

第 4 章 6 : PCB 設計

PCB（印刷電路板）是把所有元件結合在一起的「載體」。本章整理 PCB 設計的方方面面。

一、PCB 結構

基本層

```
Top Silkscreen    ← [?][?][?][?][?][?][?][?]  
_____  
Top Solder Mask  ← [?][?][?][?]  
_____  
Top Copper       ← [?][?][?][?][?][?][?][?]  
_____  
Prepreg / Core   ← [?][?][?][?][?]FR4 [?][?]  
_____  
Bottom Copper    ← [?][?]  
_____  
Bottom Solder Mask  
_____  
Bottom Silkscreen
```

多層結構

Stack-up : 4 層、6 層、8 層、10 層、12 層、16 層、20 層 ...

二、PCB 材料

介電質

材料	Dk @ 1 GHz	Df	用途
FR4	4.4	0.02	一般 < 1 GHz
FR4 高 Tg	4.4	0.02	含鉛免洗、高溫
Megtron 6	3.4	0.005	5 GHz+
Rogers RO4350B	3.66	0.0037	高頻
Rogers RT/duroid 5880	2.2	0.0009	mmWave
鋁基板 (MCPCB)	—	—	LED、功率
撓性基板 (FPC)	—	—	撓性電子

銅箔重量

重量	厚度
1/2 oz	17.5 μm
1 oz	35 μm
2 oz	70 μm
3 oz	105 μm
4 oz	140 μm

大電流 PCB 用厚銅。

三、Stack-up 設計範例

4 層板 (一般)

L1: Signal + 
 L2: GND
 L3: Power
 L4: Signal

6 層板（高速）

```
L1: Signal[?] [?] [?] [?] [?] [?]  
L2: GND  
L3: Signal[?] [?] [?] [?] [?] [?]  
L4: Power  
L5: GND  
L6: Signal
```

8 層板（複雜系統）

```
L1: Signal  
L2: GND  
L3: Signal  
L4: Power  
L5: GND  
L6: Signal  
L7: GND  
L8: Signal
```

設計原則

1. 訊號層必相鄰地層
2. 電源與地相鄰
3. 高速訊號避免在外層
4. 對稱結構（防翹曲）

四、PCB 設計流程

1. 原理圖（Schematic）

- 元件選用
- 連線
- 標註網路名稱

2. 元件封裝（Footprint）

- 從 IC datasheet 確認
- IPC-7351 標準

3. PCB 大小與外形

- 機構限制

- 連接器位置
- 安裝孔

4. 元件擺放 (Placement)

- 連接器在邊緣
- 電源 IC 區
- 高速 IC 區
- 散熱考慮
- 元件高度 (與外殼配合)

5. 層堆疊 (Stack-up)

6. 走線 (Routing)

- 電源最先
- 高速訊號
- 一般訊號
- 接地

7. 平面 (Plane)

- 完整地平面
- 電源平面分區 (不同電壓區域)

8. 規則檢查

- DRC (Design Rule Check) : 違反設計規則
- ERC (Electrical Rule Check) : 電氣連接錯誤
- 阻抗計算

9. 匯出 Gerber

- Gerber RS-274X
 - Drill File (Excellon)
 - Pick & Place file
 - BOM
-

五、走線設計規則

線寬（依電流）

- IPC-2221 標準
- 1 oz 銅，10 mil 約能過 1A（外層，30° C 上升）

電流	1 oz 外層	1 oz 內層
0.5 A	8 mil	14 mil
1 A	15 mil	30 mil
5 A	80 mil	150 mil

線距

- 一般：≥ 線寬的 1.5–3 倍
- 安規：依電壓決定 creepage / clearance
- 低壓邏輯：> 4 mil
- 50–250V：> 1 mm
- 250–500V：> 2.5 mm

Via 規格

- 一般板：8/16 mil（孔/焊盤）
- HDI：4/9 mil
- Microvia：3/6 mil

六、特殊走線技巧

1. 高速差分對

- 等長（< 5 mil 差距）
- 等距（緊耦合）
- 阻抗匹配

2. 蛇形走線（Serpentine）

長度匹配用：



但 corner 處 break 阻抗連續性。更好：accordion / trombone。

3. 散熱走線

大電流走線可加 thermal relief 連接焊盤。

4. Polygon Pour

大面積銅填充：- 用於 GND、電源 - 提供散熱 - 縮短返回路徑

七、特殊技術

HDI (High-Density Interconnect)

- 微孔 (microvia)
- 細線 ($< 75 \mu\text{m}$)
- 多層堆疊
- 用於：手機、平板

撓性 PCB (FPC)

- 可彎曲
- 攝影鏡頭 / 折疊裝置
- 限制：少層、特殊製程

剛撓結合 (Rigid-Flex)

- 剛性 + 撓性結合
- 工業 / 軍工常用

任意層結構 (ELIC)

- 內層自由互聯
- 高密度

嵌入式元件 (Embedded Component)

- 元件埋入內層
- IoT 微型化

八、PCB 製造技術

製造流程 (簡化)

1. 內層成像 + 蝕刻
2. 壓合 (多層)
3. 鑽孔 (機械 / 雷射)
4. 通孔電鍍
5. 外層成像 + 蝕刻
6. 防焊
7. 表面處理
8. 文字印刷
9. 外形切割
10. 電氣測試

表面處理 (Finish)

種類	特性
HASL (噴錫)	便宜，平整度差
Lead-Free HASL	環保
ENIG (化金)	平整、可焊性好、貴
OSP (有機保焊)	便宜，保存期短
Immersion Silver	高頻好
Hard Gold	接觸件用

製造能力

等級	線寬/間距	孔徑
一般	6/6 mil	0.3 mm
高密	4/4 mil	0.2 mm
HDI	3/3 mil	0.1 mm
先進 HDI	2/2 mil	0.075 mm

九、組裝考量 (DFM)

1. 元件間距

依 IPC-7351 提供「Land Pattern」。要留組裝、量測、維修空間。

2. SMT vs 通孔

混用會增加成本，現代盡量純 SMT。

3. 雙面 SMT

雙面都有元件，增加密度但要兩次回焊。重元件放底部要用膠固定。

4. 焊盤設計

- 對稱（避免立碑現象 tombstoning）
- 適當面積（過小冷焊，過大焊錫不夠）

5. 拼板 (Panel)

製造商會把多個小板拼成一個大板：- V-cut - Mouse bite（沖孔）- 邊緣留 5–10 mm 工藝邊

十、PCB 設計工具

商用

- Altium Designer：業界主流，全功能
- Cadence Allegro：高階，IC 級

- Mentor PADS / Xpedition：中高階
- Zuken：日系

免費 / 開源

- KiCad：開源，功能全，業界使用率快速上升
- EAGLE (Autodesk)：免費版限制
- EasyEDA：線上版，方便初學

十一、PCB 製造廠

國際

- JLCPCB（中國，便宜快速）
- PCBWay
- Eurocircuits（歐洲）
- Sierra Circuits（美國）
- AT&S（奧地利，高端）

台灣

- 健鼎、欣興、楠梓電、瀚宇博德、滬深、聯茂…

選廠考量

- 製程能力
- 報價（小批量 vs 量產）
- 出貨時間
- 認證（IPC、ISO、UL）
- 客戶服務

十二、本章總結

✅ 您應該掌握：

- [x] PCB 結構與材料選用
- [x] Stack-up 設計
- [x] 完整設計流程

- [x] 走線寬度、間距、阻抗
- [x] 特殊技術：HDI、FPC、Rigid-Flex
- [x] 製造流程與表面處理
- [x] DFM 考量
- [x] EDA 工具與製造廠選擇

下一章

07-??????.md — 嵌入式系統設計。