

第 5 章 6：測試驗證

完整的測試體系是產品品質的保證。

一、測試類型

1. 功能測試 (Functional Test)

驗證每個功能正常。

2. 性能測試 (Performance Test)

量化效能：速度、頻寬、解析度。

3. 環境測試 (Environmental Test)

- 高低溫工作 (HALT、HASS)
- 溫度循環
- 濕度 (85° C/85% RH)
- 鹽霧 (戶外用品)
- 振動 / 衝擊
- 落摔
- IP 等級防水防塵

4. 可靠度測試 (Reliability Test)

- MTBF (Mean Time Between Failures)
- 加速壽命測試
- ESS (Environmental Stress Screening)
- Burn-in

5. EMC 測試

- CE / RE 量測
- ESD 抗擾度
- EFT、Surge

6. 安規測試

- 耐電壓 (Hi-Pot)
- 絕緣電阻
- 接地連續性
- 漏電流

7. 通訊測試

- BER (誤碼率)
- 訊號品質 (眼圖)
- 協定一致性

二、HALT 與 HASS

HALT (Highly Accelerated Life Testing)

新設計時： - 把產品推到極限找弱點 - 漸增溫度、振動 - 找到失效點 - 設計改善

HASS (Highly Accelerated Stress Screen)

量產時： - 在 HALT 下找的 stress 等級內測試 - 過濾出潛在缺陷品

三、測試設備

通用儀器

- 三用電表 (DMM)
- 示波器
- 訊號產生器
- 邏輯分析儀
- 頻譜分析儀
- 網路分析儀 (VNA)
- 直流電源
- 電子負載

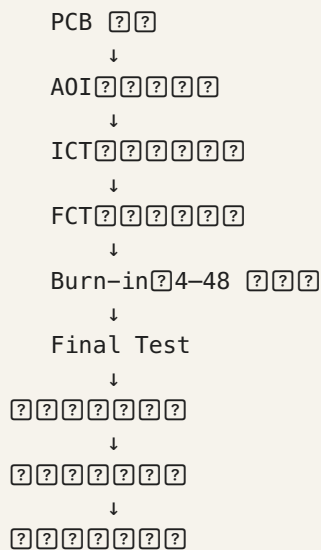
專用測試

- ATE (Automatic Test Equipment)：IC 量產測試
- ICT (In-Circuit Test)：PCB 板級
- Boundary Scan (JTAG)：邏輯測試
- FCT (Functional Test)：產品功能
- Burn-in 設備
- 環境試驗室（恆溫恆濕、振動台）

專業認證

- 認證實驗室：SGS、UL、TÜV、Intertek

四、產線測試流程



每站留 log 與 traceability。

五、測試覆蓋率

100% 測試？

理想但不可能。需要：- 抽樣計劃（AQL）- 統計過程控制（SPC）- 良率分析

6 Sigma

製程能力指標：- Cp、Cpk - 99.99966% 良率 (3.4 ppm 不良)

六、本章總結

 您應該掌握：

- [x] 各種測試類型
- [x] HALT/HASS
- [x] 測試設備
- [x] 產線測試流程

下一章

07-?????DFx.md