层对散热的影响最大，故在满足光学特性的前提下，应尽量选择导热率高的载体胶，并尽可能将荧光粉胶层减薄。在选择灌密封胶、透镜和管体材料的时候，除了考虑其光学特性、应力变化特性（热膨胀系数的匹配）外，应更多的考虑其导散热能力。

§4 改善 LED 可靠性的关键技术

一. 散热技术

2. 散热通道分析

(3) 第 2 条散热路径实际上也是 LED 的电流通道，故除了考虑通道的电流承受能力外，应更多地考虑材料的导热能力。

采用大线径的金线和高导热的引脚材料是不错的选择。

§4 改善 LED 可靠性的关键技术

一. 散热技术

2. 散热通道分析

(4) 在主散热通道中，除了考虑选择导热良好的材料外，还应考虑其装配工艺技术实现的可能性。

目前蓝宝石衬底的 **InGaN** 芯片主要有正装和倒装（**flip chip**）两种形式。倒装芯片的散热效果要优于正装芯片。

§4 改善 LED 可靠性的关键技术

一. 散热技术

2. 散热通道分析

Lxx 封装 S 型产品主散热通道各种材料的导热能力对比

名称	芯片 有源层	倒装 焊球	衬底	固晶胶	热沉	粘合胶	散热板
材料	InGaN	PbSn	Si	银胶	Cu	导热胶	Al
导热系数 (W/mK)	170	50	146	1.5~25	401	0.5~2.0	237

从上表可以看出，虽然 Lxx 封装 S 型产品大功率 LED 整体的散热能力良好， $R_{th} < 15K/W$ ，但其主散热通道仍存在瓶颈，还有改善的空间。

§4 改善 LED 可靠性的关键技术

一. 散热技术

2. 散热通道分析

- ① 倒装焊球采用的是 **PbSn** 材料，导热率为 **50W/mK**，熔点较低（**<170°C**），在装配焊接过程中容易因高温使焊球变形，造成短路或开路，使 **LED** 失效，既不便于实际应用操作，又存在环保问题（含铅 **Pb**）。

目前倒装芯片的焊球普遍改用金材料，既可提高导热能力（导热系数为 **317 W/mK**），又可解决温度适应性问题。

§4 改善 LED 可靠性的关键技术

一. 散热技术

2. 散热通道分析

② **Lxx** 封装采用的固晶胶是银胶。银胶的导热系数不高，只有 **1.5 ~ 25 W/ mK**，是散热通道中的一大瓶颈。

如果采用银胶固晶，则需在实际生产工艺操作中，在保证晶片与热沉的粘合力足够的前提下，尽量减薄银胶的厚度，以便热量能迅速通过。

§4 改善 LED 可靠性的关键技术

2. 散热通道分析

在衬底背镀 **AuSn** 或 **AgSn** 等合金材料，用共晶的方法将芯片接合到热沉上，效果要比用银胶固晶好得多。

AuSn 和 **AgSn** 的导热系数分别为 **58 W/mK** 和 **50 W/mK**，导热能力明显高于银胶，且因为衬底与热沉之间形成了良好的合金层，故其固晶粘合力大大增加，提高了 **LED** 的可靠性。

共晶固晶方法在大功率晶体管和 **IC** 封装中已是成

§4 改善 LED 可靠性的关键技术

一. 散热技术

2. 散热通道分析

③ **Lxx** 封装的热沉与散热铝片之间是用**导热胶**粘合的。由于导热胶的导热系数不高（只有 **0.5 ~ 2.0 W/mK**），如果粘合不良（如存在接合气隙或胶层太厚等），接合界面的热阻将大幅增加，从而形成散热通道上的另一瓶颈。

改用铜片做散热板，或采用金属焊接方法（如共晶、锡膏焊等），可以将热沉牢固可靠地接合到散热片上，提高散热效果。

§4 改善 LED 可靠性的关键技术

二. 静电防护技术

GaN 是宽禁带材料，电阻率较高，该类芯片在生产过程中因静电产生的感生电荷不易消失，累积到相当的程度，可以产生很高的静电电压。当超过材料的承受能力时，会发生击穿现象并放电。

§4 改善 LED 可靠性的关键技术

二. 静电防护技术

蓝宝石衬底的蓝色芯片其正负电极均位于芯片上面，间距很小；对于 **InGaN/AlGaIn/GaN** 双异质结，**InGaN** 有源层仅几十纳米，对静电的承受能力很小，极易被静电击穿，使器件失效。

GaN 基 **LED** 和传统的 **LED** 相比，抗静电能力差是其明显的弱点。

§4 改善 LED 可靠性的关键技术

二. 静电防护技术

在产业化生产中，静电的防范是否得当，直接影响到 **LED** 的成品率、可靠性和经济效益。

静电的防护技术有如下几种：

- ① 对生产、使用场所从人体、工作台、地面、空间、生产设备及产品运输、堆放等方面实施全方位的防静电措施

§4 改善 LED 可靠性的关键技术

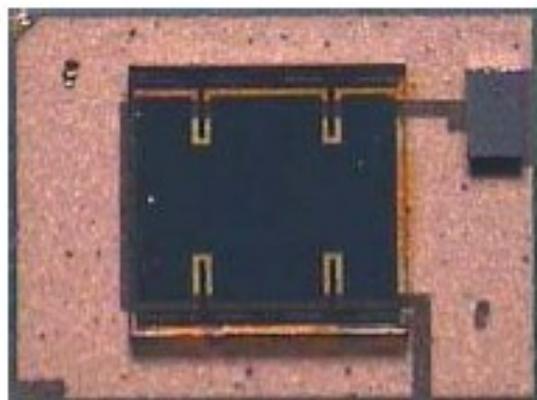
二. 静电防护技术

如安装连接独立的防静电地线，铺设防静电地板，人员穿戴防静电服装、手套、手环、鞋帽，用防静电容器和工具存放和运输产品，产品用防静电材料包装，以及合理使用离子风扇、静电检测仪器等。

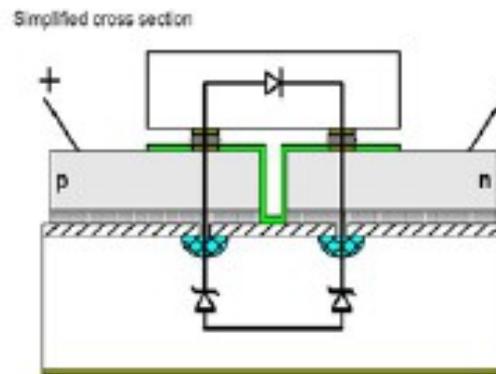
§4 改善 LED 可靠性的关键技术

二. 静电防护技术

② 在芯片衬底上附带起静电保护作用的齐纳二极管



齐纳二极管外置式



齐纳二极管内嵌式

③ 在芯片外、封装结构内部装配静电保护器件。

§4 改善 LED 可靠性的关键技术

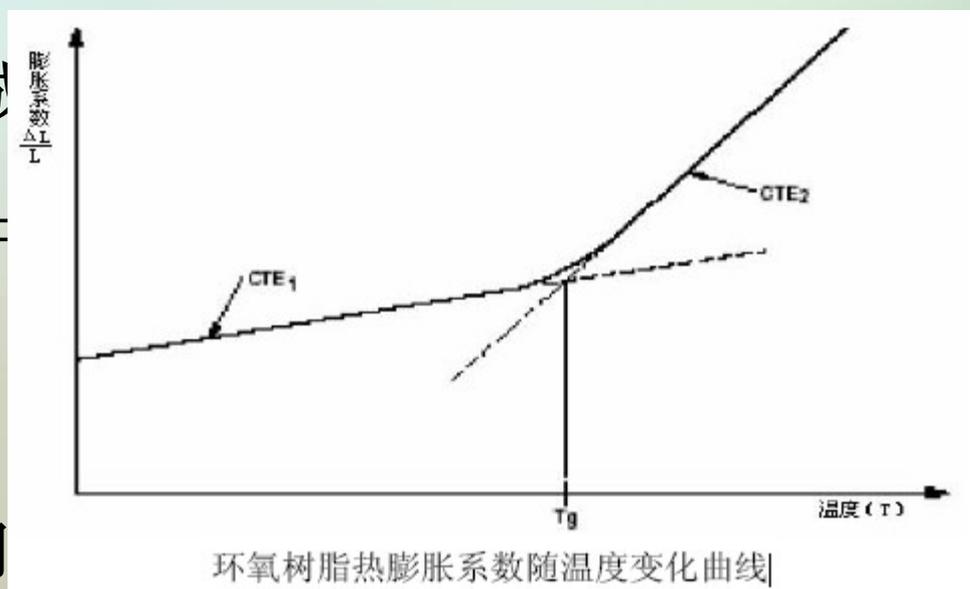
三. 封装材料与机械应力的防范

传统的 **LED** 是用环氧树脂封装的。当温度升高到环氧树脂玻璃转换温度 **T_g** 时，环氧树脂由刚性的、类似玻璃的固体材料转换成

性的材料。 **T_g** 点位于

热膨胀系数（ **CTE** ）

剧烈变化区域的正中间



§4 改善 LED 可靠性的关键技术

三．封装材料与机械应力的防范

如果温度超过了 **T_g** 点，环氧树脂的 **CTE** 将会发生很大变化，膨胀和收缩的加剧而产生的机械应力将导致金线（或铝线）键合点位移增大，金线（或铝线）过早疲劳和损坏，造成 **LED** 开路 and 突然失效。

另外，环氧树脂热阻高，抗紫外老化性能差，既不利于导热，又容易产生胶体黄变，降低光效。

§4 改善 LED 可靠性的关键技术

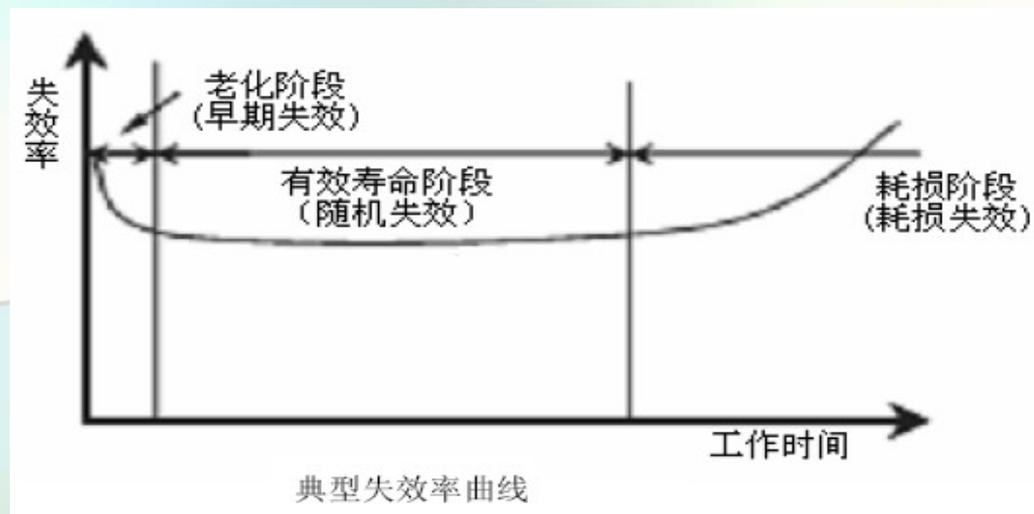
三．封装材料与机械应力的防范

在大功率 **LED** 封装结构内部填充透明度高的、低应力的柔性硅胶，在硅胶承受的温度范围内（一般为 **-40~120℃**），胶体不会因温度骤然变化而导致器件开路，也不会出现黄变现象。

透镜材料的选择也需要考虑同样的问题。

§4 改善 LED 可靠性的关键技术

四. 筛选技术



从典型失效率曲线可以看到，元器件在早期失效阶段（产品使用的初期）失效率较高，随工作时间的延长而迅速下降。造成早期失效的原因大多是属生产型缺陷，由产品本身存在的缺陷所致。

§4 改善 LED 可靠性的关键技术

四. 筛选技术

虽然可以通过可靠性设计、加强生产过程的质量控制可减少这一时期的失效，但是进行合理的老化和筛选，尽可能在产品交付使用前把早期失效的器件淘汰掉仍然是十分必要的。

§4 改善 LED 可靠性的关键技术

四. 筛选技术

照明 **LED** 是在大电流驱动下工作的，这就对其提出更高的可靠性要求。

传统 **LED** 的老化筛选方式不太适合照明用功率型 **LED**，在产业化生产中，有必要针对照明 **LED** 的要求，采用热老化、负载老化、环境试验等相关技术进行工艺筛选，剔除早期失效品，以保证产品的可靠性。