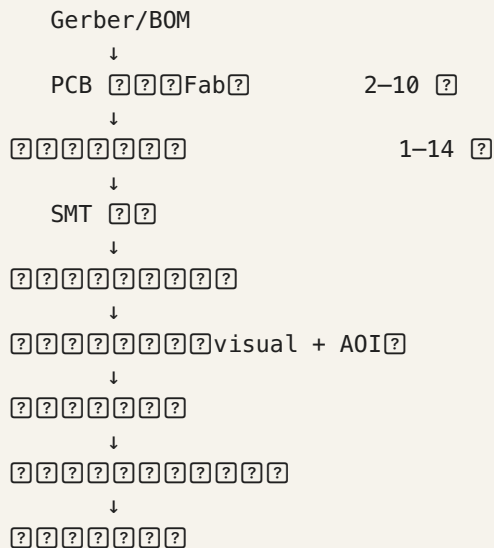


第 5 章 5：原型製作 (Prototyping)

從 Gerber 到實體 PCB，原型階段需要實作技能。

一、原型流程



二、PCB 打樣選擇

國內選擇

- 健鼎、欣興、欣巨等大廠（高階 / 中量）
- 小廠快速打樣

國外（價格友善）

- JLCPCB（中國）：5 片約 \$5 起，3 天工期
- PCBWay：客製化選項多
- OSH Park（美國）：紫色板著名，較貴
- Eurocircuits（歐洲）：高品質
- Sierra Circuits（美國）：高品質

線上下單

- 上傳 Gerber、Drill
 - 選層數、厚度、表面處理
 - 確認 DFM check
 - 付款 → 製造 → 出貨
-

三、元件採購

主要分銷商

- DigiKey (美)：齊全
- Mouser (美)：齊全
- Farnell / Newark / element14：歐
- RS Components
- Arrow
- Avnet
- LCSC (中)：JLCPCB 子公司，便宜

中國通路

- 立創商城 (LCSC)
- 華強北市場 (深圳)

採購要點

- 確認 part number 完整
 - 注意封裝
 - 避免 obsolete / NRND
 - 留 5–10% 餘量
 - 儲存條件
-

四、SMT 組裝

DIY 手焊小批量

工具：- 烙鐵 + 細頭 - 助焊劑 - 細焊錫 (0.4 mm) - 鑷子 - 放大鏡 / 顯微鏡

技巧： - 預上焊錫一個焊盤 - 對位放元件 - 焊另一邊 - 補焊原焊盤 - 多腳 IC：drag soldering、hot air

鋼板 + 熱風 / 回焊爐

中批量： - 鋼網（與 PCB 廠一同打樣） - 錫膏（含鉛 SAC305 或無鉛） - 鋼板印刷錫膏 - 機器擺放（人工或 P&P） - 回焊爐熱循環

工廠 SMT 服務

- JLCPCB Assembly：低 NRE
- PCBWay Assembly
- 國內 EMS 廠

五、通孔焊接 (THT)

注意

- 焊腳剪短後焊
- 兩面焊（雙面板）
- 大焊盤可能需要先預熱

大功率元件

- 鎖螺絲後再焊
- 避免冷焊

六、板級檢查

1. 目視檢查

- 焊點完整、光亮
- 無短路
- 無 tombstone（立碑）
- 元件方向正確
- 標示清楚

2. AOI (自動光學檢查)

工廠標準。

3. X-Ray

BGA、QFN 等不可視焊點檢查。

4. 三用電表檢查

- 電源 vs 地短路
- 關鍵連接通斷
- 重要電壓

七、首次通電 (Bring-Up)

步驟

1. 斷電檢查：所有電源 vs GND 阻抗 $> 100\ \Omega$
2. 限流通電：實驗電源限流，慢慢加電壓
3. 量電源電壓：每軌都對
4. 量靜態電流：與預期相符？
5. 看 LED / 重置：MCU 起動？
6. 連 SWD / UART：能 program 嗎？
7. 跑 hello world FW：基本功能 OK？
8. 逐項測試各模組

常見問題

- 電源沒上來：檢查 LDO/DC-DC、enable 腳、回授
 - 短路：找 hot spot (紅外熱像儀)、limit power supply
 - MCU 不啟動：晶體、reset、boot mode、debug 介面
 - 訊號錯誤：示波器看波形
-

八、修板 (Rework)

切線

- 美工刀切斷錯誤走線

飛線 (Jumper)

- 細線連接修正

換元件

- 熱風槍 / 烙鐵雙面
- 重新清潔 + 焊錫

重新打板 (Re-spin)

- 修正後再下一版
 - 大量修板會降低良率，盡量設計時就避免
-

九、本章總結

✅ 您應該掌握：

- [x] 原型製作完整流程
 - [x] PCB 打樣選擇
 - [x] 元件採購
 - [x] SMT 與 THT 組裝
 - [x] 板級檢查
 - [x] 首次通電 bring-up
 - [x] 修板技巧
-

下一章

06-?????.md