สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องสร้างลายบนแผ่นวงจรพิมพ์อย่างง่าย

SIMPLE PRINTED CIRCUIT BOARD MACHINE

โดย

นายกฤษฎา ธรรมศิริ

นายศุภชัย ครุฑกล่อม

นายสนธิชัย กังวานสกุลทอง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 36787
วัน, เดือน, ปี 29 ส.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2542

เครื่องสร้างลายบนแผ่นวงจรพิมพ์อย่างง่าย
SIMPLE PRINTED CIRCUIT BOARD MACHINE

โดย

นายกฤษฎา ธรรมศิริ

นายศุภชัย ครุฑกล่อม

นายสนธิชัย กังวานสกุลทอง

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ประภาษ อุคคกิมาพันธ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2542

ภาควิชา วิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องสร้างลายบนแผ่นวงจรพิมพ์อย่างง่าย

SIMPLE PRINTED CIRCUIT BOARD MACHINE

ผู้จัดทำ

1. นายกฤษฎา ธรรมศิริ รหัสประจำตัว 39014011
2. นายศุภชัย ครุฑกล่อม รหัสประจำตัว 39014529
3. นายสนธิชัย กังวานสกุลทอง รหัสประจำตัว 39014536

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ประภาษ อุดคกิมาพันธุ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องสร้างลายบนแผ่นวงจรพิมพ์อย่างง่าย

นายกฤษฎา ธรรมศิริ 39014011
นายศุภชัย ครุฑกล่อม 39014529
นายสนธิชัย กังวานสกุลทอง 39014536
ผศ. ประภาษ อุดคกิมาพันธ์
ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการทดลองสร้างลายบนแผ่นวงจรพิมพ์ โดยใช้การให้ความร้อนแก่แผ่นใสที่มีลายวงจรที่ต้องการพิมพ์อยู่ ซึ่งแนบอยู่กับแผ่นทองแดง โดยใช้หลักการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งให้ผลของการติดของลายวงจรบนแผ่นทองแดงได้เป็นอย่างดี

และเนื่องจากผลที่ได้จากการทดลอง ยังมีผลที่ได้ยังไม่มีความแน่นอนสม่ำเสมอ โดยจะขึ้นกับความชำนาญและประสบการณ์ของแต่ละบุคคลดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ประยุกต์หลักการและวิธีการทดลองที่ได้จากการทดลอง มาสร้างเป็นเครื่องมืออัตโนมัติ ซึ่งทำให้ผลที่ได้นี้มีประสิทธิภาพ และมีความสามารถในการทำซ้ำ(Repeatability)สูงขึ้น เป็นการขจัดปัญหาขั้นตอนการทำที่ยุ่งยาก และยังช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้อีกด้วย โดยเรียกเครื่องมือนี้ว่า "เครื่องสร้างลายบนแผ่นวงจรพิมพ์อย่างง่าย"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIMPLE PRINTED CIRCUIT BOARD MACHINE

Kritsada Thammasiri
Supachai Krutklom
Sonthichai Kangwansakulthong
Prapard Ukkakimaphan Adviser

Abstract

This thesis is proposed a printing circuit system for printed circuit board by using heat transfer and heat radiation . The circuit lines from traditional systems are not so good ,since it depend on the user experience. Therefore ,we propose a semi – automatic machine which will not depend on the user. The propose system can increase the efficiency for line product since the process must be repeated many times.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
ABSTACT	ii
สารบัญ	iii
สารบัญภาพ	v
สารบัญตาราง	viii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
บทที่ 2 หลักการและแนวคิด	4
2.1 การสร้างแผ่นวงจรพิมพ์	4
2.1.1 การเตรียมแผ่นวงจรพิมพ์	4
2.1.2 การสร้างลายลงบนแผ่นทองแดง	5
2.1.2.1 การใช้กระดาษก็อปปี้	5
2.1.2.2 การใช้กระดาษกาวหรือสติ๊กเกอร์	6
2.1.2.3 การใช้แผ่นใส	8
2.1.2.4 การพิมพ์ซิลค์สกรีน	10
2.1.2.5 การใช้ดรายฟิล์ม	13
2.1.3 การกัดลายทองแดง	15
2.1.4 การเจาะรู	16
2.1.5 ทำความสะอาดแล้วทาน้ำยาเคลือบลายทองแดง	17
2.2 การเลือกวิธีการในการสร้างลายวงจรลงบนแผ่นทองแดง	17
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	20
3.1 การศึกษาวิธีการและขั้นตอน	20
3.2 การออกแบบ	31
3.3 วัสดุ-อุปกรณ์ที่ใช้	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทดลอง 40
4.1 วิธีการใช้งาน 40
4.2 ลำดับขั้นตอนการทำงาน 41
4.2.1 โฟล์วชาร์ทแสดงการทำงาน 41
4.2.2 Timing Diagram 42
4.3 การทดลอง 43
4.4 ผลการทดลอง 44
บทที่ 5 บทสรุปและแนวทางในการพัฒนาต่อ 58
5.1 บทสรุปและวิจารณ์ 58
5.2 ข้อจำกัดของโครงงาน 59
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อ 59
บรรณานุกรม
ภาคผนวก
กิตติกรรมประกาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการตัดแผ่นทองแดง	4
รูปที่ 2.2 แสดงการทำความสะอาดแผ่นทองแดง	4
รูปที่ 2.3 แสดงการวางลายทองแดงและกระดาษก๊อปปี้ลงบนแผ่นวงจรพิมพ์	6
รูปที่ 2.4 แสดงการทำลายวงจรให้เป็นเส้นตรง	7
รูปที่ 2.5 ลายวงจรทั่วไป	7
รูปที่ 2.6 แสดงการลากเส้นแบ่งขอบเขตของลายวงจรเดิม	7
รูปที่ 2.7 แสดงการใช้มีดกรีดตามแนวเส้นให้ขนานกัน	8
รูปที่ 2.8 แสดงขั้นตอนการทำโดยใช้แผ่นใส	10
รูปที่ 2.9 แสดงการปาดกาวลงบนกรอบสกรีน	11
รูปที่ 2.10 แสดงวิธีการเป่ากาวอัดให้แห้ง	11
รูปที่ 2.11 รูปร่างหน้าตาของชุดพิมพ์ซิลค์สกรีนแบบง่ายๆ	12
รูปที่ 2.12 โครงสร้างของแผ่นดรายฟิลม์	13
รูปที่ 2.13 แสดงขั้นตอนการทำแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยดรายฟิลม์	15
รูปที่ 2.14 แสดงการแช่ลงในกรด	16
รูปที่ 2.15 แสดงการล้างกรดออกด้วยน้ำสะอาด	16
รูปที่ 2.16 แสดงการเจาะรู	17
รูปที่ 3.1 ผลการพิมพ์ลายวงจรโดยวิธีที่1 (เตารีด)	22
รูปที่ 3.2 ผลการพิมพ์ลายวงจรโดยวิธีที่2 (ไดร์เป่าผม)	24
รูปที่ 3.3 ผลการพิมพ์ลายวงจรโดยวิธีที่3 (อินฟาเรดฮีทเตอร์,ไม่ขจัดฝุ่น)	27
รูปที่ 3.4 ผลการพิมพ์ลายวงจรโดยวิธีที่3 (อินฟาเรดฮีทเตอร์,ขจัดฝุ่น)	27
รูปที่ 3.5 ผลการพิมพ์ลายวงจรโดยวิธีที่3 (อินฟาเรดฮีทเตอร์,ขจัดฝุ่น)	29
รูปที่ 3.6 ผลการพิมพ์ลายวงจรโดยวิธีที่3 (อินฟาเรดฮีทเตอร์,ขจัดฝุ่น)	30
รูปที่ 3.7 ผลการพิมพ์ลายวงจรโดยวิธีที่3 (อินฟาเรดฮีทเตอร์,ขจัดฝุ่น)	30
รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะการทำงานและการเคลื่อนที่	32
รูปที่ 3.9 แสดงรูปร่างลักษณะของแผ่นฐาน	33
รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะการทำงานและการเคลื่อนที่ (ปรับปรุงแล้ว)	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 แสดงการเพิ่มแผ่นทับหรือแผ่นกรอบ 35
รูปที่ 3.12 แสดงโครงสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมด 36
รูปที่ 3.13 แสดงการติดตั้งของอุปกรณ์ควบคุม 37
รูปที่ 3.14 เครื่องสร้างลายลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ 38
รูปที่ 3.15 ส่วนของอุปกรณ์ควบคุมฯ 39
รูปที่ 4.1 แบบลายวงจร 43
รูปที่ 4.2 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด) ระยะห่าง 6 ซม. เวลา 12 นาที 44
รูปที่ 4.3 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด) ระยะห่าง 6 ซม. เวลา 12 นาที 44
รูปที่ 4.4 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด) ระยะห่าง 6 ซม. เวลา 15 นาที 45
รูปที่ 4.5 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด) ระยะห่าง 6 ซม. เวลา 15 นาที 45
รูปที่ 4.6 แสดงการเพิ่มสื่อเข้าไประหว่างแผ่นใสกับผงหมึก 46
รูปที่ 4.7 ลายวงจรที่ได้จากแผ่นใสที่เคลือบด้วยเทฟล่อน 47
รูปที่ 4.8 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด) ระยะห่าง 5 ซม. เวลา 10 นาที, ใช้เทฟล่อน 48
รูปที่ 4.9 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด) ระยะห่าง 5 ซม. เวลา 10 นาที, ใช้เทฟล่อน 48
รูปที่ 4.10 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด) ระยะห่าง 6 ซม. เวลา 10 นาที, ใช้เทฟล่อน 49
รูปที่ 4.11 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด) ระยะห่าง 6 ซม. เวลา 10 นาที, ใช้เทฟล่อน 49
รูปที่ 4.12 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด) ระยะห่าง 7 ซม. เวลา 10 นาที, ใช้เทฟล่อน 50
รูปที่ 4.13 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด) ระยะห่าง 7 ซม. เวลา 10 นาที, ใช้เทฟล่อน 50
รูปที่ 4.14 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด) ระยะห่าง 5 ซม. เวลา 12 นาที, ใช้เทฟล่อน 51
รูปที่ 4.15 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด) ระยะห่าง 5 ซม. เวลา 12 นาที, ใช้เทฟล่อน 51
รูปที่ 4.16 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด) ระยะห่าง 6 ซม. เวลา 12 นาที, ใช้เทฟล่อน 52
รูปที่ 4.17 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด) ระยะห่าง 6 ซม. เวลา 12 นาที, ใช้เทฟล่อน 52
รูปที่ 4.18 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด) ระยะห่าง 7 ซม. เวลา 12 นาที, ใช้เทฟล่อน 53
รูปที่ 4.19 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด) ระยะห่าง 7 ซม. เวลา 12 นาที, ใช้เทฟล่อน 53
รูปที่ 4.20 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด) ระยะห่าง 5 ซม. เวลา 14 นาที, ใช้เทฟล่อน 54
รูปที่ 4.21 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด) ระยะห่าง 5 ซม. เวลา 14 นาที, ใช้เทฟล่อน 54
รูปที่ 4.22 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด) ระยะห่าง 6 ซม. เวลา 14 นาที, ใช้เทฟล่อน 55
รูปที่ 4.23 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด) ระยะห่าง 6 ซม. เวลา 14 นาที, ใช้เทฟล่อน 55
รูปที่ 4.24 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด) ระยะห่าง 7 ซม. เวลา 14 นาที, ใช้เทฟล่อน 56
รูปที่ 4.25 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด) ระยะห่าง 7 ซม. เวลา 14 นาที, ใช้เทฟล่อน 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.26 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด) ระยะห่าง 6 ซม. เวลา 12 นาที, ใช้เทฟล่อน 57
รูปที่ 4.27 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด) ระยะห่าง 6 ซม. เวลา 12 นาที, ใช้เทฟล่อน 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 ชนิดของแสงที่ใช้และระยะเวลาในการฉายแสง	11
ตาราง 2.2 เปรียบเทียบวิธีการต่างๆในการสร้างลายวงจรลงบนแผ่นทองแดง	18
ตาราง 3.1 ผลการทดลองโดยวิธีที่ 1 (เตารีด)	21
ตาราง 3.2 ผลการทดลองโดยวิธีที่ 2 (ไดร์เป่าผม)	23
ตาราง 3.3 ผลการทดลองโดยวิธีที่ 3 (อินฟาเรดฮีทเตอร์)	25
ตาราง 3.4 ผลการทดลองโดยวิธีที่ 3 ระยะห่าง 9 ซม.	26
ตาราง 3.5 ผลการทดลองโดยวิธีที่ 3 ทำการขจัดฝุ่น	28
ตาราง 3.6 เปรียบเทียบระบบไฟฟ้ากับระบบนิวแมติกส์	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันพัฒนาการทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ก้าวหน้าไปมาก มีนักวิทยาศาสตร์ นักวิจัย และค้นคว้าเป็นจำนวนมากได้ทำการวิจัย ค้นคว้า พัฒนา และสร้างอุปกรณ์ เครื่องมือ และเครื่องใช้ต่าง ทางด้าน ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ และการสื่อสาร โดยมีรูปแบบและประโยชน์ในการใช้งานที่มีความหลากหลาย มากมาย แตกต่างกันไปตามลักษณะการใช้งาน รวมทั้งพัฒนาประสิทธิภาพของอุปกรณ์เหล่านั้นให้สูงขึ้น และมีขนาดเหมาะสมต่อการใช้งานของผู้ใช้

โดยอุปกรณ์ เครื่องมือ และเครื่องใช้ ต่างๆเหล่านี้ มักจะมีแผ่นวงจรไฟฟ้าเป็นส่วนประกอบแทบทั้งสิ้น ซึ่งมีบทบาทที่สำคัญอย่างมาก ในการเชื่อมต่อสัญญาณทางไฟฟ้าระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ไดโอด เป็นต้น นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ จัดรวมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไว้ในที่จำกัดเพื่อให้มีความเป็นระเบียบ และมีขนาดที่เหมาะสม

การใช้สายไฟในการเชื่อมต่อสัญญาณไฟฟ้าระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะก่อให้เกิดปัญหาความผิดพลาดได้ง่าย รวมทั้งยังมีขีดจำกัดในวงจรอิเล็กทรอนิกส์บางประเภทเช่นในวงจรที่มีความถี่สูงๆ จะไม่สามารถใช้สายไฟได้เนื่องจากสายไฟจะกลายเป็นตัวเก็บประจุ ทำให้เกิดความผิดพลาดของสัญญาณ เป็นต้น จากเงื่อนไขต่างๆเหล่านี้ เราสามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ได้โดยใช้แผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งเป็นจุดเด่นและข้อดีของแผ่นวงจรพิมพ์ อาจกล่าวได้ว่าถ้าปราศจากแผ่นวงจรพิมพ์ก็จะเป็นการยากหรือเป็นไปไม่ได้เลยในการที่จะพัฒนา และสร้างอุปกรณ์ เครื่องมือ และเครื่องใช้ต่างทางด้าน ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ และการสื่อสารชนิดใหม่ๆที่มีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพขึ้นมาได้ โดยเฉพาะวงจรไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์ที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นทุกขณะในปัจจุบัน

เทคโนโลยีทางด้านการสร้างลายบนแผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้มีการพัฒนาตามไปด้วย โดยจะต้องให้ได้แผ่นวงจรพิมพ์ที่มีขนาดที่ต้องการและมีประสิทธิภาพตามความต้องการของผู้ออกแบบ ซึ่งมีอยู่หลายวิธี เช่น การใช้แผ่นดรายฟิล์ม และการพิมพ์ซิลค์สกรีน ซึ่งมีข้อดีคือได้ลายวงจรที่มีคุณภาพสูง ใช้เวลาน้อย และสามารถทำซ้ำๆ เหมาะแก่การผลิตเป็นจำนวนมากได้เป็นอย่างดี

แต่ในการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้นนั้นมีวิธีการ และขั้นตอนการผลิตที่ยุ่งยาก ต้องใช้เวลา โดยเฉพาะแผ่นวงจรพิมพ์ที่คุณภาพ จะมีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อแผ่นที่ค่อนข้างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งก่อให้เกิดเป็นปัญหาและอุปสรรค แก่ผู้ที่ทำการศึกษา เพื่อคิดค้น และออกแบบวงจรเพื่อที่จะนำไปใช้งานตามความมุ่งหมายเฉพาะของแต่ละบุคคล โดยเฉพาะในกลุ่มนักศึกษาที่ทำปริญญานิพนธ์ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเช่น วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ที่มักจะเกิดปัญหาทางด้านค่าใช้จ่ายของปริญญานิพนธ์

และจากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนั้น ผู้อ่านคงจะเห็นถึงปัญหา อุปสรรคในการที่จะสร้างวงจรต้นแบบของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ของผู้ที่สนใจและค้นคว้า พัฒนา ในด้านของค่าใช้จ่าย ขั้นตอนในการผลิต รวมถึงประสิทธิภาพของแผ่นวงจรพิมพ์ อันจะเป็นผลให้การพัฒนาในทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ไม่ก้าวหน้าเท่าที่ควร เนื่องจากผู้ที่สนใจ และศึกษาในระดับเบื้องต้นมักมีปัญหาดังที่กล่าวมาแล้ว โดยในโครงปริญญานิพนธ์นี้เราจะศึกษา ทดลอง และนำข้อมูลที่ได้มาพัฒนา สร้างเครื่องมือต้นแบบในการสร้างลายบนแผ่นวงจรพิมพ์ เพื่อที่จะลดค่าใช้จ่าย และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำแผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในบทต่อๆไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาหาขั้นตอนในการสร้างลายลงบนแผ่นลายวงจรเพื่อสร้างแผ่นวงจรพิมพ์โดยวิธีการต่างๆ

1.2.2 สร้างเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่อำนวยความสะดวกเพื่อนำมาใช้ในการสนับสนุนการทดลองในการทำแผ่นวงจรพิมพ์

1.2.3 ลดต้นทุนในการทำแผ่นวงจรพิมพ์ต่อแผ่น ให้มีราคาถูกและเหมาะสมแก่ระดับการใช้งาน โดยเฉพาะการใช้งานในลักษณะที่เป็นแผ่นต้นแบบ

1.2.4 ทำให้ได้แผ่นวงจรพิมพ์ที่มีคุณภาพที่ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเดิม

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

ในปริญญานิพนธ์นี้จะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาและทดลองวิธีในการสร้างลายลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ เพื่อที่จะหาวิธีการและขั้นตอนในการทำแผ่นวงจรพิมพ์รวมทั้งปัจจัยต่างๆ หรือตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการปรากฏของลายวงจรที่สมบูรณ์บนแผ่นทองแดง โดยแนวคิดเบื้องต้นที่นำมาใช้ในโครงงานนี้ก็คือการสร้างลายลงบนแผ่นทองแดงโดยการใช้แผ่นใสร่วมด้วยการให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากได้ศึกษาขั้นตอนในการปฏิบัติและทำการทดลองแล้ว จึงนำข้อมูลที่ได้นี้มาใช้ในการออกแบบสร้างเป็นเครื่องที่ช่วยในการทำแผ่นวงจรพิมพ์ อีกทั้งยังนำเครื่องมือนี้มาช่วยสนับสนุนแนวคิดในการทำแผ่นวงจรพิมพ์ที่นำมาใช้ในโครงงานนี้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักการและแนวคิด

2.1 การสร้างแผ่นวงจรพิมพ์

เมื่อทำการออกแบบลายวงจรตามที่ต้องการแล้ว ขั้นตอนต่อมาก็คือขั้นตอนของการสร้างลายวงจรที่ต้องการลงบนแผ่นทองแดง ซึ่งวิธีการนั้นก็มีอยู่หลายวิธี การตัดสินใจนั้นก็ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายๆอย่าง เช่น ลักษณะของลายทองแดง จำนวนชั้น เครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งทักษะและความชำนาญของผู้สร้างเองด้วย ซึ่งขั้นตอนในการสร้างแผ่นวงจรพิมพ์มีดังนี้

2.1.1 การเตรียมแผ่นวงจรพิมพ์

แผ่นวงจรพิมพ์ที่ได้มาในตอนแรกจำเป็นต้องตัดให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ ดังรูป2.1อาจทำได้โดยใช้เลื่อยฉลุ หรือเครื่องตัดก็ได้ ทั้งนี้ก็ควรขัดขอบด้านข้างให้เรียบด้วยกระดาษทรายละเอียด

รูปที่ 2.1 การตัดแผ่นทองแดง

รูปที่ 2.2 การทำความสะอาดแผ่นทองแดง

หลังจากนั้นนำแผ่นทองแดงที่ขัดขอบมาแล้วมาทำความสะอาดผิวทองแดงเพื่อให้ไขมันหรือสิ่งสกปรกอื่นๆหลุดออก โดยทำการล้างด้วยน้ำมันก๊าดหรือน้ำยาล้างจาน ไม่ควรขัดด้วยแปรงขัดหม้อซึ่งจะทำให้ผิวของแผ่นทองแดงเป็นรอยขูดขีด ดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การสร้างลายลงบนแผ่นทองแดง

ซึ่งในปัจจุบันนี้มีวิธีในการสร้างลายวงจรหลายวิธี การที่จะเลือกใช้วิธีการใดก็ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ เช่น ต้องการคุณภาพสูงและจำนวนมากก็ควรใช้วิธีดรายฟิล์ม แต่ก็จะมีต้นทุนที่สูง หรือถ้าต้องการนำไปใช้ในลักษณะเป็นแผ่นทดลอง เป็นแผ่นต้นแบบก็อาจจะใช้วิธีที่ทำด้วยมืออย่างเช่นวิธีใช้กระดาษก็อปปี้หรือใช้แผ่นใส ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดอีกต่อไป โดยวิธีการที่พบอยู่ทั่วไปในปัจจุบันมีดังนี้

2.1.2.1 การใช้กระดาษก็อปปี้

เป็นวิธีการดั้งเดิมที่ใช้กันทั่วไปในอดีต ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายที่สุด แต่ในการที่จะทำให้ได้ลายวงจรที่มีความสมบูรณ์ สวยงามนั้นทำได้ยากมาก อีกทั้งการซ้ำให้แผ่น 2 แผ่นออกมาเหมือนกันนั้นก็ทำได้ยากเช่นกัน โดยคุณภาพของลายวงจรพิมพ์ก็จะขึ้นอยู่กับทักษะของผู้ทำเป็นสำคัญ

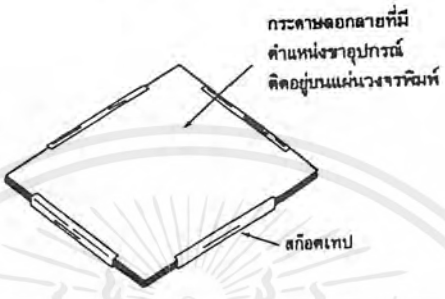
อุปกรณ์ที่ใช้

1. กระดาษก็อปปี้หรือกระดาษลอกลาย
2. ดินสอหรือปากกา
3. สก็อตเทป
4. สีน้ำมันหรือปากกาเพอร์มาเน็นท์ (Permanent)
5. ทินเนอร์

ขั้นตอนการสร้าง

1. นำกระดาษก็อปปี้ แผ่นวงจรพิมพ์ และลายทองแดงที่ได้ออกแบบไว้มาวางให้ตรงกันตามตำแหน่งดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การวางลายทองแดงและ
กระดาษก๊อปปี้ลงบนแผ่นวงจรพิมพ์

2. ใช้ดินสอหรือปากกาเขียนทับลงไปบนลายวงจรพิมพ์ ลายที่เราเขียนก็จะปรากฏอยู่บนแผ่นทองแดง เพื่อเป็นแนวในการลงหมึกทับลงไป หรือใช้ปากกาเพอร์มาเน้นท์ทับลงไป

2.1.2.2 การใช้กระดาษกาวหรือสติ๊กเกอร์

เป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธีที่ใช้กระดาษก๊อปปี้ แต่ก็ยังมีข้อเสียเช่นเดียวกับการใช้กระดาษก๊อปปี้อยู่ ก็คือ การที่จะได้แผ่นวงจรพิมพ์ที่มีคุณภาพดีผู้สร้างแผ่นก็จะต้องมีทักษะสูง และการทำซ้ำก็ยังเป็นเรื่องที่ยากอยู่

อุปกรณ์ที่ใช้

1. สติ๊กเกอร์พลาสติก
2. คัตเตอร์
3. ปากกา กาวยาง

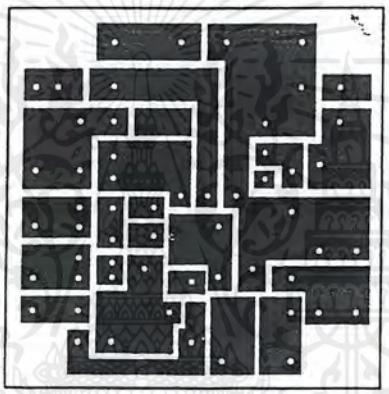
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการสร้าง

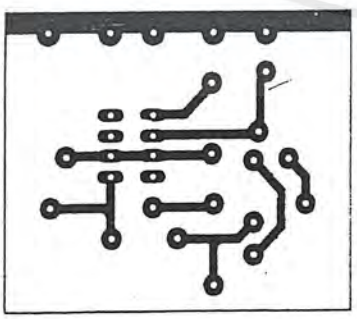
1. นำแบบมาติดกับสติ๊กเกอร์พลาสติกด้วยกาวยาง แล้วตัดให้ได้ขนาดเท่ากับแผ่นวงจรพิมพ์

2. ลอกกระดาษรองด้านหลังสติ๊กเกอร์ออกแยกนำตัวสติ๊กเกอร์มาติดกับแผ่นแผ่นวงจรพิมพ์บนด้านแผ่นทองแดง

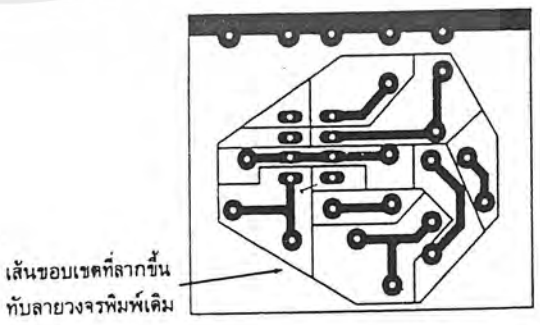
3. ใช้คัตเตอร์กรีดไปตามลายวงจรพิมพ์บนสติ๊กเกอร์ แล้วลอกสติ๊กเกอร์ตรงส่วนของลายวงจรพิมพ์ที่ต้องการจะกัดเนื้อทองแดงออกให้หมด



รูปที่ 2.4 การทำลายวงจรให้เป็นเส้นตรง

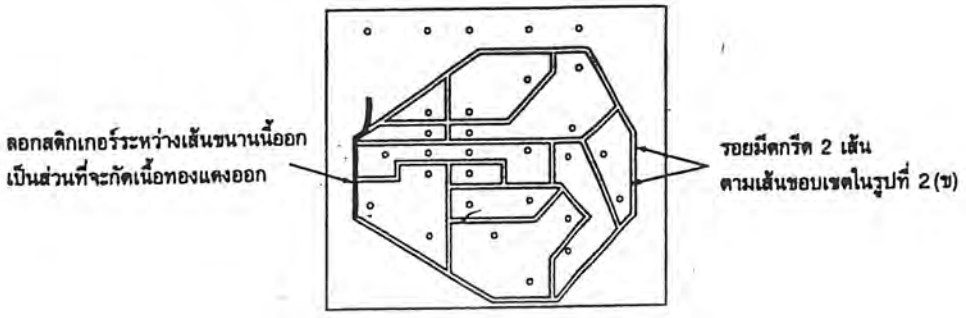


รูปที่ 2.5 ลายวงจรทั่วไป



รูปที่ 2.6 ลากเส้นแบ่งขอบเขตของลายวงจรเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ใช้มีดกรีดตามแนวเส้นให้ขนานกัน

2.1.2.3 การใช้แผ่นใส

วิธีนี้อาศัยการถ่ายลายวงจรลงบนแผ่นใสด้วยเครื่องถ่ายเอกสารหรือเครื่องเลเซอร์ปริ๊นเตอร์ (laser printer) แล้วนำแผ่นใสไปรีดลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยความร้อนหมึกก็จะละลายไปติดกับแผ่นวงจรพิมพ์ และหมึกพิมพ์ชนิดนี้จะไม่ทำปฏิกริยากับสารเคมีที่เราใช้กัดลายทองแดง

โดยที่ข้อดีของวิธีนี้ก็คือ ต้นทุนต่อแผ่นต่ำ วิธีทำง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อน อีกทั้งยังสามารถทำซ้ำได้อย่างดีมีประสิทธิภาพ เนื่องจากแผ่นต้นฉบับที่ใช้นั้นได้มาจากเครื่องถ่ายเอกสารหรือเครื่องเลเซอร์ปริ๊นเตอร์ซึ่งจะทำให้แผ่นต้นฉบับมีความเหมือนกันทุกแผ่น

อุปกรณ์ที่ใช้

1. แบบลายวงจร
2. เครื่องถ่ายเอกสารชนิดหมึกแห้ง(dry toner) หรือเครื่องเลเซอร์ปริ๊นเตอร์ (laser printer)
3. แผ่นใสที่ใช้กับเครื่องถ่ายเอกสารหรือใช้กับเครื่องเลเซอร์ปริ๊นเตอร์
4. เตารีด

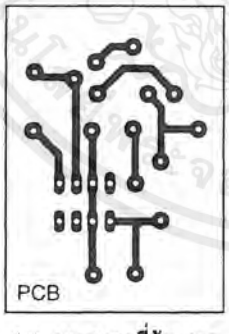
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทำ

1. นำแผ่นลายวงจรพิมพ์ที่เป็นต้นแบบ ถ่ายลงบนแผ่นใสด้วยเครื่องถ่ายเอกสาร จากนั้นนำแผ่นใสที่ถ่ายแล้วมาถ่ายใหม่อีกครั้ง โดยเอาด้านที่ติดหมึกหงายขึ้นเพื่อกลับซ้ายเป็นขวา แต่ถ้าใช้เครื่องเลเซอร์ปริ๊นเตอร์ก็สามารถกลับด้านจากซ้ายเป็นขวาได้เลย แผ่นใสที่ใช้ได้หมึกจะต้องสม่ำเสมอ คมชัดและลายเส้นไม่ขาด

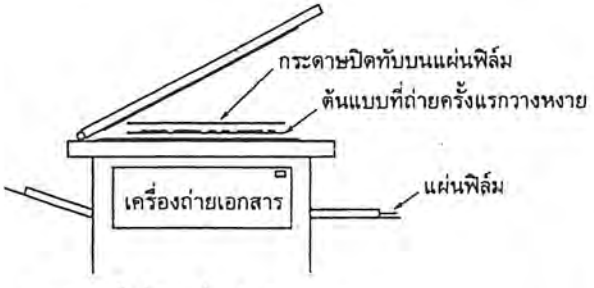
2. นำแผ่นใสที่ถ่ายเรียบร้อยแล้วมาตัดให้ขนาดเท่ากับแผ่นวงจรพิมพ์ที่เตรียมไว้ประกบติดกัน โดยคว่ำเอาด้านที่มีหมึกเข้าหาแผ่นทองแดง ใช้เทปปิดให้แน่นป้องกันแผ่นฟิล์มเลื่อนเวลารีด และแผ่นวงจรพิมพ์ที่ใช้ต้องขัดให้สะอาดเสียก่อน

3. ใช้เตารีดตั้งอุณหภูมิไว้เกือบสูงสุด ซึ่งร้อนประมาณ 340°F ถ้าความร้อนสูงกว่านี้ อาจทำให้แผ่นฟิล์มละลายได้ ใช้ผ้าหรือกระดาษรองบนแผ่นฟิล์มป้องกันไม่ให้ติดกับเตารีด แล้วใช้เตารีดรีดอย่างช้าๆประมาณ 5-10 นาที หมึกก็จะหลอมละลายไปติดลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ หลังจากนั้นปล่อยให้เย็นแล้วจึงค่อยแกะฟิล์มออก ถ้าทำถูกต้องหมึกจะลอกออกหมด จากนั้นเราก็สามารถนำแผ่นวงจรพิมพ์ไปกัดเอาทองแดงส่วนที่ไม่ต้องการออกได้

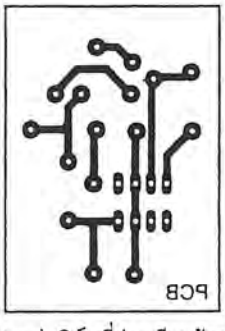


(ก) ลายวงจรที่ต้องการ

(ข) นำไปถ่ายลงแผ่นฟิล์มด้วยเครื่องถ่ายเอกสาร

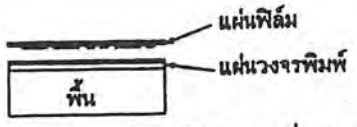


(ค) ถ่ายครั้งที่สองเพื่อกลับซ้ายเป็นขวา

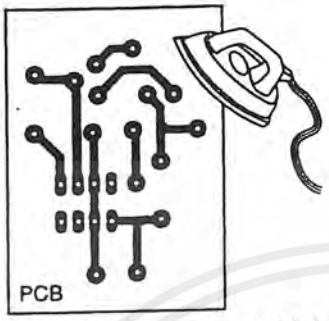


(ง) แผ่นฟิล์มที่ถ่ายเรียบร้อย พร้อมนำไปใช้งาน

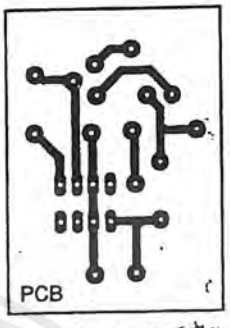
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) นำแผ่นฟิล์มมาติดลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ในลักษณะคว่ำหน้าลง



(ฉ) รีดด้วยเตารีดประมาณ 5-10 นาที



(ช) แผ่นวงจรพิมพ์ที่ได้

รูปที่ 2.8 ขั้นตอนในการทำโดยใช้แผ่นใส

2.1.2.4 การพิมพ์ซิลค์สกรีน

เป็นการพัฒนามาจากการพิมพ์ลายลงบนผ้าฝ้ายหรือผ้าไหม ซึ่งการนำมาใช้ในปัจจุบันมักจะนำไปใช้ในทางอุตสาหกรรม เพราะมีต้นทุนเบื้องต้นที่สูง เหมาะที่จะนำไปผลิตทีละจำนวนมากๆ และมีขั้นตอนที่ซับซ้อนโดยเฉพาะการสร้างชุดพิมพ์ซิลค์สกรีนต้นแบบ

อุปกรณ์ที่ใช้

1. กรอบสกรีนที่ขึงผ้า
2. กาวอัดและน้ำยาไวแสง
3. ยางปาดหรือรางปาดกาวอัด
4. แบบถ่าย
5. ที่เป่าลม
6. ห้องมืด
7. ตู้ถ่าย
8. ผงล้างกาวอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการสร้าง

1. ผสมกาวอัดสีชมพู 5 ส่วน ต่อน้ำยาไวแสง 1 ส่วน (คิดโดยน้ำหนัก) ควรผสมเท่าที่ใช้ถ้าใช้กาวอัดสีฟ้า (DIRASOL) หรือกาวอัดทนน้ำ (DIRASOL 25) ให้ใช้กาวอัด 10 ส่วน ต่อน้ำยาไวแสง 1 ส่วน

2. เทกาวอัดที่ผสมแล้วลงบนกรอบสกรีนพอประมาณใช้ยางปาด ปาดกาวอัดให้เคลือบเสมอกันทั้ง 2 หน้า ที่สำคัญก็คือ พยายามปาดกาวอัดให้เรียบเสมอกันให้มากที่สุด ดังรูป

รูปที่ 2.9 การปาดกาวลงบนกรอบสกรีน

รูปที่ 2.10 วิธีการเป่ากาวอัดให้แห้ง

3. นำเข้าห้องมืด เป่าให้แห้งด้วยลมอุ่นหรือลมเย็น (หรือจะใช้ตู้อบสกรีน เพื่ออบให้กาวอัดแห้งก็ได้) ดังรูป

4. นำแบบถ่ายซึ่งก็คือลายวงจรที่ถ่ายลงบนแผ่นฟิล์มเรียบร้อยแล้ว ติดลงบนสกรีนด้านนอก (ด้านที่ขึงผ้า) แล้วนำไปฉายแสง

5. แสงที่ใช้ในการถ่ายกาวอัด ใช้ได้หลายชนิดคือ แสงแดด,แสงจากตู้นีออน,ไฟถ่ายอาร์คแลมป์,ไฟถ่าย (Metal Halide) แสงที่ดีควรมีความนิ่งไฟไม่กระพริบ

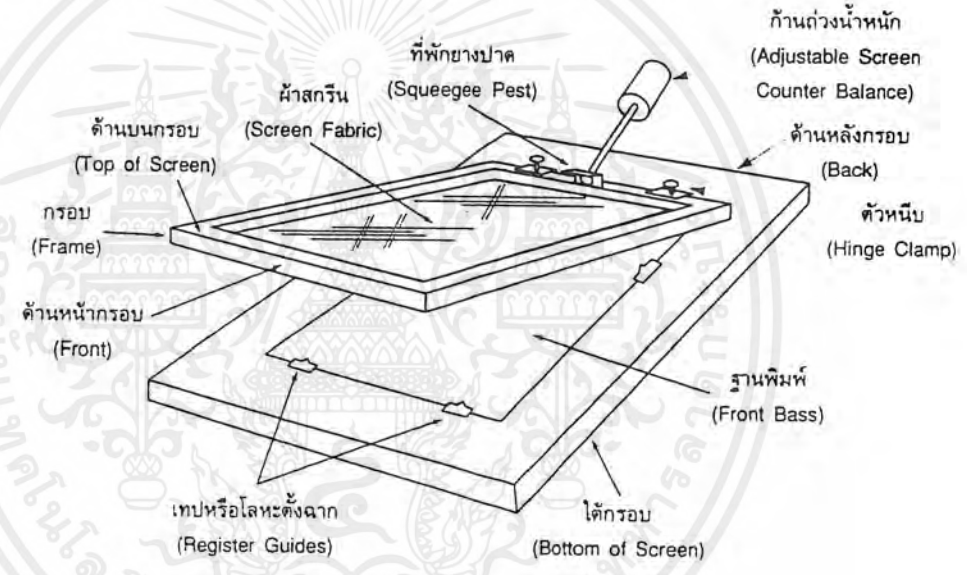
ตาราง 2.1 ชนิดของแสงที่ใช้กับระยะห่างและเวลาที่ใช้ในการฉายแสง

ชนิดของแสงที่ใช้	ระยะห่าง (ซม.)	เวลา (นาที)
หลอดนีออน 40 วัตต์ 8 หลอด	30	4
ไฟอาร์คแลมป์ 1200 วัตต์	50	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมทัลฮาไลด์ 2000 วัตต์	120	4-5
เมทัลฮาไลด์ 5000 วัตต์	120	2-3
แสงแดด (ตอนเที่ยง)	—	30-40

ถ้าเวลาในการถ่ายแสงถูกต้องกาวอัดส่วนที่ถูกแสงจะทำปฏิกริยากับแสงและจะจับตัวแข็งและกาวอัดส่วนที่ไม่ถูกแสงจะไม่จับตัวแข็ง เมื่อนำไปล้างในน้ำจะหลุดออกได้ง่าย แต่ถ้าถ่ายแสงนานเกินไป กาวอัดทุกส่วนจะจับตัวแข็งหมดเมื่อนำไปล้างในน้ำ จะไม่หลุดลอกออกมาเลย



รูปที่ 2.11 รูปร่างหน้าตาของชุดพิมพ์ซิลค์สกรีนแบบง่ายๆ

6. การพิมพ์ลายวงจร (pattern printing) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการพิมพ์ลายวงจรลงบนผิวหน้าทองแดง เพื่อให้หมึกปกปิดผิวหน้าทองแดงในส่วนที่ต้องการให้เกิดเป็นลายนั้นๆ (track) ซึ่งหมึกที่ใช้พิมพ์จำเป็นที่จะต้องมีความทนทานต่อสารเคมีประเภทกรด หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้หมึกที่ถูกพิมพ์ลงบนผิวหน้าบอร์ดแห้งตัว (ใช้หมึกพิมพ์เซอร์กิต ER-2016 ผสมด้วยน้ำมันกันตันเบอร์ 13019)

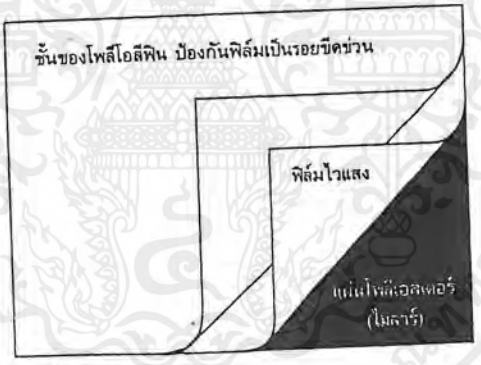
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.5 การใช้ดรายฟิล์ม

ในทางอุตสาหกรรมนั้นจะใช้แผ่นฟิล์มไวแสงชนิดหนึ่ง ซึ่งมีเรียกเฉพาะว่าดรายฟิล์ม (dry film) ซึ่งมีคุณสมบัติเมื่อโดนแสงจะปรากฏเป็นลายวงจรขึ้น โดยเริ่มนำมาใช้ทดแทนการพิมพ์ซิลค์สกรีนและสเปรย์ไวแสงหรือน้ำยาไวแสง

โครงสร้างของดรายฟิล์ม

ลักษณะทั่วไปเป็นแผ่นฟิล์มไวแสงที่ใช้ลอกลายจากแบบอาร์ตเวอร์กแบบเนกาตีฟ เพื่อใช้ในการทำแผ่นวงจรพิมพ์ โดยโครงสร้างจะประกอบด้วยชั้นของฟิล์มไวแสง (photo polymer) ที่มีความหนาตั้งแต่ 17-75 ไมโครเมตร (0.001 ถึง 0.003 นิ้ว) ซึ่งจะเป็นชั้นที่จะทำปฏิกริยากับแสงอัลตราไวโอเลต และถูกประกบอยู่ด้วยชั้นของโพลีเอสเตอร์ (polyester) และชั้นโพลีโอลีฟิน (polyolefine) ดังรูป



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของแผ่นดรายฟิล์ม

คุณสมบัติของดรายฟิล์ม

- ความหนาของฟิล์มคงที่ทำให้คุณสมบัติต่างๆคงที่ทุกครั้ง
- ทำงานได้ในสภาวะแสงปกติ เนื่องจากดรายฟิล์มทำปฏิกริยากับแสงอัลตราไวโอเลต
- ดรายฟิล์มมีกาวในตัวจึงยึดเกาะพื้นผิวได้ดี ไม่หลุดลอกง่าย
- ใช้ได้กับลายเส้นที่มีความละเอียดสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อขึ้นลายแล้วจะเห็นลายเส้นได้ชัดเจน ทำให้ง่ายต่อการตรวจสอบและตกแต่งแก้ไข

การใช้งานดรายฟิล์ม

ก่อนที่จะกล่าวถึงวิธีการใช้ดรายฟิล์ม จะต้องได้แผ่นอาร์ตเวอร์กต้นฉบับจะต้องมีความถูกต้องและนำไปผ่านขั้นตอนการทำเป็นฟิล์มต้นแบบเนกาตีฟ จากนั้นจึงนำมาทำตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ตัดแผ่นวงจรพิมพ์ตามขนาดที่ต้องการทำ พร้อมทั้งทำความสะอาดผิวทองแดง

ขั้นตอนที่ 2 ตัดแผ่นดรายฟิล์มตามขนาดแผ่นวงจรพิมพ์แต่ถ้าจะให้ดีก็ตัดให้มีขนาดใหญ่กว่าสักด้านละ 5 มิลลิเมตร เพื่อกันความคลาดเคลื่อนขณะนำไปประกบกับแผ่นวงจรพิมพ์

ขั้นตอนที่ 3 แผ่นดรายฟิล์มจะประกอบด้วยฟิล์มบางที่ทำหน้าที่ป้องกันแผ่นฟิล์มไวแสงที่อยู่ตรงกลาง ลอกแผ่นพลาสติกที่อยู่ด้านหนึ่งด้านใดออกแล้วนำไปประกบติดกับแผ่นทองแดงที่เตรียมไว้ ระหว่างที่ทำการประกบนี้ต้องไม่ให้มีฟองอากาศเกิดขึ้นโดยอาจจะเอาเตารีดรีดทับอีกทีก็ได้ แต่ต้องมีผ้ารองไว้เพื่อไม่ให้แผ่นฟิล์มไวแสงละลาย

ขั้นตอนที่ 4 เมื่อได้แผ่นวงจรพิมพ์ที่เคลือบดรายฟิล์มเรียบร้อยแล้วพร้อมที่จะขึ้นลายแล้ว ให้นำไปผ่านการฉายแสงโดยนำแผ่นฟิล์มอาร์ตเวอร์กแบบเนกาตีฟ ที่มีขนาดเท่าแบบวางทับบนแผ่นวงจรพิมพ์ จากนั้นใช้หลอดไฟผ้าขนาด 100 วัตต์ แขวนไว้ห่างประมาณ 1 ฟุต ใช้เวลาในการขึ้นลาย 2-3 นาที

ขั้นตอนที่ 5 นำโซเดียมคาร์บอเนตหรือโซดาซักผ้า หรือดีเวลลอปเปอร์ (developer) มาผสมกับน้ำในอัตราส่วนโซเดียมคาร์บอเนต 2 กรัมต่อน้ำ 200 ซีซี (โซเดียมคาร์บอเนต 10-20 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร) เทใส่ภาชนะโดยให้มีน้ำยาท่วมแผ่นวงจรพิมพ์ (น้ำยานี้สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก)

ขั้นตอนที่ 6 ลอกแผ่นพลาสติกที่อยู่อีกด้านหนึ่งออก แล้วนำไปแช่ในน้ำยาที่เตรียมไว้ ลายเส้นจะเริ่มปรากฏ รอจนลายเส้นครบแล้วจึงนำไปล้างน้ำสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากขึ้น ดังนั้นถ้าให้กรดมีการเคลื่อนไปมาอยู่บ่อยๆ ก็จะทำให้กัดได้เร็วขึ้น โดยทั่วไปการกัดใช้เวลาประมาณ 15-20 นาที

รูปที่ 2.14 แช่ลงในกรด

รูปที่ 2.15 ล้างกรดออกด้วยน้ำสะอาด

ถ้าแช่ด้านทองแดงลงด้านล่าง ส่วนที่เป็นลายวงจรอาจจะขูดขีดกับพื้นภาชนะได้ ทำให้ลายวงจรขาดได้ ถ้าจะให้ดีควรแช่ในแนวดิ่งจะดีที่สุด แต่วิธีการนี้ก็จะต้องใช้กรดมากจึงจะท่วมแผ่นวงจรพิมพ์ได้

ระหว่างการกัดต้องคอยสังเกตด้วยว่าส่วนที่ต้องการกัดหมดหรือยัง เพราะถ้าทิ้งเอาไว้นานเกินไปส่วนที่เป็นลายเส้นที่เราต้องการก็จะถูกกัดออกไปด้วย อาจจะทำให้เส้นไม่คม ไม่สวยและอาจทำให้ลายวงจรขาดได้ หลังจากกัดก็นำไปล้างด้วยน้ำสะอาด ระวังอย่าให้กรดเข้าตาหรือถูกผิวหนังได้ ถ้าเกิดเข้าตาหรือถูกผิวหนังให้รีบล้างด้วยน้ำสะอาดจำนวนมากๆ โดยเร็ว

2.1.4 เจาะรู

นำแผ่นวงจรพิมพ์ที่ได้ไปผึ่งไว้ให้แห้งสนิท ทำการเจาะด้วยสว่านหากเป็นสว่านไฟฟ้าขนาดเล็กก็จะสะดวกเป็นอย่างยิ่ง ในการเจาะรูแต่ละรูนั้นขนาดจะไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ติดตั้ง ณ จุดนั้น โดยมากถ้าเป็นรูสำหรับใส่ขาอุปกรณ์ประเภททรานซิสเตอร์,ไอซี,ตัวต้านทาน ฯลฯ มักใช้ขนาด 1 มิลลิเมตร แต่หากเป็นสำหรับเชื่อมต่อกับสายไฟหรืออุปกรณ์บางชนิดที่มีขาใหญ่ๆ ก็มักใช้ขนาด 1.5-2 มิลลิเมตร เช่น ขาของรีเลย์,ตัวต้านทานเกือกม้า,สวิตซ์ ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รูปที่ 2.16 แสดงการเจาะรู

2.1.5 ทำความสะอาดแล้วทาน้ำยาเคลือบลายทองแดง

เมื่อเจาะรูเสร็จเรียบร้อย ดูว่าลายทองแดงหมองหรือมีรอยดำบ้างหรือเปล่า ถ้าลายทองแดงหมองหรือดำจะบัดกรีลำบาก ดังนั้นควรใช้สก็อตไบรท์ขัดลายทองแดงให้เป็นเงา แล้วเอาผ้าสะอาดเช็ดฝุ่นออก เพื่อเตรียมเคลือบน้ำยากันทองแดงหมอง

น้ำยาสำหรับเคลือบแผ่นวงจรพิมพ์ สามารถทำได้จากส่วนผสมของยางสนกับทินเนอร์ ยางสนนี้ลักษณะเป็นก้อนๆ สีน้ำตาล อัตราส่วนผสมไม่ค่อยแน่นอนโดยสังเกตว่าไม่ให้ข้นหรือใสจนเกินไป เสร็จแล้วใช้สำลีชุบน้ำยาเคลือบนี้ทาลงไปบนลายทองแดงให้ทั่ว รอให้แห้ง เป็นอันเสร็จ ได้แผ่นวงจรพิมพ์ที่สมบูรณ์

2.2 การเลือกวิธีการในการสร้างลายวงจรลงบนแผ่นทองแดง

จากการศึกษาที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าวิธีการในการสร้างลายวงจรลงบนแผ่นทองแดงนั้นมีหลายวิธี โดยในแต่ละวิธีก็จะมีข้อดี-ข้อเสียที่แตกต่างกันไป เช่น ต้นทุนการผลิตสูง ความคมชัดของลายเส้น จำนวนการผลิต เป็นต้น โดยทำการเปรียบเทียบวิธีการต่างๆเพื่อหาวิธีที่จะนำมาใช้ในโครงงานนี้ ได้ผลดังตารางข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
36787

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบวิธีการต่างๆในการสร้างลายวงจรบนแผ่นทองแดง

วิธี	ข้อดี	ข้อเสีย
1.การใช้มือวาดหรือใช้กระดาษ-ก๊อปปี้	-ใช้วัสดุอุปกรณ์ ที่หาได้ง่าย -ขั้นตอนการทำไม่ซับซ้อน -ต้นทุนต่อแผ่นต่ำ	-ใช้เวลานาน -ต้องใช้ความชำนาญสูงเพื่อให้ได้แผ่นวงจรพิมพ์ที่มีคุณภาพ -การทำซ้ำทำได้ยาก
2.การใช้สติกเกอร์	-ใช้วัสดุอุปกรณ์ ที่หาได้ง่าย -ขั้นตอนการทำไม่ซับซ้อน -ต้นทุนต่อแผ่นต่ำ	-ใช้เวลานาน -ต้องใช้ความชำนาญสูงเพื่อให้ได้แผ่นวงจรพิมพ์ที่มีคุณภาพ -การทำซ้ำทำได้ยาก
3.การใช้แผ่นใสร่วมกับการให้ความร้อน	-ใช้เวลาน้อย -ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ง่าย -ได้คุณภาพที่ค่อนข้างดี -สามารถทำซ้ำๆได้ -ต้นทุนต่อแผ่นต่ำ	-ต้องใช้ความชำนาญสูงเพื่อให้ได้แผ่นวงจรพิมพ์ที่มีคุณภาพ -มีขั้นตอนในการทำที่ซับซ้อน
4.การใช้ดรายฟิลม์	-ใช้เวลาน้อย -ได้คุณภาพสูง -สามารถทำซ้ำๆได้ เหมาะแก่การผลิตเป็นจำนวนมากในทางอุตสาหกรรม	-ใช้อุปกรณ์ที่มีเทคโนโลยีสูง -มีขั้นตอนในการทำที่ซับซ้อน -ไม่เหมาะกับการผลิตจำนวนน้อย เพราะมีค่าต้นทุนเบื้องต้นสูง
5.การพิมพ์ซิลค์สกรีน	-ใช้เวลาน้อย -ได้คุณภาพสูง -สามารถทำซ้ำๆได้ เหมาะแก่การผลิตเป็นจำนวนมากในทางอุตสาหกรรม	-ใช้อุปกรณ์ที่มีเทคโนโลยีสูง -มีขั้นตอนในการทำที่ซับซ้อน -ไม่เหมาะกับการผลิตจำนวนน้อย เพราะมีค่าต้นทุนเบื้องต้นสูง

จากตารางเปรียบเทียบข้างต้น ในโครงงานนี้ได้เลือกนำวิธีการใช้แผ่นใสร่วมด้วยกับการให้ความร้อนมาใช้เป็นแนวทางในการทดลอง เนื่องด้วยโครงงานนี้มีจุดประสงค์ที่ต้องการลดต้นทุนในการทำแผ่นต้นแบบของแผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งจะทำการผลิตเป็นจำนวนน้อยๆ ซึ่งถ้าใช้วิธีการพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิลค์สกรีนหรือการทำดรายฟิลม์ก็จะเป็นการไม่เหมาะสมเนื่องจากมีต้นทุนเบื้องต้นสูง เหมาะที่จะนำไปใช้ในกรณีที่ต้องการทำแผ่นวงจรพิมพ์เป็นจำนวนมากๆ และวิธีการใช้กระดาษก็อปปี้กับการใช้สติ๊กเกอร์ก็ให้ผลที่ไม่ค่อยแน่นอน ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับทักษะของตัวผู้สร้างเสียส่วนใหญ่ อีกทั้งในการทำซ้ำให้แต่ละแผ่นออกมาเหมือนกันก็ทำได้ยาก

โดยวิธีการสร้างลายวงจรโดยใช้แผ่นใสนี้มีหลักการก็คือ เมื่อผงหมึกบนแผ่นใสได้รับความร้อนนั้นจะทำให้ผงหมึกละลายเปลี่ยนสถานะไปเป็นของเหลว เมื่อทำการดึงความร้อนออกจะทำให้ผงหมึกนั้นกลับสู่สภาวะเดิมคือเป็นของแข็ง ซึ่งจะไปปรากฏอยู่บนผิวของแผ่นทองแดง เนื่องจากแรงตึงผิวระหว่างผงหมึกกับแผ่นทองแดงนั้นมากกว่าแรงตึงผิวระหว่างผงหมึกกับแผ่นใส ดังนั้นในกระบวนการสร้างแผ่นวงจรพิมพ์โดยวิธีนี้ ก็จะต้องมีขั้นตอนในการให้ความร้อนกับดึงความร้อนออกซึ่งจะอยู่ในขั้นตอนของการสร้างลายลงบนแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและการสร้าง

3.1 การศึกษาวิธีการและขั้นตอน

วัตถุประสงค์ในการทดลอง

1.ต้องการเปรียบเทียบหาวิธีที่ทำแล้วได้ผลดีที่สุด
2.ต้องการหาขั้นตอนในการสร้างลายวงจร
3.ต้องการหาปัจจัยที่มีผลต่อการลอกลายลงบนแผ่นวงจรพิมพ์

ขั้นตอนในการเตรียมแผ่นใส

1.ออกแบบลายวงจรที่ต้องการจะสร้างลายบนแผ่นทองแดง
2.พิมพ์ลายวงจรที่ออกแบบเสร็จแล้วลงบนแผ่นใส ด้วยเครื่องเลเซอร์ปริ๊นเตอร์หรือเครื่องถ่ายเอกสาร
3.ตัดแผ่นใสให้มีขนาดที่ต้องการ คือควรจะใหญ่กว่า 4" x 4" แผ่นใสควรมีขนาดประมาณ 6" x6"

ขั้นตอนในการเตรียมแผ่นทองแดง

1.ตัดแผ่นทองแดงตามขนาดที่ต้องการคือ 4" x 4"
2.ทำความสะอาดแผ่นทองแดง ด้วยสารซักฟอก เพื่อขจัดคราบไขมันและสิ่งสกปรก หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำเปล่าซ้ำอีกเพื่อความสะอาด
3.เช็ดให้แห้ง พร้อมนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่1

วิธีที่ 1 การให้ความร้อนโดยใช้หลักการนำความร้อน (เตารีด)

ขั้นตอนในการทดลอง

1.วางแผ่นใสทาบลงบนแผ่นทองแดง โดยให้ด้านที่มีหมึกพิมพ์ติดกับแผ่นทองแดง

2. ใช้เทปใสติดที่ขอบ เพื่อยึดไม่ให้แผ่นใสเคลื่อน

3.เสียบปลั๊กเตารีดที่จะนำมาให้ความร้อน และปรับเบอร์ความร้อนเตารีดตามเบอร์ที่ต้องการ

4.วางเตารีดทาบลงบน แผ่นทองแดง (ซึ่งมีแผ่นใสทาบอยู่)

5.เริ่มทำการจับเวลา ตามระยะเวลาต่างๆที่ต้องการทำการทดสอบ

6.เมื่อครบกำหนดเวลา ยกเตารีดออก แล้วทำการนำความร้อนออกโดย

-วิธีที่ 1 ปล่อยทิ้งไว้ให้แผ่นทองแดงเย็น ประมาณ 10 นาที แล้วลอกแผ่นใสออก

-วิธีที่ 2 ใช้น้ำแข็งในการหล่อเย็น แล้วลอกแผ่นใสออก

7. บันทึกผล.

ผลการทดลอง

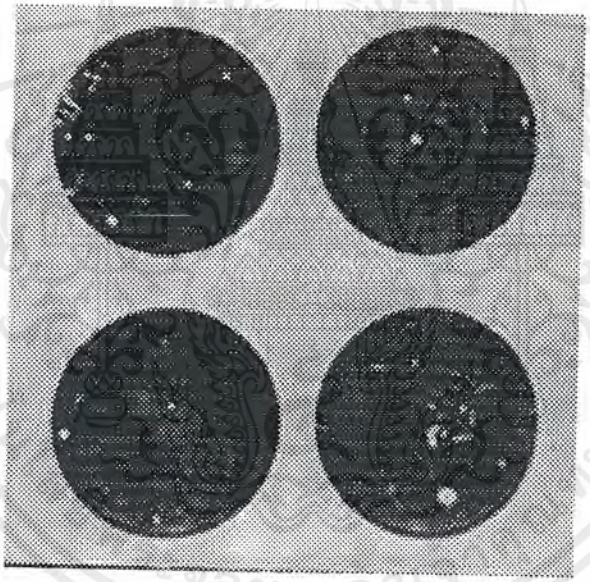
ครั้งที่	เบอร์ความร้อน	เวลา (นาที)	ผลการทดลอง	หมายเหตุ
1	3	5	ไม่มีการติดของลายวงจรบนแผ่นทองแดง	หล่อเย็นโดยน้ำแข็ง
2	3	10	ไม่มีการติดของลายวงจรบนแผ่นทองแดง	หล่อเย็นโดยน้ำแข็ง
3	3	15	ไม่มีการติดของลายวงจรบนแผ่นทองแดง	หล่อเย็นโดยน้ำแข็ง
4	3	20	ไม่มีการติดของลายวงจรบนแผ่นทองแดง	หล่อเย็นโดยน้ำแข็ง
5	3	25	ไม่มีการติดของลายวงจรบนแผ่นทองแดง	หล่อเย็นโดยน้ำแข็ง
6	4	5	มีการติดของลายวงจรบ้างเล็กน้อย	หล่อเย็นโดยน้ำแข็ง
7	4	10	ติดค่อนข้างชัดเจนแต่ยังมีบางตำแหน่งที่ไม่ติด	หล่อเย็นโดยน้ำแข็ง
8	4	15	ติดค่อนข้างชัดเจนแต่ยังมีบางตำแหน่งที่ไม่ติด	หล่อเย็นโดยน้ำแข็ง
9	4	5	มีการติดของลายวงจรบ้างเล็กน้อย	ทิ้งไว้ให้เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10	4	10	มีการติดของลายวงจรบ้างเล็กน้อย	ทิ้งไว้ให้เย็น
11	4	15	มีการติดของลายวงจรปานกลางแต่ไม่ดีพอ	ทิ้งไว้ให้เย็น
12	5	5	มีการติดของลายวงจรบ้างเล็กน้อย	หล่อเย็นโดยน้ำแข็ง
13	5	10	ติดค่อนข้างชัดเจน แต่ยังมีบางตำแหน่งที่ไม่ติด	หล่อเย็นโดยน้ำแข็ง
14	5	15	แผ่นใสเกิดการหลอมละลาย ลงแผ่นทองแดง	หล่อเย็นโดยน้ำแข็ง
15	5	5	มีการติดของลายวงจรบ้างเล็กน้อย	ทิ้งไว้ให้เย็น
16	5	10	มีการติดของลายวงจรบ้างเล็กน้อย	ทิ้งไว้ให้เย็น
17	5	15	แผ่นใสเกิดการหลอดละลาย ลงแผ่นทองแดง	ทิ้งไว้ให้เย็น

ตารางที่ 3.1

ผลการทดลองที่1



รูปที่ 3.1 ผลการพิมพ์ลายวงจรโดยวิธีที่ 1 (ใช้เตารีด)

ข้อที่สังเกตที่ได้จากการทดลอง

ลายวงจรที่ได้จากการลอกลายเกิดขึ้นเนื่องจากการละลายของผงหมึกบนแผ่นใสจะทำให้เกิดการลอกลายเกิดเป็นลายวงจรบนแผ่นทองแดง ผลที่ได้บางครั้งจะมีการติดที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากการที่ผิวทองแดงมีลักษณะที่ไม่เรียบ ทำให้หน้าสัมผัสของเตารีดไม่สามารถสัมผัสกับผิวทองแดงได้สนิท ความร้อนที่แผ่นใสได้รับจะไม่สม่ำเสมอจุดที่ไม่ได้รับความร้อนก็จะไม่เกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายของผงหมึก ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อการลอกลายที่สมบูรณ์เมื่อมีการให้ความร้อนด้วยเตารีดก็คือ ความร้อนกับแรงกดที่จะทำให้ผิวสัมผัสของเตารีด แผ่นใสและทองแดงสัมผัสกันสนิท ซึ่งในบางกรณีจะไม่สามารถแก้ไขปัญหานี้ได้ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการให้ความร้อนโดยเตารีด

วิธีที่ 2 การให้ความร้อนโดยหลักการพาความร้อน (ใช้ไดร์เป่าผม)

โดยได้มีการใช้เครื่องปั๊มสุญญากาศด้วยเพื่อทำให้ปัญหาเรื่องที่แผ่นใสไม่สัมผัสกับผิวทองแดงทั่วทั้งแผ่น รวมทั้งยังลดการสูญเสียความร้อนที่การจากช่องว่างอากาศด้วย

ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการติดตั้งแผ่นทองแดง กับฐานที่จะทำการปั๊มสุญญากาศ
2. วางแผ่นใสทาบลงบนแผ่นทองแดง
3. เปิดเครื่องปั๊มสุญญากาศ หลังจากนั้นแผ่นใสจะแนบสนิทกับแผ่นทองแดง ตั้งเครื่องไดร์เป่าผมให้ตรงศูนย์กลางและตั้งฉากกับแผ่นทองแดง (ที่ระยะต่าง ๆ ที่ทำการทดลอง)
4. เปิดเครื่องไดร์เป่าผมโดยปรับไปยังเบอร์ที่แรงที่สุด เริ่มจับเวลา (ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ที่ทำการทดลอง) เมื่อครบกำหนดเวลาปิดเครื่องปั๊มสุญญากาศ และไดร์เป่าผม และทำการนำความร้อนออกโดย
   - วิธีที่ 1 ปล่อยทิ้งไว้ให้แผ่นทองแดงเย็นประมาณ 10 นาที แล้วลอกแผ่นใสออก
   - วิธีที่ 2 ใช้น้ำแข็งในการหล่อเย็น แล้วลอกแผ่นใสออก
5. บันทึกผล

ผลการทดลอง

ครั้งที่	เวลา (นาที)	ผลการทดลอง	หมายเหตุ
1	5	ไม่มีการติดของลายวงจร	หล่อเย็นโดยน้ำแข็ง
2	10	ไม่มีการติดของลายวงจร	หล่อเย็นโดยน้ำแข็ง
3	15	มีการติดของลายวงจรปานกลาง	หล่อเย็นโดยน้ำแข็ง
4	20	มีการติดค่อนข้างดี แต่ลายไม่สม่ำเสมอ	หล่อเย็นโดยน้ำแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5	5	ไม่มีการติดของลายวงจร	ทิ้งไว้ให้เย็น
6	10	ไม่มีการติดของลายวงจร	ทิ้งไว้ให้เย็น
7	15	มีการติดของลายวงจรเล็กน้อย	ทิ้งไว้ให้เย็น
8	20	มีการติดของลายวงจรปานกลาง	ทิ้งไว้ให้เย็น

ตารางที่ 3.2

***จากการทดลองจะพบว่าปัญญาหาที่เกิดขึ้นคือการติดของลายวงจรที่ไม่สม่ำเสมอไม่ทั่วลายวงจรมีสาเหตุจาก การกระจายของการพาความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอ

รูปที่ 3.2 ผลการพิมพ์ลายวงจรโดยวิธีที่ 2 (โดยใช้ไดร์เป่าผม)

ข้อสังเกตที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ปั๊มสุญญากาศจะช่วยแก้ปัญหาที่แผ่นใสกับแผ่นทองแดงไม่สัมผัสกันสนิทได้ แต่ก็ยังมีปัญหาเนื่องจากตัวกำเนิดความร้อนยังมีความร้อนไม่เพียงพอและไม่สม่ำเสมอทำให้ผงหมึกละลายได้ไม่หมด ผลที่ได้ก็ยังคงมีการติดที่ไม่สมบูรณ์อยู่

วิธีที่ 3 การให้ความร้อนโดยหลักการแผ่รังสีความร้อน (ใช้อินฟราเรดฮีทเตอร์)

ในการทำด้วยวิธีนี้จะช่วยควบคุมการกระจายความร้อน และอุณหภูมิให้มีความคงที่สม่ำเสมอ ได้ดี

ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการติดตั้งแผ่นทองแดง กับฐานที่จะทำการปั๊มสุญญากาศ
2. วางแผ่นใสทาบลงบนแผ่นทองแดง
3. เปิดเครื่องปั๊มสุญญากาศ หลังจากนั้นแผ่นใสจะแนบสนิทกับแผ่นทองแดง
4. ติดตั้งแผ่นขดลวดเซรามิคอินฟราเรดห่างจากแผ่นทองแดงในระยะต่าง ๆ กัน โดยกำหนดระยะเวลาคงที่ (เริ่มตั้งแต่จ่ายกระแสให้ อินฟาเรดฮีทเตอร์)
5. เปิด(จ่ายกระแส)อินฟาเรดฮีทเตอร์ แล้วเริ่มจับเวลา
6. เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนด ปิดเครื่องปั๊มสุญญากาศ และอินฟาเรดฮีทเตอร์ และทำการนำความร้อนโดยใช้น้ำแข็งในการหล่อเย็น แล้วลอกแผ่นใสออก
7. บันทึกผล

ผลการทดลอง

ครั้งที่	เวลา (นาที)	ระยะห่าง (ซม.)	ผลการทดลอง	หมายเหตุ
1	15	24	ไม่มีการติดของลายวงจร	-
2	15	21	ไม่มีการติดของลายวงจร	-
3	15	18	ไม่มีการติดของลายวงจร	-
4	15	15	ไม่มีการติดของลายวงจร	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5	15	12	มีการติดเล็กน้อยของลายวงจร	หล่อเย็นด้วยน้ำแข็ง
6	15	9	มีการติดของลายวงจรค่อนข้างมาก	หล่อเย็นด้วยน้ำแข็ง
7	15	6	แผ่นใสละลาย แผ่นทองแดงไหม้ โค้งงอ	เกิดการละลายที่เวลา 5 นาที

ตารางที่ 3.3

ข้อสังเกตที่ได้จากการทดลอง

จากการทดลองโดยใช้ระยะแตกต่างกัน โดยใช้เวลาประมาณ 15 นาทีซึ่งเป็นเวลาที่เปรียบเทียบกับที่เคยทำด้วยเตารีด ทำให้ได้ระยะที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการทดลองหาปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการลอกลายที่จะทำให้ได้ผลการติดที่สมบูรณ์

ในขั้นตอนต่อไปจะทำการทดลอง โดยให้ระห่างระหว่างอินฟราเรดฮีทเตอร์ และแผ่นทองแดง 9 ซม.คงที่ โดยทำการทดลอง ณ เวลาต่าง ๆ กัน ได้ผลดังนี้

ผลการทดลอง

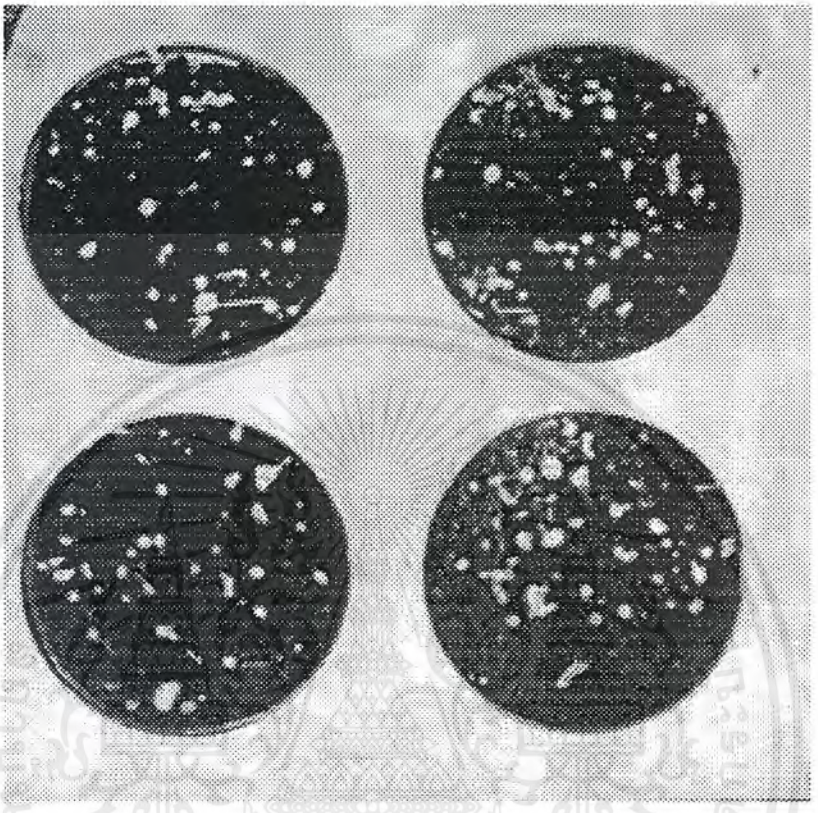
ครั้งที่	เวลา (นาที)	ระยะห่าง (ซม.)	ผลการทดลอง	หมายเหตุ
1	9	9	ติดคมชัดดีแต่ไม่สม่ำเสมอ มีรอยจุดเล็กๆ	-
2	10	9	ติดคมชัดมากขึ้นแต่ไม่สม่ำเสมอ มีรอยจุดเล็กๆ	-
3	10	9	ติดคมชัดมากขึ้นแต่ไม่สม่ำเสมอ มีรอยจุดเล็กๆ	แผ่นมีรอยไหม้
4	10	9	มีการติดดีมากและมีความคมชัดสม่ำเสมอ	-
5	10	9	มีการติดดีและมีความคมชัดแต่ไม่สม่ำเสมอเท่าที่ควร	-
6	10	9	มีการติดปานกลาง มีรอยจุดเล็กๆ	แผ่นโป่ง
7	15	9	ติดไม่สม่ำเสมอ มีรอยจุดเล็กๆ	ไม่หล่อเย็น
8	15	9	มีการติดดีและมีความคมชัดแต่ไม่สม่ำเสมอเท่าที่ควร	-

ตารางที่ 3.4

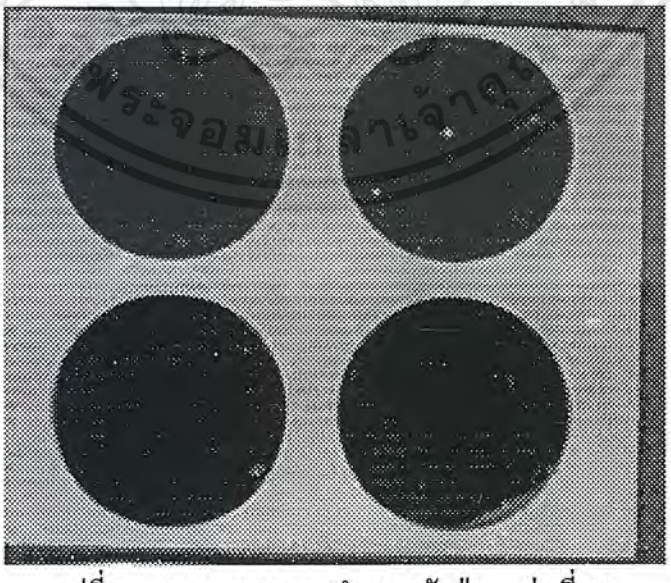
*****ทำการหล่อเย็นด้วยน้ำแข็งทุกครั้ง*****

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแผ่นที่ 4 หลังจากที่ทำความสะอาดแผ่นแล้ว ในขณะที่ทำการทำปั๊มสุญญากาศได้มีการขจัดฝุ่นออกในบางส่วนเท่าที่จะทำได้



รูปที่ 3.3 ผลการพิมพ์ลายวงจรโดยวิธีที่ 3 (อินฟาเรดฮีทเตอร์)
(ไม่ได้ขจัดฝุ่น)



รูปที่ 3.4 ผลการทดลอง (ทำการขจัดฝุ่น ,แผ่นที่ 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสังเกตที่ได้จากการทดลอง

หลังจากที่ทำการปั๊มสุญญากาศให้แผ่นใสติดกับแผ่นทองแดง จะสังเกตเห็นว่ามีรอยนูนเล็ก ๆ เกิดขึ้นกระจายอยู่ทั่ว ๆ แผ่น และก็มีขนาดที่แตกต่างกันไปโดยจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1-1.5 mm ซึ่งจากากรสังเกตุรอยนูนนี้เกิดขึ้นจากการที่มีฝุ่นหรือสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ เข้าไปติดอยู่ระหว่างแผ่นในกับแผ่นทองแดงในระหว่างที่ทำการปั๊มสุญญากาศ รวมทั้งรอยนูนนี้จะเป็นตำแหน่งเดียวกันกับจุดเล็ก ๆ ที่เกิดขึ้นบนแผ่นทองแดงหลังจากที่ทำการลอกลายแล้ว แสดงว่าการที่มีฝุ่นหรือสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ เข้ามารบกวนทำให้การลอกลายไม่สามารถติดได้อย่างสมบูรณ์

ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจึงพิจารณาถึงการขจัดฝุ่นด้วย โดยเราจะทำการขจัดฝุ่นแล้วจึงนำไปให้ความร้อน ในกรณีที่ไม่สามารถขจัดให้หมดไปได้ก็จะทำการทำเครื่องหมายไว้ที่แผ่นใสโดยใช้ปากกาเมจิกแล้วทำการเปรียบเทียบผลที่ ได้

ผลการทดลอง

ครั้งที่	เวลา (นาที)	ระยะห่าง (ซม.)	ผลการทดลอง	หมายเหตุ
1	10	9	ติดคมชัดมากขึ้นแต่ไม่สม่ำเสมอมีรอยจุดเล็กๆ	
2	12	9	ติดคมชัดมากขึ้นแต่ไม่สม่ำเสมอมีรอยจุดเล็กๆ	
3	12	9	ติดคมชัดดีมาก แต่มีรอยไม่ติดจุดเล็กๆเท่านั้น	
4	15	9	ติดคมชัดมากขึ้นแต่ไม่สม่ำเสมอมีรอยจุดเล็กๆ	
5	15	9	ติดคมชัดดี และสม่ำเสมอดีมาก แทบไม่มีรอยเล็กๆเกิดขึ้นเลย	

ตาราง ที่ 3.5

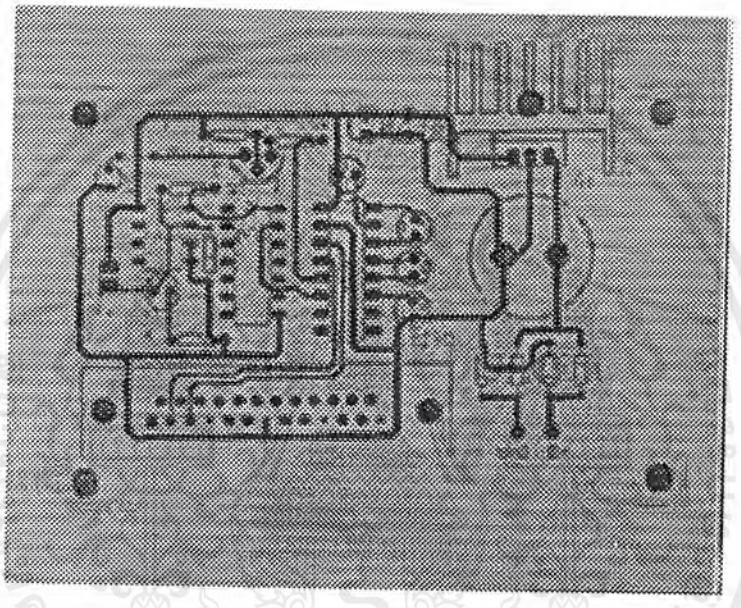
หมายเหตุ 1. หล่อเย็นด้วยน้ำแข็ง

2. ในการทดลองทุกครั้งจะทำการทำความสะอาดผิวของแผ่นทองแดงเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

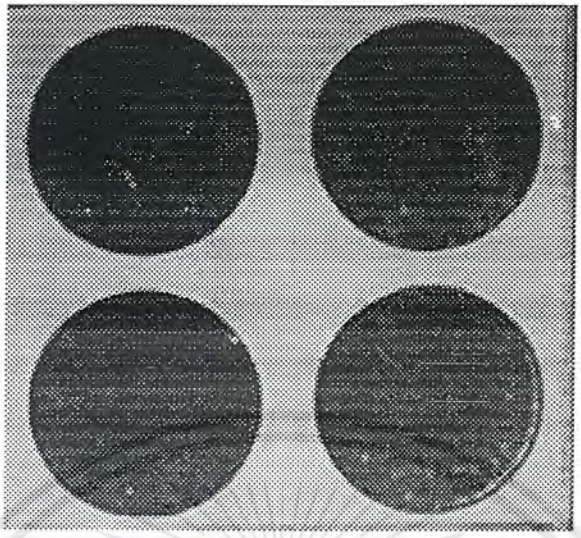
ผลที่ได้จากการทดลอง

หลังจากการทดลองนี้จะพบว่าตำแหน่งที่เราได้ทำเครื่องหมายไว้บนแผ่นใสก่อนที่จะนำไปให้ความร้อนจะเป็นตำแหน่งเดียวกันกับจุดที่หมึกไม่ติดลงบนแผ่นทองแดง ส่วนในกรณีที่สามารถขจัดฝุ่นออกไปได้หมดหรือมีเพียงรอยนูนเล็ก ๆ จะให้ผลที่ดีมาก คือมีลายวงจรที่ครบถ้วนสมบูรณ์



รูปที่ 3.5 ผลการพิมพ์ลายวงจรโดยวิธีที่ 3 (อินฟาเรดฮีตเตอร์)
(ทำการขจัดฝุ่น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ผลการพิมพ์ลายวงจรโดยวิธีที่ 3 (อินฟาเรดฮีตเตอร์)
(ทำการขจัดฝุ่น)

รูปที่ 3.7 ผลการพิมพ์ลายวงจรโดยวิธีที่ 3 (อินฟาเรดฮีตเตอร์)
(ทำการขจัดฝุ่น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าฝุ่นหรือสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ นี้จะมีผลต่อการติดของลายวงจรที่จะสมบูรณ์หรือไม่ ขึ้นอยู่กับการขจัดฝุ่นที่อาจจะกล่าวได้ว่าเป็นการยากที่จะขจัดให้หมดไป ถ้าสามารถแก้ปัญหาเรื่องนี้ได้ก็จะทำให้ผลที่ได้มีความสมบูรณ์ในทุกครั้งที่ทำการลอกลาย

ในการทดลองถึงวิธีในการสร้างลายบนแผ่นทองแดง โดยวิธีใช้แผ่นใสร่วมด้วยกับการให้ความร้อน ได้ทดลองทำโดยใช้อุปกรณ์ให้ความร้อนที่แตกต่างกันและก็มีหลักการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน การให้ความร้อนโดยหลักการแผ่รังสีความร้อน (อินฟราเรดฮีทเตอร์) ให้ผลออกมาดีที่สุดและเป็นวิธีที่สะดวกที่สุด จากวิธีในการให้ความร้อนทั้ง 3 วิธี

จากผลการทดลองจะได้ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างลายบนแผ่นทองแดงดังนี้

ความร้อนที่ใช้ สำหรับอินฟราเรดฮีทเตอร์ก็จะให้ความร้อนที่คงที่

ระยะห่างระหว่างตัวกำเนิดความร้อนกับแผ่นทองแดง,เวลาที่ใช้ จะเป็นตัวที่ควบคุมความร้อนสะสมที่เกิดขึ้นที่แผ่นทองแดง

การทำความสะอาดผิวของแผ่นทองแดง คราบไขมัน,ความเรียบของผิวทองแดงเหล่านี้ล้วนมีผลต่อการติดของลายวงจร

วิธีในการหล่อเย็น จากการทดลองจะพบว่าการทำให้แผ่นทองแดงเย็นโดยทันทีจะทำให้ลายที่ได้ออกมาดีกว่า หรือมีการติดที่สมบูรณ์กว่า

ฝุ่นหรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆที่ติดอยู่ระหว่างแผ่นใสกับแผ่นทองแดง จะมีผลทำให้แผ่นใสไม่สามารถสัมผัสกับแผ่นทองแดง

ชนิดของแผ่นทองแดงกับหมึกพิมพ์ที่ใช้ก็มีผลเช่นกัน เช่น แผ่นอีพ็อกซี่กับแผ่นแบบธรรมดาก็ใช้ระยะเวลาที่แตกต่างกัน แผ่นใสที่ได้จากเครื่องเลเซอร์ปริ๊นเตอร์ กับเครื่องถ่ายเอกสารก็ใช้ระยะเวลาที่แตกต่างกันด้วย เป็นต้น

3.2 การออกแบบ (Design)

จากการทดลองที่ผ่านมานั้นทำให้ได้ขั้นตอนและวิธีการรวมทั้งปัจจัยต่างๆที่จะนำมาใช้ในการออกแบบสร้างเครื่องสร้างลายบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีการทำงานเป็นแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะนำมาใช้ทดลองเพื่อสนับสนุนแนวคิดและวิธีการในการทำแผ่นวงจรพิมพ์ โดยที่การสร้างเครื่องเพื่อช่วยในการทดลองจะทำให้ได้ผลการทดลองที่แน่นอนกว่าและมีความสามารถในการทำซ้ำได้ดีกว่าการทดลองที่ทำด้วยมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการแบ่งการขั้นตอนในการสร้างลายวงจรลงบนแผ่นทองแดงที่ได้จากการทดลอง ได้เป็น 4 ขั้นตอนตามลำดับได้ดังนี้คือ

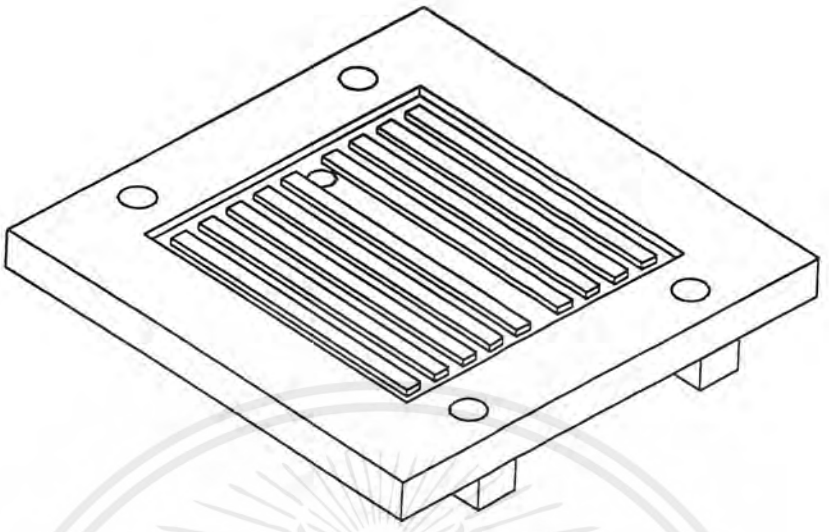
❶ การเตรียมแผ่น
❷ ให้ความร้อน
❸ ดึงความร้อนออก หรือทำการหล่อเย็น
❹ ลอกแผ่นใสออก

จากนั้นนำเงื่อนไขที่ได้จากข้างต้นนำมาออกแบบขั้นตอนการทำงานของเครื่อง โดยในการออกแบบขั้นแรกได้กำหนดการทำงานของเครื่องจะเป็นลักษณะแบบอัตโนมัติและจะแบ่งการทำงานออกเป็นห้อง ซึ่งในแต่ละห้องจะมีการทำงานตามขั้นตอนของการสร้างลายวงจรลงบนแผ่นทองแดงแตกต่างกันไป จึงจำเป็นต้องมี 4 ห้อง และมีการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน(แผ่นทองแดง) ไปตามห้องต่างๆตามลำดับขั้นตอนในการสร้างลายบนแผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งจะได้โครงสร้างดังนี้

รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะการทำงานและการเคลื่อนที่

ในขั้นต่อมาก็คือการออกแบบระบบการเคลื่อนที่ของชิ้นงานหรือของแผ่นทองแดงที่ต้องเคลื่อนที่ไปยังห้องต่างๆตามลำดับการทำงาน แผ่นทองแดงจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกับแผ่นฐานซึ่งทำจากแผ่นอลูมิเนียมที่ได้จากการกัดผิวให้ได้รูปแบบตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยที่แผ่นฐานจะใช้สำหรับวางแผ่นทองแดงและทำสุญญากาศแก่แผ่นใสที่วางทับบนแผ่นทองแดงตามวิธีการในการทดลอง ซึ่งจะมีการต่อท่อลมจากแผ่นฐานไปยังปั๊มสุญญากาศ ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงรูปร่างลักษณะของแผ่นฐาน

เพื่อที่จะให้แผ่นฐานมีการเคลื่อนที่ไปตามห้องต่างๆได้จึงต้องมีการนำอุปกรณ์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้เข้ามาติดตั้งเพิ่มเติม ซึ่งในการออกแบบระบบการเคลื่อนที่นี้ อุปกรณ์ที่ใช้อาจจะใช้ระบบไฟฟ้า หรือระบบนิวแมติกส์ซึ่งใช้ลมก็ได้ โดยทำการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของทั้ง2ระบบ

ตาราง 3.6 เปรียบเทียบระบบไฟฟ้า-ระบบนิวแมติกส์

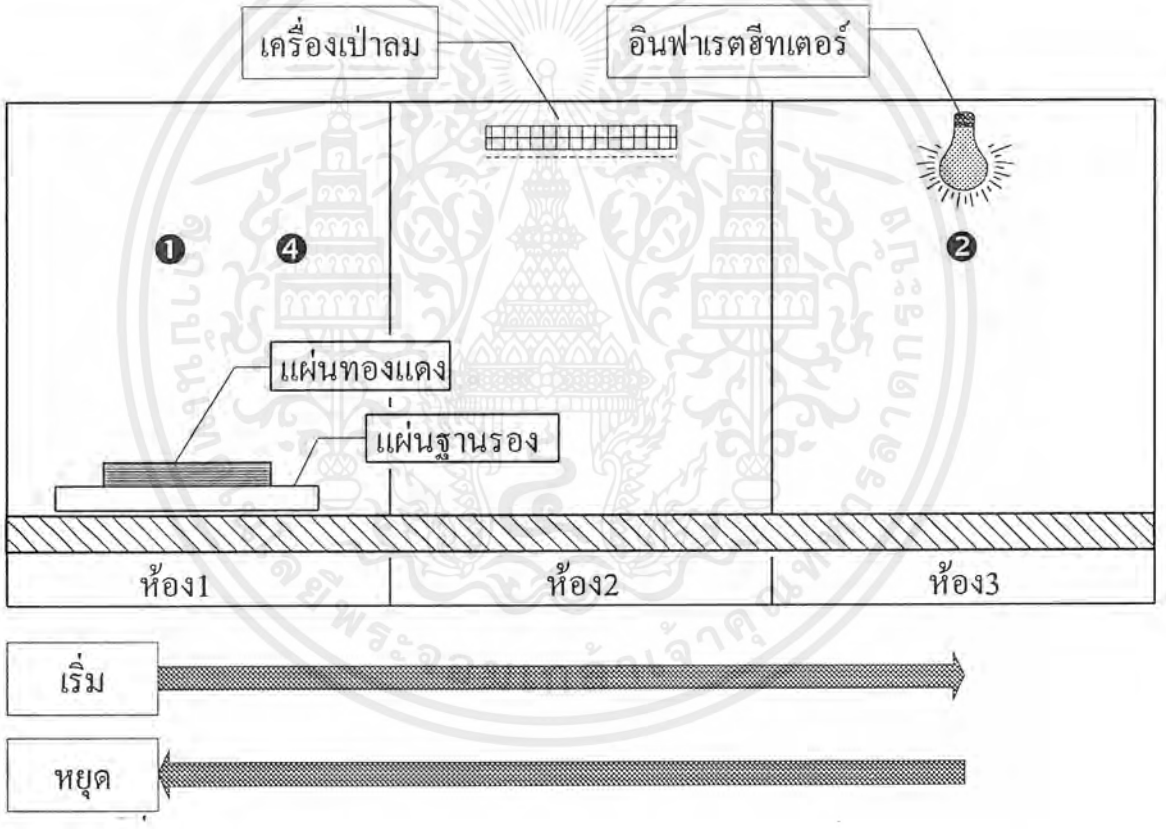
ระบบไฟฟ้า		ระบบนิวแมติกส์	
ข้อดี	ข้อเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย
• มีความเที่ยงตรงสูง • ใช้งานได้สะดวกเพียงแต่มีไฟฟ้า	• ระบบควบคุมค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อน	• ระบบควบคุมง่าย สามารถเชื่อมต่อกับ PLC ได้เลย	• ต้องมีระบบลมและถังพักลม

สำหรับการออกแบบในโครงงานนี้เลือกใช้ระบบนิวแมติกส์ เนื่องจากอุปกรณ์นิวแมติกส์เช่นกระบอกสูบ วาล์วควบคุม และตัวเซ็นเซอร์ที่ใช้กำหนดตำแหน่งได้มีอยู่แล้วในห้องทดลองซึ่งสามารถนำมาใช้ได้เลย รวมทั้งตัวควบคุมการทำงานซึ่งเลือกใช้เครื่อง PLC ก็มีอยู่แล้วด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกระบอกสูบที่นำมาใช้นั้น ได้ใช้กระบอกสูบไร้ก้าน(rodless)ซึ่งมีความยาว 33 นิ้ว ซึ่งทำงานโดยการป้อนลมเข้าที่ปลายทั้ง 2 ด้านเพื่อให้ตัวเลื่อนเคลื่อนที่ไปทางซ้ายหรือทางขวา โดยที่แผ่นฐานจะทำการยึดติดเข้ากับตัวเลื่อนของกระบอกสูบไร้ก้านนี้

เมื่อพิจารณาจำนวนห้อง4ห้องและขั้นตอนในแต่ละห้องจะเห็นได้ว่าเราสามารถรวมขั้นตอนที่❶และขั้นตอนที่❹เข้าด้วยกันได้ จากการออกแบบขั้นตอนการทำงานใหม่โดยให้มีลักษณะการเคลื่อนที่แบบเข้า-ออกที่จุดเดียวกัน โดยที่จุดเริ่มต้นการทำงานและจุดที่การทำงานสิ้นสุดคือขั้นตอนที่ ❶และขั้นตอนที่ ❹ จะอยู่ที่จุดเดียวกันหรือห้องเดียวกันนั่นเอง คือห้องเริ่มต้นการทำงาน ซึ่งจะได้โครงสร้าง การเคลื่อนที่และการทำงาน ดังรูป



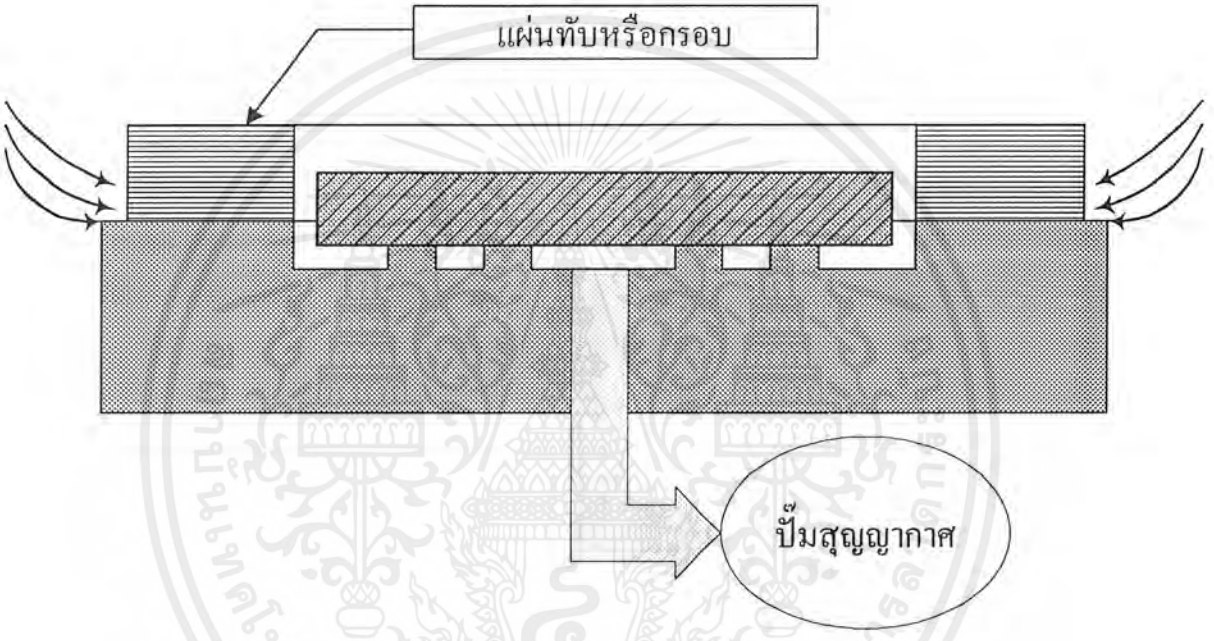
รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะการทำงานและการเคลื่อนที่ (ปรับปรุงแล้ว)

ห้องที่1 จะทำงานในขั้นตอนที่ ❶ และ ❹
ห้องที่2 จะทำงานในขั้นตอนที่ ❸
ห้องที่3 จะทำงานในขั้นตอนที่ ❷

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นได้ว่าลำดับการเคลื่อนที่ของแผ่นทองแดงเป็นดังรูปศรข้างล่าง ซึ่งจะทำให้เมื่อเริ่มการทำงานแผ่นทองแดงจะเคลื่อนที่เข้าไปในห้องในสุดก็คือห้องที่3 และจะเคลื่อนที่ออกมายังห้องที่1 ซึ่งเป็นห้องเริ่มต้นเมื่อจบการทำงานตามขั้นตอน

และจากการทดลองที่ได้ทำมาในภาคการศึกษาที่1 ได้พบว่าการที่จะทำการปั๊มสุญญากาศให้ได้ผลที่ดี คือมีลมรั่วเข้ามาน้อยที่สุดจำเป็นต้องมีการใช้แผ่นทับเป็นกรอบ(frame) เพื่อกั้นมิให้ลมหรือบรรยากาศภายนอกเล็ดลอดเข้ามาระหว่างแผ่นทองแดงกับแผ่นใสได้



รูปที่ 3.11 แสดงการเพิ่มแผ่นทับหรือแผ่นกรอบ

ดังนั้นในห้องที่ 2 จึงได้มีการเพิ่มขั้นตอนที่ใช้ในการนำแผ่นทับวางทับลงไปบนแผ่นฐานและนำแผ่นทับออกจากแผ่นฐาน โดยจะใช้กระบอกสูบธรรมดา 2 ตัว วางในแนวแกนตั้งฉากกับพื้นเพื่อทำหน้าที่ในการยกแผ่นทับขึ้น-ลงจากแผ่นฐาน

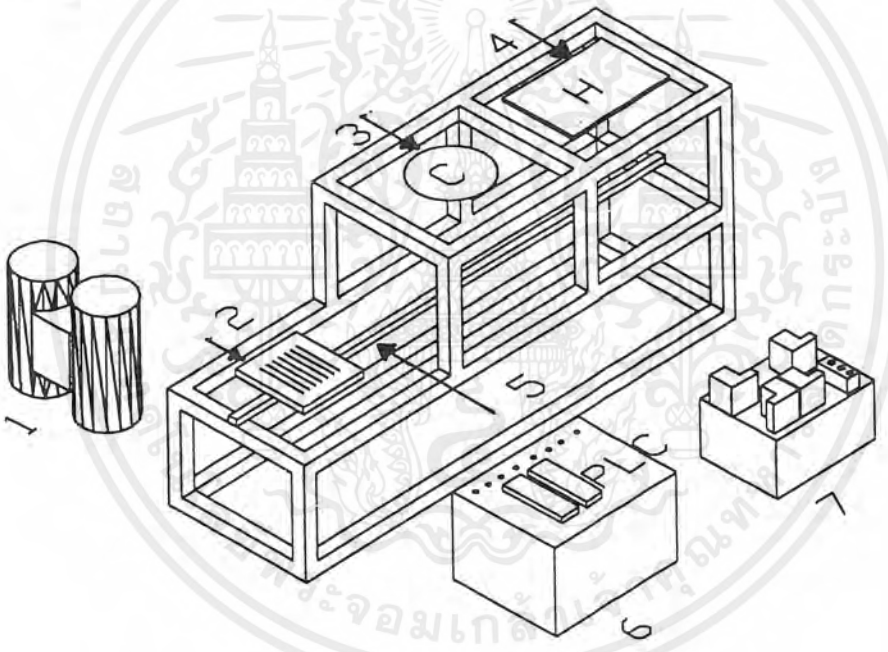
เมื่อพิจารณาถึงการให้ความร้อนของอินฟาเรดฮีทเตอร์ จะพบว่าแผ่นฐานที่ทำจากอลูมิเนียมจะได้รับความร้อนในปริมาณที่สูงมากพอที่จะทำอันตรายแก่กระบอกสูบไร้ก้านในส่วนที่ทำการยึดติดกับแผ่นฐาน เพราะฉะนั้นเพื่อป้องกันการเสียหายของกระบอกสูบไร้ก้านที่อาจเกิดขึ้นได้ จึงได้ทำการติดตั้งฉนวนความร้อนเข้าไประหว่างแผ่นฐานกับตัวเลื่อนของกระบอกสูบไร้ก้าน โดยฉนวนความร้อนที่นำมาใช้ได้คือ แผ่นใยหิน (asbestos) หรือแผ่นใยแก้วเซรามิกก็ได้ ซึ่งในที่นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้เลือกใช้แผ่นใยแก้วเซรามิก เนื่องจากสามารถทนความร้อนได้สูงและมีขนาดบางสามารถติดตั้งได้ง่าย

ในส่วนของการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมดให้ทำงานสัมพันธ์กันตามลำดับการทำงานก็จะใช้เครื่อง PLC ในการควบคุม รวมทั้งในการกำหนดตำแหน่งการทำงานในแต่ละจุดแต่ละห้องจำเป็นต้องมีการกำหนดตำแหน่งที่แน่นอน โดยที่อุปกรณ์ที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งก็จะเป็นลิมิตสวิตซ์แบบเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (magnetic switch) ซึ่งจะส่งสัญญาณทางไฟฟ้าให้แก่เครื่องควบคุม PLC เพื่อนำไปควบคุมการทำงานของวาล์วนิวแมติกส์ที่จะทำให้กระบอกสูบเคลื่อนที่ไปได้ตามลำดับการทำงานที่ได้ออกแบบการทำงานไว้

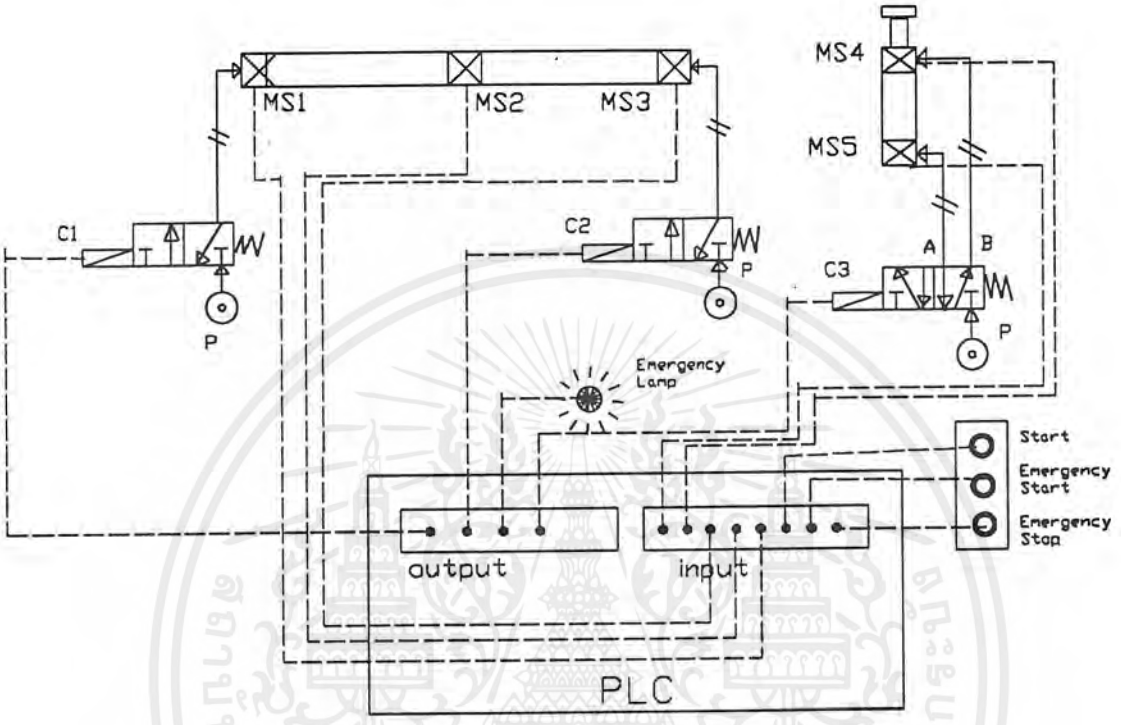
จากนั้นทำการออกแบบโครงสร้างทั้งหมดของเครื่องและลักษณะการติดตั้งของอุปกรณ์ทั้งหมด ได้ดังรูป



1. เครื่องปั๊มสุญญากาศ
2. แผ่นฐานยึดติดกับส่วนเคลื่อนที่
3. เครื่องเป่าลม
4. อินฟาเรดฮีทเตอร์
5. กระบอกสูบไร้ก้าน
6. เครื่องควบคุม PLC
7. วาล์วนิวแมติกส์ ประกอบด้วย วาล์ว 3/2 2ตัว และวาล์ว 5/2 1 ตัว

รูปที่ 3.12 แสดงโครงสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงการติดตั้งของอุปกรณ์ควบคุม

หมายเหตุ

C1 : วาล์ว 3/2 ที่ทำให้แผ่นเคลื่อนที่ไปทางขวา (⇨)

C2 : วาล์ว 3/2 ที่ทำให้แผ่นเคลื่อนที่ไปทางซ้าย (⇦)

C3 : วาล์ว 5/2 ที่ทำให้กระบอกสูบเคลื่อนที่ขึ้น-ลง (⇳)

O1 : O/P1 อินฟาเรดฮีทเตอร์

O2 : O/P2 Blower หรือ อุปกรณ์ทำความเย็น

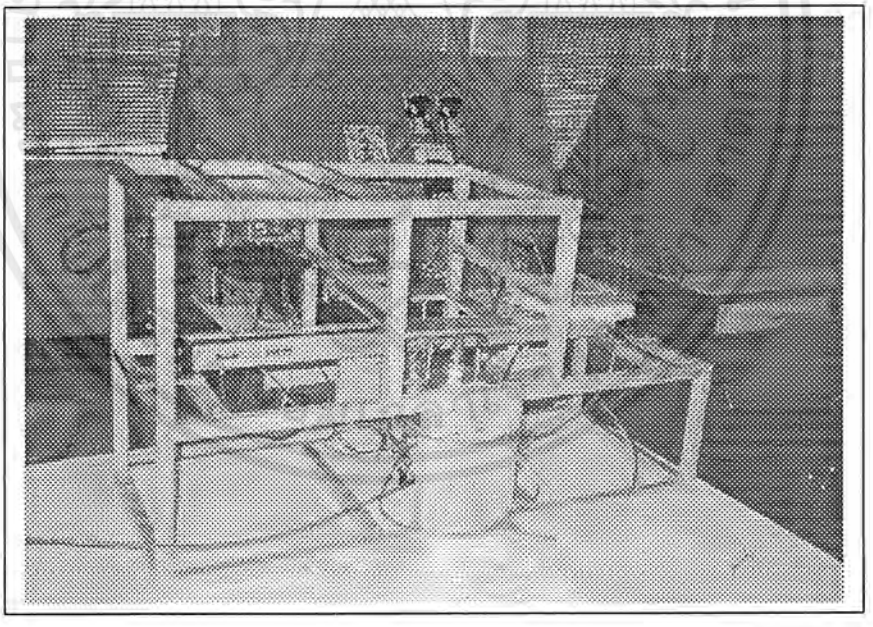
O3 : O/P3 ปั๊มสุญญากาศ

MS-1 to MS-5 : Magnetic Switch ทำหน้าที่ตรวจจับตำแหน่งและส่งสัญญาณ ไฟฟ้าไปให้กับเครื่อง PLC โดยมีตำแหน่งที่ติดตั้งดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

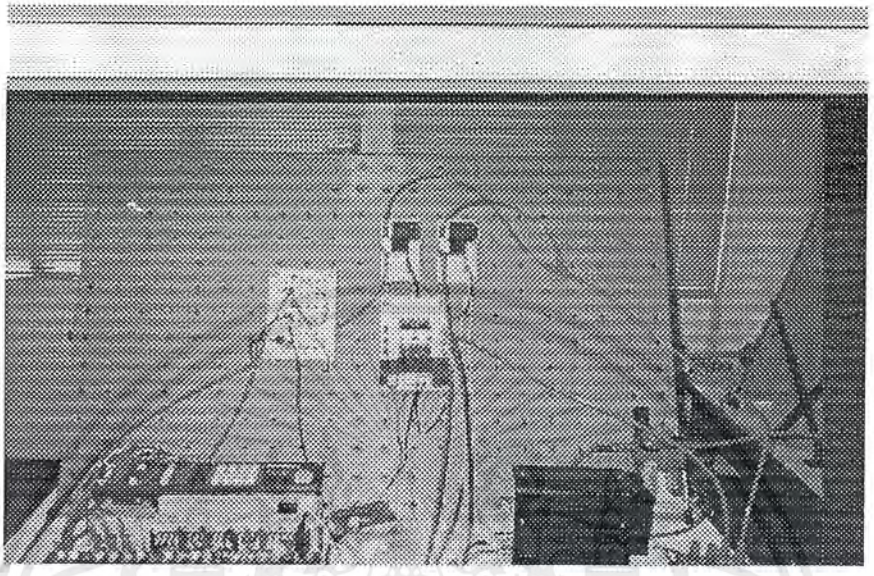
3.3 วัสดุ-อุปกรณ์ที่ใช้

1. กระบอกสูบไร้ก้าน (Rodless)
2. เครื่องควบคุม PLC และคอนโซล
3. วาล์วนิวแมติกส์ 3/2 2 ตัว กับ 5/2 1ตัว
4. กระบอกสูบ
5. ลิมิตสวิตซ์แบบเหนี่ยวนำด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า 6 ตัว
6. โครงอลูมิเนียม
7. อินฟาเรดฮีทเตอร์
8. ปั๊มลมสุญญากาศ
9. แผ่นอลูมิเนียมที่ใช้เป็นฐาน และแผ่นที่ใช้เป็นแผ่นทับ
10. แผ่นฉนวนความร้อน
11. สายไฟ,สายลม



รูปที่ 3.14 เครื่องสร้างลายลงบนแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.15 ส่วนของอุปกรณ์ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4
การทดลอง

4.1 วิธีการใช้งาน

1. นำแผ่นทองแดงตามขนาดที่ต้องการแต่ต้องไม่เกิน 4″×4″ วางลงบนแผ่นฐานที่ทำจากแผ่นอลูมิเนียม แล้วนำแผ่นใสที่มีลายวงจรที่ต้องการ กด Switch Start เพื่อเริ่มต้นการทำงาน

2. แผ่นฐานจะเคลื่อนที่จากห้อง❶ ไปยังห้อง❷แล้วหยุดที่ตำแหน่งที่กำหนดไว้ เพื่อที่จะให้แผ่นทับวางทับลงมา โดยการทำงานของกระบอกสูบแนวตั้งทั้ง 2 ตัว พร้อมทั้งให้ปั๊มสุญญากาศทำงาน

3. เมื่อวางแผ่นทับแล้วแผ่นฐานจะเคลื่อนที่ต่อไปยังห้อง❸เพื่อที่จะทำการให้ความร้อนโดยอินฟาเรดฮีทเตอร์จะทำงานเป็นเวลา10นาที ซึ่งจะจับเวลาโดยใช้ TIMER ที่มีอยู่ภายในตัวเครื่อง PLC

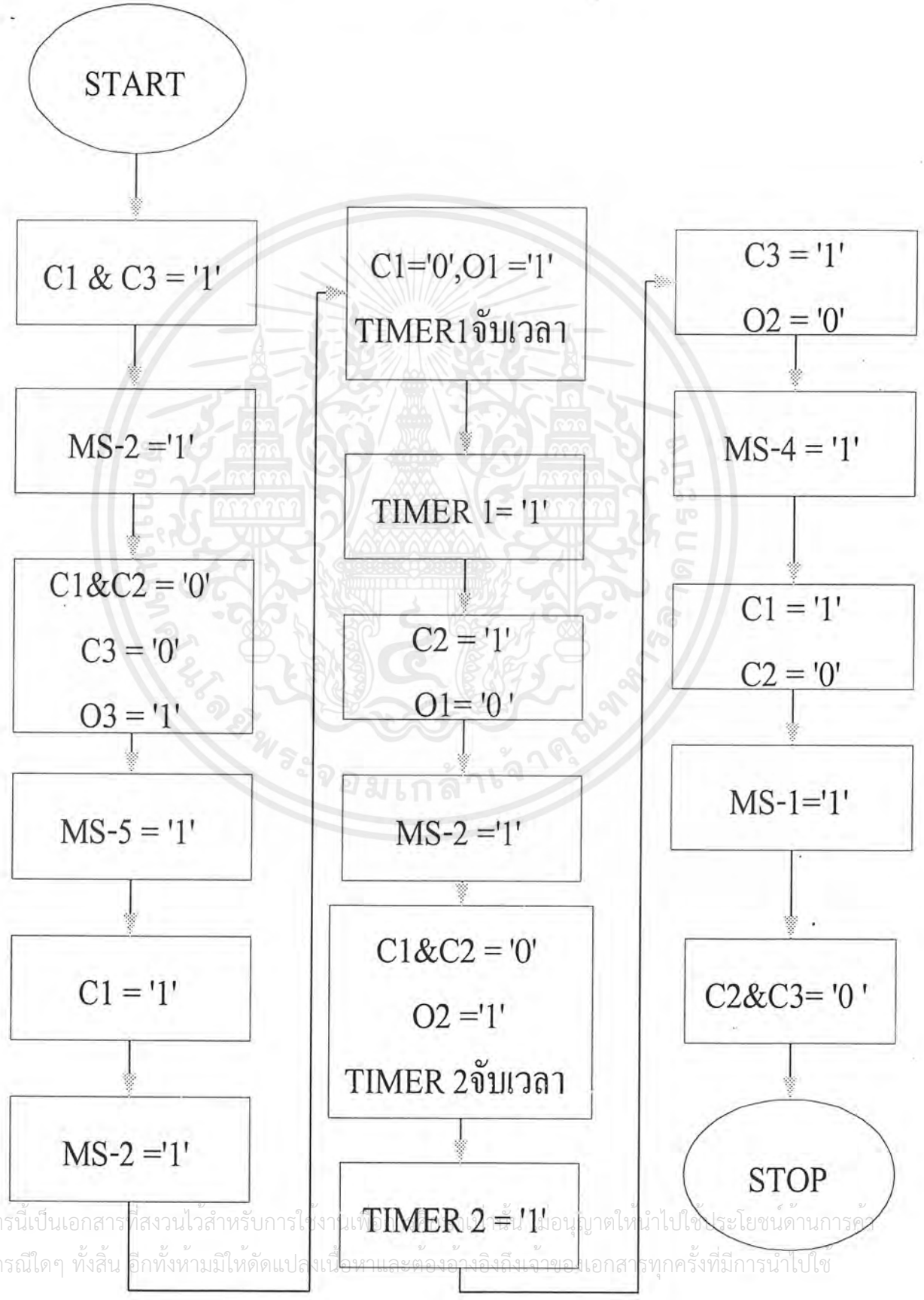
4. เมื่อครบ10นาที แผ่นฐานจะเคลื่อนที่กลับมายังห้อง❷ เพื่อที่จะทำการดึงความร้อนออก ซึ่งจะใช้ TIMER จับเวลา 2-3 นาที จากนั้นกระบอกสูบที่ห้อง❷ ก็จะทำการยกแผ่นทับขึ้น

5. แผ่นฐานจะเคลื่อนที่กลับมายังห้อง❶ และเป็นการจบการทำงาน ทำการลอกแผ่นใสออกจากแผ่นทองแดง จะได้ลายวงจรที่พร้อมสำหรับนำไปกัดด้วยกรด เพื่อให้ได้ลายทองแดงตามวงจรที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

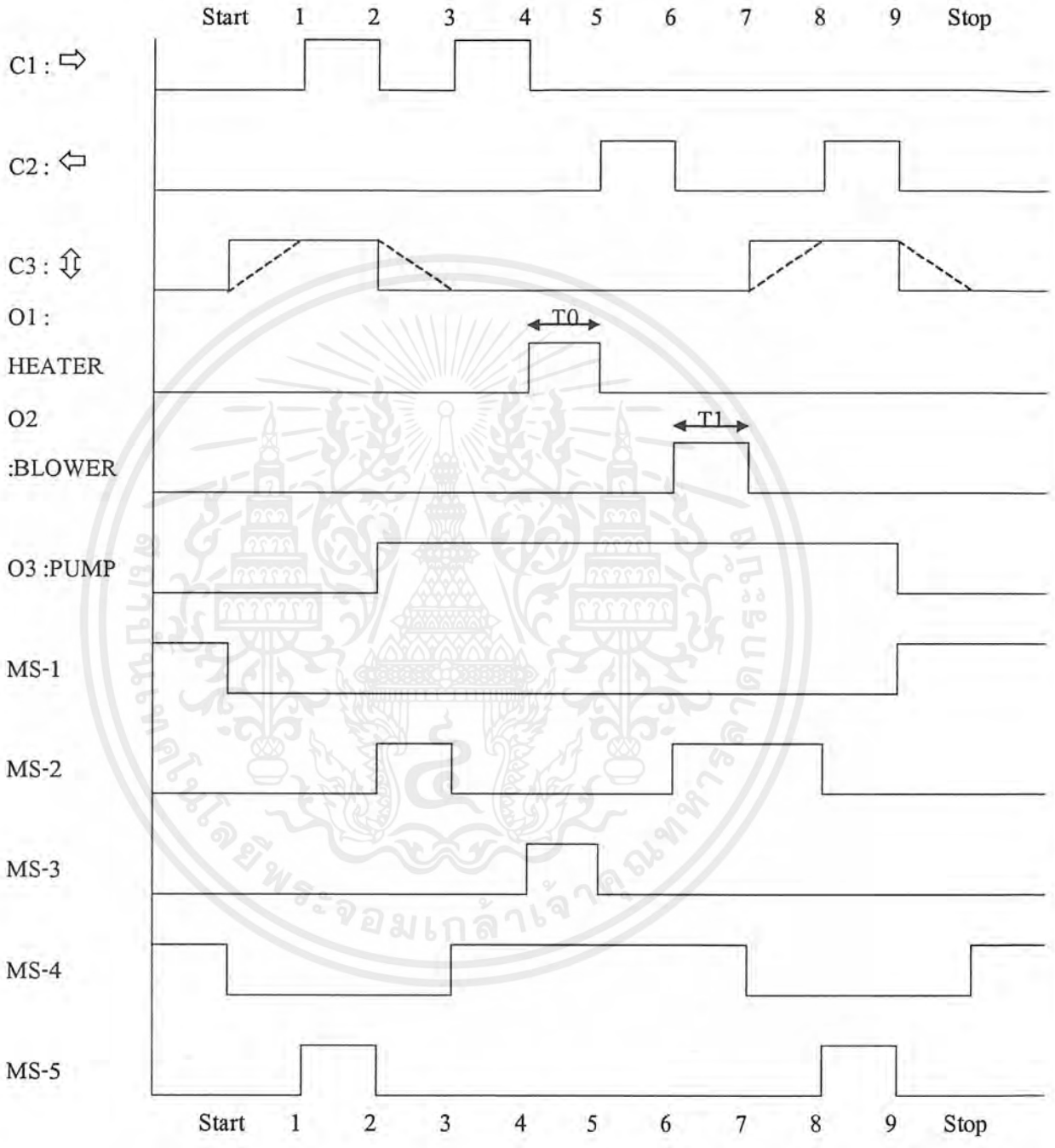
4.2 ลำดับขั้นตอนการทำงาน

4.2.1 Flow Chart แสดงการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช

4.2.2 ไทมมิ่งไดอะแกรม (Timing Diagram)



------ แสดงการทำงานของกระบอกสูบ

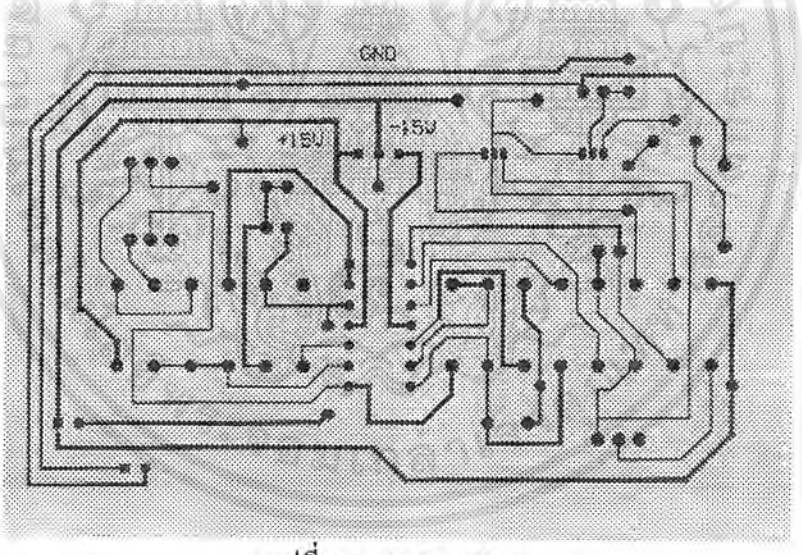
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วิธีทดลอง

ทำการทดลองโดยทดลองเปลี่ยนปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการติดที่สมบูรณ์ของลายวงจร โดยปัจจัยที่นำมาพิจารณาก็คือ

- ระยะห่างระหว่างตัวอินฟาเรดฮีทเตอร์กับแผ่นทองแดง
- เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน
- ความดันที่ใช้ในการปั๊มสุญญากาศ
- วิธีที่ใช้ในการดึงความร้อนออก

เมื่อเตรียมแผ่นใสและแผ่นทองแดงเรียบร้อยแล้ว นำแผ่นทองแดงวางลงบนแผ่นฐาน จากนั้นนำแผ่นใสที่มีลายวงจรตามที่ต้องการวางทับลงไปบนแผ่นทองแดง โดยจัดว่างตำแหน่งให้ลายของวงจรอยู่ในแผ่นทองแดง แล้วจึงเปิดสวิตซ์เครื่องเริ่มการทำงาน เมื่อเครื่องทำงานเสร็จแล้วจึงตรวจสอบการติดของลายวงจร บันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 4.1 แบบลายวงจร

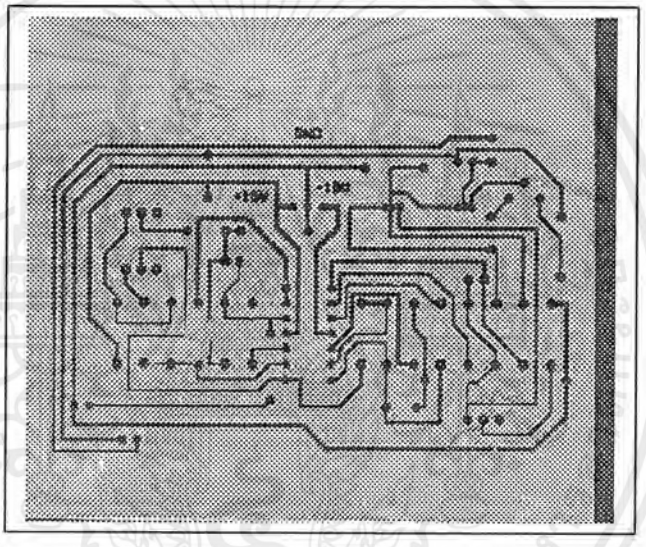
หมายเหตุ

ความดันที่ใช้ในการทำสุญญากาศนั้นไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้เนื่องจากเครื่องปั๊มสุญญากาศที่นำมาใช้ในการทดลองไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้ อีกทั้งวิธีการดึงความร้อนที่ใช้ในการทดลองก็เป็นการดึงความร้อนโดยใช้น้ำ

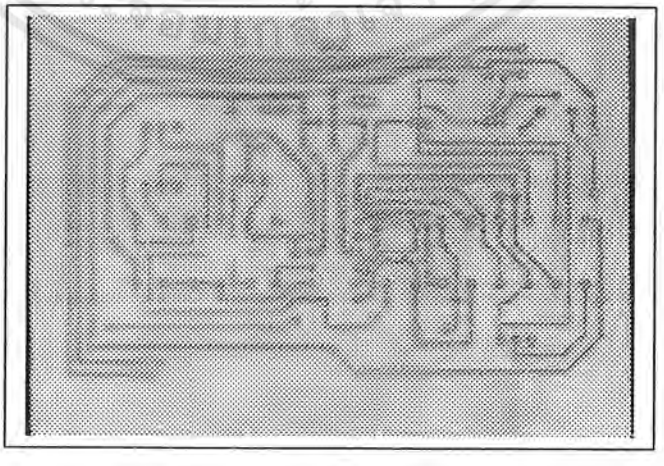
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดลอง

การทดลอง		หมายเหตุ
ระยะห่าง (เซนติเมตร)	6	
เวลาที่ใช้ (นาที)	12	
ผลการทดลอง	ค่อนข้างดี	มีการขาดเล็กน้อย



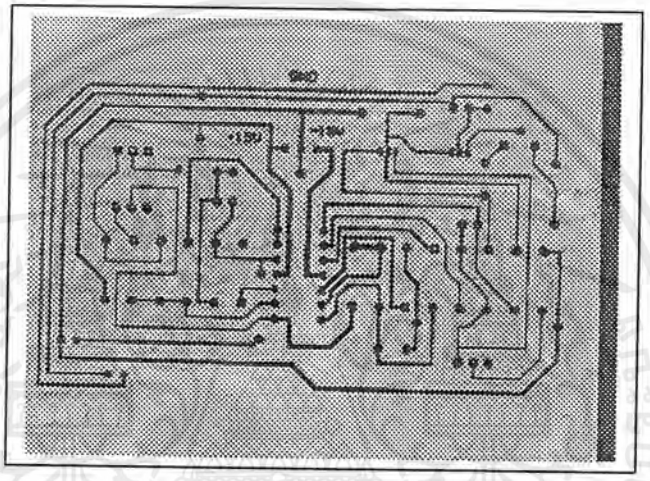
รูปที่ 4.2 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด)



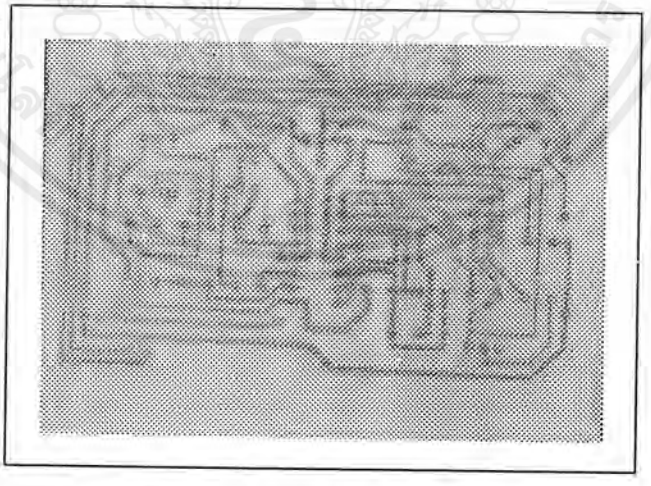
รูปที่ 4.3 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง		หมายเหตุ
ระยะห่าง (เซนติเมตร)	6	
เวลาที่ใช้ (นาที)	15	
ผลการทดลอง	ค่อนข้างดี	มีการขาดเล็กน้อย



รูปที่ 4.4 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด)

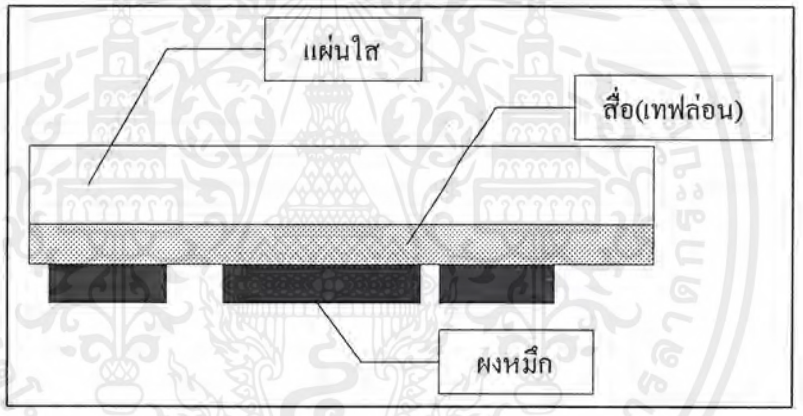


รูปที่ 4.5 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาที่พบจากการทดลองก็คือ การติดของลายวงจรไม่สมบูรณ์ ซึ่งเกิดจากการที่เมื่อให้ความร้อนแก่ผงหมึกเกิดการเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวแล้ว แต่เมื่อทำการดึงความร้อนออกเพื่อให้เย็นตัวลง ผงหมึกบางส่วนจะกลับไปติดยังแผ่นใสมิได้ติดลงบนแผ่นทองแดง เนื่องมาจากการที่แรงตึงผิวของผงหมึกต่อแผ่นใสมีมากกว่าแผ่นทองแดง โดยเฉพาะบริเวณที่มีผงหมึกอยู่รวมกันหรือเกาะกันอยู่เป็นพื้นที่มากจะทำให้การติดไม่สมบูรณ์

เมื่อค้นพบสาเหตุแล้วจึงทำการแก้ปัญหาโดยการเพิ่มสื่อ (media) เข้าไประหว่างแผ่นใสกับผงหมึกที่ได้จากเครื่องเลเซอร์ปริ๊นเตอร์หรือเครื่องถ่ายเอกสาร โดยสื่อนี้จะทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวระหว่างผงหมึกกับแผ่นใส เมื่อผงหมึกเปลี่ยนสถานะกลับมาจากของเหลวก็จะทำให้ผงหมึกไม่กลับไปติดยังแผ่นใสอีก



รูปที่ 4.6 แสดงการเพิ่มสื่อเข้าไประหว่างแผ่นใสกับผงหมึก

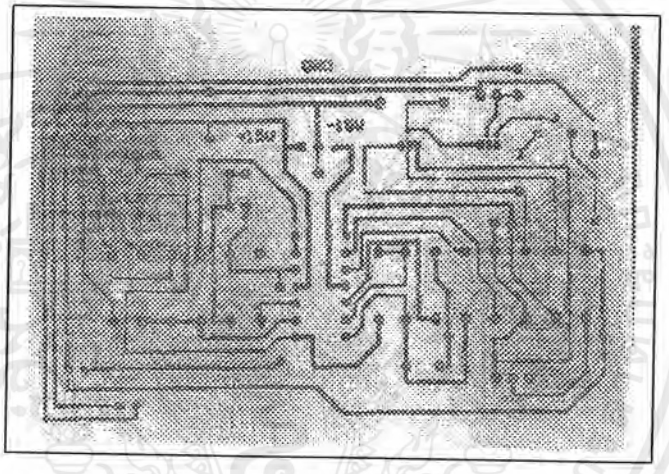
โดยสื่อที่นำมาใช้นี้เป็นสารเคมีประเภทหล่อลื่น เช่น เทฟล่อน (Teflon) หรือซิลิโคน (silicone) ซึ่งจะทนความร้อนได้สูงและมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นดีจึงช่วยลดแรงตึงผิวได้ ในการทดลองนี้ได้ใช้จารบีหล่อลื่นอเนกประสงค์ที่มีส่วนผสมของเทฟล่อน

ในการเตรียมแผ่นใสนั้นก็ได้เพิ่มขั้นตอนขึ้นมาอีกโดยที่ทำการเคลือบผิวของแผ่นใสบางๆ (laminating)ด้วยเทฟล่อน หลังจากนั้นจึงค่อยนำไปเข้าเครื่องเลเซอร์ปริ๊นเตอร์หรือเครื่องถ่ายเอกสาร แล้วจึงนำไปทำการทดลองอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

การทดลอง		หมายเหตุ
ระยะห่าง (เซนติเมตร)	6	
เวลาที่ใช้ (นาที)	12	
ผลการทดลอง	ดี	



รูปที่ 4.7 ลายวงจรที่ได้จากแผ่นใสที่เคลือบด้วยเทฟล่อน

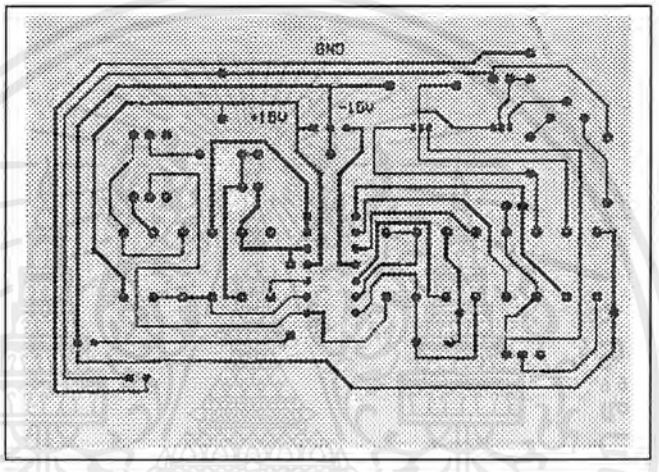
จากผลการทดลองเมื่อได้มีการนำสื่อ(เทฟล่อน)มาใช้ในการเตรียมแผ่นใสก่อนที่จะนำไปเข้าเครื่องเลเซอร์ปริ๊นเตอร์หรือเครื่องถ่ายเอกสารแล้ว ผลที่ปรากฏจะออกมาดีกว่าผลการทดลองก่อนหน้านี้ คือจะมีการติดที่สมบูรณ์ขึ้น อีกทั้งการลอกแผ่นใสจะสามารถทำได้ง่ายขึ้นเสมือนไม่มีแรงต้านหรือแรงดึงของผงหมึกกับแผ่นใส แผ่นใสจะหลุดลอกออกจากแผ่นทองแดงได้ง่ายเมื่อทำการดึงความร้อนออก(นำไปแช่ในน้ำ)

จากนั้นลองทำการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันถึงผลที่ได้และทำการทดลองโดยลองเปลี่ยนปัจจัยต่างๆเช่นระยะห่าง เวลาที่ใช้ เป็นต้น

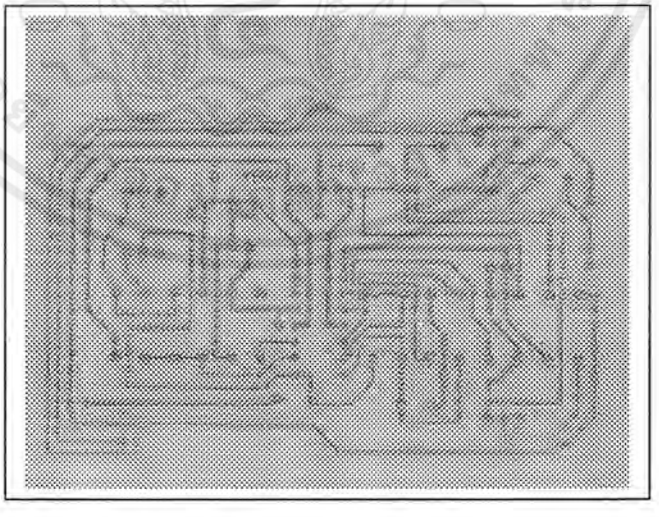
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

การทดลอง		หมายเหตุ
ระยะห่าง (เซนติเมตร)	5	
เวลาที่ใช้ (นาที)	10	
ผลการทดลอง	ดี	มีการขาดเล็กน้อย



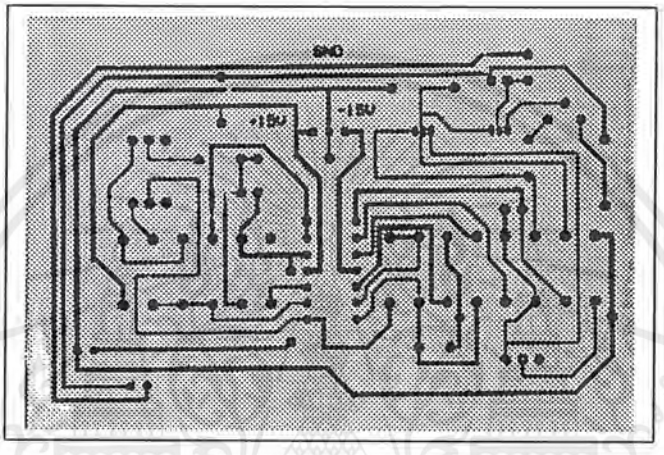
รูปที่ 4.8 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด)



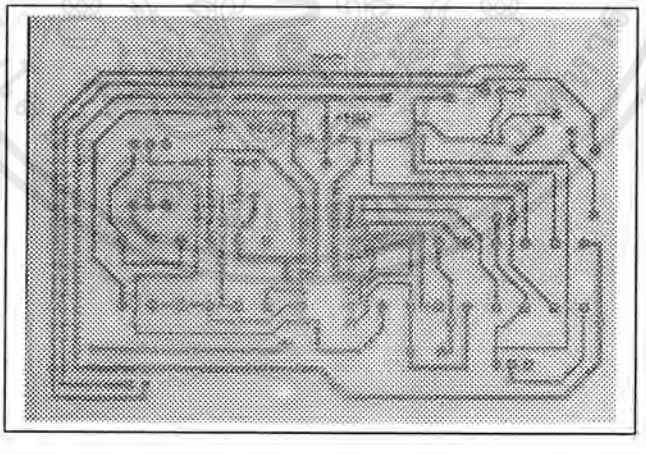
รูปที่ 4.9 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง		หมายเหตุ
ระยะห่าง (เซนติเมตร)	6	
เวลาที่ใช้ (นาที)	10	
ผลการทดลอง	ดี	มีการขาดเล็กน้อย



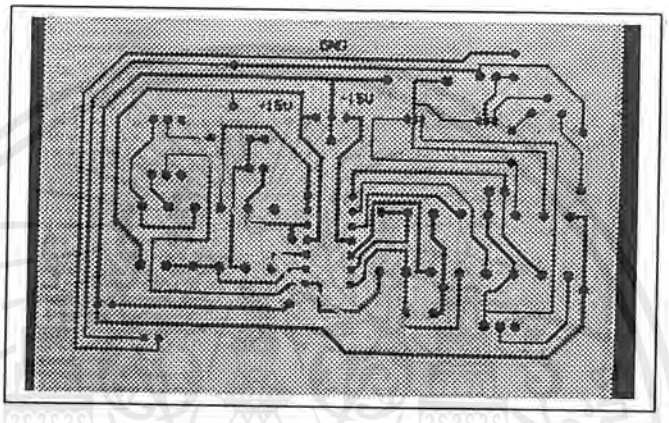
รูปที่ 4.10 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด)



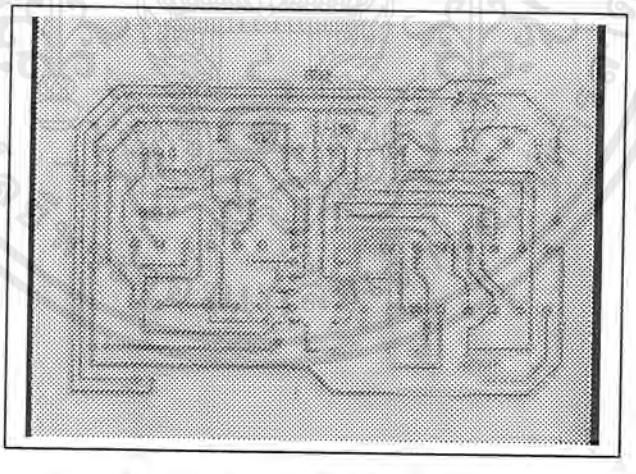
รูปที่ 4.11 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง		หมายเหตุ
ระยะห่าง (เซนติเมตร)	7	
เวลาที่ใช้ (นาที)	10	
ผลการทดลอง	ไม่ดี	มีการขาดเกิดขึ้นทั่วๆแผ่น



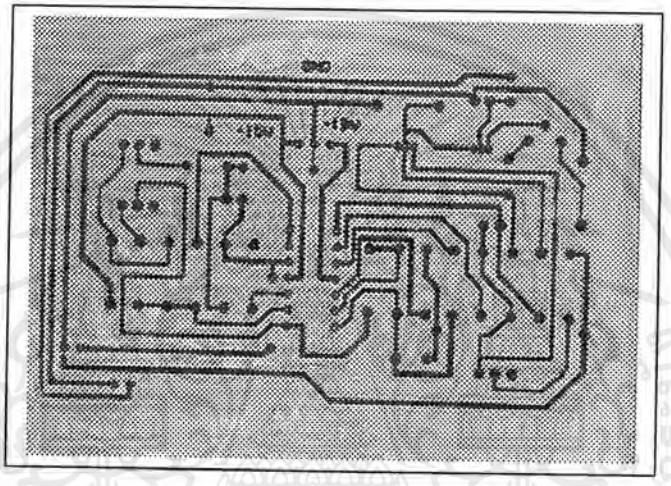
รูปที่ 4.12 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด)



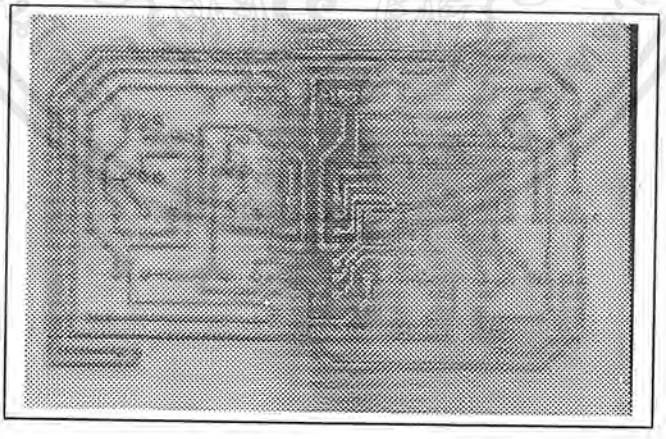
รูปที่ 4.13 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง		หมายเหตุ
ระยะห่าง (เซนติเมตร)	5	
เวลาที่ใช้ (นาที)	12	
ผลการทดลอง	ดี	มีการขาดและรอยไหม้เล็กน้อย



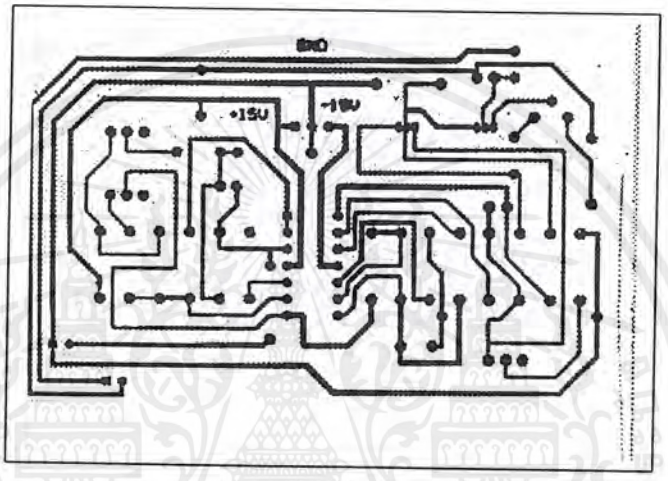
รูปที่ 4.14 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด)



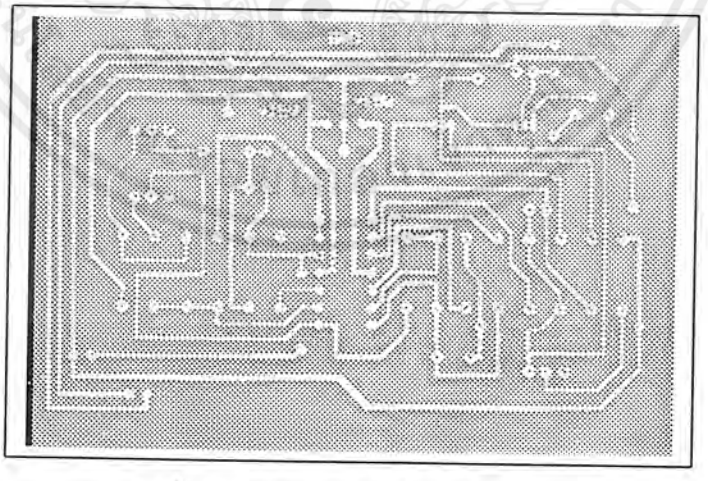
รูปที่ 4.15 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง		หมายเหตุ
ระยะห่าง (เซนติเมตร)	6	
เวลาที่ใช้ (นาที)	12	
ผลการทดลอง	สมบูรณ์	



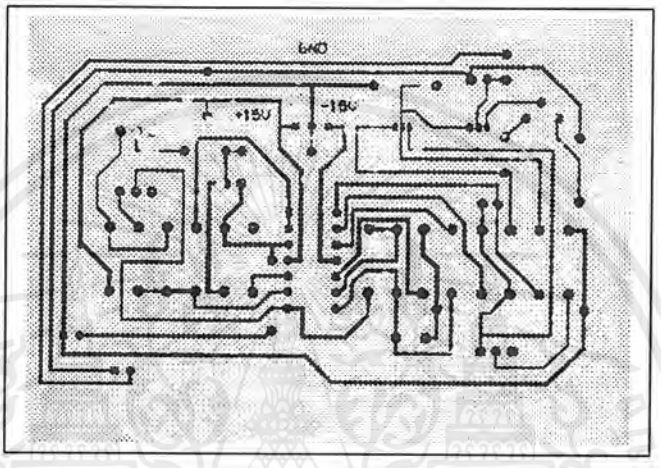
รูปที่ 4.16 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด)



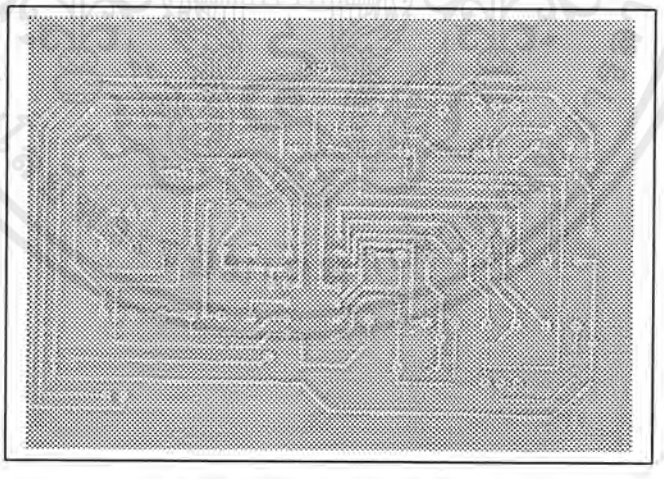
รูปที่ 4.17 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง		หมายเหตุ
ระยะห่าง (เซนติเมตร)	7	
เวลาที่ใช้ (นาที)	12	
ผลการทดลอง	ไม่ดี	มีการขาดเกิดขึ้นทั่วๆแผ่น



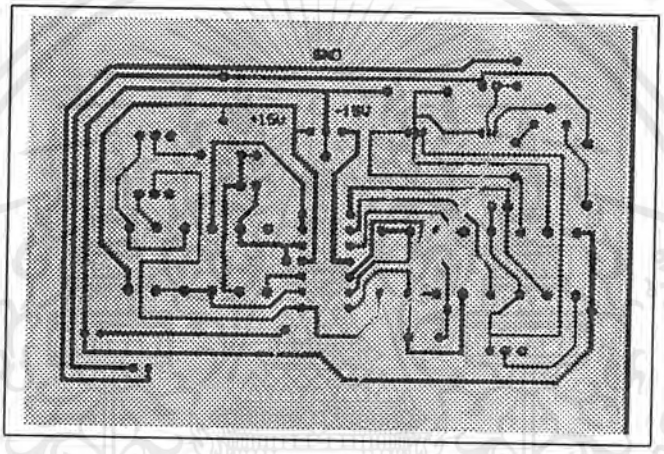
รูปที่ 4.18 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด)



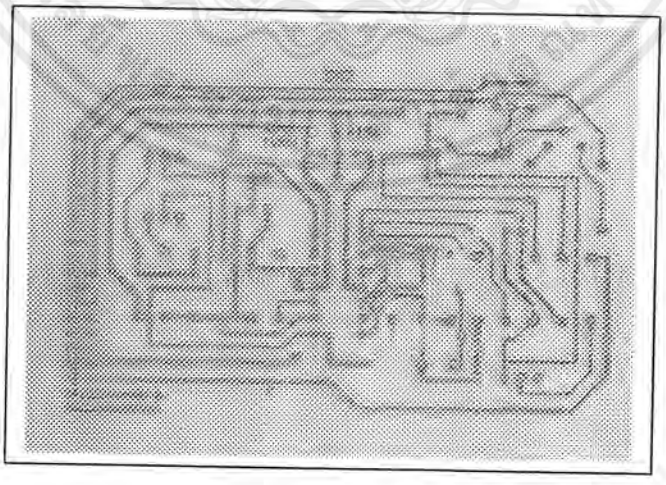
รูปที่ 4.19 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง		หมายเหตุ
ระยะห่าง (เซนติเมตร)	5	
เวลาที่ใช้ (นาที)	14	
ผลการทดลอง	ดี	มีการไหม้เกิดขึ้นเล็กน้อยและแผ่นเกิดการงอเนื่องจากความร้อน ส่วนแนวที่ไม่ติดเกิดเนื่องจากมีสิ่งสกปรกติดอยู่ระหว่างการให้ความร้อน



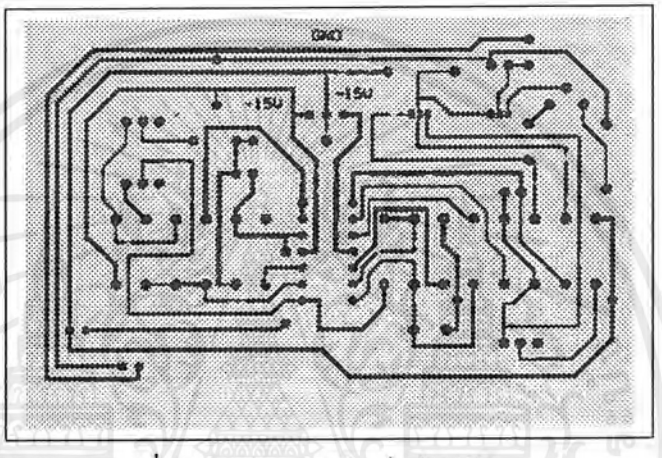
รูปที่ 4.20 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด)



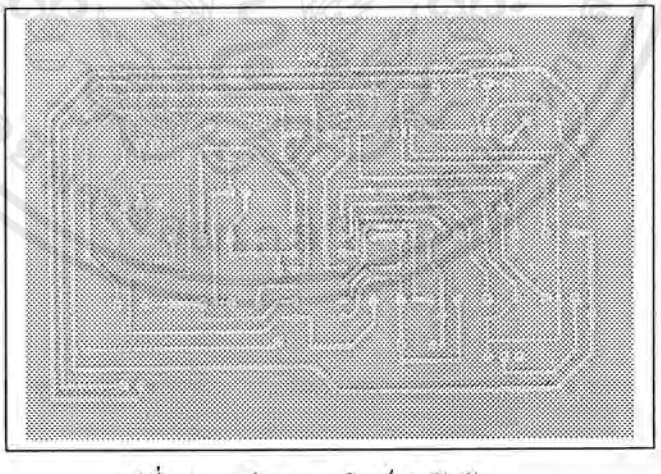
รูปที่ 4.21 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง		หมายเหตุ
ระยะห่าง (เซนติเมตร)	6	
เวลาที่ใช้ (นาที)	14	
ผลการทดลอง	ดี	มีการขาดเล็กน้อย



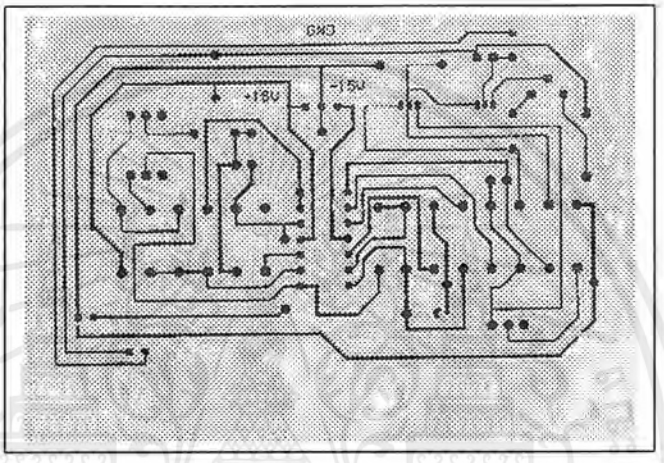
รูปที่ 4.22 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด)



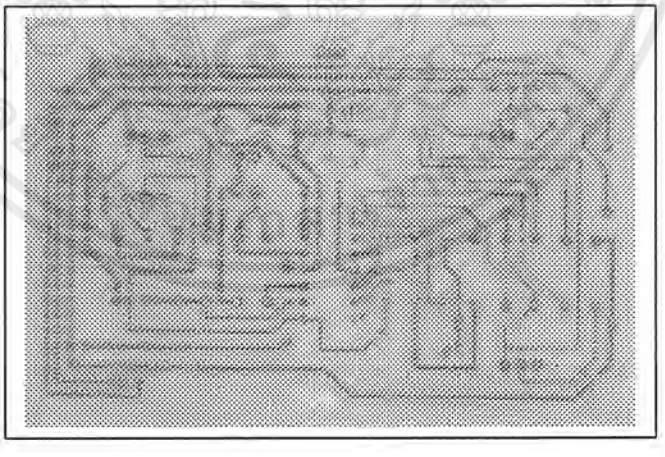
รูปที่ 4.23 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง		หมายเหตุ
ระยะห่าง (เซนติเมตร)	7	
เวลาที่ใช้ (นาที)	14	
ผลการทดลอง	ดี	มีการขาดเล็กน้อย



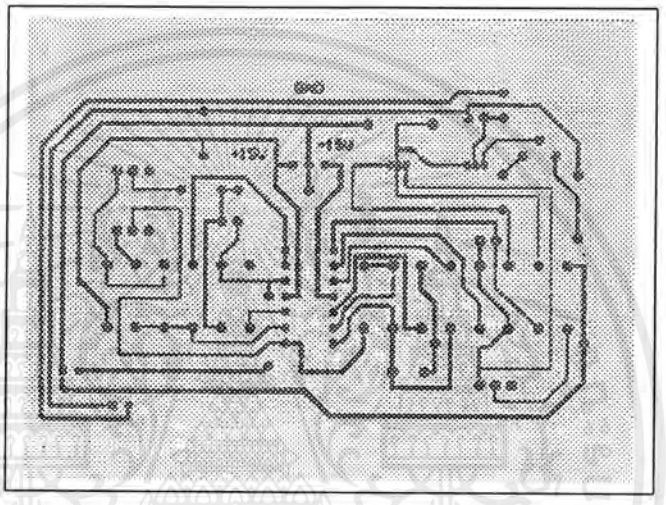
รูปที่ 4.24 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด)



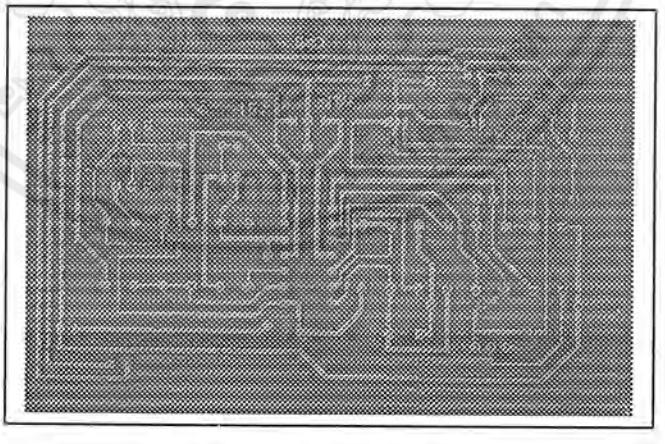
รูปที่ 4.25 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง		หมายเหตุ
ระยะห่าง (เซนติเมตร)	6	
เวลาที่ใช้ (นาที)	12	
ผลการทดลอง	สมบูรณ์	



รูปที่ 4.26 แผ่นวงจรพิมพ์ (ก่อนกัด)



รูปที่ 4.27 แผ่นวงจรพิมพ์ (หลังกัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5
บทสรุปและแนวทางในการพัฒนาต่อ

5.1 บทสรุปและวิจารณ์

ในภาคการศึกษาที่2นี้ ได้ทำการศึกษาออกแบบสร้างเครื่องที่ใช้ในการลอกลายวงจรลงบนแผ่นทองแดง โดยได้นำขั้นตอนและวิธีการที่ได้จากการศึกษาและทดลองในภาคการศึกษาที่1 มาใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบสร้าง และได้ดำเนินการสร้างตามขั้นตอนการออกแบบ เมื่อประกอบสร้างเสร็จแล้วทำการทดลองได้ผลดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถและข้อจำกัดของเครื่อง

ข้อดีของการสร้างลายลงบนแผ่นวงจรพิมพ์โดยใช้เครื่องสร้างลายวงจรนี้คือ ค่าใช้จ่ายในการทำแผ่นวงจรพิมพ์ต่ำ ใช้เวลาน้อย สามารถทำได้ง่ายโดยไม่มีขั้นตอนที่ยุ่งยากซับซ้อน อีกทั้งยังสามารถทำแผ่นวงจรพิมพ์ที่เหมือนๆกันออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย ซึ่งถ้าเป็นการทำด้วยมือนั้นถือว่าเป็นเรื่องที่ยากมาก ในส่วนของการเตรียมแผ่นใสที่มีลายวงจรที่ต้องการนั้นสามารถใช้ได้ทั้งที่ได้จากเครื่องถ่ายเอกสารหรือเครื่องเลเซอร์ปริ๊นเตอร์ซึ่งสามารถจัดหาได้ง่ายและสะดวกเป็นอย่างยิ่ง

จากผลการทดลองที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าระยะห่างระหว่างแผ่นทองแดงกับตัวอินฟาเรดฮีทเตอร์ที่เหมาะสมนั้นควรเป็นระยะห่าง 6 ซม. และระยะเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนนั้นจะใช้ระยะเวลา 12 นาที เนื่องจากถ้าใช้ระยะเวลามากกว่านี้ก็จะให้ผลเช่นกัน แต่ถ้าให้เกิน 16-17 นาทีขึ้นไปจะทำให้แผ่นเกิดการไหม้ได้ โดยจะเกิดการไหม้ที่ผิวทองแดงและเกิดการงอของแผ่น

ซึ่งการตั้งเวลาสามารถทำได้โดยการตั้งค่าไทม์เมอร์ที่ตัวเครื่อง PLC และในการทดลองพบว่าการใช้สื่อมาช่วยในการลอกลายทำให้การลอกลายลงไปบนแผ่นทองแดงมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น คือมีการติดที่สมบูรณ์ดีขึ้นซึ่งในการทดลองนี้ได้นำเทฟล่อนมาใช้เป็นสื่อตัวที่ว่านี้ และจากการทดลองจะพบว่าผลที่มีต่อการติดที่สมบูรณ์นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังนี้

- ความร้อนที่ใช้ของตัวกำเนิดความร้อน
- ระยะห่างระหว่างตัวกำเนิดความร้อนกับผิวของทองแดง
- การทำความสะอาดผิวของแผ่นทองแดง
- วิธีในการดึงความร้อน
- ฝุ่นหรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆที่อยู่ระหว่างแผ่นใสกับแผ่นทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อจำกัดของโครงงาน

ส่วนข้อจำกัดที่พบก็คือ ไม่สามารถใช้กับลายวงจรที่มีขนาดมากกว่า 4″×4″ ซึ่งข้อจำกัดนี้ก็เกิดจากข้อจำกัดของอินฟาเรดฮีทเตอร์ที่มีพื้นที่ให้ความร้อนเพียง 4″×4″ และในกรณีที่เส้นลายวงจรมีขนาดเล็กจะให้ผลการติดของลายวงจรที่ไม่สมบูรณ์ สำหรับเงื่อนไขสำคัญอีกประการก็คือในขั้นของการเตรียมแผ่น ที่จะต้องใช้แผ่นที่สะอาด มีผิวเรียบ ต้องไม่มีฝุ่นหรือสิ่งแปลกปลอมอยู่ระหว่างแผ่นทองแดงกับแผ่นใสที่มีลายวงจรที่ต้องการ ซึ่งการจะทำให้ลายวงจรมีการติดที่สมบูรณ์ต้องพิจารณาจากเงื่อนไขต่างๆที่ได้กล่าวไปแล้ว

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อ

ในส่วนของการพัฒนาเพิ่มเติมของโครงงานนี้ก็คือ การลดขีดจำกัดด้านขนาดที่จำกัดโดยอาจจะทำการขยายในส่วนของแผ่นฐาน หรือทำแผ่นฐานที่มีหลายขนาด รวมทั้งยังอาจจะต้องเปลี่ยนตัวอินฟาเรดฮีทเตอร์ หรือทำการขยายพื้นที่ให้ความร้อนโดยใช้กระจกที่ทำหน้าที่เฉพาะในการสะท้อนเพื่อขยายพื้นที่หรือจะประกอบชุดอินฟาเรดฮีทเตอร์เพิ่มขึ้นก็ได้ ซึ่งจะทำให้สามารถทำแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีขนาดใหญ่กว่าในขณะนี้ได้

และการพัฒนาในส่วนของขั้นตอนต่อมาของกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ เพื่อให้สามารถทำแผ่นวงจรพิมพ์ที่เสร็จสมบูรณ์ได้ ซึ่งก็คือ ‘ การกัด (Etching)’ และ ‘ การเจาะ (Drill) ‘ ในส่วนของการกัดนั้น เพื่อต้องการให้ระยะเวลาในการกัดแผ่นวงจรพิมพ์สั้นลง สามารถทำได้โดยใช้เครื่องที่ช่วยเขย่าภาชนะที่ใช้บรรจุน้ำยาที่ใช้กัดแผ่นวงจรพิมพ์ในระหว่างที่ทำการกัดแผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งการเขย่านี้จะช่วยให้ผิวทองแดงส่วนที่ต้องการกัดหลุดออกจากแผ่นวงจรพิมพ์ได้เร็วขึ้น ส่วนของการเจาะเห็นว่าควรทำเป็นเครื่องเจาะอัตโนมัติที่สามารถสื่อสาร(interface)ได้โดยตรงกับโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบลายวงจร เช่นPROTEL หรือ OR CAD เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

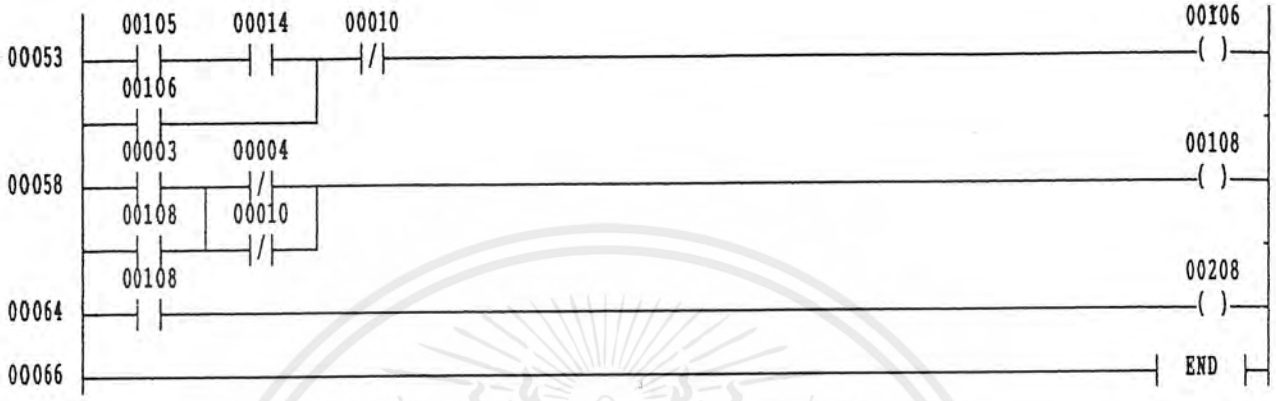
- คู่มือการสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ ; ซีเอ็ดยูเคชั่น , 2539
- ปานเพชร ชินินทร,ขวัญชัย สินทิพย์สมบูรณ์ ; 'นิวแมติกอุตสาหกรรม , ซีเอ็ดยูเคชั่น
- OMRON,'OPERATION MANUAL', SYSMAC CV-series CV500/CV1000/CV2000/CVM1 Programmable Controllers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ladder Diagram (ต่อ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โปรแกรม Mnemonic

Address	Mnemonic	Operand	Comment
00000	LD	00102	d2
00001	OR	00103	d3
00002	AND NOT	00108	d8
00003	OUT	00201	C1
00004	LD	00104	d4
00005	OR	00106	d6
00006	OR	00108	d8
00007	AND NOT	00010	MS1
00008	OUT	00202	C2
00009	LD	00101	d1
00010	OR	00105	d5
00011	AND NOT	00107	d7
00012	OUT	00203	C3
00013	LD	00002	START
00014	OR	00101	d1
00015	AND NOT	00003	EMERGENCY START
00016	AND NOT	00108	d8
00017	OUT	00101	d1
00018	LD	00014	MS5
00019	AND	00101	d1
00020	AND NOT	00108	d8
00021	OUT	00102	d2
00022	LD	00013	MS4
00023	AND	00011	MS2
00024	OR	00103	d3
00025	AND NOT	00109	d9
00026	AND NOT	00010	MS1
00027	OUT	00103	d3
00028	LD	00103	d3
00029	OR	00211	O3
00030	AND NOT	00010	MS1
00031	OUT	00211	O3
00032	LD	00012	MS3
00033	LD	00010	MS1
00034	OR	00108	d8
00035	KEEP	00109	
00036	LD	00012	MS3
00037	TIM	000	
		# 6000	
00038	LD	00012	MS3
00039	OUT	00209	O1
00040	LD	TIM 000	
00041	OR	00104	d4
00042	AND NOT	00011	MS2
00043	OUT	00104	d4
00044	LD	00109	d9
00045	AND	00011	MS2
00046	TIM	001	
		# 0600	
00047	LD	00109	d9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม Mnemonic (ต่อ)

< < <

Address	Mnemonic		Operand	Comment
00048	AND		00011	MS2
00049	AND	NOT	TIM 001	
00050	OUT		00210	O2
00051	LD		TIM 001	
00052	OUT		00105	d5
00053	LD		00105	d5
00054	AND		00014	MS5
00055	OR		00106	d6
00056	AND	NOT	00010	MS1
00057	OUT		00106	d6
00058	LD		00003	EMERGENCY START
00059	OR		00108	d8
00060	LD	NOT	00004	EMERGENCY STOP
00061	OR	NOT	00010	MS1
00062	AND	LD		
00063	OUT		00108	d8
00064	LD		00108	d8
00065	OUT		00208	ERROR LAMP
00066	END			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณแก่บุญคุณของบิดามารดาที่ให้กำเนิดและเลี้ยงดูพวกเรามา อีกทั้งพี่น้องและญาติพี่น้องทั้งหลายที่คอยดูแลและคอยเป็นกำลังใจให้เสมอ ขอขอบพระคุณแก่ครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้การอบรมบ่มนิสัย ให้ความรู้ และคอยดูแลชี้แนะแนวทางต่างๆให้แก่พวกเรา

ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่คอยให้กำลังใจ คอยถามไถ่ห่วงใยความก้าวหน้าอยู่เสมอ ทำให้ทางคณะผู้จัดทำได้แนวทางใหม่ๆและวิธีการใหม่ๆอยู่เสมอ ขอขอบคุณแก่เตารีดของต้นที่ทำให้โครงงานนี้เริ่มต้นขึ้นมาได้ ขอบคุณเจ้าของห้อง 234 และ 407 ที่ให้พักอาศัยในบางคราวที่ต้องอยู่ทำโครงงานในเวลากลางคืน ขอขอบคุณเพื่อนนุ้ยกับเลเซอร์ปริ๊นเตอร์ 4L ที่ทำให้คณะผู้จัดทำประสบความลำบากใจ และขอขอบคุณเพื่อนๆภาคทุกๆคนที่เราไม่เคยทอดทิ้งกันเสมอ

สุดท้ายนี้โครงงานนี้คงจะไม่มีทางสำเร็จหรือเกิดขึ้นได้ถ้าปราศจากซึ่ง อาจารย์ประภาษ อุคคกิมาพันธ์ อาจารย์ได้เสนอแนวคิดต่างๆ ที่นำมาใช้เป็นแนวทางในการคิดของโครงงานนี้ อีกทั้งอาจารย์ยังคอยดูแลการทำงานและทิศทางของงานอยู่เสมอ มิฉะนั้นทางคณะผู้จัดทำก็คงจะออกนอกแนวทางที่ควรไปหลายครั้งหลายคราว ดังนั้นคุณความดีหรือคำยกย่องอันใดที่ได้รับจากโครงงานนี้ ทางคณะผู้จัดทำขอมอบให้แก่ อาจารย์ประภาษ อุคคกิมาพันธ์ เป็นผู้ที่สมควรได้รับคุณความดีเหล่านี้

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้