

半导体器件 通用鉴定指南

第 1 部分：集成电路可靠性鉴定指南

1 范围

本文件给出了半导体集成电路产品的可靠性鉴定计划的指南。本文件不适用于军事和太空相关应用。

注1：通过该指南生产商可以使用灵活的样本量来降低成本并保持适度的可靠性，该指南依据EDR-4708、AEC Q100、JESD47或其它被指定的相关文件改编。

注2：本文中使用的威布尔分布方法是计算特定可靠性项目的适当样本量和试验条件的几种方法之一。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

IEC 60749-5 半导体器件 机械和气候试验方法 第5部分：稳态温湿度偏置寿命试验（Semiconductor devices – Mechanical climatic test methods – Part 5: Steady-state temperature humidity bias life test）

IEC 60749-6 半导体器件 机械和气候试验方法 第6部分：高温贮存（Semiconductor devices – Mechanical climatic test methods – Part 6: Storage at high temperature）

IEC 60749-15 半导体器件 机械和气候试验方法 第15部分：通孔安装器件的耐焊接热（Semiconductor devices – Mechanical climatic test methods – Part 15: Resistance to soldering temperature for through-hole mounted devices）

注：GB/T 4937.15-2018 半导体器件 机械和气候试验方法 第15部分：通孔安装器件的耐焊接热（IEC 60749-15: 2010, IDT）

IEC 60749-20 半导体器件 机械和气候试验方法 第20部分：塑料表面安装器件耐潮湿和焊接热综合影响（Semiconductor devices – Mechanical climatic test methods – Part 20: Resistance of plastic encapsulated SMDs to the combined effect of moisture and soldering heat）

注：GB/T 4937.20-2018 半导体器件 机械和气候试验方法 第20部分：塑料表面安装器件耐潮湿和焊接热综合影响（IEC 60749-20: 2008, IDT）

IEC 60749-21 半导体器件 机械和气候试验方法 第21部分：可焊性（Semiconductor devices – Mechanical climatic test methods – Part 21: Solderability）

注：GB/T 4937.21-2018 半导体器件 机械和气候试验方法 第21部分：可焊性（IEC 60749-21: 2011, IDT）

IEC 60749-23 半导体器件 机械和气候试验方法 第23部分：高温工作寿命（Semiconductor devices – Mechanical climatic test methods – Part 23: High temperature operating life）

IEC 60749-25 半导体器件 机械和气候试验方法 第25部分：温度循环（Semiconductor devices – Mechanical climatic test methods – Part 25: Temperature cycling）

IEC 60749-26 半导体器件 机械和气候试验方法 第26部分：静电放电（ESD）敏感度测试-人体模型（HBM）（Semiconductor devices – Mechanical climatic test methods – Part 26: Electrostatic discharge (ESD) sensitivity testing – Human body model (HBM)）

IEC 60749-28 半导体器件 机械和气候试验方法 第28部分：静电放电（ESD）敏感度测试-带电器件模型（CDM）器件级（Semiconductor devices – Mechanical climatic test methods – Part 28: Electrostatic discharge (ESD) sensitivity testing – Charge device model (CDM) – Device level)

IEC 60749-29 半导体器件 机械和气候试验方法 第29部分：闩锁试验（Semiconductor devices – Mechanical climatic test methods – Part 29: Latch-up test）

IEC 60749-42 半导体器件 机械和气候试验方法 第42部分：温湿度贮存（Semiconductor devices – Mechanical climatic test methods – Part 42: Temperature and humidity storage）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

失效模式 failure mode

导致产品失效的故障现象的分类。

注：断开、短路、偶然丢失、磨损、特性劣化等是失效模式的典型情形。

3.2

失效机理 failure mechanism

导致产品不能满足功能要求（或失效模式）的物理、化学或其它过程。

3.3

集成电路 integrated circuit IC

所有或部分电路元件不可分割地关联并电气互连的微电路，因此在建造和商业中被认为是不可分割的。

注：IEV:521-10-03

4 产品类别及应用

集成电路的质量相关要求、运行时间和现场工作条件取决于产品的应用领域。作为创建科学试验计划的一个例子，它们的应用大致分为三个产品类别：汽车使用A；汽车使用B；和消费者使用。依据每个产品类别及其使用条件的定义表1给出了质量相关要求的列表。

表1 产品类别示例

类别	汽车使用 A	汽车使用 B	消费者使用
类别标准	直接关系到安全的汽车应用（失效会导致事故）	不直接关系到安全的汽车应用	家用或办公用电子产品。玩具、电器和服务器的应用
应用的示例	动力系统、刹车、开车支持系统、安全气囊	导航系统、汽车空调、音频系统	家用电器、玩具、电器
年度运行时间	500h 运行时是否用钥匙开/关会不同	500h	在不同的应用下，最高可达 8760h
使用寿命	15 年（累计失效概率：0.1%）	15 年（累计失效概率：0.1%）	在不同的应用下，最高可达 10 年（累计失效概率：0.1%）
假定操作条件 (不同应用下的操作条件的示例)	发动机间隔示例 $T_{a,min}=-40^{\circ}\text{C}/T_{a,max}=125^{\circ}\text{C}$ $T_{j,typ}=100^{\circ}\text{C}/T_{j,max}=150^{\circ}\text{C}$ min.RH:0/ max.RH:100% RH(10%时开车)/(70%时停车) 室内环境示例 $T_a=-40^{\circ}\text{C}(\text{min.})/85^{\circ}\text{C}(\text{max.})$ $T_j=85^{\circ}\text{C}(\text{typ.})/125^{\circ}\text{C}(\text{max.})$ RH=0(min.)/100%(max.) RH(10%时开车)/(70%时停车)		$T_{a,min}=0^{\circ}\text{C}/T_{a,max}=70^{\circ}\text{C}$ $T_j=70^{\circ}\text{C}/105^{\circ}\text{C}(\text{max.})$ RH=10(min.)/80%(max.) RH(20%时通电)/(60%时断电)
早期失效率	每年 1×10^{-6} 或以下	每年 50×10^{-6} 或以下	在不同的应用下，最高可达 500×10^{-6} 每年
随机失效率	10FIT 或以下	50FIT 或以下	在不同的应用下，>50FIT（典型的）
注：这些是应用条件和要求的例子，对于每个用例，这些条件和要求不必全部满足			

5 失效

5.1 失效分布

集成电路的失效分布大致可分为三个区域：早期失效区域（例如， $t_{ELF} = 1$ 年）、随机失效区域和磨损失效区域。图1给出了现场使用时间与瞬时失效率的关系（浴盆曲线）。每个区域的失效分布在5.2到5.4中详细描述。

大多数早期失效是在集成电路的生产过程中进行筛选。然而，未经全面筛选的集成电路会在现场开始运行后相对较短的时间内暴露出问题。

随机失效被认为是在时间上达到一定的失效率，但实际上，将其视为失效率持续下降的早期失效区域的延伸是合适的。供应商无法控制的潜在失效（例如ESD、EOS和软错误）不应包含在失效率计算中，除非计算包含这些类型失效模式的总失效率。

磨损失效是由于集成电路的晶体管、互连线等元件寿命结束而发生的失效，其表明集成电路本身的寿命。磨损失效是取决于使用负载配置文件（时间窗口可能不同）的失效。失效的数量随着时间的推移而增加，每个集成电路最终都会导致超出部件预期设计寿命的失效。磨损失效不能用相同的方式考虑，因为它们具有完全不同的机制，因此也有不同的数学描述（失效分布）。因此，在耐用期内防止磨损失效是很重要的。对于集成电路，在给定的应用中，在部件的设计寿命内累积失效概率达到0.15的时间通常定义为其设计寿命。

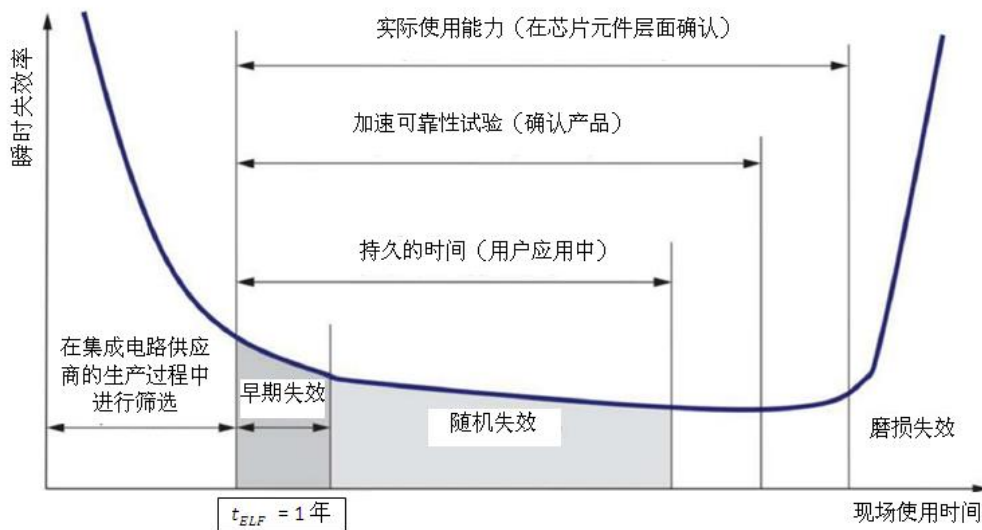


图1 浴盆曲线

5.2 早期失效

5.2.1 描述

由于集成电路含非常小的特征尺寸，并且密集和复杂，易受生产过程中产生的缺陷的影响。因此，在生产过程的最后阶段，才会挑选出满足所需特性和功能要求的器件。在这个过程中，符合要求的器件与生产和测试的总量之比称为良品率。在对符合要求的器件进行分类时，会针对尽可能多的项目进行测量，包括所需的特性和功能。然而，这些分类符合要求的器件可能包括内置潜在缺陷或弱点，但不影响电气特性，并在分类过程中正常运行。当良品率高时，含有潜在缺陷的器件不太可能被包括在内。相比之下，当良品率较低时，含有潜在缺陷器件与符合要求的器件混合的可能性较大。具有这些潜在缺陷的器件，由于寿命缩短或用户应用的强度增大，最终会在使用过程中发生故障。

在生产批次中含有此类缺陷的少量测试符合要求的器件，其失效率会随着时间的推移而降低。因为当有缺陷的集成电路在导致失效后被移除，不可能导致失效的无缺陷集成电路保留。在这种情况下，威布尔分布的形状参数： m 小于1 ($m < 1$)。

更具体地说，当一个生产批次包括有潜在缺陷的符合要求的器件时，如图2所示，使用此类器件的电子产品可能会在使用过程中导致失效，通过应用筛选、修复（组件更换）或处置来移除失效的集成电路，进而保留了具有可靠性的集成电路。

注：最好在集成电路生产商处筛选出这些潜在的或其它的失效，而不是让它们到达用户手中，因为在用户那里纠正的成本更高。

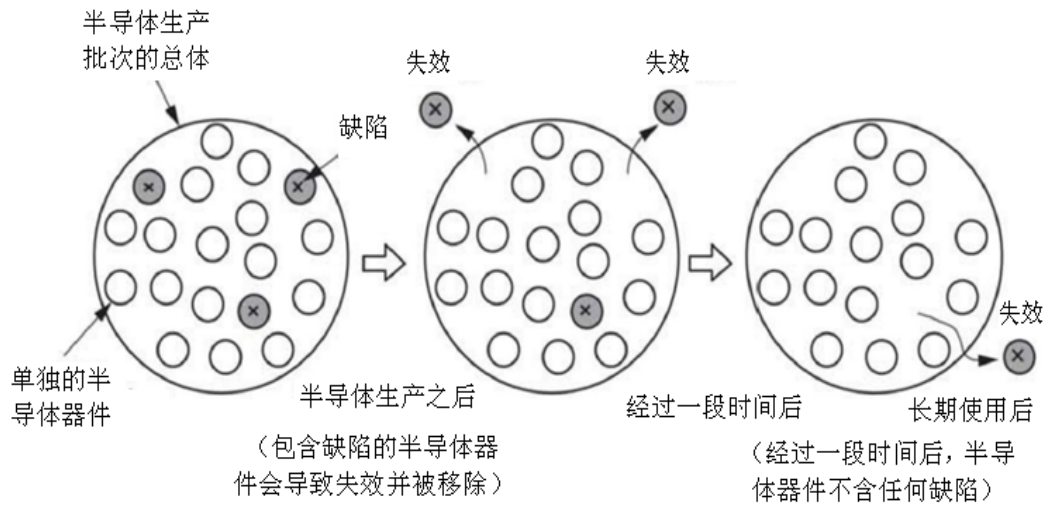


图2 集成电路生产批次在早期失效阶段的失效过程

因此, 减少生产过程中产生的缺陷是应对此类失效的主要对策。另一种可能的对策是在可行的情况下将设计更改为不易受缺陷影响的结构。

5.2.2 早期失效率

5.2.2.1 早期失效率定义

早期失效率是指在集成电路生产商装运后的一年内(被定义为早期失效期), 以及在现场(包含生产商的工艺流程和终端用户的应用)开始运行时, 由生产缺陷导致的退化失效的概率。

早期失效率通常表示为“累积失效概率”, 在定义的早期失效期间发生的失效率用百分比(%)或百万分率(10^{-6})表示。

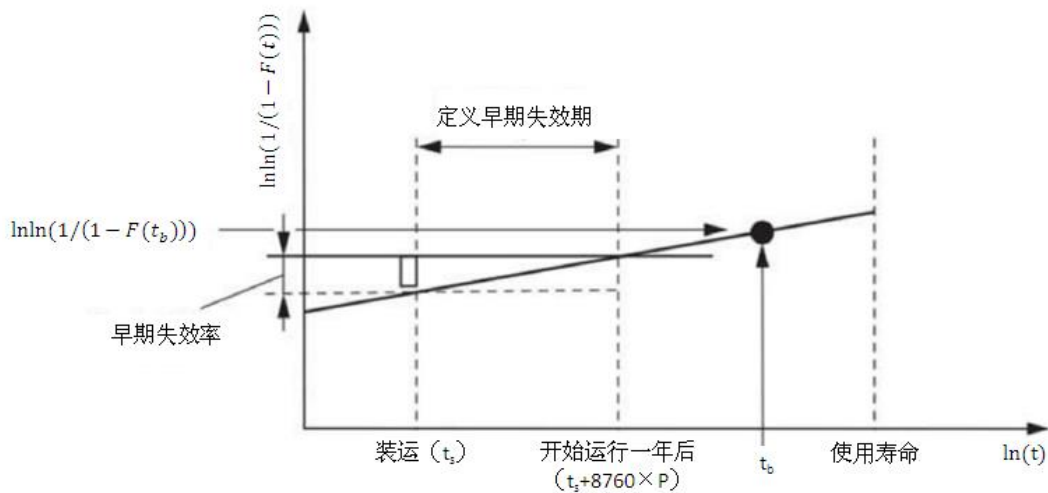
5.2.2.2 累计失效概率

一般累积失效概率表示为:

当威布尔分布形状参数为 m , 尺度参数为 η , 时间为 t 时, 累积失效概率 $F(t)$: 从0到 t 由公式(1)定义。

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t^m}{\eta^m}\right) \dots\dots\dots (1)$$

图3使用威布尔分布图显示了早期失效率的概念。



- ^a 符号说明
- ^b t_b : 现场使用时间;
- ^c t_s : 从筛选期直到装运至现场使用的转换时间;
- ^d P : 有效运行系数 ($0 < P < 1$)。

图3 威布尔早期失效率概念图

下列节中介绍如何根据筛选试验中累积失效收敛的确认结果计算早期失效率。

5.2.2.3 早期失效率的计算

假设现场使用时间为 t_b 的累积失效概率 $F(t_b)$ 被包含为筛选试验累积失效收敛的确认结果。威布尔尺度参数 η 由以下公式获得:

$$\eta = \frac{t_b}{[-\ln(1-F(t_b))]^{\frac{1}{m}}} \dots\dots\dots (2)$$

式中: m 表示从实验结果获得的值或估计值。但是,在上式中,如果失效次数为零,则 $F(t) = 0$ 且尺度参数 η 未定义,因为分母变为0。

因此, χ^2 (卡方) 分布应用于定义考虑置信水平的累积失效概率 $F_c(t_b)$ 。然而,这是基于样本数 N 足够大的前提。

注: 半导体器件失效率计算中使用的典型置信度为60%。

指定置信水平和现场使用时间 $F_c(t_b)$ 的累积失效概率由公式 (3) 给出。

$$F_c(t_b)_g = \chi^2_{g, \frac{d}{2 \times N}} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- χ^2 是卡方分布;
- g 是置信水平 (CL, %);
- d 是自由度 = $(2 \times f) + 2$;
- f 是失效次数;
- N 是样本数。

将(3)代入(2)得到考虑置信水平的尺度参数:

$$\eta_c = \frac{t_b}{[-\ln(1-F_c(t_b))]^{\frac{1}{m}}} \dots\dots\dots (4)$$

当使用从筛选期直到装运至现场使用的转换时间 t_s 的值和计算值 η_c 时，考虑到装运后的置信度的早期失效率： $F_c(t_1, t_s)$ 由下式给出。

如果在早期失效期间发现失效，则使用 η 代替 η_c ，并且早期失效率不考虑装运后的置信度。 $F(t_1, t_s)$ 由下式给出：

$$F_c(t_1, t_s) = 1 - \exp\left[-\frac{(t_1 - t_s)^m}{\eta_c^m}\right] \dots\dots\dots (5)$$

$$F(t_1, t_s) = 1 - \exp\left[-\frac{(t_1 - t_s)^m}{\eta^m}\right] \dots\dots\dots (6)$$

公式(5)和(6)， $t_1 = 365 \times 4 \times P$

其中

- P 是有效运行系数，范围从0（始终停止）到1（始终运行）；
- t_1 是运行开始后1年的时间点，以小时为单位（常数=8760小时）。

5.2.2.4 失效率的计算

失效率比：考虑 g （%）置信水平的早期失效率 F_c 与不考虑置信水平的早期失效率 F 的比值 α 用下式表示：

$$F_c = \chi^2_{g, 2 \times N} \dots\dots\dots (7)$$

$$F = \frac{f}{N} \dots\dots\dots (8)$$

式中： f =失效数， N =样本数。

$$\alpha = \frac{F_c}{F} = \frac{\chi^2_{g, 2 \times N}}{\left(\frac{f}{N}\right)} = (N/f) \chi^2_{g, 2 \times N} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

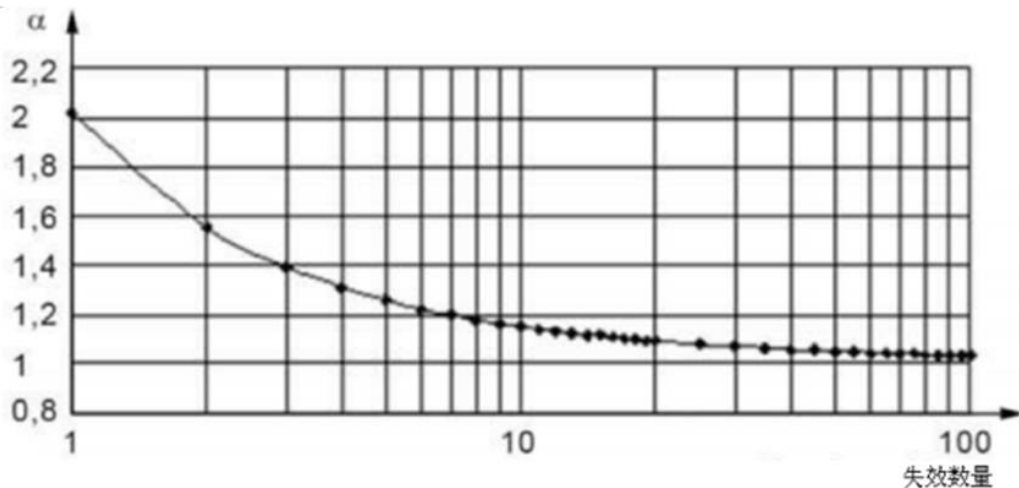


图4 失效比示例： α （以数百计）和失效数（置信水平，60 %）

F 由失效的数量决定，而不是由测试样品的数量（ N ）决定。
随着失效次数的增加，考虑和不考虑置信水平之间的比值接近于1。

由图4可知，当累计失效次数为50时，考虑置信水平的早期失效率： F_c 与不考虑置信度水平的早期失效率： F 的失效率差为5%（ $\alpha = 1.05$ ， $N = 50$ 对 $\alpha = 1.00$ ， $N = 大值$ ）。

因此，如果早期失效率的差异取决于失效的数量，并且融合置信水平是允许的，则可以在不考虑置信水平的情况下使用早期失效率。

示例：

当包含筛选测试中累积失效收敛的确认结果时使用：

$m = 0.3$ ； $t_b = 70298$ 小时； $N = 2000$ ； $f = 69$ ，

和早期失效率 $F_c(t_1, t_s)$ 使用：

置信水平为60%： $t = 70298$ 小时； $P = 1$

考虑置信水平的尺度参数由公式（4）计算为： $\eta_c = 5.57 \times 10^{52}$ 。

考虑置信水平的早期失效率由公式（5）计算为： $F_c(t_1, t_s) = 129 \times 10^{-6}$ 。

不考虑置信水平的尺度参数由公式（2）得： $\eta = 2.15 \times 10^{53}$ 。

不考虑置信水平的早期失效率由公式（6）得： $F(t_1, t_s) = 124 \times 10^{-6}$ 。

因此，在该示例中，考虑置信水平的早期失效率 F_c 与不考虑置信水平的早期失效率 F 之间的失效率差为 $(129 - 124)/124 = 4\%$ 。

5.2.3 筛选

由于集成电路包含非常小的特征尺寸并且具有复杂的几何形状，因此它们容易受到生产过程中产生的缺陷的影响。因此，一些被归类为“符合要求的器件”的批次存在潜在失效，具有不影响测量电气特性的轻微固有缺陷。这允许器件在分拣过程中按规范运行。筛选指在装运前消除潜在失效，从而降低或消除早期现场失效率。

去除包含此类微小固有缺陷的器件的一般筛选方法包括施加比实际使用条件下更严格的电压和温度等应力，结合产品测试和老化，去除封装中的初始缺陷的方法使用X射线检查、目视检查、结合安装应力和温度循环下测试的应力等。必要时需要根据目标的早期失效率调整筛选条件。应以筛选本身不会显著影响使用寿命的方式检查它们，即减少磨损时间。通过稳定产品生产线并精心生产产品以减少内在生产缺陷，也可以降低产品早期失效率。

老化通常在封装后进行，但最近通常在晶圆上进行老化。就消除器件芯片中的生产缺陷而言，这两种方法都将产生相同的效果。图5显示了筛选和早期失效率之间的关系，可以统计估计。

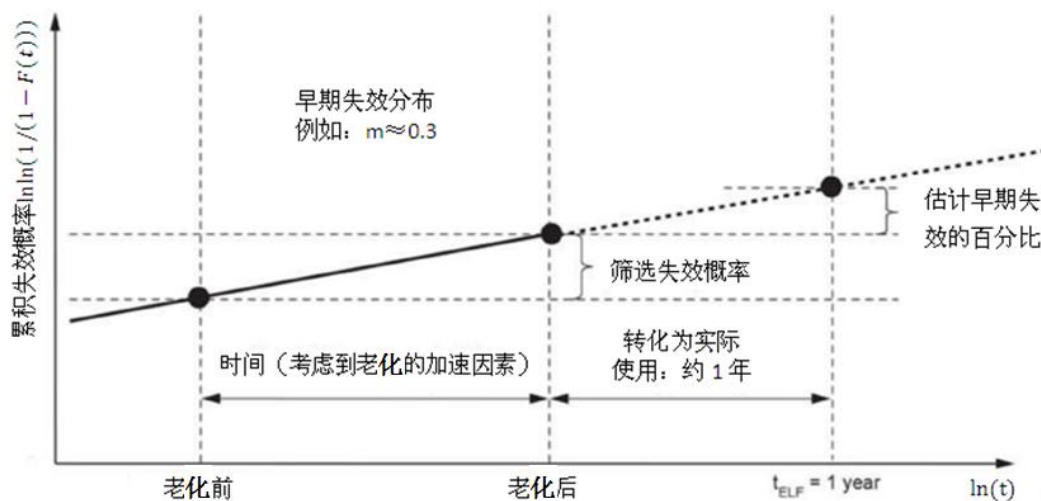


图5 用威布尔分布筛选和估计早期失效率

图5显示了筛选后早期失效率的鉴定方法，可以通过统计估计。在某些情况下，老化过程会不断重复，直到没有实际的老化失效发生以确认筛选的收敛性，但是，如图5所示，当在威布尔分布中进行统计估计时，早期失效总在以微小的速率发生。因此，如果在进行统计分析时未虑到实验参数、加速因子和失效模式，即使在老化过程中不合理地重复直至没有老化失效发生，那么采样也变得毫无意义。

用老化过程的失效概率计算的 m 值不能反映老化过程之前的测试过程中发生并被移除的失效。如果计算 m 值而不考虑老化前测试过程中的失效， m 值会变大。因此，由 m 值估计的早期失效率往往会比实际质量更差。一般来说，计算 m 值时需要考虑老化前后的失效概率，以估计早期失效，如图5所示。

基于此概念的早期失效分布和失效率的鉴定应纳入产品可靠性的鉴定中，这也是提高实际交付质量的最有效的手段。

由于早期失效取决于生产线固有的生产缺陷率，因此只要能了解生产缺陷率和早期失效的收敛特性(威布尔分布 m 的值)，同一生产线内、设计标准相同的产品的早期失效率也可以很容易估算。

示例：

现场早期失效概率计算方法：

当考虑到筛选情形时， t_1 可表示为直至运输时的时间（依据图6可将其转换为使用环境中的时间），则运输后的累积失效概率为：

$$F(t: t_1) = 1 - \exp \left[\frac{(t-t_1)^m - t_1^m}{\eta^m} \right] \dots\dots\dots (10)$$

装运后的失效率是：

$$\lambda(t: t_1) = \frac{m \times (t+t_1)^{(m-1)}}{\eta^m} \dots\dots\dots (11)$$

请注意，装运后一年的累计失效概率为 $F(8760: t_1)$ ，其中一年等于8760h。当从筛选数据中获得 m 和 η 时，将启用定量计算。

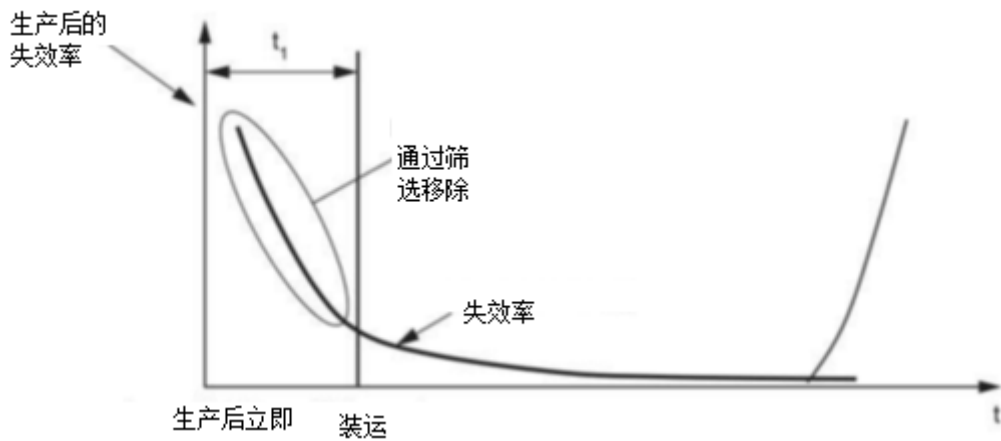


图6 浴盆曲线，将生产后立即设定的点作为原点

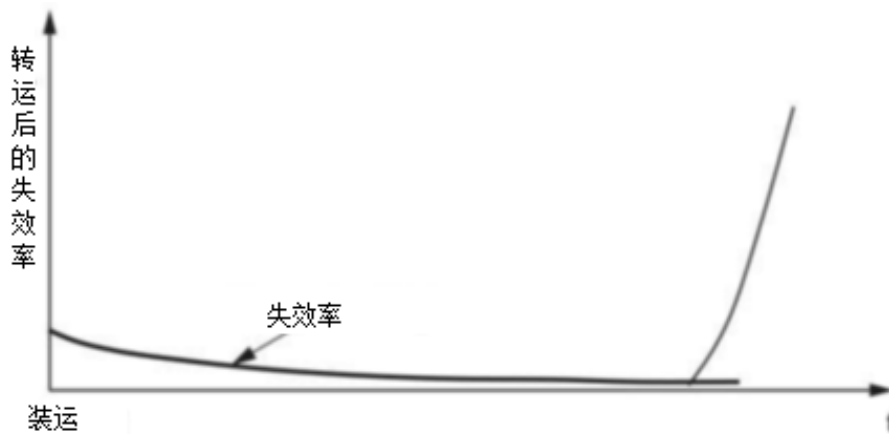


图7 浴盆曲线，设置筛选后的点作为原点

5.3 随机失效

5.3.1 描述

随机失效通常指发生在定义的早期失效期结束（在这种情况下，为1年）到使用寿命结束或磨损期开始之间的失效。可以适当的估计，在定义的早期失效期之后发生的失效是由于暴露了未通过筛选完全消除幸存的早期失效所造成的，并且在大多数情况下，威布尔分布形状参数： m 不完全是1。有时认为这些失效是由与制造缺陷无关的干扰因素引起的偶然失效，更具体地说，是由偶然因素引起的。

5.3.2 平均失效率

平均失效率的计算方法是将确定的早期失效期结束到使用寿命结束之间发生失效的概率转化为单位时间发生失效的概率。通常，它表示一个用FIT表示的数值（时间失效=每 10^9 个器件-小时的失效数，例如：1FIT-每1000小时工作1PPM）。这个估计可以使用，因为有效的生命周期显示的失效率接近恒定。

由于假设威布尔分布形状参数 $m = 1$ （恒定失效率），基于指数分布的平均失效率是使用运行寿命试验结果统计计算的，该值只由试验的样本数、时间和加速因子决定。因此，计算值并不总是表示实际质量。用指数计算的平均失效率只是概念上的，在现实中，定义的早期失效期之后的实际失效率也成为失效数量逐渐减小的区域。尽管磨损失效取决于加速系数，但在约1000h的加速运行寿命试验期间，根据设计和内置裕度，预计不会发生磨损失效，并且在运行寿命试验期间，可以适当的考虑失效仍保持威布尔分布形状参数： $m < 1$ ，如果干扰因素引起的随机失效数量足够小。因此考虑到平均失效是早期失效的延伸，可以将筛选后的早期失效分布扩展到假设的运行时间，并将估计的累积失效概率表示为FIT中单位时间的失效率。图8显示了使用运行寿命试验结果的指数分布来描述平均失效率计算方法的概念。图9给出了考虑威布尔分布形状参数： m 为早期失效扩展时平均失效率计算方法的概念。

平均失效率的方法计算的指数分布基于运行寿命试验结果，符合价值会更大，因为平均失效率计算是通过在不考虑实际失效分布的情况下唯一固定 $m = 1$ ，并使用少量试验样本、试验加速因子和试验时间来计算的。在图8的例子中，当运行寿命试验中的失效次数为 $f=0$ ($r_c(0:0.6)=0.92$)，CL为60%， $n = 77$ 时，计算得到FIT约为1.36。

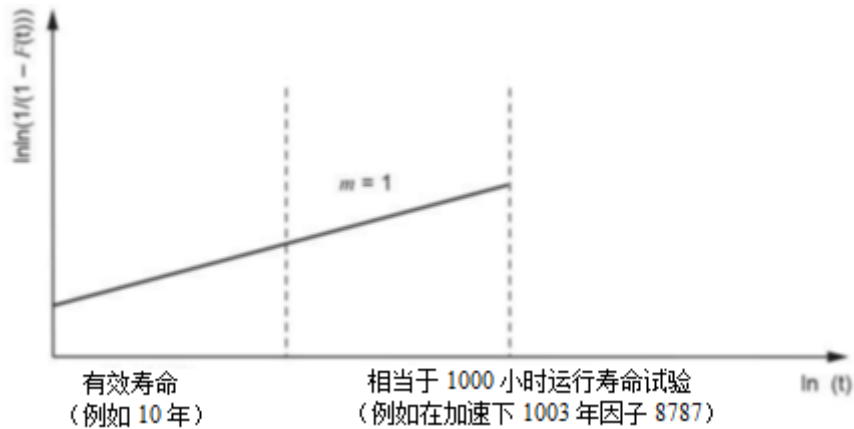


图8 指数分布的平均失效率计算方法的概念图

示例1:

$$\lambda = \frac{r_c(f,g)}{N \times T \times A_{cc}} \times 10^9 \text{FIT} \dots \dots \dots (12)$$

式中:

- λ: 失效率;
- f: 失效次数;
- g: 可信度 (单位%);
- $r_c(f, g)$: 当实际失效数为 f 时, CL 为 g (ln%) 的修正失效数, 例如 f=0 时, g=60% 时, $r_c(0, 0.6) = 0.92$;
- N: 运行寿命试验样本数: 77;
- T: 运行寿命试验时间: 1000h;
- A_{cc} : 可靠性试验的加速因子, 为 8787 倍数。

则平均失效率为:

$$\lambda = \frac{0.92}{77 \times 1000 \times 8787} \times 10^9 \text{h}^{-1} = 1.36 \text{FIT}$$

另一方面, 当计算中考虑实际失效分布 (m值) 时, 计算定义的早期失效期结束与运行寿命结束之间的累计失效概率 (累计平均失效概率), 并将其转换为平均失效率。这种计算方法具有数据可信度高的优点, 因为它是根据筛选试验时累计失效收敛的确认结果进行计算的。

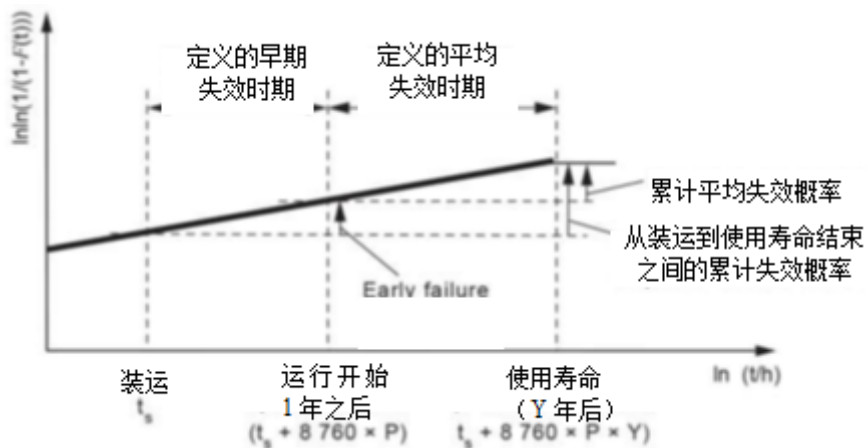


图9 平均失效率作为早期失效延伸的计算方法概念图

使用威布尔模型计算平均失效率的方法定义为,由于定义的早期失效期的早期失效率是单独定义的,并且定义的平均失效期被认为是早期失效的扩展,而不是传统的指数函数分布,

定义的平均失效期: 在定义的早期失效期结束和使用寿命结束之间的一段时间。

以下关系由考虑置信水平的数学公式表示为:

- $F_C(t)$: 累计平均失效概率
- $\lambda(t)$: 平均失效率
- $F_C(t_Y, t_S)$: 发货到使用寿命结束的累计失效概率
- $F_C(t_1, t_S)$: 定义的早期失效期间的累计失效概率
- Y : 使用寿命 (年)
- P : 工作比 ($0 < P \leq 1$)

$$F_C(t_Y, t_S) = 1 - \exp \left[-\frac{(t_Y+t_S)^m - t_S^m}{\eta_C^m} \right] \dots\dots\dots (13)$$

$$t_Y = Y \times 365 \times 24 \times P \dots\dots\dots (14)$$

$$F_C(t) = F_C(t_Y, t_S) - F_C(t_1, t_S) \dots\dots\dots (15)$$

$$\lambda(t) = \frac{F_C(t_Y:t_S) - F_C(t_1:t_S)}{(Y-1) \times 365 \times 24} \dots\dots\dots (16)$$

式中: F_C 用 F 代替, η_C 用 η 代替, 是不考虑置信度的平均失效率。

示例2:

- a) 当得到筛选试验累计失效收敛的确认结果时: $m = 0.3$, $t_b=70298h$, $N=2000$, $f=69$
 平均失效率考虑: $t_s=70298h$, $P=1$, 使用寿命 10 年, CL 为 60%
 表示为: $\eta_C=5.57 \times 10^{52}$ 由公式 (4) 得到, $F_C(t_1, t_S)=129 \times 10^{-6}$ 由公式 (5) 得到, $F_C(t_Y, t_S)=898 \times 10^{-6}$ 由公式 (8) 得到
 累计平均失效率 769×10^{-6} , 平均失效率为 9.8FIT。
- b) 不考虑置信水平时 $\eta=2.15 \times 10^{53}$ 由公式 (2) 得到, $F_C(t_1, t_S)=124 \times 10^{-6}$ 由公式 (6) 得到, $F_C(t_Y, t_S)=862 \times 10^{-6}$, 将 F_C 用 F 代替, η_C 用 η 代替带入 (8) 得到。
 累计平均失效率为 738×10^{-6} , 平均失效率为 9.4FIT。

5.4 磨损失效

5.4.1 描述

磨损失效表示集成电路本身的寿命。当进入磨损失效区域时,每个集成电路最终都会导致失效。因此,应在耐用的使用寿命期内防止这种故障。因此,每个集成电路供应商应在设计阶段纳入“可靠性设计”,通过提供足够的设计余量,防止在耐用期内发生磨损失效。在确定使用寿命的磨损失效区域,威布尔分布形状参数 m 大于1 ($m > 1$)。

设计标准(如制造条件、设计条件)满足可靠性(或设计规范)的要求,其寿命转化为实际使用的要求,是根据测试元件组(TEG)进行评估等的测试结果,通过设计评审确定的。包括构成集成电路的元件(如晶体管、互连线)和封装等组装元件,集成电路应以此为基础进行设计。

磨损失效的形状参数 m 由试验结果或估计值得到。如果它的值是可以固定的,则通过绘制形状参数为 m 的威布尔图来设定现场可靠性目标,该图通过根据试验样本数量和试验时间假设的失效率,并通过加速试验进行可靠性试验,以确认可靠性与假设的完全一致。

5.4.2 磨损失效率

图10和图11显示了描述磨损失效率和加速试验概念的概念图。

根据这些概念图，下面介绍了可靠性试验的样本数和时间的计算方法。

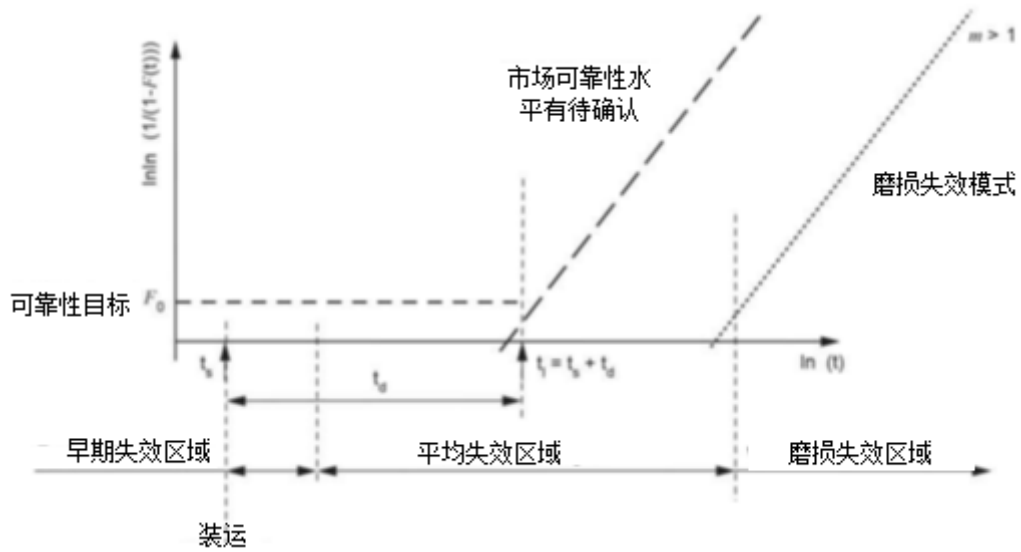


图10 磨损失效示意图

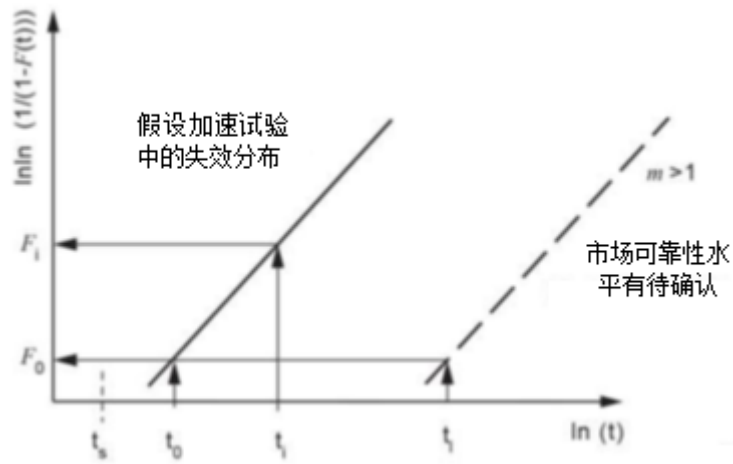


图11 描述加速试验概念的概念图

在加速试验中达到确认失效概率所对应的现场使用时间到使用寿命 t_1 的时间，由下式表示：

$$t_0 = \frac{t_1}{A_{cc}} \dots\dots\dots (17)$$

式中：

- t_1 : $t_s + t_d$
- t_s : 将装运前的筛选期转换为现场使用时间的值；
- t_d : 耐久期；
- A_{cc} : 为加速因子。

由CL的 g (in%) 和样本数 n_i ，估计出最大失效率（估计累计失效概率） F_i ，由失效次数为0时的二项分布计算得到，用下式表示：

$$F_i = 1 - \left(1 - \frac{g}{100}\right)^{n_i} \dots\dots\dots (18)$$

式 (18) 也可以表示为:

$$n_i = \frac{\ln\left(\frac{1-g}{100}\right)}{\ln(1-F_i)} \dots\dots\dots (19)$$

加速度试验中假定失效分布的累计失效概率用以下公式表示:

$$F_i = 1 - \exp\left(-\frac{t_i^m}{\eta^m}\right)^{\frac{1}{n_i}} \dots\dots\dots (20)$$

$$F_0 = 1 - \exp\left(-\frac{t_0^m}{\eta^m}\right)^{\frac{1}{n_i}} \dots\dots\dots (21)$$

式中:

—— t_i : 测试时间包括装运前的筛选时间;

—— F_0 : 对累计失效概率进行确认;

由上述威布尔公式可得:

$$\frac{\ln(1-F_i)}{\ln(1-F_0)} = \left(\frac{t_i}{t_0}\right)^{\frac{1}{m}} = \left(t_i \times \frac{Acc}{t_1}\right)^m \dots\dots\dots (22)$$

一旦CL的 g (in%) 和样本数 n_i 固定, 估计出最大失效率 F_i , 且测试时间包括筛选时间至装运, 为 t_i , 可由持续期内的累计失效概率计算确定 F_0 和公式 (22)。

如果采用二项分布, 失效次数为0, 则截止装运的测试时间 (包括筛选时间) 为 t_i , 表示为:

$$t_i = \left[\frac{\ln\left(\frac{1-g}{100}\right)}{n_i \times \ln(1-F_0)}\right]^{\frac{1}{m}} = \frac{t_1}{Acc} \left[\frac{\ln\left(\frac{1-g}{100}\right)}{n_i \times \ln(1-F_0)}\right]^{\frac{1}{m}} \dots\dots\dots (23)$$

如果测试使用的样品在装运前进行了现场使用时间的筛选, 为 t_s , 则试验时间不包括装运前的筛选时间为 t_i , 具体表达如下:

$$t_i = t_1 - \frac{t_s}{Acc} \dots\dots\dots (24)$$

估计累计失效率 F_i : 从测试时间 (不包括进行的筛选时间) 到转运时间为 t_i 在持续期内需确认的累计失效概率为 F_0 , 和公式 (22), 样本个数为 n_i , 可以由CL的 g (in%) 计算。

$$t_i = t_d - \frac{t_s}{Acc} \dots\dots\dots (25)$$

$$F_i = 1 - \exp\left[\left(t_i \times \frac{Acc}{t_1}\right)^m \times \ln(F_0)\right] \dots\dots\dots (26)$$

当应用二项分布时, 失效次数为0, 样本数量为 n_i , 表示为:

$$n_i = \left(\frac{t_0}{t_i}\right)^m \times \frac{\ln\left(\frac{1-g}{100}\right)}{\ln(1-F_0)} = \left(\frac{t_1}{Acc \times t_i}\right)^m \times \frac{\ln\left(\frac{1-g}{100}\right)}{\ln(1-F_0)} \dots\dots\dots (27)$$

6 可靠性试验

6.1 可靠性试验说明

产品可靠性试验主要是为了确定所设计电路的使用寿命 (磨损失效) 和稳定性。当集成电路达到其固有耐用性时, 磨损失效会导致失效。虽然导致失效的时间取决于制造过程中的变化和使用中的应力, 但每个集成电路最终都会达到其寿命的尽头。因此, 在耐用期结束后, 失效率急剧上升。进行可靠性试验, 以确定在假设实际使用期间, 磨损失效在期望的累计失效概率内。由于 $m > 1$ 在磨损失效时, 只是

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/238062012121006111>