

# 第 9 章 5：硬體設計檢查清單 (Checklist)

---

實務工程師的「保命符」：在每個階段防止低級錯誤。

---

## 一、規格 / 需求

---

- ☐ 功能 / 非功能 / 規範需求是否完整？
  - ☐ 輸入電壓範圍 (min/typ/max) ？
  - ☐ 輸出電壓 / 電流規格？
  - ☐ 環境條件 (溫度、濕度、機械、海拔) ？
  - ☐ EMC / 安規需求？
  - ☐ 認證需求 (FCC/CE/BSMI) ？
  - ☐ 客戶 SLA / DPPM 目標？
  - ☐ 量產規模、成本目標？
  - ☐ 已 confirm with stakeholders？
- 

## 二、原理圖

---

### 電源

- ☐ 所有電源有 decoupling capacitor (每個 IC 0.1 $\mu$ F + 大電容)
- ☐ 上電順序設計 (Sequencing)
- ☐ 電源指示 LED + 限流電阻
- ☐ 反接保護 (極性錯誤)
- ☐ 過壓 / 過流保護
- ☐ 過溫保護 (如需要)
- ☐ 軟啟動 (避免 inrush)
- ☐ 標明各電源 net 名稱 (如 +3V3、+5V、VBAT)

### IC

- ☐ 所有 VCC 都有 0.1  $\mu$ F + 0.01  $\mu$ F (高頻)
- ☐ 所有 GND 連接
- ☐ 未使用 pin：設定 (接地、上拉、輸入懸空？)

- ☐ BGA、QFN 中央 GND 焊盤連接
- ☐ PLL/Analog 單獨 LDO
- ☐ Reset 電路 (pull-up + capacitor，或專用 IC)
- ☐ Boot strap pin (上電狀態確認)
- ☐ 振盪器：負載電容、ESR、跡線最短

## 介面

- ☐ USB：D+/D- 90 $\Omega$ 、CC pin 5.1k (USB-C)、ESD、VBUS 保護
- ☐ HDMI：100 $\Omega$ 、ESD、HPD pull-down
- ☐ Ethernet：磁性元件、Bob Smith 終端、ESD
- ☐ RS-485：終端電阻、Bias、ESD
- ☐ RS-232：MAX232 或專用 IC
- ☐ CAN：120 $\Omega$  終端、ESD
- ☐ 串接收發器：tx/rx 確認接對

## 訊號

- ☐ 所有 IC 輸出未短路 (包括 push-pull)
- ☐ 所有開漏輸出有上拉電阻
- ☐ 數位輸入有上拉 / 下拉 (避免懸空)
- ☐ I<sup>2</sup>C：上拉電阻
- ☐ 高速差分：阻抗 / 長度匹配 (線上規則檢查)
- ☐ 類比 / 數位地分區
- ☐ 訊號方向標示

## 其他

- ☐ 標題欄填寫完整 (版本、日期、作者)
  - ☐ 標註與註解清楚
  - ☐ 跨頁連接正確
  - ☐ DNI / DNP 標示
  - ☐ 跳線 / 測試點規劃
  - ☐ ERC 通過
-

## 三、PCB Layout

---

### 布板

- ☐ 板子尺寸與機械開孔
- ☐ 安裝孔
- ☐ 連接器位置正確 (USB / 電源在哪一側)
- ☐ 標題、Logo、版本、日期
- ☐ Mark fiducial (SMT 用)
- ☐ V-Cut 或 Routing 邊界
- ☐ 拼板 (panel) 規劃

### 元件擺放

- ☐ 信號流向合理
- ☐ 高速元件靠近 (短路徑)
- ☐ 高速 / 類比 / 電源分區
- ☐ 連接器位置正確
- ☐ 大電容靠近電源 IC
- ☐ 解耦電容近 IC pin
- ☐ 散熱元件足夠空間 / 銅皮
- ☐ 對稱元件對稱

### 走線

- ☐ 電源走線足夠寬 (電流計算)
- ☐ 高速差分阻抗符合 spec
- ☐ 差分線長度匹配
- ☐ 時鐘 / 高速避免 90° 轉角 (用 45° 或圓角)
- ☐ 高速 vs 低速分開
- ☐ 不跨 plane 分割
- ☐ 不在板邊緣走高頻
- ☐ 過孔數量合理 (少 stub)
- ☐ 短而粗的回流路徑

### Plane

- ☐ 完整 ground plane

- ☐ Power plane 不分塊太細
- ☐ 縫合 via 在板邊緣
- ☐ 主要 IC 下方有 GND
- ☐ 不使 plane 形成天線

## 工藝

- ☐ 線寬 / 間距符合 PCB 廠 capability
- ☐ 過孔尺寸 OK
- ☐ 焊盤大小符合 IPC-7351
- ☐ 阻焊開窗適當
- ☐ 絲印不壓焊盤、不上 BGA
- ☐ DFM 通過
- ☐ DRC 通過
- ☐ 拼板出貨方式

## 製造文件

- ☐ Gerber (2 個 vs 6 個層)
- ☐ Drill 檔
- ☐ Pick & Place
- ☐ BOM (含廠商料號、替代料)
- ☐ Assembly drawing
- ☐ Fab drawing (含 stackup)
- ☐ README (特殊要求說明)

---

## 四、Bring-up (首板上電)

---

### 上電前

- ☐ 視檢：方向、極性、桥连
- ☐ AOI / X-Ray (BGA)
- ☐ 短路測試：所有電源網對 GND 阻值
- ☐ 焊接補強

### 控制上電

- ☐ 用電源供應器 (限流)，非直接連電池 / 變壓器

- ☐ 慢慢升壓，觀察電流
- ☐ 找熱點（手摸 / 熱像儀）
- ☐ 量電壓 → 各電源 rail
- ☐ 量震盪（晶振是否啟動）

## 啟動

- ☐ Reset 信號正確
- ☐ Boot pin 正確
- ☐ MCU 有 heartbeat（程式 LED）
- ☐ UART debug 正常
- ☐ JTAG / SWD 連線

## 周邊

- ☐ 各介面測試
- ☐ 感測器讀值合理
- ☐ 通訊協議正確
- ☐ 高速介面 eye diagram

---

## 五、量產前驗證

---

### EVT

- ☐ 設計驗證
- ☐ 電氣量測
- ☐ 各功能 OK
- ☐ 找出設計改善點

### DVT

- ☐ 完整 spec 驗證
- ☐ 環境測試（高低溫、濕度、振動）
- ☐ EMC 預掃
- ☐ 安規預掃
- ☐ 電池壽命 / 充放電
- ☐ HALT
- ☐ 軟硬體整合

- ☐ 客戶 sample 試用

## PVT

- ☐ 量產線試跑
  - ☐ CTQ (Critical to Quality) 特性
  - ☐ 製程能力 (Cp/Cpk)
  - ☐ 工裝設備到位
  - ☐ 工人 SOP / 訓練
  - ☐ 試產良率
  - ☐ 包裝 / 物流測試
  - ☐ OQC、IQC 標準
  - ☐ 認證完成
  - ☐ 客戶 PV approval
- 

## 六、量產

---

- ☐ BOM 凍結 (official BOM)
  - ☐ 替代料 AVL 確認
  - ☐ PCN (Process Change Notice) 流程
  - ☐ ECO (Engineering Change Order) 流程
  - ☐ 失效追溯
  - ☐ 持續良率改善
  - ☐ 8D / FMEA 應用
  - ☐ 客戶反饋追蹤
- 

## 七、法規 / 文件

---

- ☐ 規格書
- ☐ 原理圖 (已凍結版本)
- ☐ PCB 檔
- ☐ BOM
- ☐ 測試報告 (功能、性能、環境)
- ☐ EMC 報告
- ☐ 安規報告

- ☐ 認證證書 (FCC / CE / BSMI...)
  - ☐ 使用手冊 / 規格書 (客戶版)
  - ☐ 包裝設計
  - ☐ 標籤 (型號、序號、QR、認證標誌)
- 

## 八、總結

---

✅ 用此清單避免：

- ☒ 忘記 decoupling
  - ☒ 反接燒板
  - ☒ DRC 沒過
  - ☒ 文件遺漏
  - ☒ 認證走錯
- 

## 結語

---

至此，整個《電子硬體完整教材》已完整收尾。

恭喜您走完這段旅程！從基本電阻到 SoC、從 DIY LED 到智慧家居節點、從 SPICE 模擬到量產認證，您已建立了完整、貫通的電子硬體知識體系。

下一步：選擇一個感興趣的專案，動手做。理論不動手永遠是「紙上談兵」。

祝您工程之路一路精彩！