

三步驟判讀MTTF數值

半導體可靠度壽命預估有解

曾世仰

隨市場需求走向系統級封裝(SiP)、系統單晶片(SoC)、POP、三維(3D)和3D矽穿孔(TSV)等高階先進封裝技術，各種不同材質、不同功能的晶片整合進同一封裝，這樣的封裝元件使用的材料相當複雜且多元，在可靠度壽命的預估上，亦是現階段，各家廠商關注的重點之一。

為確認產品可靠度的壽命預估，如宜特科技提供高溫工作壽命實驗(High Temperature Operating Live, HTOL)，協助IC設計公司以更簡易、低成本的方式，執行先進製程/先進封裝的晶片可靠度壽命預估。這十年期間，可靠度驗證實驗室時常收到許多客戶詢問，執行HOTL實驗後並計算完MTTF(Mean Time To Failure)與 λ (失效率)，其數值該如何判讀與運用？而MTTF或MTBF(Mean Time Between Failure)差別在哪，應該要使用哪一種參數呢？

這裡先解釋一下何謂「壽命試驗」。HTOL是工作壽命試驗(Operating Life Test, OLT)的其中一項。OLT為利用溫度、電壓加速方式，在短時間內試驗，評估積體電路(IC)在長時間可工作下的

壽命時間(生命週期預估)。典型浴缸曲線(Bathtub Curve)分成早夭期(Infant Mortality)、可使用期(Useful Life)以及老化期(Wear Out)，對於不同區段的故障率評估，皆有相對應的試驗手法(圖1)。

MTTF與MTBF差異與應用

MTTF和MTBF都是可靠度壽命預估的一種標準，差別在於MTBF運用於可維修或單體成本昂貴的產品，如電腦、飛機、汽車，MTTF則運用於不可維修或單體成本較便宜的產品，如IC、半導體元件。

MTBF稱為平均失效間隔時間，多用於系統類產品，一般常用來看同一產品，在相鄰兩次失效之間的平均工作時間。例如，一台電腦主機是一個整合多產品的系統，裡面包含了電源供應器、主機板、硬碟、顯示卡、記憶體等等，假設電源供應器異常，會導致此電腦主機(系統)失效無法使用。在修復後，過了一段時間，因為記憶體異常，亦再次導致此電腦主機失效無法使用。而兩次失效(電源供應器、記憶體)的間隔時間，即可稱為此電腦主機的MTBF。

MTTF則稱為平均失效時間，與MTBF的差異在於，常用於在不可維修的產品，像是IC此類的單體元件。此類元件因產品失效後，並無法透過維修，將元件本體的功能恢復。例如，IC因長時間使用的金屬遷移老化導致失效，該失效的IC，並無法透過維修後復原，僅能直接更換。

MTTF/λ 數值判斷及應用方式

當實驗室協助客戶執行完HTOL實驗時，客戶的終端客戶(End Customer)往往會要求計算其MTTF與λ的數值。如何計算呢？

可以參考電子設備工程聯合委員會(Joint Electron Device Engineering Council, JEDEC)JEP001-3A規範內所提到的計算式(圖2)，並進一步計算出數值。

舉例說明，假設使用實驗條件如表1所示。

實驗後，若樣品失效數為0ea，且在90%信心水準下，可以計算出其平均故障率函數λ與其倒數MTTF為λ=275.83 FITs以及MTTF=3,625,418 Device Hours。

承上計算，多數人的疑問在於，λ=275.83 FITs或MTTF=3,625,418 Device Hours這兩種數值，要如何應用這個數值？這個數值是好是壞？

首先要理解λ及MTTF的定義。實際上要計算短時間內的故障率，非常困難，代表意義也不高，因此會選擇一段時間區間的平均故障率來做計算，例如1,000Hrs/1個月或1年作為時間單位，一般會用平均

故障程度(λ)=期間總故障數/總工作時數(=總樣品數×工作時數)來做為結果的呈現，因故障率非常低，所以會採用FIT來作為單位(FIT=10⁻⁹)。MTTF則為λ的倒

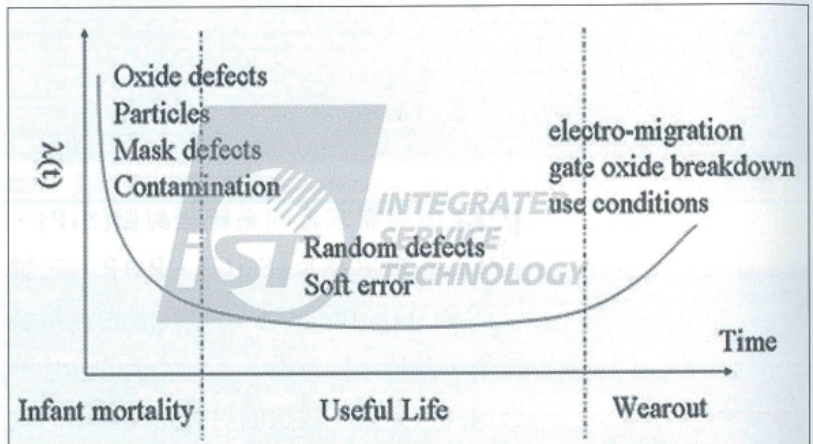


圖1 典型浴缸曲線(Bathtub Curve)

$$\lambda = \chi^2(x, v) / (2N \cdot AF \cdot t_{STRESS})$$

where:

$\chi^2(x, v)$ = Chi Square at (x, v), from Chi Square tables

x = (1-C.L.) and v = (2r+2)

C.L. = Confidence limit

r = # of rejects

N = Total sample size

AF = Acceleration factor

t_{STRESS} = Total stress time

(Reference JEP001-3A)

圖2 JEP001-3A規範所提到的計算式

表1 使用實驗條件

Item	Test chip	
Test Hours(T.H.)	1000	Hours
Sample Size(S.S.)	77	ea
Normal operating temperature	55	°C
Stressed temperature	125	°C
Normal operating voltage	3.3	V
Stress voltage	3.63	V

數，也就是到達故障的平均時間。但要留意的是，MTTF的單位是Device Hours，不是Hours。

其次可以參考規範JESD74A內，對於CDF(Cumulative Distribution Function)或可稱累積的失效分布函數的計算式(公式1)：

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t) \quad \dots\dots\text{公式1}$$

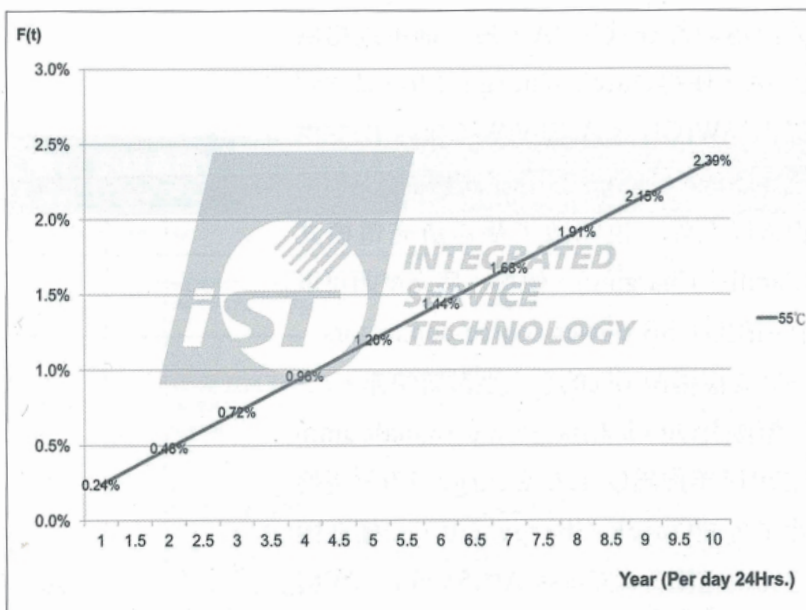


圖3 群體累積失效率統計圖

透過此計算式，在帶入需求的預估時間後，可以計算出各時間下，預估的群體累積失效率。

而透過圖3，可以瞭解每個時段的預估群體累積失效率，像是5年的群體累積失效率達到1.2%，10年的群體累積失效率達到2.39%。藉由此數值，可比對是否符合終端客戶需求，或各公司內部規定，是否可以允收此數值。

透過MTTF/λ 回推可靠度壽命測試條件

在了解MTTF、λ、累積失效率之間的換算後，再拿到終端客戶的測試要求之後，就可以依此條件來設計適合的測試條件。

以下範例說明，假設要求的結果為10年(24小時都在使用的情況)的失效率在1%以下。首先，透過CDF計算(公式2)：

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$$

$$1\% = 1 - \exp(-\lambda * 10 * 365 * 24) \quad \dots\dots\text{公式2}$$

即可得知需要達到 $\lambda \leq 114$ FITs，即可符合要求。

再以此目標來搭配其他實驗條件，像是有多少時間可以完成測試？有多少樣品可以測試？電壓與溫度可以增加應力(Stress)至何種條件？可以接受多少失效？想針對的Fail Model？

例如，表2所提供的三種可靠度測試範例條件，其計算出的結果，都可以符合 $\lambda \leq 114$ FITs，符合到客戶最初的需求。可調整的參數是複合性的，建議在設計可靠度實驗條件時，可依當時的環境條件下，進行微調，設計符合當下需求的實驗條件。

(本文作者為宜特科技可靠度工程處經理)

Item	Condition1	Condition2	Condition3	Unit
Test Hours(T.H.)	1000	1000	1000	Hours
Sample Size(S.S.)	231	77	160	ea
Normal operating temperature	55	55	55	°C
Stressed temperature	125	147	130	°C
Normal operating voltage	1.8	1.8	1.8	V
Stress voltage	1.98	1.98	2.07	V