

第 6 章 3 : PCB 製造

從 Gerber 到實體 PCB 的製造流程。

一、PCB 製造完整流程

1. CAM 處理

廠商接收 Gerber → 轉內部格式 → 拼板 → 加工藝邊。

2. 內層

- 材料切割
- 銅箔疊合
- 內層成像（光阻 + 曝光 + 顯影）
- 內層蝕刻
- 自動光學檢查（AOI）

3. 多層壓合（Lamination）

- 內層 + Prepreg + 外層銅
- 高溫高壓壓合
- 時間 1-2 小時

4. 鑽孔（Drilling）

- 機械鑽（孔徑 > 0.2 mm）
- 雷射鑽（HDI microvia）

5. 通孔電鍍（PTH）

- 化學鍍銅打底
- 電鍍銅加厚
- 形成 via 連通

6. 外層

- 外層成像
- 外層蝕刻

- AOI

7. 防焊 (Solder Mask)

- 防焊油墨塗佈
- 曝光定義
- 顯影

8. 文字 (Silkscreen)

- 絲網印刷或噴墨

9. 表面處理 (Finish)

- HASL、ENIG、OSP 等

10. 外形加工

- V-Cut、銑邊、開槽

11. 電氣測試 (E-Test)

- 飛針測試或 fixture
- 確認連通與絕緣

12. 包裝出貨

二、PCB 廠的能力等級

1. 一般板

- 雙面 / 多層板
- 線寬 ≥ 6 mil
- 一般 FR4

2. 中高密板

- HDI (雷射 microvia)
- 2-3 階盲埋孔
- 線寬 ≥ 3 mil

3. 任意層 HDI

- ELIC (Every Layer Interconnect)
- 任意內層互連
- 手機主板用

4. 撓性 (FPC)

- PI (聚醯亞胺) 基材
- 可彎折

5. 剛撓結合 (Rigid-Flex)

- 剛 + 撓組合
- 醫療、工業常見

6. 高頻 / RF

- Rogers 等特殊基材
- 嚴格阻抗控制
- 微波 / 毫米波

7. 銅基板 (Metal Core PCB)

- 銅基或鋁基
- 高散熱
- LED、汽車

8. 厚銅板

- 2 oz 以上
- 大電流 (電源、電動車)

三、製造規範

標準

- IPC-A-600 : PCB 驗收標準
- IPC-6011 : 通用規範
- IPC-6012 : 剛性 PCB 規範

- IPC-6013 : 撓性 PCB 規範
- IPC-2221 : 通用設計規範
- IPC-2222 : 剛性
- IPC-2223 : 撓性

驗收等級

- Class 1 : 消費電子 (最寬鬆)
- Class 2 : 工業 (中等)
- Class 3 : 高可靠 (醫療、軍工、航太)

不同等級有不同的容差、缺陷標準。

四、特殊製程

1. 阻抗控制板

- 嚴格 Stackup
- 阻抗 $\pm 10\%$ 或更嚴
- 加做 coupon test

2. Backdrill

- 雷射或機械鑽掉 via stub
- 用於高速訊號

3. 半孔 (Edge Plating)

- 板邊金屬化
- 用於模組化邊接

4. 加厚銅外緣

汽車、工業大電流連接器使用。

5. 嵌入式被動 / 主動元件

- 內層埋入電阻、電容、IC
 - 縮小體積
-

五、PCB 廠選擇

國際大廠

- Sanmina、TTM、AT&S（高端）
- Multek

台廠

- 健鼎、欣興、楠梓電、滬電、瀚宇博德、聯茂、台耀（基材）

國產（中國大陸）

- 鵬鼎、東山精密、生益科技、深南電路

報價快速廠

- JLCPCB、PCBWay：小批量打樣
- Sierra Circuits、OSH Park：歐美

六、本章總結

✅ 您應該理解：

- [x] PCB 完整製造流程
- [x] 廠商能力等級
- [x] IPC 標準與驗收等級
- [x] 特殊製程（HDI、Backdrill、Rigid-Flex）

下一章

04-SMT[?][?][?][?][?][?].md