

第 6 章 6：測試流程

量產時的測試體系，確保品質與良率。

一、測試階段

1. AOI (已介紹)

2. ICT (In-Circuit Test)

板級電氣測試：

工作原理

- 針床 (Bed of Nails) 接觸測試點
- 量電阻、電容、二極體、IC 是否在位
- 找短路、開路、錯料、缺料

優點

- 快 (10-30 秒/板)
- 高覆蓋率
- 自動化

限制

- 需要每條 net 有測試點 (占 PCB 空間)
- 製作 fixture 成本高
- 不能測動態功能

3. Boundary Scan (JTAG)

不需實體探針，IC 內部 JTAG 控制：- 連通性測試 - IO 控制 - Flash 編程 - 涵蓋 BGA 等不可探測腳位

4. FCT (Functional Test)

板的整體功能測試：- 通電 - 跑韌體 - 與 host 通訊 - 量功能輸出 - 自動化判斷 pass/fail

需要：- 治具 (fixture) - 測試程式 - 通訊介面 (USB、UART)

5. Burn-in

高溫 + 通電工作 4–48 小時： - 加速失效（早夭品 infant mortality） - 過濾不穩元件
不一定每個產品都做（看可靠度要求）。

6. 環境測試

抽樣測試： - 溫度循環 - 振動 - 落摔

7. 認證測試

每個型號上市前一次： - EMC - 安規 - 通訊

8. 出貨檢驗（OQC）

最終品檢，AQL 抽樣。

二、ATE（Automatic Test Equipment）

IC 量產測試

從 wafer probe 到 final test： - 高速 pattern 產生 - 多通道（128–4096） - 高頻量測

主要廠商

- Advantest（日，含 Verigy）
- Teradyne（美，含 LTX-Credence）
- Cohu
- Chroma 致茂（台）

測試類型

- DC 測試
 - AC（速度）測試
 - Functional（功能）
 - 高頻（射頻、SerDes）
 - 混合訊號
-

三、SPC (Statistical Process Control)

量產統計監控

- 每批抽樣量測
- 用控制圖 (Control Chart) 追蹤
- 早期偵測製程偏移

主要指標

- Cp：製程能力
- Cpk：考慮偏移的製程能力
- $Cpk \geq 1.33$ ：合格
- $Cpk \geq 1.67$ ：優

6 Sigma

3.4 ppm 不良率，現代精密製造目標。

四、追溯 (Traceability)

每個產品有獨特序號 (serial number)：- 對應到出產日期 - 製造批號 - 各站測試結果 - 元件批次

用於：- 出貨追蹤 - 故障分析 - 召回管理

實現：QR Code、雷射標記、RFID

五、量產良率管理

良率拆解

```

[?] [?] [?] [?] [?] [?] Input [?]
  ↓
AOI [?] [?] [?] [?] 99%
  ↓
ICT [?] [?] [?] [?] 97%
  ↓
FCT [?] [?] [?] [?] 96%
  ↓
Burn-in [?] [?] [?] [?] 99%
  ↓
[?] [?] [?] [?] [?] [?] [?] [?] ≈ 91%

```

良率改善

- 每站找 top 10 缺陷
- 統計分析
- DOE (Design of Experiments)
- 製程改善 PDCA

六、測試覆蓋率 (Test Coverage)

計算

$$\text{Coverage} = \frac{\text{被測試的故障點}}{\text{總故障點}}$$

典型目標

- ICT：80–95%
- FCT：60–90%
- Boundary Scan：50–80%
- 綜合（多層）：> 95%

覆蓋率工具

- ICT 廠商提供
- DFT 工具 (Tessent、TetraMAX)

七、本章總結

☒ 您應該掌握：

- [x] 量產測試流程
- [x] AOI/ICT/JTAG/FCT 各種測試
- [x] Burn-in 與環境測試
- [x] ATE 概念
- [x] SPC 與良率管理
- [x] 追溯與覆蓋率

下一章

07-?????.md