สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

แผ่นวงจร และจุดบกพร่องของลายวงจร

2.1 แผ่นวงจรพิมพ์

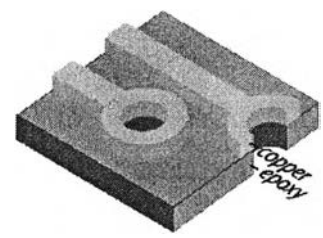
ปัจจุบัน แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิคส์มีความละเอียด และซับซ้อนมากขึ้นตามเทคโนโลยีที่พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว เป็นผลทำให้อุตสาหกรรมการผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิคส์มีการพัฒนาเพื่อให้สอดคล้องกับเทคโนโลยีตามไปด้วย

2.1.1 แบบของแผ่นวงจรพิมพ์

แผ่นวงจรพิมพ์สามารถแบ่งออกได้ 5 แบบ คือ

2.1.1.1 แผ่นวงจรพิมพ์หน้าเดียว (Single Sided PCB)

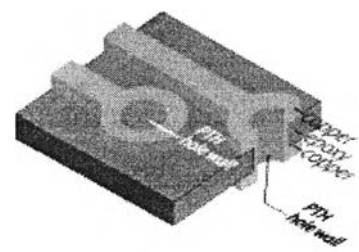
แผ่นวงจรพิมพ์หน้าเดียวจะมีลายทองแดงอยู่เพียงด้านเดียว จะใส่อุปกรณ์ทางด้านตรงข้ามกับลายทองแดง แผ่นวงจรพิมพ์แบบหน้าเดียวโดยทั่วไปแล้วจะใช้วัสดุประเภท FR-1 , FR-4 หรือ CEM-1 เป็นวัสดุในการทำแผ่นวงจร



รูปที่ 2.1 แผ่นวงจรพิมพ์หน้าเดียว

2.1.1.2 แผ่นวงจรพิมพ์สองหน้า (Double Sided PCB)

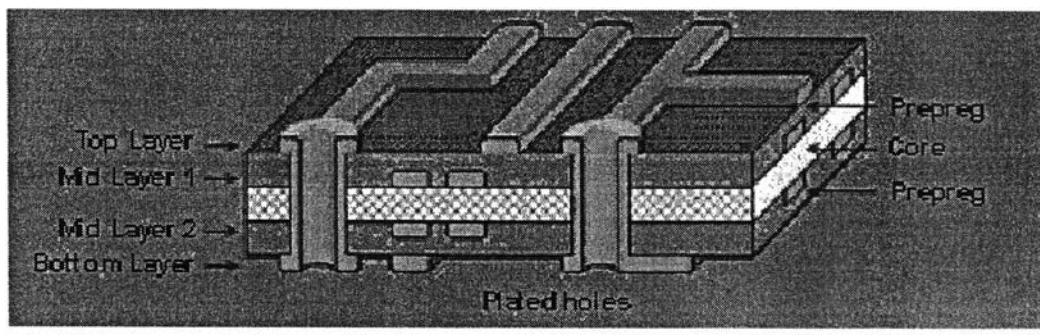
แผ่นวงจรพิมพ์สองหน้าจะมีลายทองแดงอยู่ทั้งสองด้าน และมีการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างลายเส้นวงจรด้านบนและด้านล่าง (Plate Through Hole) ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำแผ่นวงจรพิมพ์สองหน้าจะมีเพียงชนิดเดียวคือ FR-4



รูปที่ 2.2 แผ่นวงจรพิมพ์สองหน้า

2.1.1.3 แผ่นวงจรพิมพ์แบบหลายชั้น (Multi-layer PCB)

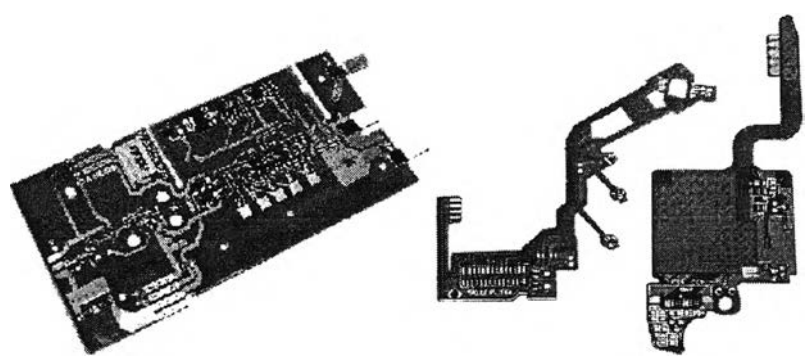
แผ่นวงจรพิมพ์แบบหลายชั้น โดยทั่วไปมักจะใช้กับวงจรที่มีความซับซ้อนแต่ต้องการลดขนาดของแผ่นวงจรลง หรือ ใช้สำหรับเป็นทางเดินของแหล่งจ่ายไฟ หรือ กราวด์



รูป 2.3 แผ่นวงจรพิมพ์หลายชั้น

2.1.1.4 แผ่นวงจรพิมพ์แบบอ่อน (Flexible PCB หรือ Flex PCB)

แผ่นวงจรพิมพ์แบบอ่อนที่ใช้เทคนิคนี้ได้มาจากเมมเบรนสวิทช์ของแป้นพิมพ์ ลักษณะของมันสามารถอ่อนตัวได้ คล้ายพลาสติก จึงทำให้ประกอบอยู่ในที่ที่จำกัดได้ดี ตัวอย่างเช่น ในกล้องถ่ายรูป

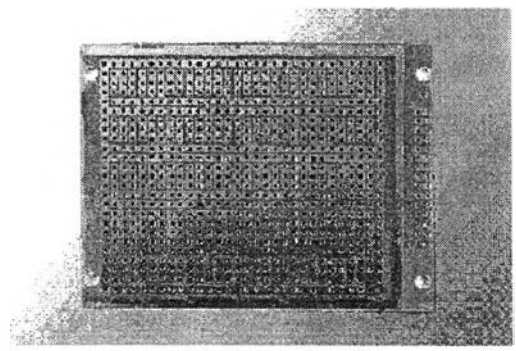


รูป 2.4 แผ่นวงจรพิมพ์แบบอ่อน

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.1.5 แผ่นวงจรพิมพ์แบบฟีโนลิก (Phenolic PCB)

แผ่นวงจรพิมพ์แบบฟีโนลิก เป็นแผ่นวงจรพิมพ์กึ่งสำเร็จรูปโดยสามารถนำมาใช้งานได้โดยทันที นิยมใช้วัสดุชนิดลามิเนต (Laminate) มากที่สุดเนื่องจากมีราคาถูกกว่าแบบไฟเบอร์กลาส (Fibreglass)



รูป 2.5 แผ่นวงจรพิมพ์แบบฟีโนลิก

ในการสร้างแผ่นลายวงจรพิมพ์มีสิ่งที่ต้องคำนึงถึงอยู่หลายประการ ไม่ว่าจะเป็นสภาพแวดล้อมในการใช้งานของงานที่ออกแบบเป็นอย่างไร เช่น ใช้กับงานความถี่สูงหรือไม่ อุณหภูมิเป็นอย่างไร เป็นต้น เพื่อจะได้เลือกแบบของแผ่นวงจรพิมพ์ให้ถูกต้อง หากเลือกแบบผิด หรือถ้าออกแบบ และทำแผ่นวงจรพิมพ์โดยไม่ระมัดระวัง เมื่อนำแผ่นวงจรพิมพ์นั้นไปใส่อุปกรณ์แล้วใช้งาน ไม่นานนักทองแดงจะล่อนออกมาจากแผ่นไดอีเล็กตริกได้ ดังนั้นกล่าวได้ว่าสิ่งที่ต้องคำนึงถึงก่อนการเลือกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ ได้แก่

1 อุณหภูมิที่ใช้งานปกติ
2 กระแสที่ไหลผ่านลายทองแดง
3 มีการเดินลายทองแดงแบบบัสหรือไม่ ถ้ามีจำนวนเท่าใด
4 ความถี่สูง (RF) หรือความถี่ต่ำ

รายละเอียดข้างต้นมีความสำคัญอย่างยิ่งในการใช้เลือกแบบของแผ่นวงจรพิมพ์ ในกรณีที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่แย่ที่สุดในการใช้งาน (Worst Case Environments) อุณหภูมิควรเป็นเท่าใด อายุการใช้งานจะยาวนานเท่าใด โดยสรุปแนวทางทั่ว ๆ ไป ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางระยะการใช้งานของแผ่นวงจรพิมพ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

รูปแบบ	งานที่ใช้	อุณหภูมิต่ำสุด	อุณหภูมิสูงสุด	ระยะการใช้งาน
1	งานทั่วไป	0C	+60C	1-3 Yrs
2	คอมพิวเตอร์	+15C	+60C	~5 Yrs
3	สื่อสาร	-40C	+85C	7-20 Yrs
4	เครื่องบิน(พลเรือน)	-55C	+95C	~10 Yrs
5	อุตสาหกรรม	-55C	+55C	~10 Yrs
6	ระบบอัตโนมัติ	-55C	+55C	~10 Yrs
7	เรือ (ทางทหาร)	-55C	+95C	~5 Yrs
8	เกี่ยวกับอวกาศ	-40C	+85C	5-20 Yrs
9	เครื่องบิน (ทหาร)	-55C	+95C	~5 Yrs
10	เครื่องจักรอัตโนมัติ	-55C	+125C	~5 Yrs

2.1.2 องค์ประกอบสำคัญของแผ่นวงจรพิมพ์

ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ (1) วัสดุที่ใช้ทำแผ่นวงจรพิมพ์ (2) ความกว้างลายทองแดง โดยรายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบมีดังต่อไปนี้

2.1.2.1 วัสดุที่ใช้ทำแผ่นวงจรพิมพ์ การเลือกวัสดุที่ใช้ทำแผ่นวงจรพิมพ์โดยทั่วไปมีหลายมาตรฐาน แต่ที่นิยมใช้ จะใช้ตามมาตรฐาน ANSI โดยวัสดุที่นิยมใช้ได้แก่ ลามิเนต(Laminate) ซึ่งเป็นแผ่นทองแดงเคลือบที่นำเอาแผ่นทองแดง (Copper Foil) และ พรีเพ็ก (Prepreg) มาประกบกันโดยให้พรีเพ็กอยู่ตรงกลางแล้วนำไปอัด และอบด้วยความร้อน เพื่อให้แผ่นทองแดงกับพรีเพ็กเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ บางทีเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า คอร์ (Core) ลามิเนตมีด้วยกันหลายแบบเช่น FR4 เป็นแบบ glass fiber epoxy หรือที่เรียกกันในท้องตลาดว่า อีพ็อคซี่ (Epoxy) มักใช้กันทั่วไปสามารถทนความร้อนได้ประมาณ 120 – 130 องศาเซลเซียส โดยที่ FR ย่อมาจาก Fire retardant (ลุกไหม้ช้า) FR3 จะใช้ในยุโรปเป็นส่วนมาก โดยโครงสร้างพื้นฐานแล้วมันคือ FR2 แต่แทนที่จะใช้ phenolic resin จะใช้ epoxy resin เป็น binder โดยมี basic layer เป็นกระดาษ โครงสร้างพื้นฐานของ FR2 กับ FR1 คล้ายกัน (คือ basic layer เป็นกระดาษ) แต่ FR1 ทนอุณหภูมิได้สูงกว่า (FR1 ทนได้130 องศาเซลเซียสโดยประมาณ ส่วน FR2 ทนได้ 105 องศาเซลเซียสโดยประมาณ) ตัวอย่างในการเลือกใช้วัสดุ เช่น ต้องการผลิตสินค้าที่ใช้ภายในบ้าน อุณหภูมิทั่วไปจะอยู่ในช่วง 0 – 60 องศาเซลเซียส เราสามารถเลือกใช้ลามิเนตแบบ FR4 ได้ เป็นต้น

2.1.2.2 ความกว้างของลายทองแดง (Trace Width Guidelines)

ขนาดความกว้างของลายทองแดง มีความสำคัญมากในการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ โดยจะทำการพิจารณาจากงานที่ออกแบบว่ามีกระแสสูงเพียงใด เพราะความกว้างของลายทองแดงจะเป็นตัว กำหนดค่าออนซ์ (ทองแดง) ของแผ่นวงจรพิมพ์ต่อตารางฟุต เช่น 1 ออนซ์ 2 ออนซ์ เป็นต้น โดยปกติทั่วไปแล้ว จะใช้ 1 ออนซ์เป็นส่วนมาก การใช้ออนซ์มาก ๆ โดยไม่จำเป็นซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองทั้งค่าวัตถุดิบ และ ค่าทำแผ่นวงจรพิมพ์ ตารางที่ 2.2 และ 2.3 แสดงเป็นความกว้างของลายทองแดงตามมาตรฐานคิดที่กระแสสูงสุดเทียบกับอุณหภูมิของวัสดุที่นำมาทำแผ่นวงจรพิมพ์ ถ้าคำนวณตามอุณหภูมิที่เป็นลบ ความกว้างของลายทองแดง จะแคบเกินไป ทำให้ควบคุมกระบวนการผลิตลำบาก ดังนั้นทางด้านต่ำจึงใช้แค่ 10 องศาเซลเซียส เท่านั้น ในกรณีที่ลายทองแดงที่เดินเป็นบัส (bus) ก็สามารถใช้ในลักษณะเดียวกันได้ แต่ให้ระมัดระวังเกี่ยวกับอุณหภูมิด้วย เช่น ถ้าใช้ระยะห่างเท่ากับลายทองแดง 0.005 นิ้ว ซึ่งจะให้กระแสไหลผ่าน 0.5 แอมแปร์ ให้คิดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสที่การใช้งานปกติ ในทางปฏิบัติ เมื่อมีลายทองแดงขนาด 0.005 นิ้ว เรียงกัน 10 เส้น แต่ละเส้นมีกระแสไหลผ่าน 0.5 แอมแปร์ จะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 30 องศาเซลเซียส ในกรณีเช่นนี้ ถือว่าเป็นการออกแบบไม่ถูกต้อง เนื่องจากเมื่อนำไปใช้งานจะทำให้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นไปกระทบต่ออุปกรณ์ตัวอื่นที่อยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์

ตารางที่ใช้งานจะแยกออกเป็นสองตาราง ตารางที่ 2.2 ใช้หาขนาดความกว้างของลายทองแดงที่อยู่ด้าน ผิวหน้าของแผ่นวงจรพิมพ์ ตารางที่ 2.3 เป็นการหาขนาดความกว้างของลายทองแดงที่อยู่ชั้นใน (inner layer) โดยใช้ทองแดงที่อยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์ ขนาด 1 ออนซ์ เป็นตัวอ้างอิง

ตาราง ที่ 2.2 ขนาดลายทองแดงผิวหน้าแผ่นวงจรพิมพ์ (External Conductors)

ความกว้าง	10°C	20°C	30°C	45°C	60°C
0.005"	400 mA	500 mA	650 mA	800 mA	1.0 A
0.10"	800 mA	1.0 A	1.3 A	1.6 A	1.9 A
0.15"	1.2 A	1.5 A	1.8 A	2.1 A	2.8 A
0.20"	1.5 A	1.7 A	2.0 A	2.5 A	3.1 A
0.25"	1.7 A	2.2 A	3.0 A	3.5 A	4.0 A
0.50"	3.2 A	3.9 A	4.8 A	5.7 A	6.5 A
0.100"	4.8 A	6.2 A	8.0 A	9.5 A	10.4 A
0.150"	6.0 A	8.5 A	11.0 A	12.6 A	13.5 A

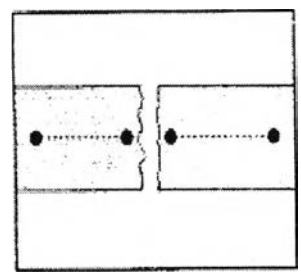
ตารางที่ 2.3 ขนาดลายทองแดงชั้นในแผ่นวงจรพิมพ์ (Internal Conductors)

ความกว้าง	10°C	20°C	30°C	45°C
0.005"	200 mA	225 mA	250 mA	275 mA
0.10"	400 mA	450 mA	600 mA	750 mA
0.15"	550 mA	600 mA	750 mA	1.0 A
0.20"	650 mA	700 mA	800 mA	1.2 A
0.25"	750 mA	1.2 A	1.7 A	2.2 A
0.50"	1.5 A	1.7 A	2.2 A	2.8 A
0.100"	2.2 A	3.1 A	3.7 A	4.5 A
0.150"	3.0 A	4.0 A	5.2 A	6.1 A

2.2 **จุดบกพร่อง** (Defect) **ของลายวงจร** [1], [2]

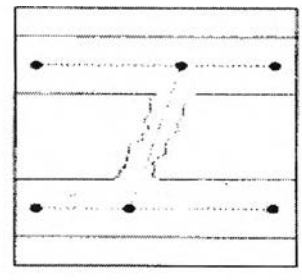
ในการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์เนื่องจากมีขบวนการผลิตหลายขั้นตอน จึงอาจจะส่งผลให้เกิดจุดบกพร่อง (Defect) ขึ้นกับแผ่นวงจรพิมพ์ที่ผลิตนั้นๆ โดยลักษณะทั่วไปของจุดบกพร่องบนแผ่นวงจรพิมพ์ สามารถแบ่งออกเป็น 6 ประเภทใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

1. ลายวงจรเปิด (Open Circuit) หมายถึง การที่กระแสไม่สามารถไหลไปตามเส้นทางที่ได้ออกแบบไว้ อันเนื่องมาจากมีลายเส้นทองแดงข าดออกจากกัน ซึ่งเป็นผลทำให้การทำงานของวงจรผิดพลาด ดังแสดงในรูปที่ 2.6



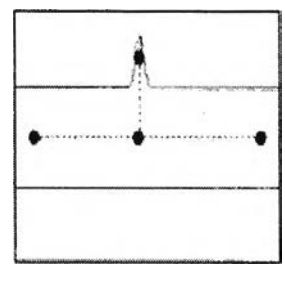
รูปที่ 2.6 ลายวงจรเปิด (Open Circuit)

2. ลัดวงจร (Short Circuit) หมายถึง การที่กระแสมีทิศทางการไหลไปในเส้นทางที่ไม่ได้ออกแบบไว้ อันเนื่องมาจากเกิดลายเส้นทองแดงมีการต่อเชื่อมถึงกันเกินกว่าที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งเป็นผลทำให้การทำงานของวงจรผิดพลาด ดังแสดงในรูปที่ 2.7



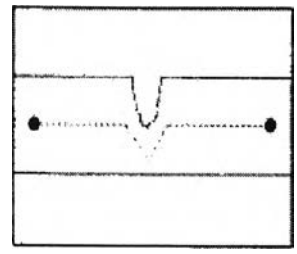
รูปที่ 2.7 ลัดวงจร (Short Circuit)

3. ส่วนยื่น (Spur) หมายถึง การเกิดมีส่วนที่เป็นทองแดงเกินที่ขอบเส้นทองแดงของวงจร โดยทั่วไปแล้วถ้ามีระยะการเกิดส่วนยื่นระหว่างเส้นทองแดง กับเส้นทองแดงที่อยู่ติดกันมากเกินกว่าหกสิบห้าเปอร์เซ็นต์ของระยะห่างระหว่างลายเส้นทองแดงทั้งสอง จะถือว่าเกิดลัดวงจรขึ้น ในกรณีที่ลายวงจรที่มีระยะห่างระหว่างลายทองแดง กับลายทองแดงมากๆ อาจจะใช้เจ็ดสิบเปอร์เซ็นต์ได้ ซึ่งการเกิดส่วนยื่นแสดงในรูปที่ 2.8



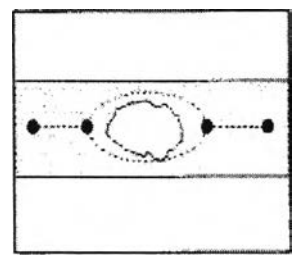
รูปที่ 2.8 ส่วนยื่น (Spur)

4. ส่วนเว้า (Mouse bite) หมายถึง การเกิดรอยที่มีลักษณะเป็นร่องที่บริเวณขอบเส้นทองแดงของวงจร จุดบกพร่องแบบนี้จะทำให้กระแสเดินทางไม่สะดวกส่งผลให้เกิดความร้อนแบบจุด (hot spot) ขึ้นในบริเวณส่วนเว้า โดยทั่วไปถ้าระยะการเกิดรอยส่วนเว้ามากกว่าห้าสิบเปอร์เซ็นต์ของความกว้างของลายเส้นทองแดงนั้นๆ จะถือว่าลายวงจรขาด ดังแสดงในรูปที่ 2.9



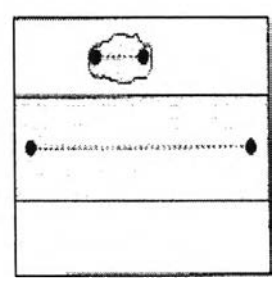
รูปที่ 2.9 ส่วนเว้า (Mouse bite)

5. รูลึก (Pinhole) หมายถึง การเกิดจุดบกพร่องที่มีรูปร่างเป็นรู โดยเกิดบริเวณภายในลายเส้นทองแดงของวงจร จุดบกพร่องแบบนี้จะทำให้กระแสเดินทางไม่สะดวกส่งผลให้เกิดความร้อนแบบจุด (hot spot) ขึ้นในบริเวณรูลึก โดยทั่วไปแล้วถ้าความกว้างของรูลึกมากกว่าสามสิบเปอร์เซ็นต์ของความกว้างของลายเส้นทองแดงนั้นๆ จะถือว่าลายวงจรขาด ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 รูลึก (Pinhole)

6. ส่วนเกิน (Excess copper) หมายถึง การเกิดจุดบกพร่องที่ลักษณะเป็นจุดทองแดงเกิน โดยบริเวณที่เกิดเป็นส่วนที่เป็นพื้นที่ว่างบนแผ่นวงจร ถ้ารูปร่างที่เกิดไม่ใหญ่จนทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้นโดยทั่วไปแล้วจุดบกพร่องแบบนี้จะถูกมองข้าม เนื่องจากไม่ส่งผลเสียต่อการทำงานของอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ ดังแสดงในรูป 2.11



รูปที่ 2.11 ส่วนเกิน (Excess copper)

โดยปกติแล้วในอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ พบว่าจุดบกพร่องแบบลายวงจรเปิด และลัดวงจร เป็นจุดบกพร่องที่ทำให้การทำงานของวงจรผิดพลาดหากตรวจพบในลายวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์จะทำให้แผ่นวงจรพิมพ์ถูกคัดทิ้งในระหว่างการผลิต เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายกรณีนำแผ่นวงจรพิมพ์ไปเข้าขั้นตอนการลงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์