

การพัฒนากระบวนการสร้างโฟโต้มาส์ก 6 นิ้วสำหรับเทคโนโลยี
การถ่ายย่อแบบลายวงจรรวมระดับต่ำกว่า 1 ไมครอน



นายเดชาชาติ สุนทรประเสริฐ
นายสุรศักดิ์ นีรนพสมบัติ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

ช.น.
๐๕๖๖ ๗
๐๕๔๗

เลขที่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

58670

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยประการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อ่างทอง พ.ศ. ๒๕๔๙

๖.....
๗.....
๘.....

**Fabrication and Development Process of 6-inch Photomask
for Sub-Micrometer ICs Technology**



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ Academic Year 2004. ขออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การพัฒนากระบวนการสร้างโฟโตมาสก์ 6 นิ้วสำหรับเทคโนโลยีการ
ถ่ายย่อแบบลายวงจรรวมระดับต่ำกว่า 1 ไมครอน

นักศึกษา นายเดชชาติ สุนทรประเสริฐ
นายสุรศักดิ์ นีรนาทสมบัติ





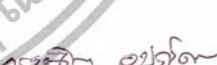
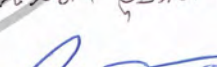
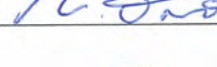
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

คณะ วิทยาศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.จิติ หนูแก้ว

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ภาวัน สยามชัย
นางสาวกรรณิกา อุประโคตร
นายนิธิ อัดถิ

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินการตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.วิษณุ เพชรภา	
คณะกรรมการ รศ.วิชาญ เตชิตธีระ	
คณะกรรมการ ผศ.สาทร่าย คุณิพงษ์	
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.จิติ หนูแก้ว	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ภาวัน สยามชัย	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม นางสาวกรรณิกา อุประโคตร	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม นายนิธิ อัดถิ	



(รศ. วิชาญ เตชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การพัฒนากระบวนการสร้างโฟโตมาสก์ 6 นิ้วสำหรับเทคโนโลยีการถ่ายย่อแบบลายวงจรรวมระดับต่ำกว่า 1 ไมครอน
นักศึกษา	นายเดชชาติ สุนทรประเสริฐ นายสุรศักดิ์ นีรนาทสมบัติ
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
คณะ	วิทยาศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.จิติ หนูแก้ว
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ภาวัน สยามชัย นางสาวกรรณิกา อู่ประโคตร นายนิธิ อัดถิ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาพัฒนาอุปกรณ์และกระบวนการสร้างลายวงจรลงบนแผ่นกระจกต้นแบบขนาด 6 นิ้ว โดยกระบวนการถ่ายแบบลายวงจร (Photolithography) และฉายแสงด้วยเครื่อง Direct Write Laser (DWL) เพื่อสร้างลายวงจรประเภท Test Element Group (TEG) ขนาดเส้นลายที่เล็กที่สุด 4 ไมครอน จำนวน 11 ชั้น จากการทดลองพบว่า สามารถปรับปรุงกระบวนการผลิต ให้เหลือแต่ฝุ่นละอองขนาดเล็กและมีจำนวนน้อยลง จนไม่สามารถก่อให้เกิดจุดบกพร่องที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อลายวงจรได้ สำหรับการถ่ายแบบลายวงจรโดยใช้น้ำยาไวแสงชนิดบวก Shipley S1805 ที่ความหนาชั้นฟิล์ม 0.8 ไมครอน และใช้แสงเลเซอร์ชนิด He-Cd ที่ความยาวคลื่น 442 นาโนเมตร พลังงาน 120 mW/cm^2 นั้น สามารถหาค่าพลังงานที่เหมาะสมสำหรับการสร้างเส้นลายทั้ง 11 ชั้น ให้อยู่ในความคลาดเคลื่อน $\pm 10\%$ ได้ โดยการวิเคราะห์ความกว้างเส้นกับคุณภาพของลายวงจร แต่เมื่อทำการกัดลายโลหะโครเมียม พบว่าขนาดของเส้นลายวงจรในบางชั้น มีความคลาดเคลื่อนเกินกว่าค่าที่กำหนด อันเป็นผลจากการเกิดปรากฏการณ์ Undercut เนื่องจากเวลาในการล้างลายวงจรมากเกินไป โดยลายวงจรที่สร้างนี้จะมีคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งอยู่นอกช่วงที่ยอมรับ อันมีสาเหตุมาจากเครื่องจักร ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบ Turkey จะไม่สามารถชดเชยค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งเมื่อนำแผ่นกระจกต้นแบบนี้ ไปถ่ายย่อแบบด้วยเครื่องถ่ายย่อแบบลายวงจร (Stepper) จะได้ลายวงจรขนาด 0.8 ไมครอน บนแผ่นซิลิกอน (Wafer)

Special Project Title Fabrication and Development Process of 6-inch Photomask for Sub-Micrometer ICs Technology

Name Mr. Detchart Suntonprasead
Mr. Surasuk Neranatsombut

Department Applied Physics

Faculty Science

Special Project Advisor Assoc.Prof.Dr.Jiti Nukeaw

Special Project Co-Advisor Dr. Pavan Siamchai

Miss Kunnika Upracost
Mr.Nithi Atthi

ABSTRACT

In the research to develop a tool and process making Photomask size 6x6 inch by Photolithography process and Exposure by Direct Write Laser machine (DWL) for build in line Test Element Group (TEG) critical size 4 micron quantity 11 layer. When development a tool in the first before starts process. It's can decrees particle and control defect in mask production. In the research use photoresist type positive No. s1805 thickness 0.8 micron inspect and use LASER type He-Cd in 442 nanometer power of source 120 mW/cm^2 . In the research can fine power for write line in the error +/-10 present by inspects line width and position. After that to etch is not can control line width because Undercut effect from process develop. In the position has to error outspets because DWL machine error. But when use Photomask in the Stepper machine can exposure line width 0.8 micron in silicon wafer.

Keyword: Photolithography / Photomask / Photoresis / IC Fabrication

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จิตติ หนูแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญา
นิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษา แก่ไขข้อบกพร่องในด้านต่างๆ และแนะนำด้านการเขียน
ปริญญานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ดร.อิทธิ ฤทธาภรณ์ ผู้อำนวยการศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ให้โอกาสข้าพเจ้าในการปฏิบัติงานที่ศูนย์
เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ดร.ภาวัน สยามชัย นักวิจัย ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำเทคนิคใน
การแก้ไขกับทุกปัญหาที่เกิดขึ้นในการวิจัย ดร.วิชัย บุญคุ้มเกล้า นักวิจัย ที่ให้คำแนะนำสำหรับการ
เขียนลายวงจรด้วยเครื่อง Direct Write Laser นางสาวกรรณิกา อุปโคตร ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับ
การถ่ายย่อแบบลายวงจรด้วยเครื่อง Stepper นาย วิน บรรจงปรุ ที่คอยช่วยเหลือดูแลและให้
คำปรึกษาในการวิจัย นาย นิธิ อัดถิ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำเทคนิคในกระบวนการสร้างกระจก
ต้นแบบ และเป็นผู้ที่คอยดูแลตลอดการวิจัย ให้คำแนะนำในการเขียนรูปเล่มปริญญา
นิพนธ์ ตลอดจนช่วยเหลือในการติดต่อกับอาจารย์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ในการวิเคราะห์ทางสถิติ
รวมถึงบุคคลกรท่านอื่นๆ ของศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ที่ไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ให้
คำแนะนำและช่วยเหลือข้าพเจ้าตลอดมา

ขอขอบพระคุณพี่ๆ ทุกคนที่ห้อง QOS Lab ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำเกี่ยวกับ อุปกรณ์ที่
ใช้ในการวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา - มารดา คุณตา คุณยาย ที่เลี้ยงดูและอบรมสั่งสอน
ข้าพเจ้ามา และบุคคลอื่นๆ ที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้แก่ผู้เขียนจนสำเร็จการศึกษา อาจารย์ที่
เคารพทุกท่านที่อบรมสั่งสอนความรู้ให้แก่ข้าพเจ้ามา รวมถึงเพื่อนๆ นิสิตรุ่นที่ 20 ขอภาควิชา
ฟิสิกส์ประยุกต์ ที่ร่วมฝ่าฟันอุปสรรคและเป็นกำลังใจให้กันตลอดมา

นายเดชชาติ สุนทรประเสริฐ

นายสุรศักดิ์ นีรนาทสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	๗
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๘
กิตติกรรมประกาศ	๙
สารบัญ	๑
สารบัญตาราง	๗
สารบัญรูป	๘
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
2.1 แผ่นกระจกต้นแบบ	5
2.2 น้ำยาไวแสง	7
2.3 สเปกตรัมของแหล่งแสง	9
2.4 วิธีการฉายแสงในกระบวนการถ่ายแบบลายวงจร	9
2.4.1 การฉายแสงโดยตรง	9
2.4.2 การฉายแสงผ่านแผ่นกระจกต้นแบบ	11
2.5 กระบวนการถ่ายแบบลายวงจร	12
2.5.1 การอบชิ้นงานเพื่อเพิ่มการยึดเกาะ	13
2.5.2 การเคลือบชั้นน้ำยาไวแสง	13
2.5.3 การอบแห้ง	14
2.5.4 การฉายแสงเพื่อสร้างลายวงจร	15
2.5.5 การล้างชั้นน้ำยาไวแสง	15
2.5.6 การอบผิวหลังการล้างลาย	16
2.5.7 การกัดลายครีเมียม	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.8 การลอกชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสง	17
2.6 จุดบกพร่องในการสร้างกระจกต้นแบบ	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	19
3.1 การทดสอบฝุ่นละอองในกระบวนการสร้างลายวงจร	19
3.2 การเตรียมชิ้นงาน	21
3.2.1 การเตรียมผิวชิ้นงาน	21
3.2.2 การเคลือบน้ำยาไวแสง	21
3.2.3 การวัดความหนาชั้นน้ำยาไวแสง	22
3.3 การสร้างลาย Fidutial Alignment Mask	23
3.3.1 การหาตำแหน่งบน Stage	23
3.3.2 ทดสอบการเขียนลาย Fidutial Alignment Mask	24
3.3.3 ตรวจสอบลายวงจร	25
3.3.4 การเขียนลาย Fidutial Alignment Mark	25
3.3.5 การกัดชั้นฟิล์มโลหะโครเมียมเพื่อสร้างลายวงจร	26
3.3.6 การตรวจสอบลายวงจร	27
3.4 การสร้างลาย Test Element Group	28
3.5 การถ่ายยอลายวงจรด้วยเครื่อง Stepper	29
3.5.1 การทดสอบถ่ายยอลายวงจร TEG ชั้น POLY	29
3.5.2 การถ่ายยอลายวงจร TEG 11 ชั้น	32
3.5.3 การตรวจจลอบลายวงจร	33
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	28
4.1 การวิเคราะห์ปริมาณและขนาดของฝุ่นละออง	28
4.1.1 การวิเคราะห์หากระบวนการที่ก่อให้เกิดฝุ่นละออง ในการสร้างลายวงจร	28
4.1.2 การวิเคราะห์จำนวนและขนาดของฝุ่นละอองที่เกิดขึ้น ในการสร้างลายวงจร	30
4.2 การวิเคราะห์ความหนาและความสม่ำเสมอชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสง	35
4.3 การวิเคราะห์ลายวงจร TEG (Test Element Group)	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.1 การวิเคราะห์ลายวงจรชั้น N-well	36
4.3.1.2 การวิเคราะห์ลายวงจรชั้น Active	38
4.3.1.3 การวิเคราะห์ลายวงจรชั้น N-field	40
4.3.1.4 การวิเคราะห์ลายวงจรชั้น Poly	41
4.3.1.5 การวิเคราะห์ลายวงจรชั้น N-select	43
4.3.1.6 การวิเคราะห์ลายวงจรชั้น P-select	44
4.3.1.7 การวิเคราะห์ลายวงจรชั้น Contact	45
4.3.1.8 การวิเคราะห์ลายวงจรชั้น Metal-1	47
4.3.1.9 การวิเคราะห์ลายวงจรชั้น Via	48
4.3.1.10 การวิเคราะห์ลายวงจรชั้น Metal-2	50
4.3.1.11 การวิเคราะห์ลายวงจรชั้น Pad	52
4.3.2 การวิเคราะห์ขนาดของลายวงจร TEG หลังการกัดลายวงจร	53
4.4 การวิเคราะห์ตำแหน่งของลายวงจร Test Element Group	56
4.5 การวิเคราะห์จุดบกพร่องที่เกิดขึ้นบนลายวงจรบนแผ่นกระจกต้นแบบ	58
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	61
เอกสารอ้างอิง	62
ภาคผนวก ก. ผุ่่น และจุดบกพร่อง	63
ภาคผนวก ข. ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง	67
ภาคผนวก ค. การสร้าง Job file ของเครื่อง DWL	69
ภาคผนวก ง. การตรวจสอบขนาดและ ตำแหน่งของลายวงจร	74
ภาคผนวก จ. รูปแสดงลายเส้นที่ค่าพลังงานต่างๆ	94
ภาคผนวก ฉ. เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง	117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ขนาดของลายเส้นหลังจากผ่านกระบวนการกัดลายโลหะ	56
ตารางที่ ก1 แสดงผลต่างของจำนวนฝุ่นละอองที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ (ก่อนปรับปรุงกระบวนการ)	64
ตารางที่ ก2 แสดงผลต่างของจำนวนฝุ่นละอองที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ (หลังปรับปรุงกระบวนการ)	64
ตารางที่ ก3 จำนวนจุดบกพร่อง	65
ตารางที่ ข1 ความหนาของน้ำยาไวแสงที่ความเร็วรอบการเคลือบต่างๆ	67
ตารางที่ ค1 ข้อมูลในการ Convert file	69
ตารางที่ ค2 Job file สำหรับสร้างลาย Fidutial Alignment Mark	70
ตารางที่ ค3 Job file สำหรับสร้างลาย TEG1	71
ตารางที่ ค4 Job file สำหรับสร้างลาย TEG2	72
ตารางที่ ง1 ขนาดของลาย CD-Test ก่อนกัดลาย	74
ตารางที่ ง2 ขนาดของลายวงจรร ก่อนกัดลาย	80
ตารางที่ ง3 การวิเคราะห์ขนาดก่อนกัดลาย	83
ตารางที่ ง4 ขนาดของลาย CD-Test หลังกัดลาย	86
ตารางที่ ง5 ขนาดของลายวงจรร หลังกัดลาย	89
ตารางที่ ง6 การวิเคราะห์ลายหลังการกัดลาย	90
ตารางที่ ง7 ขนาดของลาย Fidutial Alignment Mark	91
ตารางที่ ง8 ตำแหน่งของลายวงจรร	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านทางแสงของวัสดุชนิดต่างๆ	5
รูปที่ 2.2 ก) แผ่นกระจกต้นแบบ (Photomask)	
ข) ส่วนประกอบของแผ่นกระจกต้นแบบ	5
รูปที่ 2.3 ลวดลายที่เกิดขึ้นบนน้ำยาไวแสงแต่ละชนิด	6
รูปที่ 2.4 แสดงอิทธิพลของความเร็วยาวในการหมุนกับความหนาของน้ำยาไวแสง	7
รูปที่ 2.5 สเปกตรัมของแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆที่ใช้ในการฉายแสง	8
รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของเครื่อง Direct Write Laser	9
รูปที่ 2.7 แสดงการเขียนลายของเครื่อง Direct Write Laser (DWL)	9
รูปที่ 2.8 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่อง Stepper	10
รูปที่ 2.9 ก) ตำแหน่งของแผ่นโลหะก่อนการ Blind	
ข) ตำแหน่งของแผ่นโลหะหลังการ Blind	11
รูปที่ 2.10 แสดงรูปร่างโมเลกุลและการจับตัวของสาร HMDS	12
รูปที่ 2.11 แสดงวิธีการเคลือบน้ำยาไวแสงด้วยวิธี Spin Coat	12
รูปที่ 2.12 ก) การฉายแสงโดยตรง	
ข) การฉายแสงผ่านกระจกต้นแบบ	13
รูปที่ 2.13 ก) ก่อนผ่านการล้างชั้นน้ำยาไวแสง	
ข) หลังผ่านการล้างชั้นน้ำยาไวแสง	14
รูปที่ 2.14 ก) แผ่น Photomask ก่อนการกัดลายโครเมียม (Chromium etch)	
ข) แผ่น Photomask หลังการกัดลายโครเมียม (Chromium etch)	15
รูปที่ 2.15 ก) แผ่น Photomask ที่ก่อนผ่านการล้างน้ำยาไวแสงออก	
ข) แผ่น Photomask ที่หลังผ่านการล้างน้ำยาไวแสงออก	15
รูปที่ 2.16 จุดบกพร่องต่างๆ(Defects) ในการสร้างกระจกต้นแบบ	16
รูปที่ 3.1 แท่นหมุนสุญญากาศในเครื่อง Spinner	17
รูปที่ 3.2 แท่นความร้อนโลหะ	17
รูปที่ 3.3 เครื่อง Particle counter	18
รูปที่ 3.4 ที่จับแผ่นกระจกต้นแบบ	18
รูปที่ 3.5 ที่จับแผ่นกระจกต้นแบบในสารเคมี	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 การแช่แผ่นกระจกต้นแบบในบรรยากาศของ HMDS	19
รูปที่ 3.7 เครื่องเคลือบน้ำยาไวแสง	20
รูปที่ 3.8 การเทน้ำยาลงบนกระจกต้นแบบ	20
รูปที่ 3.9 เครื่องวัดความหนาชั้นฟิล์ม	20
รูปที่ 3.10 การวัดความหนาชั้นฟิล์ม	20
รูปที่ 3.11 การอบชิ้นงานบน Hotplate	20
รูปที่ 3.12 ก) เครื่อง Direct Write Laser (DWL)	
ข) แสดง Stage และ หัวเลเซอร์ของเครื่อง DWL	21
รูปที่ 3.13 ตำแหน่งของลายวงจบบนแผ่นกระจกต้นแบบ	22
รูปที่ 3.14 การล้างลายด้วยน้ำยา Developer	23
รูปที่ 3.15 การล้างน้ำยา Developer	23
รูปที่ 3.16 การผสมน้ำยากัดลายโครเมียม	23
รูปที่ 3.17 น้ำยากัดลายโครเมียม	23
รูปที่ 3.18 การกัดลายโลหะโครเมียม	24
รูปที่ 3.19 การล้างชิ้นงานด้วยน้ำ DI	24
รูปที่ 3.20 กล้องจุลทรรศน์ทางแสง	25
รูปที่ 3.21 ลายทดสอบ (CD test pattern)	25
รูปที่ 3.22 การหาทึ่งกลางแผ่นกระจกต้นแบบโดยใช้ลาย Fidutial alignment mark	26
รูปที่ 3.23 เครื่อง Coaster	26
รูปที่ 3.24 เครื่อง Stepper	26
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรวมของฝุ่นละอองแบบไม่ต่อเนื่อง (ก่อนปรับปรุงกระบวนการ)	29
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรวมของฝุ่นละอองแบบต่อเนื่อง (ก่อนปรับปรุงกระบวนการ)	29
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของขนาดและจำนวนของฝุ่นละอองแบบไม่ต่อเนื่อง (ก่อนปรับปรุงกระบวนการ)	30
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและจำนวนของฝุ่นละอองแบบต่อเนื่อง (หลังปรับปรุงกระบวนการ)	31
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรวมของฝุ่นละออง(หลังปรับปรุงกระบวนการ)	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรวมของฝุ่นละออง(หลังปรับปรุงกระบวนการ)	32
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของขนาดและจำนวนของฝุ่นละอองแบบไม่ต่อเนื่อง (หลังปรับปรุงกระบวนการ)	33
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและจำนวนของฝุ่นละอองแบบต่อเนื่อง (หลังปรับปรุงกระบวนการ)	33
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและจำนวนของฝุ่นละอองที่เกิดขึ้น ในกระบวนการต่อเนื่องทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ	34
รูปที่ 4.10 ความหนาที่ความเร็วรอบการเคลือบน้ำยาไวแสงบนกระจกต้นแบบและ wafer	35
รูปที่ 4.11 แสดงการกระจายของความหนาที่ความเร็วรอบการเคลือบต่างๆ	35
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจร ขนาดต่างๆ ของลายวงจร CD test pattern ชั้น N-well	37
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจร ขนาดต่างๆ ของลายวงจร TEG ที่เล็กที่สุดของชั้น N-well	38
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจร ขนาดต่างๆ ของลายวงจร CD test pattern ชั้น Active	39
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจร ขนาดต่างๆ ของลายวงจร TEG ที่เล็กที่สุดของชั้น Active	39
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจร ขนาดต่างๆ ของลายวงจร CD test pattern ชั้น N-field	40
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจร ขนาดต่างๆ ของลายวงจร TEG ที่เล็กที่สุดของชั้น N-field	41
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจร ขนาดต่างๆ ของลายวงจร CD test pattern ชั้น Poly	42
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจร ขนาดต่างๆ ของลายวงจร TEG ที่เล็กที่สุดของชั้น Poly	42
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจร ขนาดต่างๆ ของลายวงจร CD test pattern ชั้น N-select	43
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจร ขนาดต่างๆ ของลายวงจร TEG ที่เล็กที่สุดของชั้น N-select	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจร ขนาดต่างๆ ของลายวงจร CD test pattern ชั้น P-select	45
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจร ขนาดต่างๆ ของลายวงจร TEG ที่เล็กที่สุดของชั้น P-select	45
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจร ขนาดต่างๆ ของลายวงจร CD test pattern ชั้น Contact	46
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจร ขนาดต่างๆ ของลายวงจร TEG ที่เล็กที่สุดของชั้น Contact	47
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจร ขนาดต่างๆ ของลายวงจร CD test pattern ชั้น Metal-1	48
รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจร ขนาดต่างๆ ของลายวงจร TEG ที่เล็กที่สุดของชั้น Metal-1	48
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจร ขนาดต่างๆ ของลายวงจร CD test pattern ชั้น Via	49
รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจร ขนาดต่างๆ ของลายวงจร TEG ที่เล็กที่สุดของชั้น Via	50
รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจร ขนาดต่างๆ ของลายวงจร CD test pattern ชั้น Metal-2	51
รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจร ขนาดต่างๆ ของลายวงจร TEG ที่เล็กที่สุดของชั้น Metal-2	51
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจร ขนาดต่างๆ ของลายวงจร CD test pattern ชั้น Pad	52
รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจรขนาดต่างๆ ของ ลายวงจร TEG ที่เล็กที่สุดของชั้น Pad	53
รูปที่ 4.34 แสดงขนาดลายเส้นที่ค่าพลังงานต่างๆ	53
รูปที่ 4.35 แสดงขนาดลายเส้นชั้นต่างๆ ขนาด 10 ไมครอน หลังจากการกัดลายโลหะ	54
รูปที่ 4.36 แสดงขนาดลายเส้นชั้นต่างๆ ขนาด 7.5 ไมครอน หลังจากการกัดลายโลหะ	54
รูปที่ 4.37 แสดงขนาดลายเส้นชั้นต่างๆ ขนาด 4.0 ไมครอน หลังจากการกัดลายโลหะ	55
รูปที่ 4.38 แสดงขนาดลายเส้นชั้นต่างๆ ขนาด 2.5 ไมครอน หลังจากการกัดลายโลหะ	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.39 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทางตำแหน่งของลายวงจร TEG และ Fidutial Alignment mark	57
รูปที่ 4.40 กราฟแสดงจำนวนจุดบกพร่องแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นในลายวงจร	59
รูปที่ 4.41 กราฟแสดงจำนวนจุดบกพร่องที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อลายวงจรแต่ละชั้น	59
รูปที่ 4.42 กราฟแสดงจำนวนจุดบกพร่องที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อลายวงจรแต่ละชนิดในชั้น Active และ Contact	60
รูปที่ 4.43 แสดงสาเหตุของการเกิดจุดบกพร่องที่พบบนกระจกต้นแบบ	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

วงจรรวม (Integrated Circuit, IC) คือ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นหัวใจในการกำหนดขีดความสามารถในการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ โดยแนวโน้มในการวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ตลอดระยะเวลา 50 ปีที่ผ่านมาคือ การเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้สูงขึ้น ในขณะที่ชิ้นส่วนเหล่านี้มีขนาดเล็กลง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ต่างๆ ในปัจจุบัน มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้ดียิ่งขึ้น ด้วยเหตุนี้ประเทศต่างๆ ทั่วโลก โดยเฉพาะประเทศผู้นำด้านเทคโนโลยี เช่น สหรัฐอเมริกา เยอรมนี ญี่ปุ่น รวมทั้งประเทศอุตสาหกรรมใหม่เช่น เกาหลีใต้ ไต้หวัน และจีน ต่างเล็งเห็นความสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีด้านนี้

สำหรับประเทศไทยในปัจจุบัน มีการจัดตั้งศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (Thai Microelectronics Center, TMEC) ขึ้นในปี พ.ศ. 2540 ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 (พ.ศ. 2535-2539) เพื่อทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของงานวิจัยและพัฒนาด้านไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งยังเป็นโรงงานผลิตวงจรรวมแห่งแรกของประเทศไทยอีกด้วย แต่เนื่องจากการผลิตวงจรรวมนี้ต้องใช้ความรู้และเทคโนโลยีขั้นสูง อีกทั้งการแข่งขันทางการตลาดที่สูง ทำให้เทคนิคและเงื่อนไขที่สำคัญในการผลิต รวมถึงต้นแบบลายวงจร จะต้องเก็บเป็นความลับของแต่ละโรงงาน ดังนั้นจึงต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตทั้งหมดให้ได้ด้วยตนเอง โดยเฉพาะการสร้างลายวงจรรลงบนแผ่นกระจกต้นแบบ เพื่อที่จะเป็นการลดต้นทุน รักษาความลับและแข่งขันกับคู่แข่งทางธุรกิจได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในงานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาและพัฒนากระบวนการถ่ายแบบลายวงจรรลงบนแผ่นกระจกต้นแบบขนาด 6 นิ้ว เพื่อใช้เป็นต้นแบบสำหรับถ่ายย่อแบบลายวงจรด้วยเครื่องถ่ายย่อแบบลายวงจรร (Stepper) เพื่อให้ได้ลายวงจรรขนาดต่ำกว่า 1 ไมครอน บนแผ่นซิลิกอน (Wafer)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 ปรับปรุงอุปกรณ์ให้มีความเหมาะสมสำหรับกระบวนการถ่ายแบบลายวงจรลงบนแผ่นกระจกต้นแบบขนาด 6 นิ้ว
- 1.2.2 ปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อลดปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดขึ้น อันเป็นสาเหตุให้เกิด จุดบกพร่องต่างๆ
- 1.2.3 ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายแบบลายวงจรลงบนแผ่นกระจกต้นแบบขนาด 6 นิ้ว ให้มีขนาดลายวงจรอยู่ในขอบเขตความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้
- 1.2.4 ศึกษาความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของลายวงจร
- 1.2.5 ศึกษาปริมาณและชนิดของจุดบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนลายวงจร

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 การพัฒนาอุปกรณ์ในกระบวนการ จะพัฒนาเฉพาะชิ้นส่วนที่ไม่สัมพันธ์กับกระจกต้นแบบขนาด 6 นิ้ว และดัดแปลงเฉพาะชิ้นส่วนที่อาจก่อให้เกิดฝุ่นละอองเท่านั้น
- 1.3.2 ในการวัดปริมาณและขนาดของฝุ่นละออง จะใช้แผ่นซิลิกอนขนาด 6 นิ้ว ในการทดสอบ แทนแผ่นกระจกต้นแบบ เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละออง
- 1.3.3 การหาเงื่อนไขสำหรับการสร้างลายวงจร จะปรับเปลี่ยนเฉพาะค่าพลังงานเลเซอร์ที่ 50 ถึง 100 % ของ 120mW. เท่านั้น ส่วนเงื่อนไขในกระบวนการอื่นจะอ้างอิงจากข้อมูลของศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์
- 1.3.4 การหาค่าพลังงานที่เหมาะสมของลายวงจรในแต่ละชั้นนั้น จะสนใจลายวงจรที่ Critical dimension test pattern และ Test element group pattern เท่านั้น
- 1.3.5 การสร้างลายวงจร ต้องทำในห้องสะอาด(Cleanroom) class 100 ซึ่งควบคุมอนุภาคนิวมีที่ 22 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45 % และการถ่ายแบบลายวงจรมัน ต้องทำในห้องที่มีหลอดไฟที่ให้ความสว่างในช่วงความยาวคลื่นแสงสีเหลืองเท่านั้น

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินการ

- 1.4.1 ศึกษากระบวนการถ่ายแบบลายวงจร (Photolithography process), หลักการของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ผู้รับอนุญาตฯ ขอสงวนสิทธิ์ในชื่อการค้าเท่านั้น มิใช่สัญญาที่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.4.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงอุปกรณ์ต่างๆ ให้มีความเหมาะสมในการถ่ายแบบลายวงจรบนแผ่นกระจกต้นแบบขนาด 6 นิ้ว
- 1.4.3 ศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิต ให้สามารถป้องกันการเกิดฝุ่นละอองได้
- 1.4.4 ศึกษาเงื่อนไขของพลังงานที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างลายวงจรต้นแบบทั้ง 11 ชั้น
- 1.4.5 ศึกษาปริมาณและชนิดของจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นบนลายวงจรต้นแบบ

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถดัดแปลงอุปกรณ์ให้เหมาะสมสำหรับการถ่ายแบบลายวงจร ลงบนแผ่นกระจกต้นแบบขนาด 6 นิ้ว
- 1.5.2 สามารถลดปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตได้
- 1.5.3 สามารถสร้างลายวงจรทั้ง 11 ชั้น ลงบนแผ่นกระจกต้นแบบขนาด 6 นิ้ว โดยมีความกว้างลายวงจรและความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้
- 1.5.4 สามารถนำกระจกต้นแบบขนาด 6 นิ้ว ไปใช้สำหรับถ่ายแบบลายวงจรด้วยเครื่องถ่ายแบบลายวงจร (Stepper) เพื่อสร้างลายวงจรขนาดต่ำกว่า 1 ไมครอน ได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

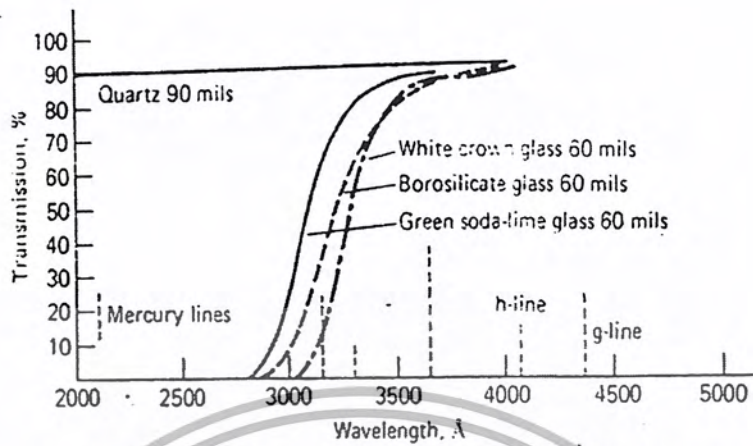
กระบวนการถ่ายแบบลายวงจร (Photolithography process) เป็นกระบวนการถ่ายลាយวงจรจากต้นแบบที่ได้ออกแบบไว้ (Design Layout) ลงบนชั้นฟิล์มนำยาไวแสงที่เคลือบอยู่บนผิวชิ้นงาน โดยใช้แสงเป็นสื่อกลาง ซึ่งโดยทั่วไปจำเป็นต้องสร้างลายวงจรลงบนแผ่นกระจกต้นแบบ (Photomask) จากนั้นจึงนำแผ่นกระจกต้นแบบไปใช้ในการถ่ายแบบลายวงจรลงบนแผ่นซิลิคอนต่อไป นอกจากนี้ชนิดของนำยาไวแสง, ชนิดของแหล่งกำเนิดแสง รวมถึงวิธีการฉายแสงก็เป็นปัจจัยที่สำคัญ ที่จะส่งผลต่อขนาดและความสมบูรณ์ของลายวงจร ดังนั้นในบทนี้จึงกล่าวถึงสมบัติของแผ่นกระจกต้นแบบ ชนิดของนำยาไวแสง สเปกตรัมของแสง วิธีการฉายแสง ขั้นตอนต่างๆในกระบวนการถ่ายแบบลายวงจร และจุดบกพร่องบนลายวงจร

2.1 แผ่นกระจกต้นแบบ

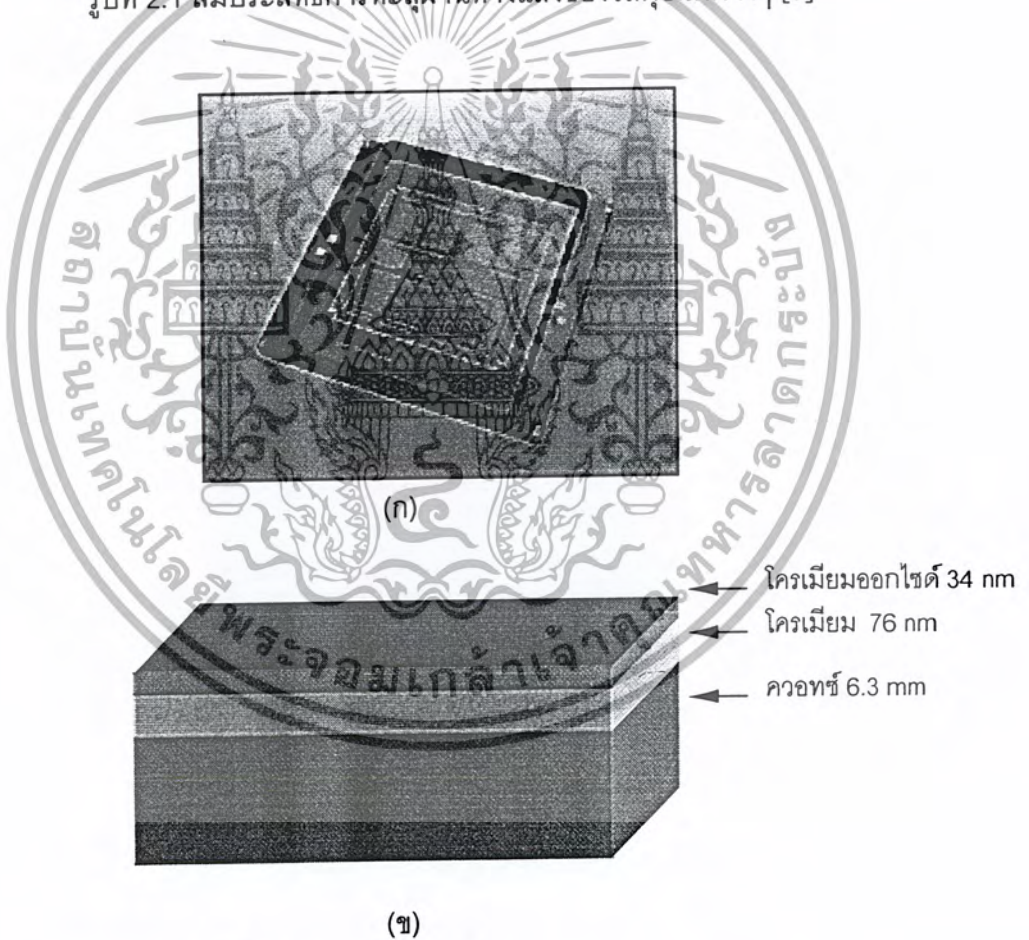
เมื่อทำการออกแบบลายวงจรแล้ว จะต้องสร้างลายวงจรมันๆ ลงบนแผ่นกระจกต้นแบบ เพื่อที่จะนำไปเป็นแม่แบบในการถ่ายแบบลายวงจรลงบนแผ่นซิลิคอนต่อไป โดยทั่วไปอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งๆ อาจมีต้นแบบตั้งแต่ 10 ถึง 24 ชั้น ซึ่งเป็นลายวงจรที่มีความแตกต่างกัน โดยสามารถสร้างลายวงจรหลายๆชั้น โดยใช้แผ่นกระจกต้นแบบเพียงหนึ่งแผ่นได้ เนื่องจากความสามารถในการฉายแสงเฉพาะตำแหน่งบนแผ่นกระจกต้นแบบ (Blind) ของเครื่องถ่ายแบบลายวงจรแบบ Step and repeat [9]

โดยทั่วไปแผ่นกระจกต้นแบบจะมีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีขนาดตั้งแต่ 3 ถึง 6 นิ้ว ทำมาจากแก้วควอทซ์ (Quartz) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความทนทาน สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสงอยู่ในช่วง Ultraviolet (UV) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 อีกทั้งยังมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนต่ำ ทำให้ไม่เกิดการหดตัวหรือขยายตัว ในขณะที่ฉายแสงเป็นเวลานานๆ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ขนาดและรูปร่างของลายวงจรเปลี่ยนไป บนผิวของแก้วจะเคลือบด้วยชั้นฟิล์มโลหะ 2 ชั้น คือ โครเมียม (Chromium, Cr) หนา 76 นาโนเมตร ซึ่งเป็นโลหะทรานซิชันที่ทึบแสง ทำให้แสง UV ไม่สามารถผ่านลงไปได้ และโครเมียมออกไซด์ (CrO_2) หนา 34 นาโนเมตร ทำหน้าที่สร้างความแข็งแรงให้กับผิวหน้า ดังแสดงในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านทางแสงของวัสดุชนิดต่างๆ [9]



รูปที่ 2.2 ก) แผ่นกระจกตันแบบ

ข) ชั้นฟิล์มชนิดต่างๆ บนแผ่นกระจกตันแบบ

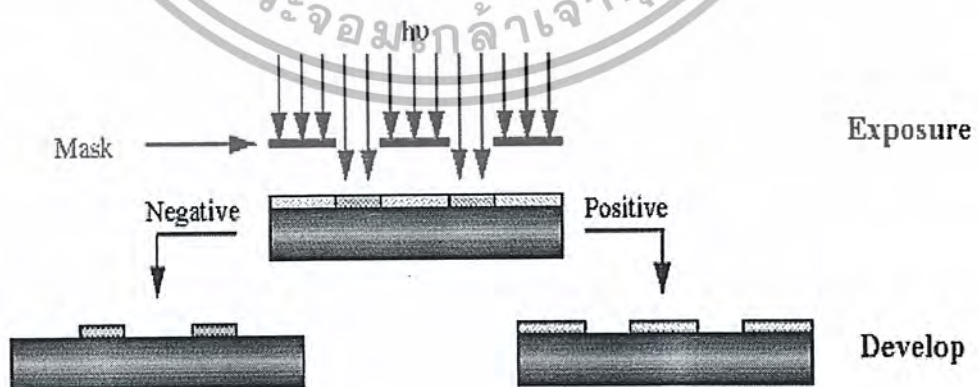
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 น้ำยาไวแสง (Photoresist)

น้ำยาไวแสงเป็นสารที่มีความไวต่อการทำปฏิกิริยากับแสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet, UV) ที่ช่วงความยาวคลื่น 190-380 นาโนเมตร ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมี 4 ชนิด ดังนี้

1. สารโพลีเมอร์ (Resin) กำหนดคุณสมบัติเชิงกลของน้ำยาไวแสง
2. ตัวทำละลาย (Solvent) ที่ใช้ในการละลายสารโพลีเมอร์ เพื่อให้น้ำยาไวแสงมีสถานะเป็นของเหลว เพื่อสะดวกต่อการทรมานเคลือบ และกำหนดความหนืดของน้ำยาไวแสง
3. สารไวแสง (Sensitizers) ใช้เป็นตัวกำหนดอัตราการทำปฏิกิริยากับแสง และค่าความยาวคลื่นของแสงที่ใช้ในการถ่ายแบบลายวงจร
4. สารเติมแต่ง (Additives) เป็นส่วนผสมอื่นที่เพิ่มคุณสมบัติพิเศษ เช่น เม็ดสี เป็นต้น

น้ำยาไวแสงสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ น้ำยาไวแสงชนิดบวก (Positive Photoresist) และน้ำยาไวแสงชนิดลบ (Negative Photoresist) ซึ่งน้ำยาไวแสงทั้งสองชนิดจะมีสมบัติการละลายในตัวทำละลายที่แตกต่างกัน กล่าวคือ สำหรับน้ำยาไวแสงชนิดบวก ส่วนที่ถูกฉายแสงจะอ่อนตัว และละลายไปกับน้ำยาล้างลาย (Developer) ในขณะที่ส่วนที่ไม่ถูกฉายแสงจะมีความแข็งตัว และคงเหลือเป็นลายวงจรอยู่ โดยลายวงจรที่เกิดขึ้นจะเหมือนกับลายวงจรที่ได้ออกแบบไว้ สำหรับน้ำยาไวแสงชนิดลบนั้น ส่วนที่ถูกฉายแสงจะแข็งตัวและไม่ละลายในน้ำยาล้างลาย ในขณะที่ส่วนที่ไม่ถูกฉายแสงจะอ่อนตัวและละลายออกไป ดังนั้นลายวงจรที่ปรากฏจะตรงข้ามกับลายวงจรที่ออกแบบไว้ ดังแสดงในรูปที่ 2.3

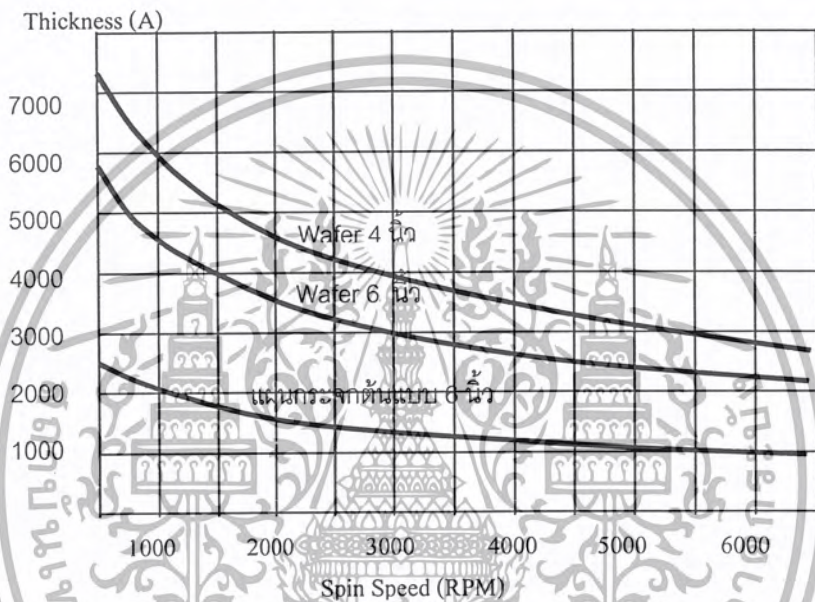


รูปที่ 2.3 ลวดลายที่เกิดขึ้นบนน้ำยาไวแสงแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยนอกจากความหนืด (Viscosity) ที่แตกต่างกันของน้ำยาไวแสงแต่ละชนิดแล้ว ความจํานวนรอบของการหมุนเคลือบก็ส่งผลต่อความหนา ดังแสดงในสมการที่ 2.1[4] โดยเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น ความหนาชั้นฟิล์มจะมีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.4

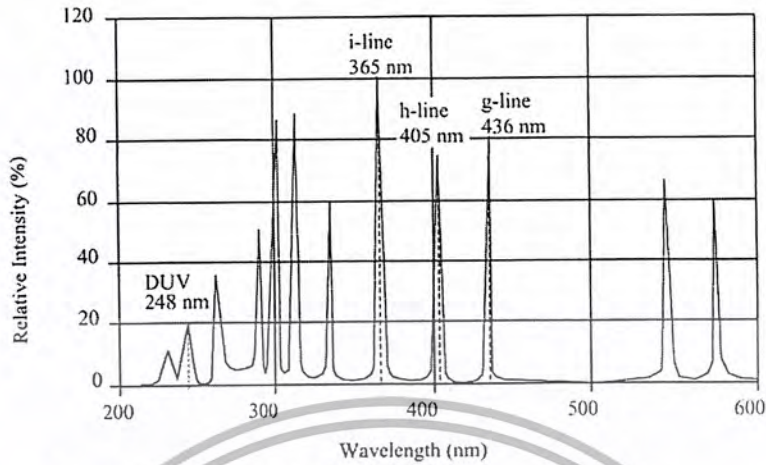
$$thickness \propto \frac{1}{\sqrt{(RPM)}} \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.4 อิทธิพลของความเร็วรอบในการหมุนกับความหนาของน้ำยาไวแสง [4]

2.3 สเปกตรัมของแหล่งแสง

แสงเป็นปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการถ่ายแบบลายวงจร ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet light, UV-light) ที่ความยาวคลื่นต่างๆในการฉายแสง โดยสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ตามความยาวคลื่นของแสงคือที่ 248 นาโนเมตร (Deep-UV, DUV), 365 นาโนเมตร (i-line), 405 นาโนเมตร (h-line) และ 436 นาโนเมตร (g-line) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยค่าความยาวคลื่นที่นิยมใช้ในการสร้างลายวงจรคือ 365 นาโนเมตร และ 436 นาโนเมตร



รูปที่ 2.5 สเปกตรัมของแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆที่ใช้ในการฉายแสง

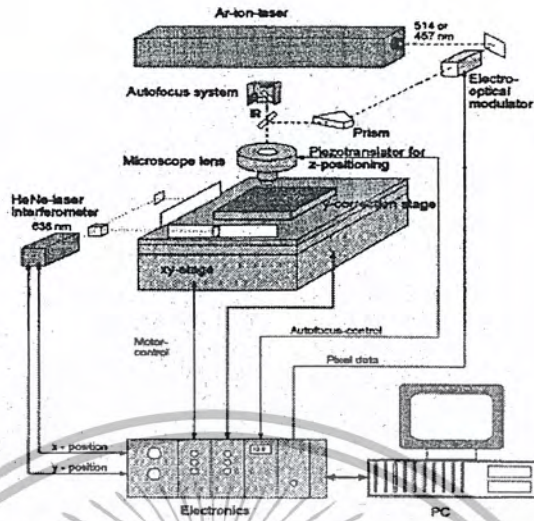
2.4 วิธีการฉายแสงในกระบวนการถ่ายแบบลายวงจรถ

โดยทั่วไปวิธีการฉายแสงจะแบ่งได้ 2 วิธี คือ การฉายแสงโดยตรง และการฉายแสงผ่านกระจกต้นแบบ ซึ่งการฉายแสงโดยตรงนี้จะนิยมใช้สร้างลายวงจรถที่ต้องการความละเอียดสูง ทั้งทางด้านขนาดและตำแหน่ง เช่น การฉายแสงโดยตรง ส่วนการฉายแสงผ่านแผ่นกระจกต้นแบบนี้ จะใช้สร้างลายวงจรถลงบนแผ่นซิลิคอน โดยสามารถผลิตได้ครั้งละเป็นจำนวนมาก เช่น การฉายแสงด้วยเครื่องถ่ายแบบลายวงจรถ เป็นต้น

2.4.1 การฉายแสงโดยตรงด้วยเครื่อง Direct Write Laser

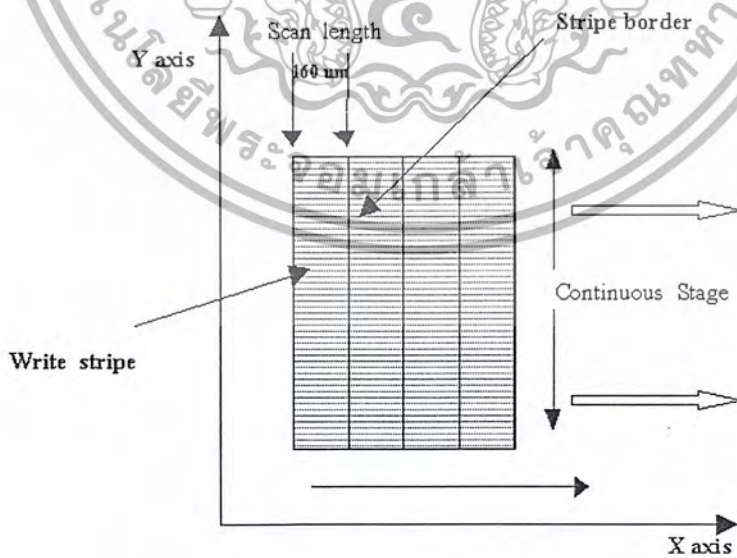
การฉายแสงโดยตรงเป็นการฉายแสงที่ให้ความละเอียด และความคมชัดของเส้นลายวงจรถสูง จึงเป็นวิธีการฉายแสงที่นิยมใช้สร้างลายวงจรถลงบนแผ่นกระจกต้นแบบ โดยทั่วไปจะใช้เลเซอร์ (Laser) หรือ ลำอิเล็กตรอน (Electron beam) เป็นแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งสำหรับแสงเลเซอร์นั้น โดยทั่วไปจะใช้เครื่อง Direct Write Laser (DWL) ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่มีความละเอียดสูง [7] โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงคือ ฮีเลียม-แคดเมียม (He-Cd) ที่ความยาวคลื่น 442 นาโนเมตร ที่พลังงานสูงสุดคือ 120 mW/cm^2 มีระบบ Acoustic Optic Modulator (AOM) ควบคุมความเข้มของแสงเลเซอร์ และระบบ Acoustic Optic Deflector (AOD) ควบคุมการหักเหของแสง และควบคุมความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งด้วยระบบอินเตอร์เฟียร์รอมิเตอร์ไมคิลสัน ซึ่งมีระบบของเครื่องดังแสดงในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของเครื่อง Direct Write Laser

ในการสร้างลายวงจร จะต้องเริ่มจากการออกแบบลายวงจรด้วยโปรแกรมทางด้าน CAD เช่น โปรแกรม Tanner L-edit จากนั้นจะต้องทำการแปลงข้อมูล (Convert data) ออกเป็นแถบของข้อมูล (Lic file) ซึ่งแต่ละแถบ (Stripe) มีความกว้าง 160 ไมครอน ซึ่งในขณะที่เขียนลายวงจร ลำเลเซอร์จะกวาดไปในแนวแกน x ครั้งละ 160 ไมครอน ในขณะที่ฐานเครื่อง เคลื่อนที่ไปในแนวแกน y ดังแสดงในรูปที่ 2.7 [8]



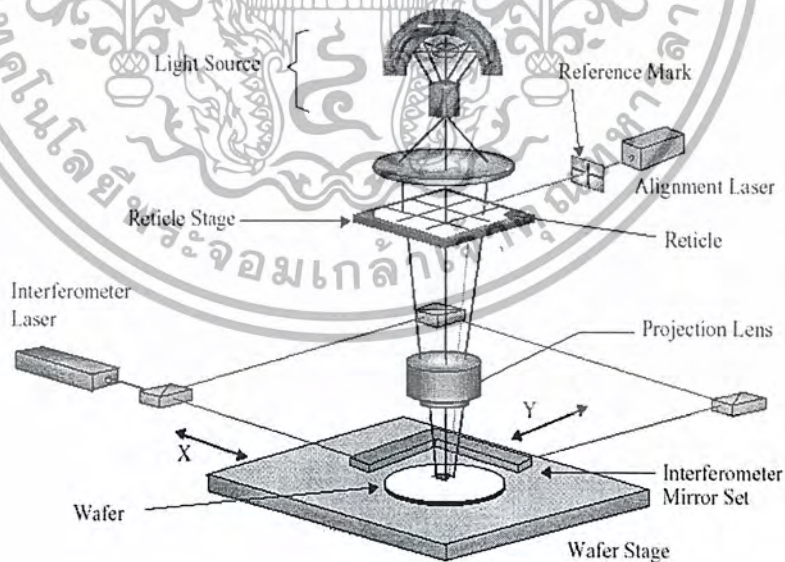
รูปที่ 2.7 หลักการเขียนลายวงจรของเครื่อง Direct Write Laser

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การฉายแสงผ่านแผ่นกระจกต้นแบบด้วยเครื่องถ่ายย่อแบบลายวงจร

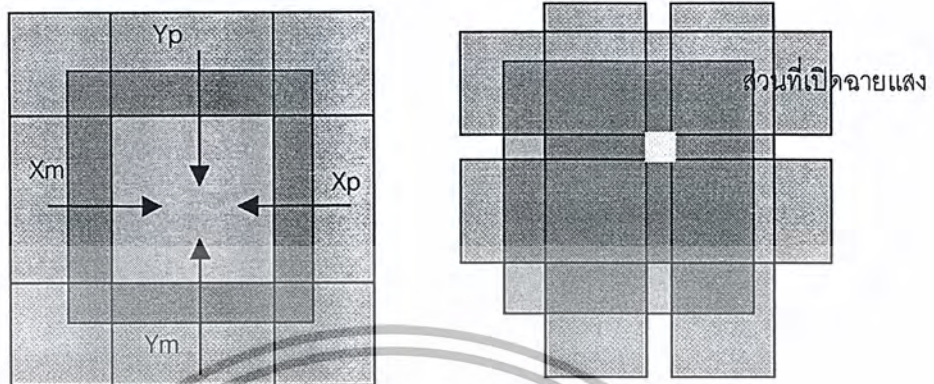
การฉายแสงผ่านแผ่นกระจกต้นแบบเป็นวิธีที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมการผลิตวงจรรวม เนื่องจากต้นทุนต่ำและใช้เวลาในการฉายแสงน้อยกว่าการฉายแสงโดยตรง สามารถฉายแสงได้ครั้งละหลายๆ วงจร อีกทั้งยังสามารถถ่ายย่อแบบได้จากขนาดของลายวงจรมบนต้นแบบ โดยในปัจจุบันเครื่องจักรที่ได้รับความนิยมมากสำหรับการฉายแสงวิธีนี้คือ เครื่องถ่ายย่อแบบลายวงจร (Stepper) ซึ่งมีหลักการทำงานแบบ Step and repeat โดยมีส่วนประกอบของเครื่องจักร ดังแสดงในรูปที่ 2.8

ในการสร้างต้นแบบลายวงจรสำหรับเครื่อง Stepper นั้น จะต้องสร้าง Fiducial mark ซึ่งใช้สำหรับการหาจุดกึ่งกลางของแผ่นกระจกต้นแบบ เพื่อให้ตำแหน่งในการฉายแสงถูกต้อง จากนั้นจึงนำแผ่นกระจกต้นแบบไปใช้ในการสร้างลายวงจรต่อไป โดยเครื่อง Stepper นี้จะมีแหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่น 365 นาโนเมตร สามารถถ่ายย่อแบบได้เล็กถึง 5 เท่า จากลายวงจรมบนแผ่นกระจกต้นแบบ อีกทั้งยังสามารถเลือกตำแหน่งบนแผ่นกระจกต้นแบบ (Blind data) เพื่อทำการฉายแสงได้อีกด้วย โดยใช้แผ่นโลหะ 4 แผ่น (Blade) เลื่อนเข้า-ออก เพื่อปิดแสงในแนวแกน x และ y ตามตำแหน่งที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบของเครื่อง Stepper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ตำแหน่งของแผ่นโลหะที่ใช้ในการปิดแสง
 ก) ก่อนการปิดแสง ข) หลังการปิดแสง

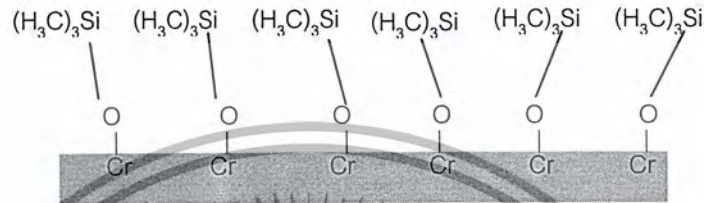
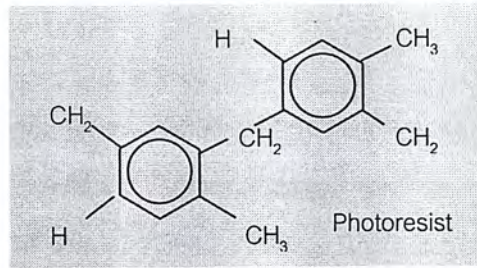
2.5 กระบวนการถ่ายแบบลายวงจร (Photolithography process)

กระบวนการถ่ายแบบลายวงจร เป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งในการสร้างวงจรรวม โดยมีขั้นตอน คือ การเตรียมผิวชิ้นงานให้สะอาด (Cleaning), การอบชิ้นงานเพื่อเพิ่มการยึดเกาะของพื้นผิว (Vapor priming), การเคลือบชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสง (Photoresist coating), การอบชั้นฟิล์มฯ ให้แห้ง (Prebake), การฉายแสงเพื่อถ่ายแบบลายวงจร (Exposure), การล้างลายวงจร (Develop), การอบชั้นฟิล์มฯ หลังการล้างลายวงจร (Postbake) และการกัดลายวงจร (Etching) โดยมีรายละเอียดในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

2.5.1 การอบชิ้นงานเพื่อเพิ่มการยึดเกาะ (Vapor Priming)

โดยทั่วไป น้ำยาไวแสงจะยึดเกาะกับวัสดุที่มีผิวมันได้ไม่ดี จึงอาจเกิดการหลุดร่อนของชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงในระหว่างกระบวนการถ่ายแบบ ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องใช้สารเคมี HMDS (Hexamethyldisilazane) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะระหว่างน้ำยาไวแสงกับผิวชิ้นงาน โดยโมเลกุลของ HMDS จะเข้าไปแทนที่โมเลกุลของน้ำ และจากสูตรโมเลกุลดังแสดงในรูปที่ 2.10 แขนของโมเลกุลด้านหนึ่ง จะจับกับน้ำยาไวแสง และแขนอีกด้านหนึ่งจะจับกับชิ้นงาน ทำให้เกิดการยึดเกาะที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

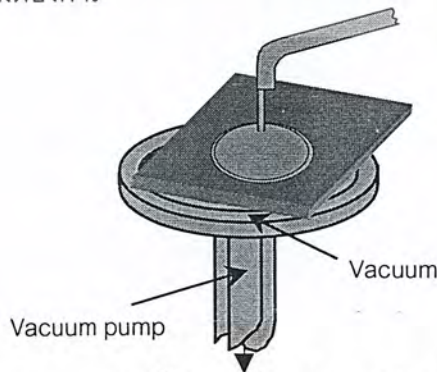


รูปที่ 2.10 สูตรโมเลกุลและการสร้างพันธะเพื่อเพิ่มการยึดเกาะของน้ำยา HMDS

2.5.2 การเคลือบชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสง (Photoresist coating)

การสร้างชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงลงบนผิวชิ้นงานมีอยู่หลายวิธี เช่น การหมุนเคลือบ การเคลือบด้วยสเปรย์ และการเคลือบด้วยลูกกลิ้ง เป็นต้น แต่วิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมคือ วิธีการหมุนเคลือบ (Spin Coating) โดยใช้เครื่อง Spinner เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ราคาถูก ประหยัดเวลา และสามารถควบคุมความหนาของชั้นฟิล์มฯ ให้มีความสม่ำเสมอได้

การสร้างชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงโดยการหมุนเคลือบทำได้โดย วางชิ้นงานบนแท่นหมุนสุญญากาศ (Vacuum chuck) ดังแสดงในรูปที่ 2.11 จากนั้นหยดน้ำยาไวแสงลงบนชิ้นงาน หมุนด้วยความเร็ว 2 ระดับ ที่แตกต่างกัน โดยเริ่มต้นจะหมุนชิ้นงานที่ 500 ถึง 700 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 ถึง 10 วินาที เพื่อกระจายน้ำยาไวแสงให้ครอบคลุมทั่วผิวชิ้นงาน จากนั้นเร่งความเร็วรอบเป็น 1000 ถึง 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 40 ถึง 50 วินาที เพื่อควบคุมความหนาและความสม่ำเสมอของชั้นฟิล์มฯ ตามต้องการ



รูปที่ 2.11 การสร้างชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงด้วยวิธีการหมุนเคลือบ

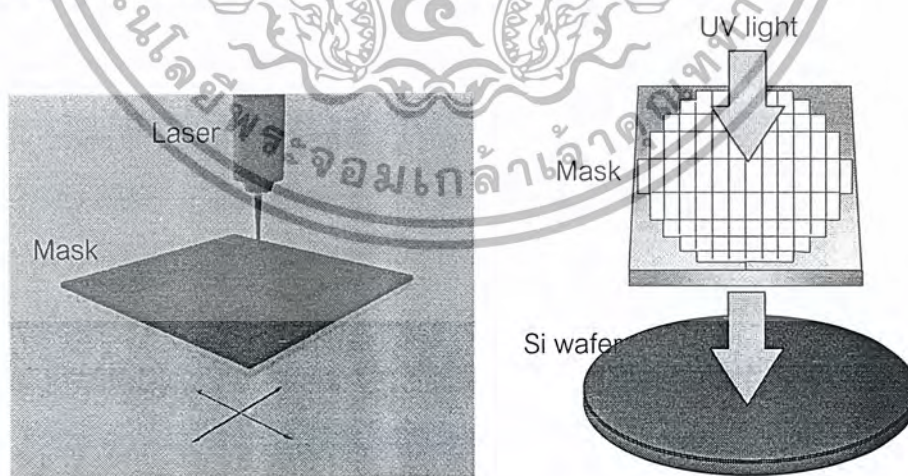
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การอบชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงให้แห้ง (Soft Bake)

หลังการเคลือบชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงแล้ว ชั้นงานจะถูกนำมาวางบน Hot plate เพื่อทำการอบแห้ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำให้ตัวทำละลาย (Solvent) ในน้ำยาไวแสงระเหยออกไป ทำให้ชั้นฟิล์มมีความแห้ง แข็งตัวและคงรูปอยู่ได้เมื่อผ่านกระบวนการฉายแสง ช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างผิวของชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงกับผิวของชั้นงาน นอกจากนี้ยังเป็นกระบวนการทางความร้อนเพื่อลดความเครียด (Annealing) ที่เกิดขึ้นในชั้นฟิล์ม โดยมียุปัจจัยที่ต้องควบคุมคือ อุณหภูมิและเวลา

2.5.4 การฉายแสงเพื่อถ่ายแบบลายวงจร (Exposure)

เป็นขั้นตอนที่ถ่ายแบบลายวงจรที่ได้ออกแบบไว้ลงบนชั้นงาน ซึ่งจะมีวิธีการถ่ายแบบ 2 ชนิด คือ การฉายแสงโดยตรงด้วยเครื่อง DWL และการฉายแสงผ่านกระจกต้นแบบด้วยเครื่อง Stepper ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งทั้งสองวิธีนี้จะมีหลักการที่เหมือนกัน กล่าวคือ สำหรับน้ำยาไวแสงชนิดบวก (Positive photoresist) ส่วนที่ถูกฉายแสงจะเกิดปฏิกิริยาเคมีทางแสง ทำให้ชั้นฟิล์มเกิดการอ่อนตัวและละลายไปกับน้ำยาล้างลาย (Developer) ในขณะที่ส่วนที่ไม่ถูกฉายแสงจะแข็งตัว และคงเหลือเป็นลายวงจรอยู่ ส่วนน้ำยาไวแสงชนิดลบนั้น ส่วนที่ถูกฉายแสงจะแข็งตัว ในขณะที่ส่วนที่ไม่ถูกฉายแสงจะอ่อนตัวและละลายไปกับน้ำยาล้างลาย



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.12 การฉายแสงเพื่อถ่ายแบบลายวงจร ก) ฉายแสงโดยตรง ข) ผ่านกระจกต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 การล้างลายวงจร (Develop)

ภายหลังจากกระบวนการฉายแสง จะต้องล้างลายวงจรด้วยน้ำยาล้างลาย (Developer) เพื่อให้ลายวงจรปรากฏขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ซึ่งสำหรับน้ำยาไวแสงชนิดบวกนั้น ส่วนที่ถูกฉายแสง จะเกิดการทำให้ลายพันระของโพลิเมอร์ภายในเนื้อของน้ำยาไวแสงโดยแสง U.V. ทำให้เกิดการอ่อนตัวและละลายไปกับน้ำยาล้างลาย ในขณะที่น้ำยาไวแสงชนิดลบ ส่วนที่ถูกฉายแสงจะแข็งตัว ในขณะที่ส่วนที่ไม่ถูกฉายแสงจะอ่อนตัวและละลายไปกับน้ำยาล้างลาย ซึ่งในกระบวนการนี้ ตัวแปรที่ต้องควบคุมคือ ระยะเวลาในการล้างลาย ซึ่งจะสัมพันธ์กับชนิดของน้ำยาไวแสงและน้ำยาล้างลาย



รูปที่ 2.13 ลายวงจรที่ผ่านการล้างลาย ก) ก่อนการล้างลายวงจร ข) หลังการล้างลายวงจร

2.5.6 การอบชั้นฟิล์มฯ หลังการล้างลายวงจร (Post Bake)

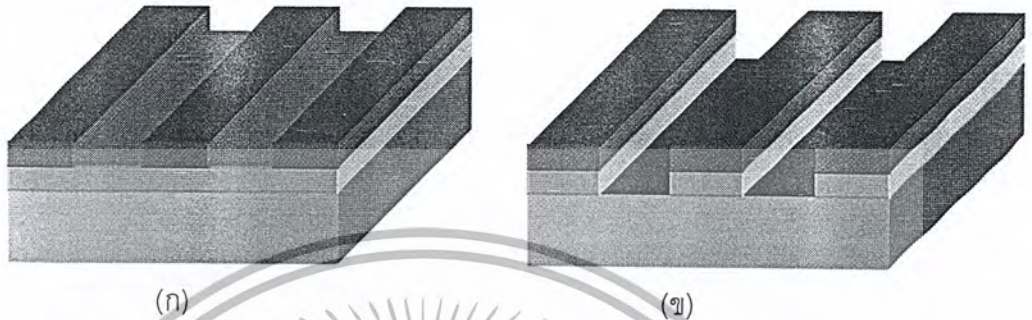
ภายหลังจากกระบวนการล้างลายวงจร ชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงที่เกิดเป็นลายวงจรจะมีสมบัติอ่อนนุ่ม ไม่สามารถทนทานต่อการกัดลาย (Etching) ได้ และมีความชื้นเกิดขึ้นในชั้นฟิล์มฯ จึงต้องทำการอบชั้นฟิล์มฯ เพื่อไล่ความชื้นและก่อให้เกิดการเชื่อมพันธะกันระหว่างโมเลกุล (Cross linked) ของน้ำยาไวแสง ทำให้อ่อนฟิล์มน้ำยาไวแสงมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะทนต่อการกัดลายวงจรได้ โดยเงื่อนไขที่ต้องควบคุมคือ อุณหภูมิและเวลา

2.5.7 การกัดลายวงจร (Etching)

ในกระบวนการกัดลายวงจร ส่วนที่มีน้ำยาไวแสงปกคลุมจะปกป้องพื้นผิวด้านล่าง ในขณะที่ส่วนที่ไม่มีน้ำยาไวแสงปกคลุม ชั้นฟิล์มด้านล่างจะถูกกัดออก ซึ่งสำหรับกระจกต้นแบบนั้น เมื่อผ่านกระบวนการกัดลายวงจร ส่วนที่ไม่มีน้ำยาไวแสงปกคลุม โครเมียมด้านล่างจะถูกกัดกลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นช่องเปิด (Window) ซึ่งทะลุไปถึงกระจกด้านล่าง ทำให้เกิดเป็นสวนโปร่งแสงขึ้น ในขณะที่ส่วนที่ไม่ถูกกัด จะเป็นส่วนทึบของโครเมียม ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่งตัวแปรที่ต้องควบคุมคือ เวลาที่ใช้ในการกัดลายวงจร



รูปที่ 2.14 แผ่นกระจกต้นแบบ ก) ก่อนการกัดลายโครเมียม ข) หลังการกัดลายโครเมียม

2.5.8 การลอกชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสง (Photoresist stripping)

หลังการกัดลายโครเมียม จะต้องทำการลอกชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงที่เหลืออยู่ออก เพื่อให้แผ่นกระจกต้นแบบมีความสะอาด พร้อมทั้งจะนำไปใช้ในกระบวนการต่อไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้กรดผสมระหว่างกรดซัลฟูริกกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในอัตราส่วน 4 ต่อ 1 (Piranha acid) ในการลอกชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงออก



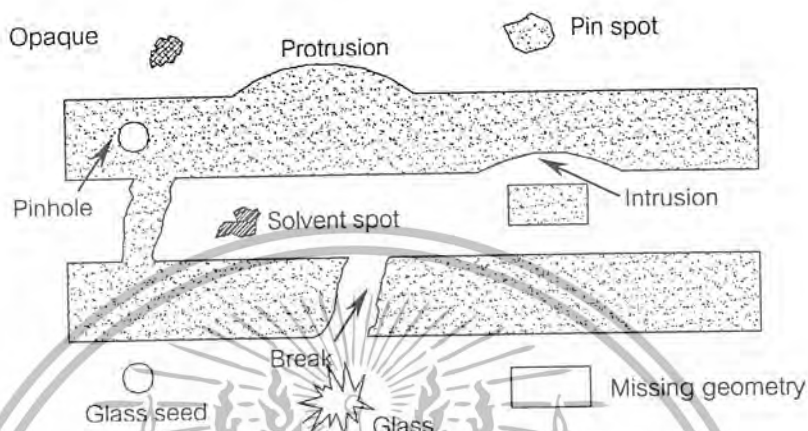
รูปที่ 2.15 แผ่นกระจกต้นแบบ ก) ก่อนผ่านการลอกชั้นฟิล์มฯ ข) หลังผ่านการลอกชั้นฟิล์มฯ

2.6 จุดบกพร่องที่เกิดจากการสร้างลายวงจรบนแผ่นกระจกต้นแบบ

จุดบกพร่องที่เกิดขึ้น จะมีหลายประเภท เช่น break, bridge, protrusion ฯลฯ ดังแสดงในรูปที่ 2.16 โดยจุดบกพร่องเหล่านี้ จะมีลักษณะและสาเหตุการเกิด ดังแสดงในภาคผนวก ซึ่งจุดบกพร่องอาจทำให้เกิดการขาดของลายวงจรและเกิด killer defect ขึ้น อีกทั้งยังทำให้ประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอุปกรณ์ที่ผลิตได้ลดน้อยลงอีกด้วย ดังนั้นในกระบวนการสร้างลายวงจร จึงต้องควบคุม ปริมาณของจุดบกพร่องให้น้อยที่สุด



รูปที่ 2.16 จุดบกพร่องชนิดต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนแผ่นกระจกต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

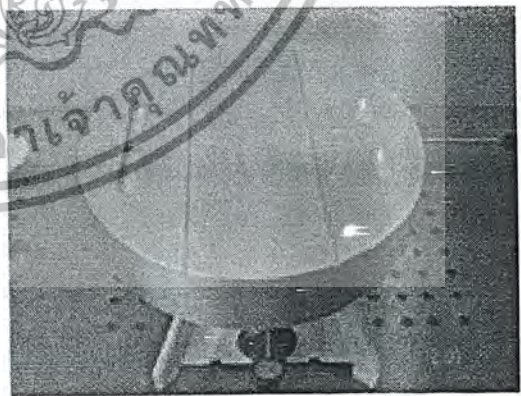
กระบวนการสร้างลายวงจบบนแผ่นกระจกต้นแบบ เป็นกระบวนการที่ซับซ้อน โดยมีขั้นตอนต่างๆ มากมาย ดังได้กล่าวแล้วในบทที่ 2 ซึ่งเงื่อนไขในแต่ละขั้นตอนจะส่งผลต่อลักษณะและสมบัติทางกายภาพของลายวงจร โดยสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือขนาดและตำแหน่งของลายวงจร โดยต้องควบคุมให้มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ เพื่อที่จะสามารถนำแผ่นกระจกต้นแบบไปใช้กับเครื่อง Stepper ต่อไป อีกตัวแปรที่มีผลต่อการสร้างลายวงจรคือ ฝุ่นละออง ซึ่งจะต้องควบคุมมีขนาดเล็กและมีปริมาณน้อยที่สุด เพื่อลดจุดบกพร่องที่จะเกิดขึ้นในชิ้นงาน ซึ่งวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิต การสร้างลายวงจร และการวัดลายวงจร มีรายละเอียดดังนี้

3.1 การปรับปรุงอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต

เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตนั้น เป็นอุปกรณ์สำหรับชิ้นงานขนาดเล็ก ดังนั้นจึงต้องปรับปรุงอุปกรณ์เพื่อให้เหมาะสมกับกระบวนการสร้างลายวงจบบนแผ่นกระจกต้นแบบขนาด 6 นิ้ว ซึ่งคือ การปรับปรุงแท่นหมุนสุญญากาศ (Vacuum chuck) ในเครื่อง Spinner และการปรับปรุงแท่นความร้อนโลหะสำหรับการอบชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 แท่นหมุนสุญญากาศในเครื่อง Spinner



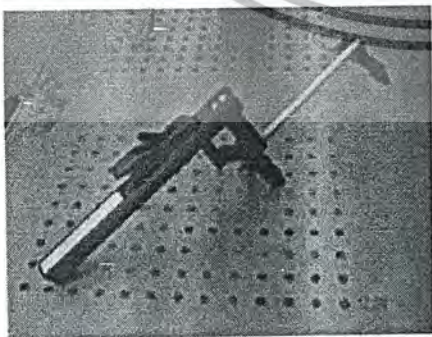
รูปที่ 3.2 แท่นความร้อนโลหะ

3.1 การทดสอบจำนวนและขนาดของฝุ่นละออง (Particles test)

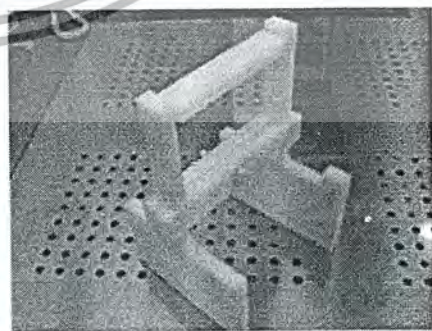
ในงานวิจัยนี้ จะใช้แผ่น Silicon wafer เป็นตัวแทนในการทดสอบฝุ่นละอองแทนแผ่นกระจกตันแบบ เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละออง (Particle counter) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งการทดลองนี้ จะนำแผ่นซิลิคอนไปวางไว้ตามตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ทำกระบวนการผลิต เพื่อหาขั้นตอนที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองมากที่สุด โดยการวัดฝุ่นละอองจะแบ่งเป็น 2 วิธี คือ การวัดปริมาณฝุ่นละอองแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งจะวัดเฉพาะแต่ละขั้นตอนการผลิต และการวัดปริมาณฝุ่นละอองแบบต่อเนื่อง ซึ่งจะจำลองกระบวนการผลิตจริง แล้ววัดปริมาณฝุ่นละอองสะสมที่เกิดขึ้นจนถึงขั้นตอนสุดท้าย โดยจะสนใจฝุ่นละอองขนาดตั้งแต่ 1 ถึง 28 ไมครอน เท่านั้น เสร็จแล้วจะทำการวิเคราะห์สาเหตุ และปรับปรุงอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อลดจำนวนฝุ่นละออง เช่น อุปกรณ์ในการจับชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 เป็นต้น จากนั้นวัดปริมาณฝุ่นละอองอีกครั้ง เพื่อดูว่าการปรับปรุงกระบวนการผลิต สามารถลดจำนวนฝุ่นละอองได้หรือไม่



รูปที่ 3.3 เครื่อง Particle counter



รูปที่ 3.4 ที่จับแผ่นกระจกตันแบบ



รูปที่ 3.5 ที่จับแผ่นกระจกตันแบบในสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมชิ้นงาน

3.2.1 การเตรียมผิวชิ้นงาน

ในการเตรียมผิวแผ่นกระจกต้นแบบให้มีความสะอาดและเหมาะสมสำหรับการสร้างลายวงจรจะเริ่มจาก การล้างผิวหน้าด้วยกรด Piranha ($H_2SO_4:H_2O_2 = 4:1$) ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นแช่ในน้ำ DI ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที และที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นขลิบผิวหน้าให้ทั่วด้วย Isopropanol (IPA) เพื่อไล่น้ำออกจากพื้นผิวและเป่าแห้งด้วยไนโตรเจน นำแผ่นกระจกต้นแบบไปแช่ในบรรยากาศของน้ำยา Hexamethyldisilazane (HMDS) ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เป็นเวลา 15 นาที เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะระหว่างผิวของกระจกต้นแบบกับชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสง

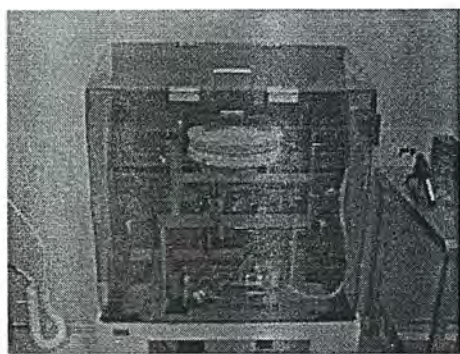


รูปที่ 3.6 การแช่แผ่นกระจกต้นแบบในบรรยากาศของ HMDS

3.2.2 การเตรียมชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสง

ในการสร้างชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงลงบนแผ่นกระจกต้นแบบ จะทำโดยวิธีการหมุนเคลือบ (Spin coat) ด้วยเครื่อง Photoresist spinner ดังแสดงในรูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8 โดยในงานวิจัยนี้ จะใช้น้ำยาไวแสงชนิดบวก (Positive photoresist) ของบริษัท Clariantz เบอร์ s1805 [5] ที่ปริมาณ 15 มิลลิลิตร หยดน้ำยาไวแสงให้ทั่วชิ้นงาน จากนั้นหมุนด้วยความเร็วรอบแรกที่ 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 วินาที แล้วเพิ่มความเร็วยุทธการหมุนชั้นที่สอง เป็นเวลา 50 วินาที โดยในงานวิจัยนี้จะปรับเปลี่ยนความเร็วรอบชั้นที่สองตั้งแต่ 2000, 2500, 2800, 3000 และ 3500 รอบต่อนาที ตามลำดับ เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ทำให้ฟิล์มมีความหนาตามต้องการ และมีความแตกต่างกันทางพื้นผิวน้อยที่สุดโดยจะวัดค่าความหนาของชั้นฟิล์มฯ โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ดังแสดงในรูปที่ 3.9 - 3.10 โดยวัดทั่วทั้งแผ่นกระจกต้นแบบรวม 25 จุด

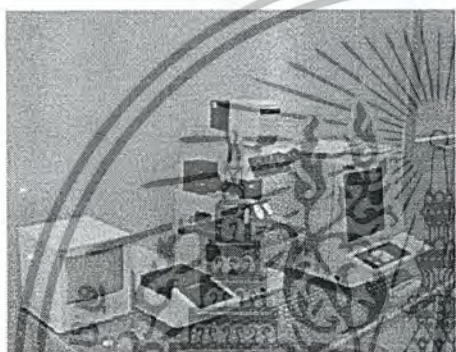
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



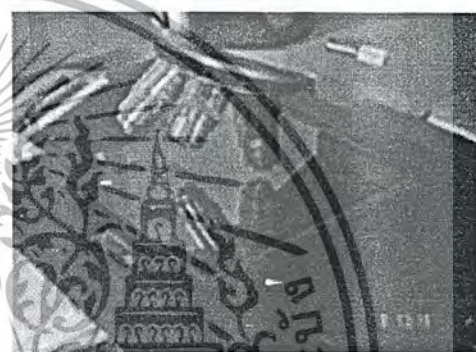
รูปที่ 3.7 เครื่องเคลือบน้ำยาไวแสง



รูปที่ 3.8 การเทน้ำยาลงบนกระจกต้นแบบ



รูปที่ 3.9 เครื่องวัดความหนาชั้นฟิล์ม



รูปที่ 3.10 การวัดความหนาชั้นฟิล์ม

เมื่อได้เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดแล้ว จะทำการอบชิ้นงาน (Prebake) ด้วย Hot plate ดังแสดงในรูปที่ 3.11 เพื่อไล่ตัวละลาย (Solvent) และให้น้ำยาไวแสงแข็งตัวเหมาะสำหรับการเขียนลายวงจร โดย โดยงานวิจัยนี้อบชิ้นงานที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที [3]



รูปที่ 3.11 การอบชิ้นงานบน Hotplate

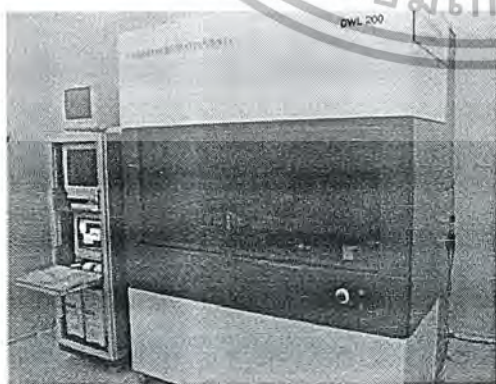
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การฉายแสงโดยตรงเพื่อสร้างลายวงจรลงบนแผ่นกระจกต้นแบบ

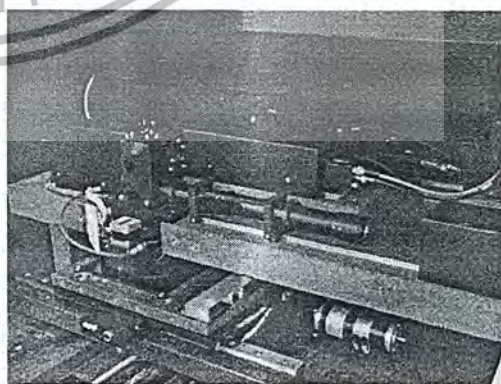
ในการเขียนลายวงจรด้วยเครื่อง DWL นั้น จำเป็นจะต้องกำหนดตำแหน่งสำหรับลายวงจรที่จะเขียน เนื่องจากตำแหน่งนี้จะมีความสัมพันธ์กับการนำแผ่นกระจกต้นแบบไปใช้ในการถ่ายย่อแบบลายวงจรด้วยเครื่อง Stepper ต่อไป จากนั้นต้องหาเงื่อนไขของพลังงานที่เหมาะสมที่สุดในการฉายแสงสำหรับลายวงจรแต่ละชนิด เพื่อที่จะสามารถควบคุมขนาดและคุณภาพของลายวงจรได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะสนใจการสร้างลายวงจร Fidutial alignment และ Test Element Group (TEG) เท่านั้น

3.3.1 การกำหนดตำแหน่งบนแผ่นกระจกต้นแบบ

จากหลักการทำงานของเครื่อง Stepper นั้น เครื่องจะหาตำแหน่งต่างๆ เทียบกับจุดกึ่งกลางของแผ่นกระจกต้นแบบเท่านั้น ดังนั้นในการที่จะเขียนลายวงจรลงบนแผ่นกระจกต้นแบบด้วยเครื่อง DWL จึงต้องอ้างอิงจากจุดกึ่งกลางของแผ่นกระจกต้นแบบด้วย ซึ่งการหาจุดกึ่งกลางทำโดยนำแผ่นกระจกต้นแบบมาวางบนฐานของเครื่อง DWL [7] ดังแสดงในรูปที่ 3.12 เลื่อนฐานไปอยู่ในตำแหน่งเริ่มต้นของเครื่อง (Init stage) จากนั้นเคลื่อนฐานของเครื่องไปที่ขอบของกระจกทั้ง 4 ด้าน ในแนวแกน x และ y วัฏระยะที่เคลื่อนที่ไป แล้วคำนวณเทียบกับตำแหน่งเริ่มต้น ก็จะสามารถหาถึงกลางของแผ่นกระจกต้นแบบได้ ซึ่งจุดนี้จะใช้เป็นจุดอ้างอิงสำหรับการกำหนดตำแหน่งในการเขียนลายวงจรต่างๆ ต่อไป โดยตำแหน่งของลายวงจร (Layout) จะแสดงในรูปที่ 3.13



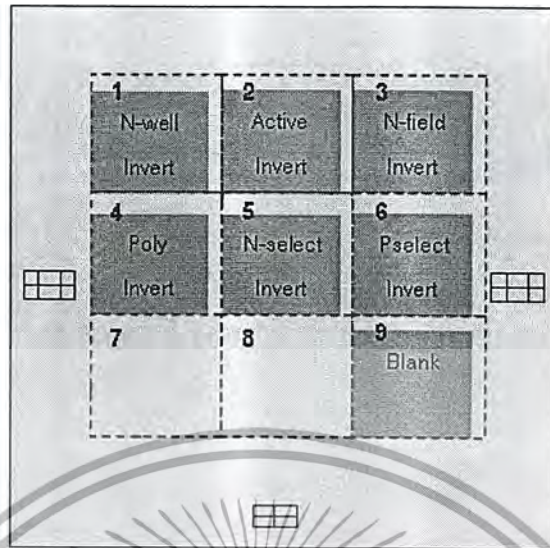
(ก)



(ข)

รูปที่ 3.12 ก) เครื่อง DWL ข) ฐานของเครื่องและหัวเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ตำแหน่งของลายวงจรมบนแผ่นกระจกต้นแบบ

3.3.2 การหาเงื่อนไขของพลังงานที่เหมาะสมสำหรับเขียนลายวงจร

สำหรับพลังงานในการฉายแสงนั้น จะขึ้นอยู่กับรูปร่าง ความหนาแน่นของลายวงจรและขนาดของเส้นลายที่อยู่ในวงจร ดังนั้น การเขียนลาย Fidutial alignment mark และ TEG 11 ชั้น จะมีค่าพลังงานที่เหมาะสมของแต่ละลายวงจรแตกต่างกัน โดยในงานวิจัยนี้จะปรับเปลี่ยนเงื่อนไขในการฉายแสงที่ 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90%, 95% และ 100% ของพลังงาน 120 มิลลิวัตต์ และพลังงานที่ 50%, 60%, 70%, 80%, 90% และ 100% สำหรับลายวงจร TEG ทั้ง 11 ชั้น โดยกำหนดค่า ramp ที่ 3695.14 ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้รอยต่อระหว่าง stripe (Stitching) มีความสมบูรณ์ที่สุด โดยการสร้างเงื่อนไขต่างๆ จะกำหนดเป็นไฟพลังงาน แสดงในภาคผนวก ข.

3.3.3 การล้างลายวงจรและการกัดโลหะโครเมียม

หลังจากฉายแสงแล้ว จะทำการล้างลายวงจร เพื่อเอาน้ำยาไวแสงส่วนที่ไม่ต้องการออก โดยในงานวิจัยนี้ จะใช้น้ำยาล้างลาย (Developer) Summit chemical เบอร์ SD-1 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำ Deionizer เป็นเวลา 2 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.14 และรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.14 การล้างลายด้วยน้ำยา Developer

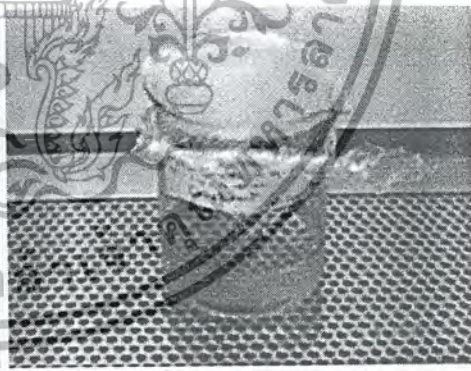


รูปที่ 3.15 การล้างน้ำยา Developer

จากนั้นจะต้องนำชิ้นงานไปตรวจสอบลายวงจรมีความสมบูรณ์ ขนาด และ ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งที่ยอมรับได้หรือไม่ ถ้ายอมรับได้จะนำชิ้นงานไปอบ (Post bake) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที [3] เพื่อให้น้ำยาไวแสงแข็งตัวและทนทานต่อการกัดได้ จากนั้นจะทำการกัดชั้นฟิล์มโลหะโครเมียม เพื่อสร้างลายวงจรถอย่างถาวร โดยในงานวิจัยนี้จะใช้น้ำยากัดลายโครเมียม คือ Aluminium Cerium (IV) nitrate: HClO₄: DI water ในอัตราส่วน 50g. :13ml.: 220ml. ซึ่งจะได้น้ำยากัดลายโครเมียมสีส้ม ดังแสดงในรูปที่ 3.16 และรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.16 การผสมน้ำยากัดลายโครเมียม



รูปที่ 3.17 น้ำยากัดลายโครเมียม

โดยตัวแปรที่สำคัญสำหรับการกัดลายโลหะโครเมียมคือ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการกัด สำหรับอุณหภูมิจะควบคุมไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส สำหรับเวลานั้น จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของลายวงจรถอย่างถาวร โดยสามารถสังเกตได้จากสีของชั้นฟิล์มโครเมียมส่วนที่ถูกกัด จะไล่ขึ้น หลังจากนั้นต้องล้างชิ้นงานด้วยน้ำ DI ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.18 และ 3.19 จากนั้นลอกชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงส่วนที่เหลือออกด้วยกรด Piranha ที่อุณหภูมิ 120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำ DI อีกครั้งหนึ่ง เป็นเวลา 10 นาที แล้วเป่าแห้งด้วยไนโตรเจน ก็จะได้ลายวงจรที่ถาวรอยู่บนแผ่นกระจกต้นแบบ



รูปที่ 3.18 การกัดลายโลหะโครเมียม



รูปที่ 3.19 การล้างชิ้นงานด้วยน้ำ DI

3.4 การตรวจสอบลายวงจรและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลจะแบ่งเป็นการวิเคราะห์จำนวนฝุ่นละอองและจุดบกพร่องที่เกิดขึ้น และการวิเคราะห์ขนาดและตำแหน่งของลายวงจร โดยในการวิเคราะห์จำนวนและขนาดของฝุ่นละออง จะต้องตรวจสอบทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ สำหรับการตรวจสอบลายวงจรนี้จะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การตรวจสอบความสมบูรณ์ของลายวงจร และการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งและขนาดของลายวงจร ซึ่งจะต้องตรวจสอบทั้งก่อนและหลังการกัดลายโลหะโครเมียม โดยใช้วิธีการทางสถิติมาช่วยในการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง โดยตำแหน่งและขนาดของลายวงจรที่จะใช้ตรวจสอบจะแตกต่างกันตามชนิดของลายวงจร ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองและจุดบกพร่อง

ในการวิเคราะห์จำนวนฝุ่นละอองนั้น จะใช้แผ่นซิลิกอนในการทดสอบ ซึ่งจะต้องทำการวัดปริมาณฝุ่นละอองตามขนาดที่กำหนดทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ ทั้งแบบกระบวนการไม่ต่อเนื่องและกระบวนการแบบต่อเนื่อง โดยจะใช้วิธีทางสถิติคือ การแจกแจงความถี่ของข้อมูลโดยใช้ Pareto chart ในโปรแกรม Minitab version 14 ซึ่งจะทำให้ทราบขั้นตอนที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองมากที่สุด จากนั้นจะปรับปรุงกระบวนการผลิต แล้ววิเคราะห์เทียบหาความแตกต่างของปริมาณทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ เพื่อทดสอบว่าสามารถลดปริมาณฝุ่นละอองได้

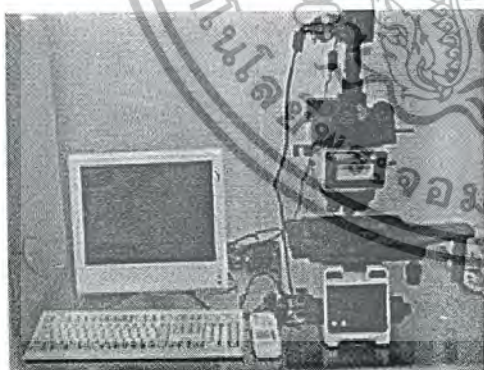
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือไม่ และนำค่าสถิติทางด้านขนาดของฝุ่นละออง มาวิเคราะห์หาสาเหตุที่ยังก่อให้เกิดฝุ่นละออง ภายหลังจากปรับปรุงกระบวนการผลิตต่อไป

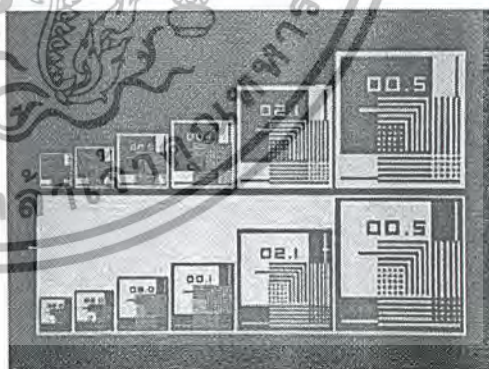
ในส่วนของจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นนั้น จะนับปริมาณของจุดบกพร่องชนิดต่างๆ โดยใช้กล่อง จุลทรรศน์ จากนั้นนำมาผลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยการแจกแจงความถี่ด้วย Pareto chart เพื่อดูชนิดของจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นมากที่สุด จากนั้นจะจำแนกจุดบกพร่องที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อลายวงจร (Critical defect) ของแต่ละชั้น รวม 11 ชั้น เพื่อทดสอบว่าลายวงจรชั้นไหนมี จำนวนจุดบกพร่องเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ และจุดบกพร่องที่เกินมานี้เป็น Killer defect หรือไม่

3.4.2 การวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของลายวงจร

ในการตรวจสอบความสมบูรณ์ของลายวงจร จะใช้กล้องจุลทรรศน์ทางแสง (Optical Microscope) ในการตรวจสอบ โดยถ่ายภาพด้านบนของลายวงจร ที่กำลังขยาย 100, 200 และ 1000 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 3.20 โดยจะตรวจสอบดูเพื่อหาค่าพลังงาน ที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างลายวงจร โดยจะดูว่าลายวงจรมีความคมชัดและล้างลายออกหมดหรือไม่ โดยจะมีการกำหนด บริเวณอ้างอิงสำหรับตรวจสอบความสมบูรณ์ลายวงจรไว้ที่ลายทดสอบ (CD test pattern) ที่ขนาด 4.0, 5.0 และ 7.5 ไมครอน และลายวงจรที่เล็กที่สุดในแต่ละชั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.20 กล้องจุลทรรศน์ทางแสง



รูปที่ 3.21 ลายทดสอบ (CD test pattern)

3.4.3 การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของลายวงจร

ในการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งในแนวแกน x และแนวแกน y จะใช้ ฟังก์ชันการวัดตำแหน่งในเครื่อง DWL (Position measurement mode) ในการวัด ซึ่งจะต้องวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

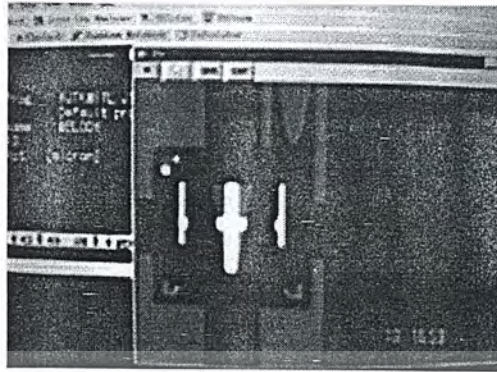
ตำแหน่งของลายวงจร Fidutial mark และ TEG 11 ชั้น ที่เขียนในเวลาที่แตกต่างกัน โดยวัดค่าจากกระจกต้นแบบ 2 แผ่น และนำค่าเฉลี่ยมาวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อดูว่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้หรือไม่ และระยะเวลาที่แตกต่างกันในการเขียนลายวงจร ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกันหรือไม่ ถ้าแตกต่างกันสามารถชดเชยความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นโดยใช้วิธีการทางสถิติได้หรือไม่

3.4.4 การวิเคราะห์ขนาดเส้นลายวงจร

ในการวิเคราะห์ขนาดเส้นลายวงจรมัน จะต้องวัดค่าความกว้างเส้นลายวงจรทั้งก่อนและหลังการกัดโลหะโครเมียม โดยในการวัดความกว้างลายวงจรถัดลายนั้น เพื่อที่จะหาค่าพลังงานที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างลายวงจรให้มีขนาดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ +/-10% ของขนาดลายวงจรที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นนำเงื่อนไขที่ดีที่สุดมาสร้างลายวงจรและทำการกัดลายโครเมียม โดยในการวัดค่าความกว้างลายวงจรมันจะใช้โปรแกรม Linewidth measurement ในเครื่อง DWL ซึ่งสำหรับลายวงจร TEG จะทำการวัดทั้งหมด 2 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 3 ครั้ง คือ ที่ลายทดสอบ CD test pattern ขนาด 10, 7.5, 5, 4 และ 2.5 ไมครอน และที่ลายที่เล็กที่สุดในแต่ละชั้นลายวงจร TEG ในส่วนของลายวงจร Fidutial mark จะวัดที่เส้นลายขนาด 15 และ 20 ไมครอน โดยการวิเคราะห์มันจะใช้วิธีสถิติโดยใช้ Box plot ในโปรแกรม Minitab version 14

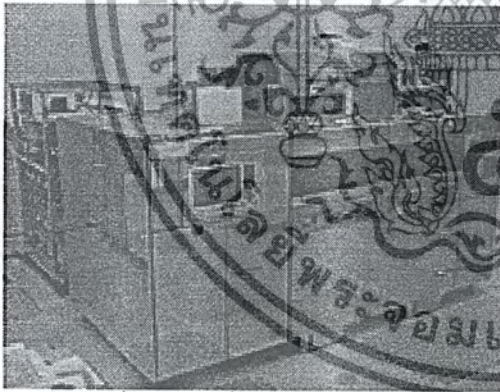
3.5 การฉายแสงผ่านกระจกต้นแบบเพื่อสร้างลายวงจร TEG ลงบนแผ่นซิลิกอน

ภายหลังจากการวิเคราะห์แผ่นกระจกต้นแบบที่สร้างแล้ว จะต้องนำแผ่นกระจกต้นแบบมาทำการฉายแสงด้วยเครื่อง Stepper เพื่อที่จะทดสอบว่าลายวงจร Fidutial alignment mark นั้น สามารถใช้งานกับเครื่อง Stepper ได้ ซึ่งจะกำหนดด้วยค่ามุม Rotation โดยมีวิธีการตรวจสอบดังแสดงในรูปที่ 3.22

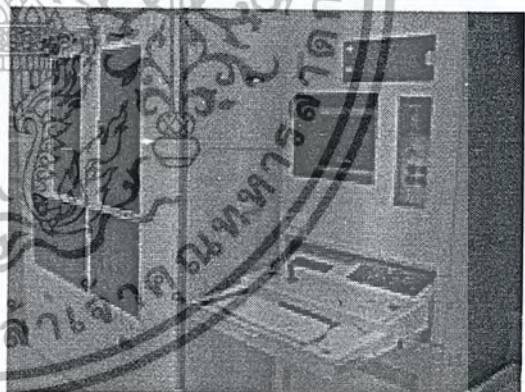


รูปที่ 3.22 การหาทึ่งกลางของแผ่นกระจกต้นแบบโดยใช้ลายวงจร Fidutial alignment mark

จากนั้นต้องฉายลายวงจร TEG ทั้ง 11 ชั้น ลงบนแผ่นซิลิกอน เพื่อทดสอบว่าสามารถถ่ายย่อแบบลายวงจรได้อย่างสมบูรณ์ และมีขนาดลายวงจรต่ำกว่า 1 ไมครอน โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดลายวงจรอยู่ในช่วง $\pm 10\%$ จากขนาดลายวงจรบนแผ่นกระจกต้นแบบหรือไม่ โดยจะเตรียมชิ้นงานโดยใช้เครื่องจักรสำหรับแผ่นซิลิกอนขนาด 6 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.23 และถ่ายย่อแบบลายวงจรลดลง 5 เท่า ด้วยเครื่องถ่ายย่อแบบลายวงจร (Stepper) โดยมีเงื่อนไขการเตรียมชิ้นงานและการกำหนดระยะเวลาต่างๆ ในถ่ายย่อแบบลายวงจร ดังแสดงในภาคผนวก ง.



รูปที่ 3.23 เครื่อง Coaster



รูปที่ 3.24 เครื่อง Stepper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง จะสามารถแบ่งการวิเคราะห์ได้เป็น 4 หัวข้อหลัก คือ การวิเคราะห์ปริมาณและขนาดของฝุ่นละออง การวิเคราะห์ขนาดของเส้นลายวงจร การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของลายวงจร และการวิเคราะห์จำนวนและชนิดของจุดบกพร่องที่เกิดขึ้น ดังรายละเอียดต่อไปนี้

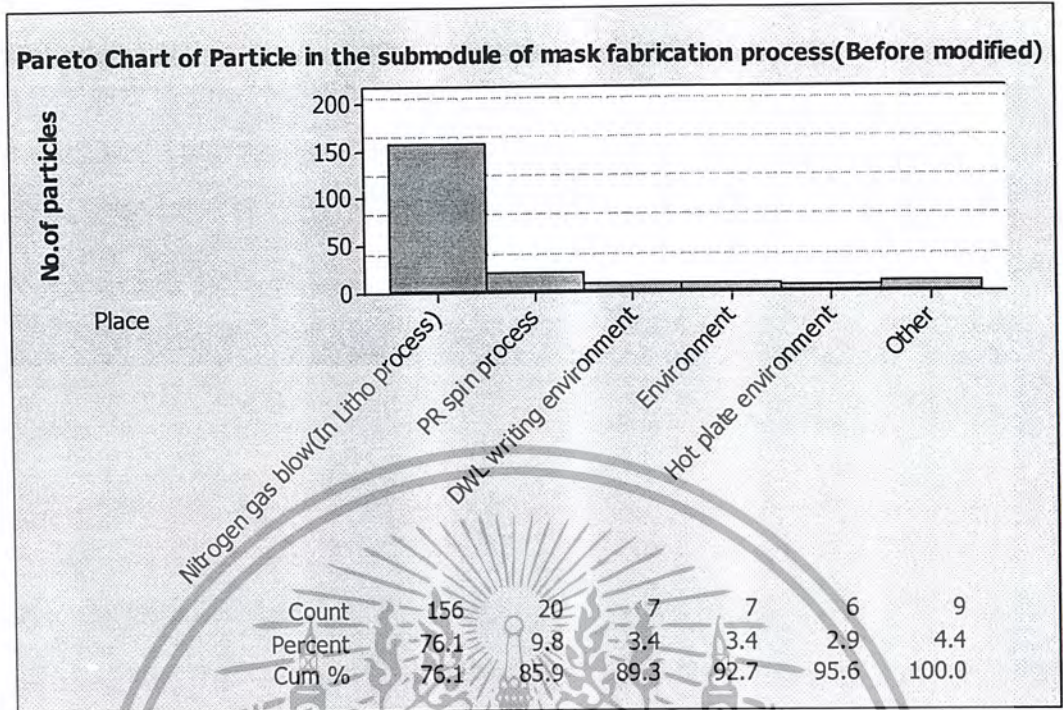
4.1 การวิเคราะห์ปริมาณและขนาดของฝุ่นละออง

จากการทดสอบจำนวนฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในระบบการสร้างลายวงจรบนแผ่นโฟโต้มาส์ก โดยการจำลองกระบวนการด้วยแผ่นซิลิคอน ซึ่งการทดสอบสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทคือ การทดสอบฝุ่นละอองของแต่ละกระบวนการ (Discrete process) และการทดสอบฝุ่นละอองทั้งกระบวนการ (Continue process) จากการวัดจำนวนฝุ่นละอองและจำแนกขนาดด้วยเครื่อง Particle Counter SurfScan6200 ทำให้สามารถหากระบวนการที่ก่อเกิดฝุ่นละอองรวมถึงขนาดของฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นดังต่อไปนี้

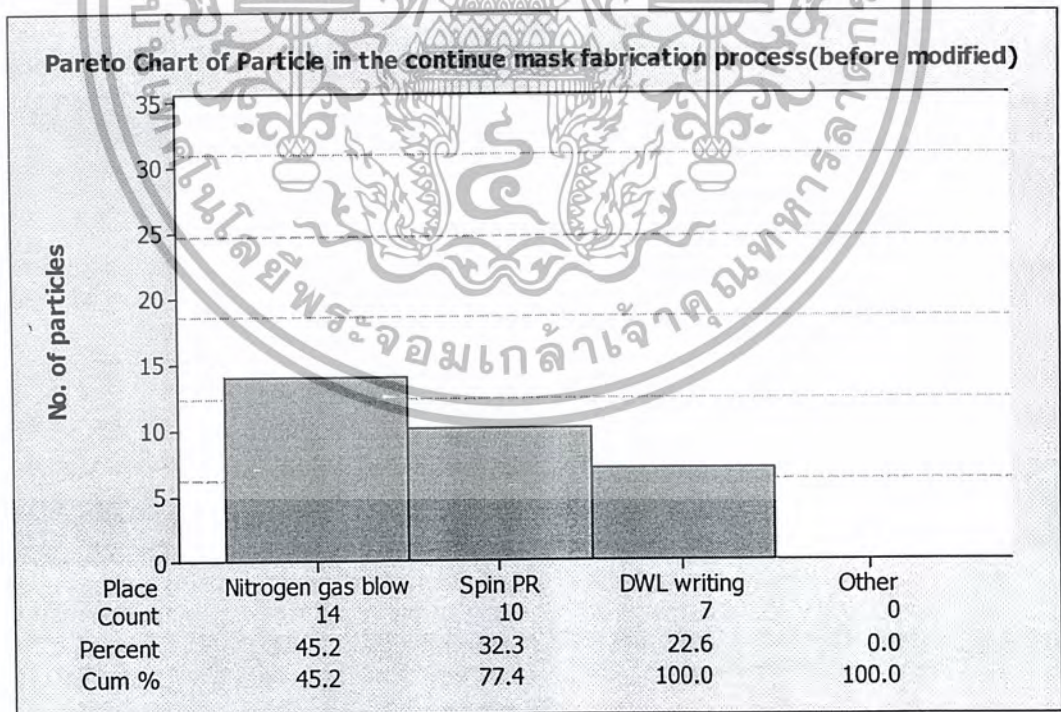
4.1.1 การวิเคราะห์หากระบวนการที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองในการสร้างลายวงจร

จากการวัดปริมาณฝุ่นละอองก่อนที่จะปรับปรุงกระบวนการนั้น ได้ทำการวัดทั้งกระบวนการแบบไม่ต่อเนื่องและกระบวนการแบบต่อเนื่อง ซึ่งเมื่อนำข้อมูลจากภาคผนวก ก. มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ

พบว่าทั้งการทดสอบในแต่ละกระบวนการ และการทดสอบทั้งกระบวนการนั้น เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนรวมของฝุ่นละอองที่เพิ่มขึ้น พบว่าการใช้แก๊สไนโตรเจนเป่าทำความสะอาดชิ้นงาน การเคลือบชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงด้วยเครื่อง Spinner และบรรยากาศภายในเครื่อง DWL นั้น ก่อเกิดฝุ่นละอองในปริมาณมาก ในขณะที่กระบวนการอื่นๆ ก่อเกิดฝุ่นละอองในปริมาณที่น้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรวมของฝุ่นละอองแบบไม่ต่อเนื่อง (ก่อนปรับปรุงกระบวนการ)



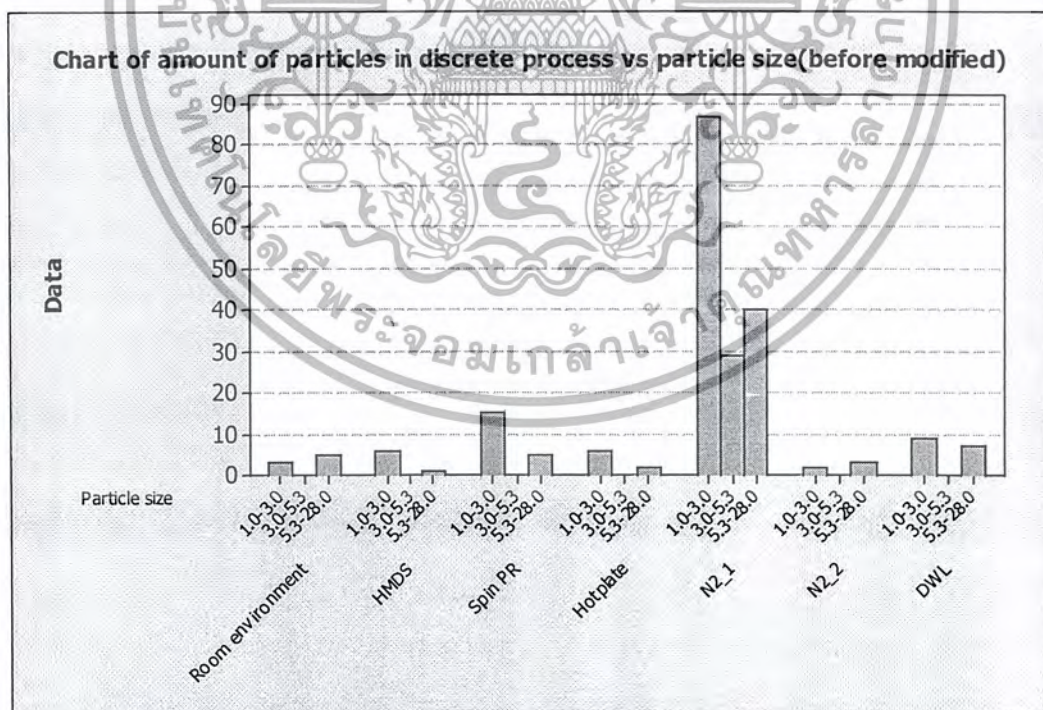
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรวมของฝุ่นละอองแบบต่อเนื่อง (ก่อนปรับปรุงกระบวนการ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การวิเคราะห์จำนวนและขนาดของฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในการสร้างลายวงจร

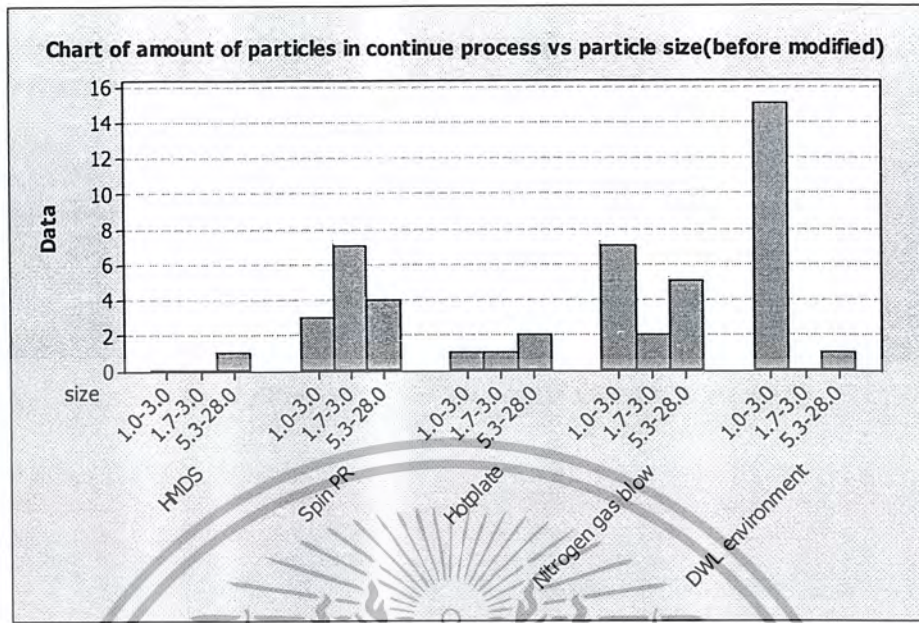
เมื่อพิจารณาขนาดของฝุ่นละอองที่เกิดขึ้น จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าในตัวแปรที่ศึกษา นั้น การเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนนั้น ก่อเกิดฝุ่นละอองทุกช่วงขนาดในปริมาณที่มาก ในขณะที่เครื่อง Spinner และเครื่อง DWL จะก่อเกิดฝุ่นละอองในช่วง 1.0-3.0 ไมครอน ทั้งในส่วนของแต่ละกระบวนการและกระบวนการแบบต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้จึงต้องปรับปรุงกระบวนการทั้งสามคือ การเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจน บรรยากาศในเครื่อง Spinner และเครื่อง DWL

สำหรับการเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนนั้น ได้เปลี่ยนไส้กรองอากาศภายในและทำความสะอาดรอบหัวปืน ในส่วนของบรรยากาศในเครื่อง Spinner ได้สร้างฝาครอบตัวเครื่องใหม่ พร้อมทั้งติดตั้งระบบดูดอากาศเสีย (Exhaust hose) และปรับปรุง Vacuum chuck ให้รองรับตัวจับแผ่นไฟโต้มาส์ก ซึ่งจะทำให้เป็นกระบวนการที่ไม่ต้องถือจับชิ้นงานโดยตรง ในส่วนของเครื่อง DWL นั้น ได้ทำความสะอาดบริเวณตัวเครื่องทั้งหมดทุกครั้งก่อนทำการเขียนลายวงจรเท่านั้น และสำหรับกระบวนการอื่นๆ ที่ไม่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองในปริมาณมาก ได้ปรับปรุงกระบวนการโดยการเช็ดตัวเครื่องและอุปกรณ์ทั้งหมดทุกครั้งก่อนการใช้งาน



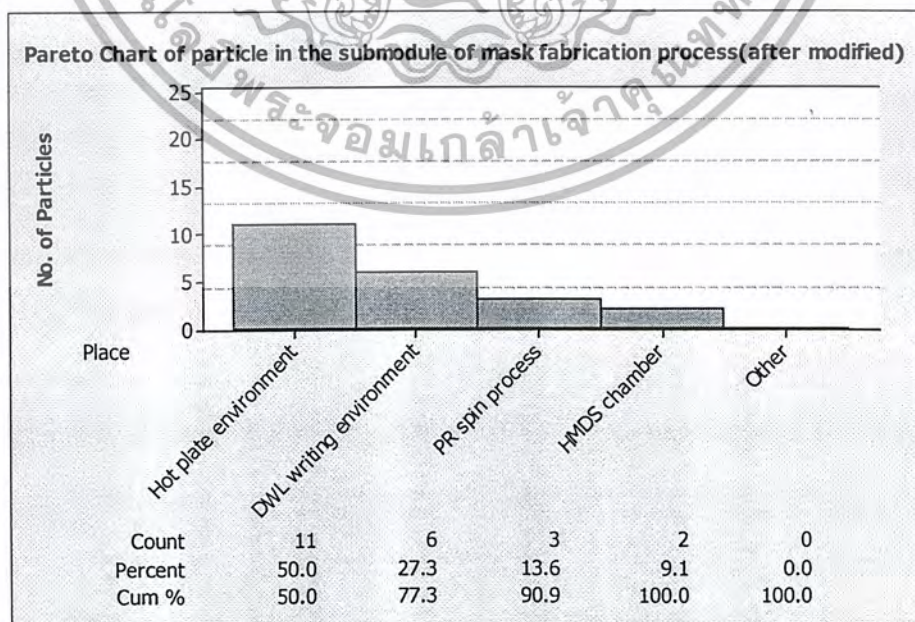
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของขนาดและจำนวนของฝุ่นละอองแบบไม่ต่อเนื่อง (ก่อนปรับปรุงกระบวนการ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



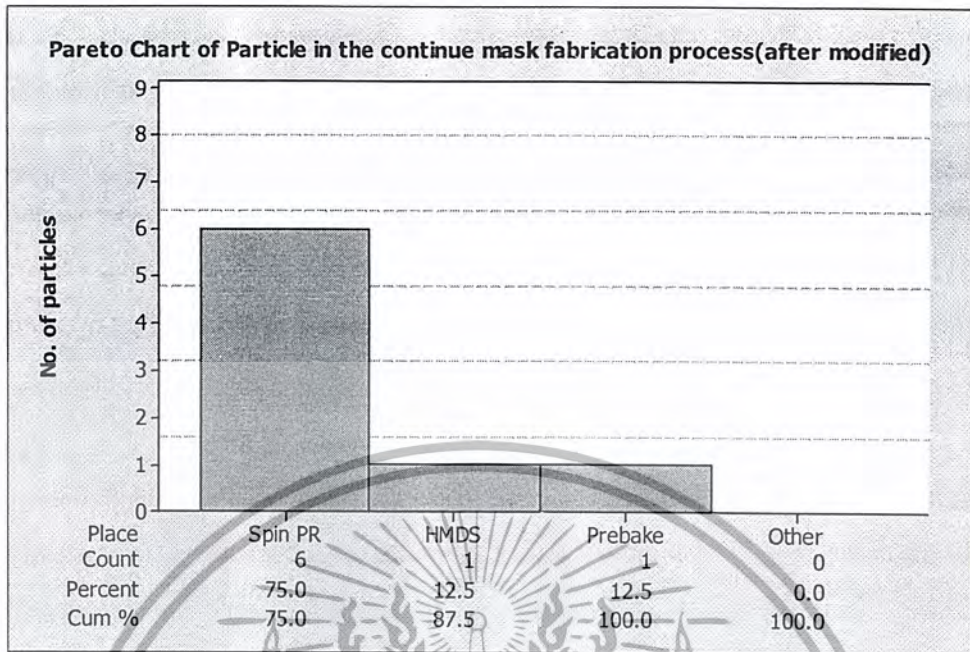
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและจำนวนของฝุ่นละอองแบบต่อเนื่อง (หลังปรับปรุงกระบวนการ)

ภายหลังการปรับปรุงกระบวนการ พบว่าจำนวนฝุ่นละอองของการเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนบรรยากาศในเครื่อง Spinner และเครื่อง DWL นั้นลดลงอย่างชัดเจน ทั้งในส่วนของแต่ละกระบวนการและกระบวนการแบบต่อเนื่อง จะมีเพียงส่วนของ Hot pate และ HMDS chamber เท่านั้น ที่มีจำนวนฝุ่นละอองเพิ่มขึ้นในปริมาณเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรวมของฝุ่นละออง (หลังปรับปรุงกระบวนการ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรวมของฝุ่นละออง (หลังปรับปรุงกระบวนการ)

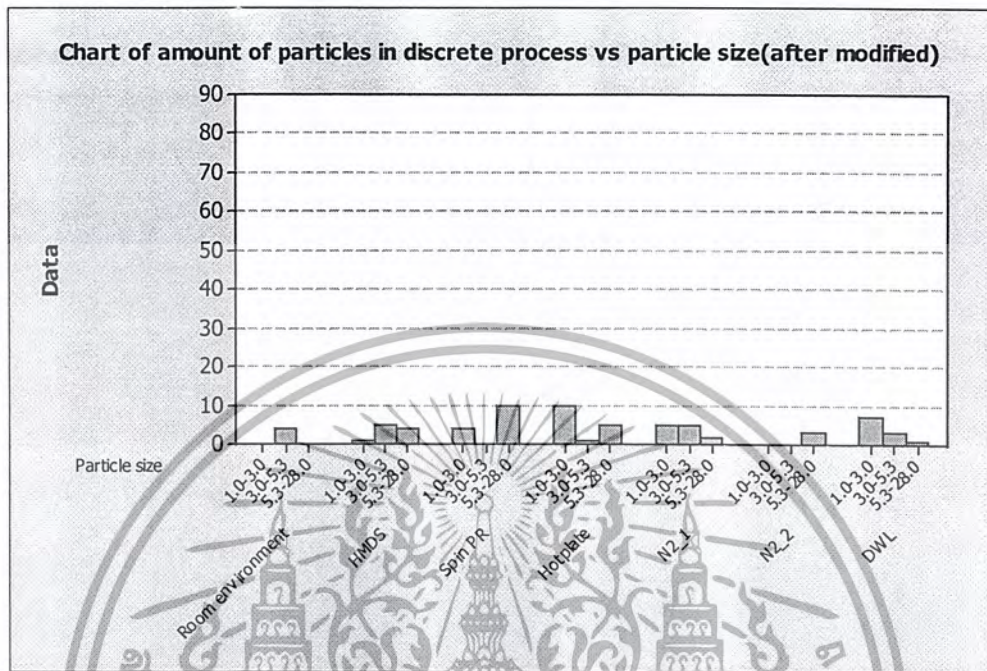
ขนาดฝุ่นละอองที่สนใจในงานวิจัยนี้คือ ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่กว่า 4.0 ไมครอน เนื่องจากลายวงจรถ่ายที่เขียนลงบนโฟโต้มาส์กมีขนาดเล็กที่สุด (Minimum Critical Dimension) คือ 4.0 ไมครอน โดยถ้ามีฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่กว่าลายวงจรถ่ายที่เล็กที่สุดในกระบวนการผลิต อาจเป็นสาเหตุให้เกิดการขาดของลายวงจรถ่าย(Killer defect) จากผลการทดลองพบว่า หลังการปรับปรุงกระบวนการ ฝุ่นที่มีปริมาณลดลงจะเป็นฝุ่นที่มีขนาด 1.0-5.3 ไมครอน แต่สำหรับฝุ่นละอองที่มีขนาดตั้งแต่ 5.3 ไมครอน ขึ้นไปนั้น จะมีปริมาณคงที่หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในทุกกระบวนการ ทั้งในแต่ละกระบวนการและกระบวนการแบบต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ ยกเว้น HMDS chamber และ Hot plate ซึ่งมีจำนวนฝุ่นละอองทุกขนาดเพิ่มขึ้น

จากการวิเคราะห์ข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า สำหรับกระบวนการที่ปรับปรุงคือ การเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจน บรรยากาศในเครื่อง Spinner และเครื่อง DWL จะสามารถลดจำนวนของฝุ่นละอองที่มีขนาด 1.0-5.3 ไมครอน ได้ แต่สำหรับฝุ่นละอองขนาดตั้งแต่ 5.3 ไมครอน จะมีแนวโน้มคงที่หรือเพิ่มขึ้นเท่านั้น ซึ่งโดยทั่วไปฝุ่นละอองขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นภายในห้อง Cleanroom จะมีสาเหตุมาจากมนุษย์เป็นหลัก

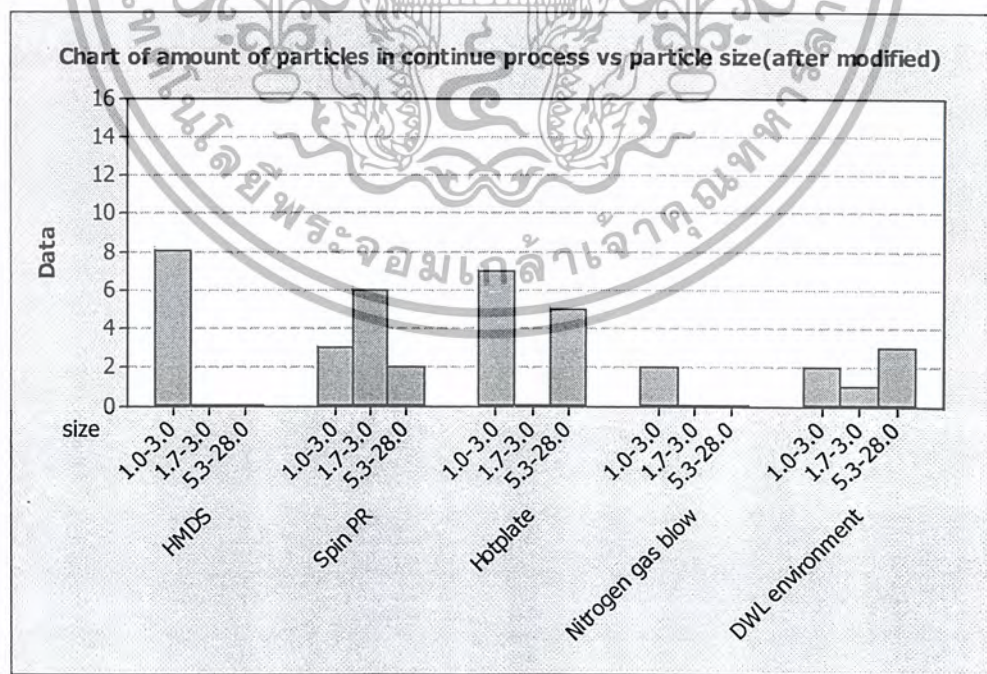
สำหรับกระบวนการที่ไม่ได้ปรับปรุง แต่ทำความสะอาดก่อนเริ่มกระบวนการเท่านั้น ไม่สามารถลดจำนวนฝุ่นละอองทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ได้ โดยฝุ่นละอองขนาดเล็กจะมีสาเหตุมาจากสิ่งแวดล้อมรอบกระบวนการนั้นๆ แต่ฝุ่นละอองขนาดใหญ่มักมีสาเหตุมาจากมนุษย์เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลัก ดังนั้นอาจต้องทำการปรับปรุงให้บรรยากาศโดยรอบ HMDS chamber และ Hot plate เป็นระบบปิด



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของขนาดและจำนวนของฝุ่นละอองแบบไม่ต่อเนื่อง (หลังปรับปรุงกระบวนการ)

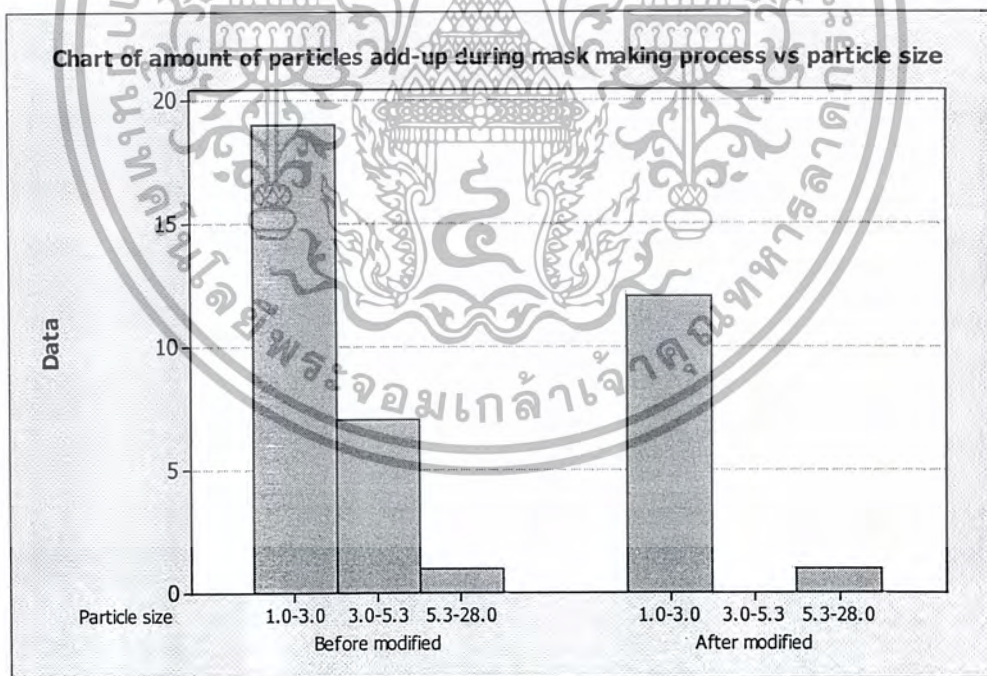


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและจำนวนของฝุ่นละอองแบบต่อเนื่อง (หลังปรับปรุงกระบวนการ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการปรับปรุงกระบวนการนั้น สามารถศึกษาได้จากผลต่างของจำนวนฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นแต่ละขนาด ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งจะสนใจเฉพาะจำนวนฝุ่นละอองที่ได้จากกระบวนการแบบต่อเนื่องเท่านั้น เนื่องจากเป็นกระบวนการจริงที่ใช้ในการสร้างลายวงจรลงบนแผ่นโฟโต้มาส์ก

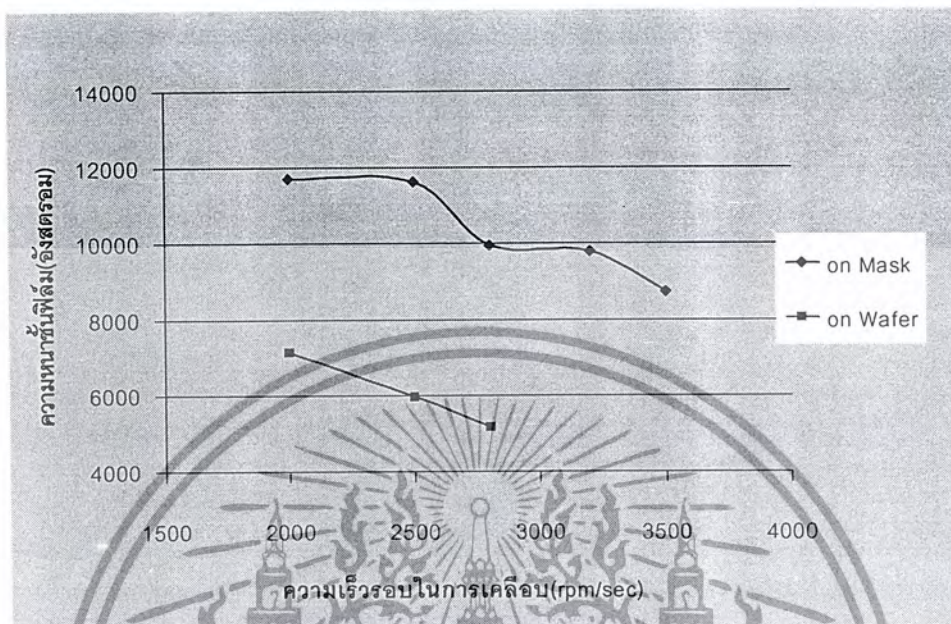
จากรูปที่ 4.9 พบว่าการปรับปรุงกระบวนการมีผลทำให้จำนวนฝุ่นละอองขนาด 1.0-5.3 ไมครอน ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน ในขณะที่จำนวนของฝุ่นละอองขนาดตั้งแต่ 5.3 ไมครอน ขึ้นไปนั้น มีปริมาณคงที่หรือมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น โดยการกำจัดฝุ่นละอองขนาดเล็กนั้น มีความยากกว่าการกำจัดฝุ่นละอองขนาดใหญ่ ซึ่งในการทดลองนี้สามารถกำจัดฝุ่นละอองขนาดเล็กได้ แต่ฝุ่นละอองขนาดใหญ่ยังคงอยู่ จึงกล่าวได้ว่า ฝุ่นละอองขนาดใหญ่ในแต่ละกระบวนการนั้นสามารถกำจัดได้ แต่ฝุ่นละอองขนาดใหญ่ที่ยังคงมีอยู่นั้น เป็นฝุ่นละอองที่เพิ่มเข้าไปในกระบวนการนั้นๆ อันเป็นผลมาจากมนุษย์เป็นหลัก ทั้งการจับถือแผ่นโฟโต้มาส์ก ความสกปรกของชุด Cleanroom อิริยาบถที่อาจก่อให้เกิดฝุ่นละอองได้ เป็นต้น เหล่านี้ล้วนเป็นสาเหตุให้เกิดฝุ่นละอองขนาดใหญ่ในกระบวนการผลิตได้ทั้งสิ้น



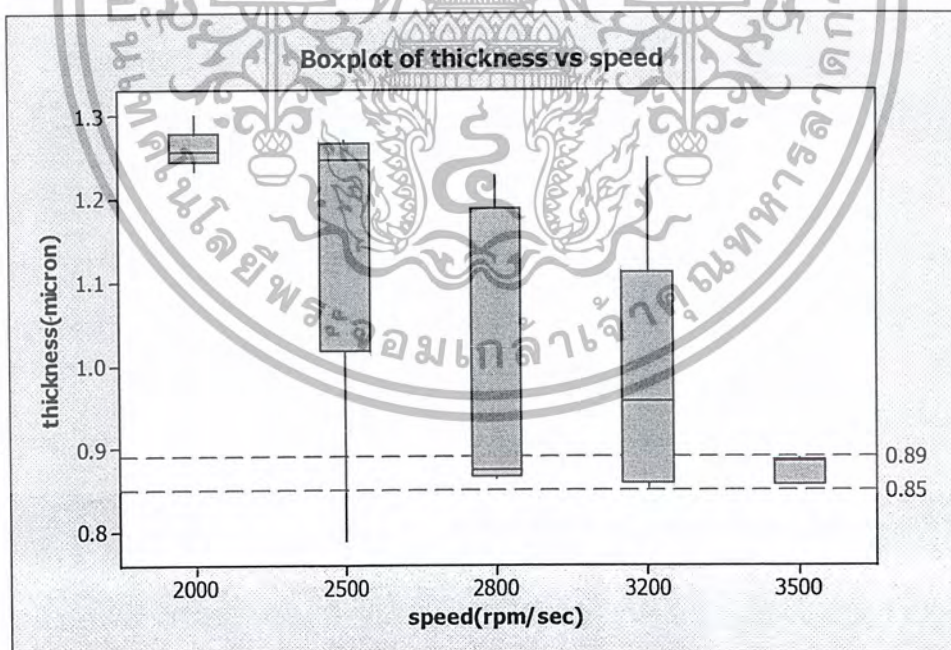
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและจำนวนของฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่อเนื่องทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวิเคราะห์ความหนาและความสม่ำเสมอชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสง



รูปที่ 4.10 ความหนาที่ความเร็วรอบการเคลือบน้ำยาไวแสงบนกระจกต้นแบบและ wafer



รูปที่ 4.11 แสดงการกระจายของความหนาที่ความเร็วรอบการเคลือบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปภาพที่ 4.10 แสดงความหนาของน้ำยาไวแสงกับความเร็วยอบในการหมุนเคลือบ พบว่า ความหนาของน้ำยาไวแสงบนไฟโตมาส์ก ไม่เสถียรเนื่องจากน้ำหนักของแผ่น และกำลังของเครื่องหมุนเคลือบ ซึ่งแตกต่างจากการเคลือบน้ำยาไวแสงบนแผ่นซิลิกอน ดังนั้นจึงเลือกการกระจายความหนาของน้ำยาไวแสงที่น้อยที่สุดอยู่ในช่วง 0.9-0.84 ไมครอน จากรูปภาพที่ 4.11 ซึ่งได้ความเร็วในการเคลือบ Step 2 คือที่ความเร็ว 3500 รอบต่อนาที

4.3 การวิเคราะห์ลายวงจรถ่าย TEG (Test Element Group)

ในการวิเคราะห์ลายวงจรถ่าย TEG นั้น จะต้องวิเคราะห์แต่ละชั้นของลายวงจรถ่าย เนื่องจากความแตกต่างทางรูปร่าง ขนาด และความหนาแน่นของลายวงจรถ่าย ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าพลังงานที่ใช้ในการฉายแสงของแต่ละลายวงจรมีค่าไม่เท่ากัน โดยการวิเคราะห์จะใช้ขนาดลายวงจรถ่ายกับรูปถ่ายเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.3.1 การวิเคราะห์ขนาดของลายวงจรถ่าย TEG ก่อนการกัดลายวงจรถ่าย

ในการวิเคราะห์ขนาดของลายวงจรถ่าย เพื่อหาค่าพลังงานที่เหมาะสมในการฉายแสงนั้น จะต้องทำการวิเคราะห์รูปถ่ายลายวงจรถ่ายร่วมกับขนาดของลายวงจรถ่ายทั้ง 2 แบบ คือ ลายวงจรถ่ายทดสอบ CD test pattern และลายวงจรถ่าย TEG โดยพิจารณาทุกค่าพลังงานที่ปรับเปลี่ยน เพื่อที่จะดูว่าค่าพลังงานที่เหมาะสมที่สุดนั้น สามารถสร้างลายวงจรถ่ายให้อยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อน $\pm 10\%$ ของขนาดลายวงจรถ่ายที่ออกแบบได้หรือไม่ และศึกษาแนวโน้มของขนาดลายวงจรถ่าย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

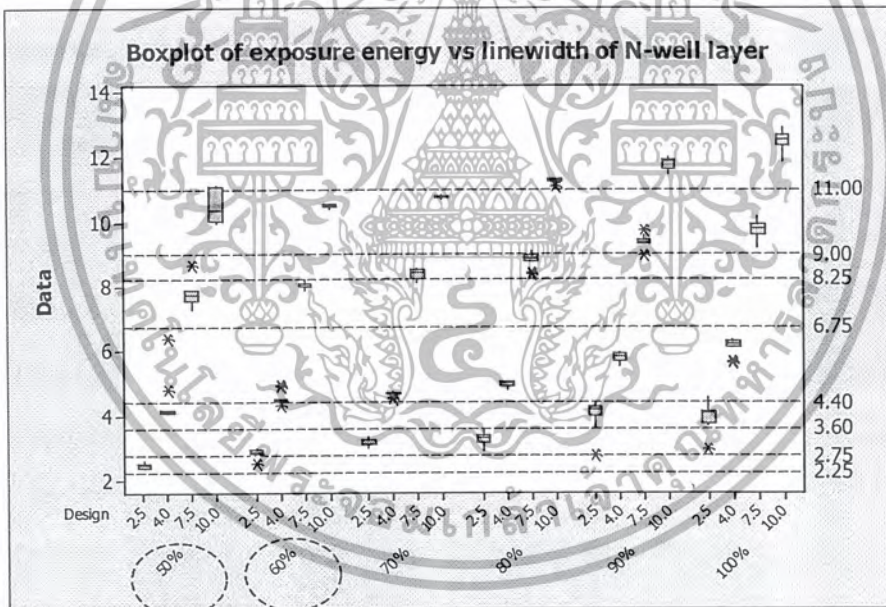
4.3.1.1 การวิเคราะห์ลายวงจรถ่ายชั้น N-well

จากการพิจารณารูปถ่ายลายวงจรถ่าย ดังแสดงในภาคผนวก จ1 พบว่าที่ลายวงจรถ่าย CD test pattern นั้น ที่พลังงานในการฉายแสง 50%, 60%, 70% และ 80% ยังคงมีน้ำยาไวแสงหลงเหลืออยู่ แสดงว่าพลังงานไม่เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยาให้น้ำยาไวแสงอ่อนตัวและหลุดลอกไปกับน้ำยาล้างลายได้ แต่เมื่อเพิ่มพลังงานเป็น 90% และ 100% ลายวงจรถ่ายมีความสมบูรณ์ ไม่มีน้ำยาไวแสงหลงเหลืออยู่ เมื่อพิจารณาที่ลายวงจรถ่าย TEG ที่มีขนาดเล็กที่สุด คือที่ 50 ไมครอน พบว่าที่พลังงานในการฉายแสง 70%, 80%, 90% และ 100% สามารถสร้างลายวงจรถ่ายที่มีความสมบูรณ์ได้

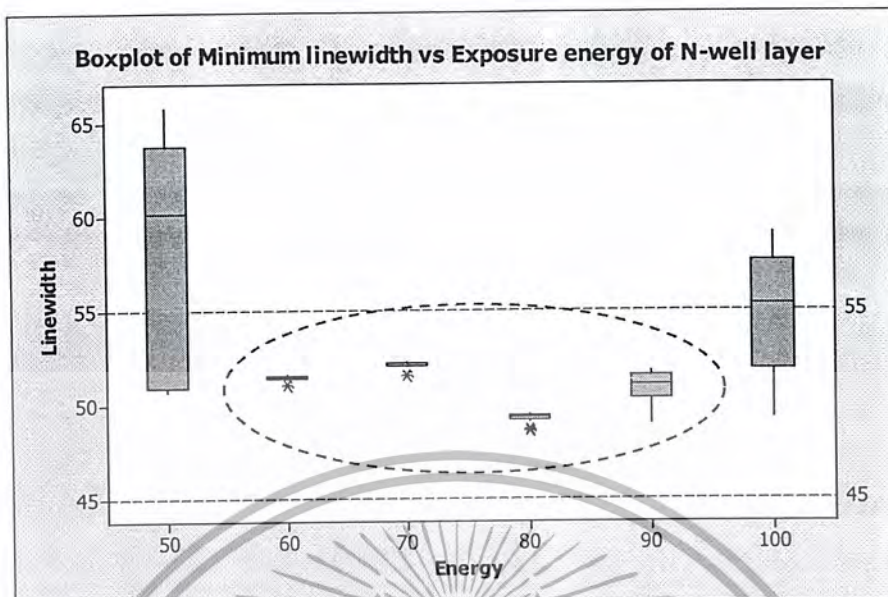
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาความกว้างของลายวงจรถูกที่พลังงานต่างๆ พบว่าที่ลาย CD test pattern มีเพียงค่าพลังงานที่ 50% เท่านั้น ที่สามารถสร้างลายวงจรถัง 4 ขนาด คือ 2.5, 4.0, 7.5 และ 10 ไมครอน ให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ โดยที่ค่าพลังงาน 60% และ 70% สามารถควบคุมความกว้างเส้นลายวงจรถังที่ 10, 7.5 ไมครอน และที่ความกว้าง 10 ไมครอน เท่านั้น ตามลำดับ ส่วนที่ค่าพลังงาน 80 ถึง 100% ไม่สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรถังได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.12

เมื่อพิจารณาที่ความกว้างของลายวงจรถังเล็กที่สุดในชั้น N-well คือ 50 ไมครอน พบว่าที่พลังงาน 50 และ 100% มีการกระจายตัวของข้อมูลมาก และอยู่นอกช่วงที่ยอมรับได้ ในขณะที่พลังงาน 60%, 70%, 80% และ 90% สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรถังได้ และมีการกระจายตัวของข้อมูลต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และเมื่อพิจารณาร่วมกันทั้งรูปถ่ายและขนาดของลายวงจรถัง พบว่าค่าพลังงานที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างลายวงจรถัง N-well คือ ที่พลังงาน 90% โดยแนวโน้มของขนาดลายวงจรถังจะมีขนาดใหญ่กว่าลายวงจรถังที่ได้ออกแบบไว้ ดังแสดงในภาคผนวกที่ 2



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจรถังขนาดต่างๆ ของลายวงจรถัง CD test pattern ชั้น N-well



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจรขนาดต่างๆ ของลายวงจร TEG ที่เล็กที่สุดของชั้น N-well

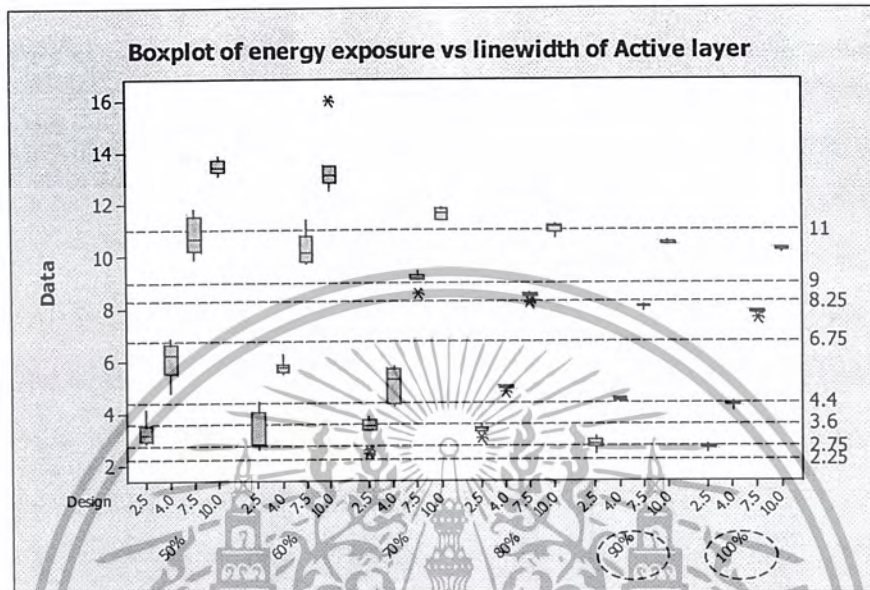
4.3.1.2 การวิเคราะห์ลายวงจรชั้น Active

จากการพิจารณาภาพถ่ายลายวงจร ดังแสดงในภาคผนวกที่ ๑2 พบว่าที่ลายวงจร CD test pattern นั้น มีเพียงพลังงานในการฉายแสงที่ 90% และ 100% ที่ทำให้ลายวงจรมีความสมบูรณ์ได้ในขณะที่พลังงานที่ต่ำกว่าคือ 50 ถึง 80% เป็นค่าพลังงานที่ไม่เพียงพอ ยังคงมีน้ำยาไวแสงตกค้างอยู่ เมื่อพิจารณาที่ลายวงจร TEG ที่มีขนาดเล็กที่สุด คือที่ 4 ไมครอน พบว่ามีเพียงพลังงานในการฉายแสงที่ 90% และ 100% เท่านั้น ที่สามารถสร้างลายวงจรที่มีความสมบูรณ์ได้ ส่วนที่พลังงานที่ต่ำลงมา ไม่เพียงพอต่อการสร้างลายวงจรที่สมบูรณ์

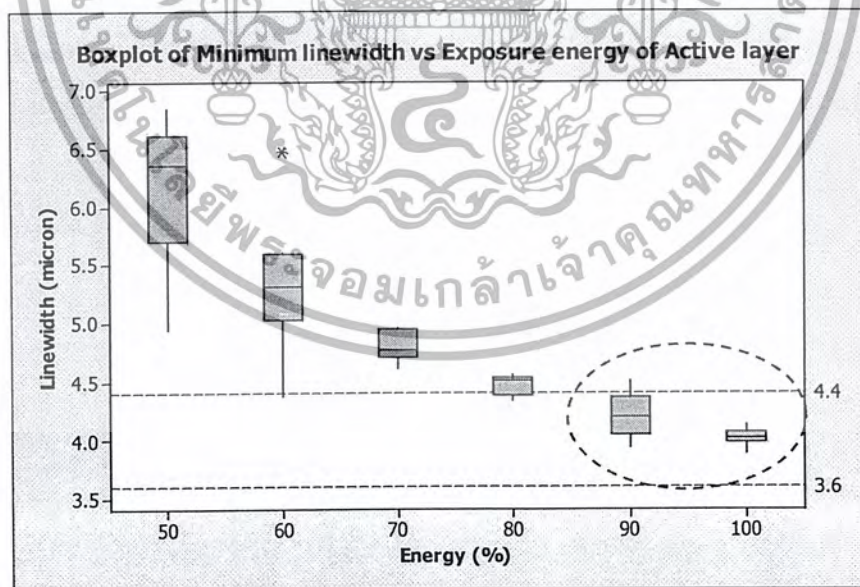
เมื่อพิจารณาความกว้างของลายวงจรที่พลังงานต่างๆ พบว่าที่ลาย CD test pattern มีเพียงค่าพลังงานที่ 100% เท่านั้น ที่สามารถสร้างลายวงจรทั้ง 4 ขนาด คือ 2.5, 4.0, 7.5 และ 10 ไมครอน ให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ โดยที่ค่าพลังงาน 90% สามารถควบคุมความกว้างเส้นลายวงจรได้ที่ 10, 7.5 ไมครอน เท่านั้น ส่วนที่ค่าพลังงาน 50 ถึง 80% ไม่สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.14 เมื่อพิจารณาที่ความกว้างของลายวงจรที่เล็กที่สุดในชั้น Active คือ 4 ไมครอน พบว่าที่พลังงาน 50 และ 80% มีขนาดอยู่นอกช่วงที่ยอมรับได้ ในขณะที่พลังงาน 90% และ 100% สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรได้ โดยที่พลังงาน 100% มีการกระจายตัวของข้อมูลต่ำกว่า ดังแสดงในรูปที่ 4.15 และเมื่อพิจารณาร่วมกันทั้งภาพถ่ายและขนาดของลายวงจร พบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพลังงานที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างลายวงจรชั้น Active คือ ที่พลังงาน 100% โดยแนวโน้มของขนาดลายวงจรจะมีขนาดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ดังแสดงในภาคผนวกที่ 2



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจรขนาดต่างๆ ของลายวงจร CD test pattern ชั้น Active



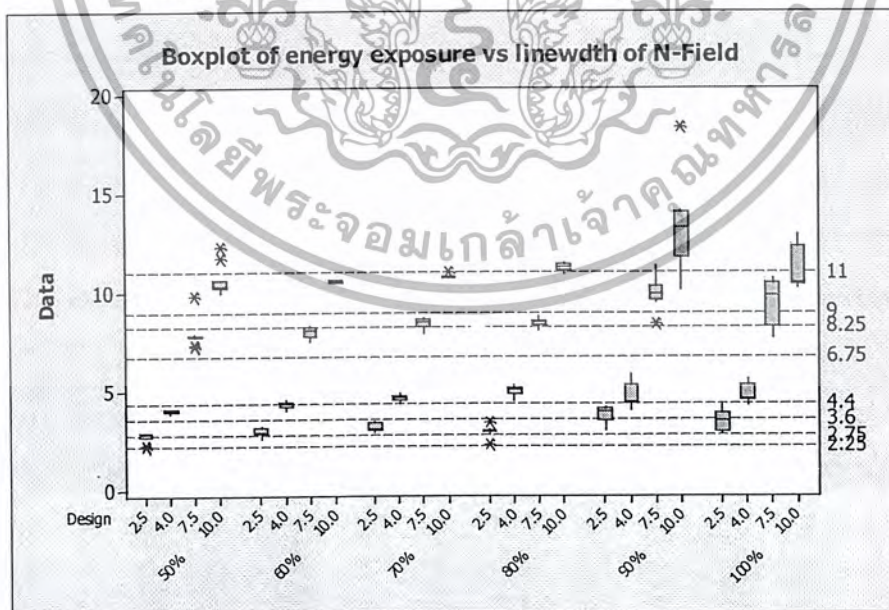
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจรขนาดต่างๆ ของลายวงจร TEG ที่เล็กที่สุดของชั้น Active

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.3 การวิเคราะห์ลายวงจรรชั้น N-field

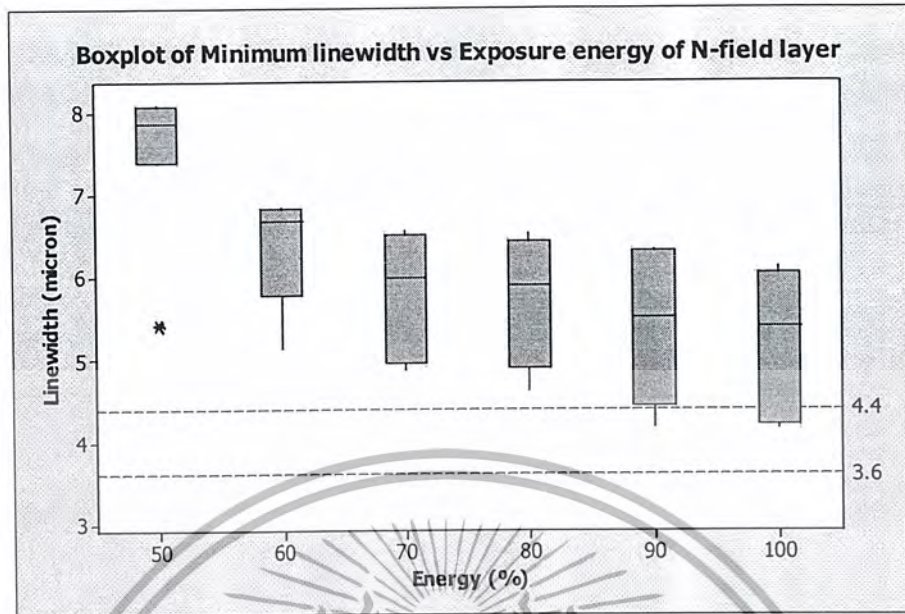
จากการพิจารณารูปถ่ายลายวงจรร ชั้น N-field ดังแสดงในภาคผนวกที่ ๑3 พบว่าที่ลายวงจรร CD test pattern นั้น มีเพียงพลังงานในการฉายแสงที่ 90% และ 100% ที่ทำให้ลายวงจรรมีความสมบูรณ์ได้ ในขณะที่พลังงานที่ต่ำกว่าคือ 50 ถึง 80% เป็นค่าพลังงานที่ไม่เพียงพอ ยังคงมีน้ำยาไวแสงตกค้างอยู่เมื่อพิจารณาที่ลายวงจรร TEG ที่มีขนาดเล็กที่สุด คือที่ 4 ไมครอน พบว่ามีเพียงพลังงานในการฉายแสงที่ 70%, 80%, 90% และ 100% เท่านั้น ที่สามารถสร้างลายวงจรรที่มีความสมบูรณ์ได้

เมื่อพิจารณาความกว้างของลายวงจรรที่พลังงานต่างๆ พบว่าที่ลาย CD test pattern มีเพียงค่าพลังงานที่ 50 และ 60% เท่านั้น ที่สามารถสร้างลายวงจรรทั้ง 3 ขนาด คือ 4.0, 7.5 และ 10 ไมครอน ให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ส่วนที่ลายวงจรรขนาด 2.5 ไมครอน ไม่สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรรได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.16 เมื่อพิจารณาที่ความกว้างของลายวงจรรที่เล็กที่สุดในชั้น N-field คือ 4 ไมครอน พบว่าไม่มีพลังงานที่เหมาะสมที่สามารถควบคุมขนาดลายวงจรรได้ และความกว้างลายวงจรรในทุกค่าพลังงานมีการกระจายตัวมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และเมื่อพิจารณาร่วมกันทั้งรูปถ่ายและขนาดของลายวงจรร พบว่าค่าพลังงานที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างลายวงจรรชั้น N-field คือ ที่พลังงาน 90% โดยแนวโน้มของขนาดลายวงจรรจะมีขนาดใหญ่กว่าลายวงจรรที่ได้ออกแบบไว้ ดังแสดงในภาคผนวกที่ ๑2



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจรรขนาดต่างๆ ของลายวงจรร CD test pattern ชั้น N-field

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



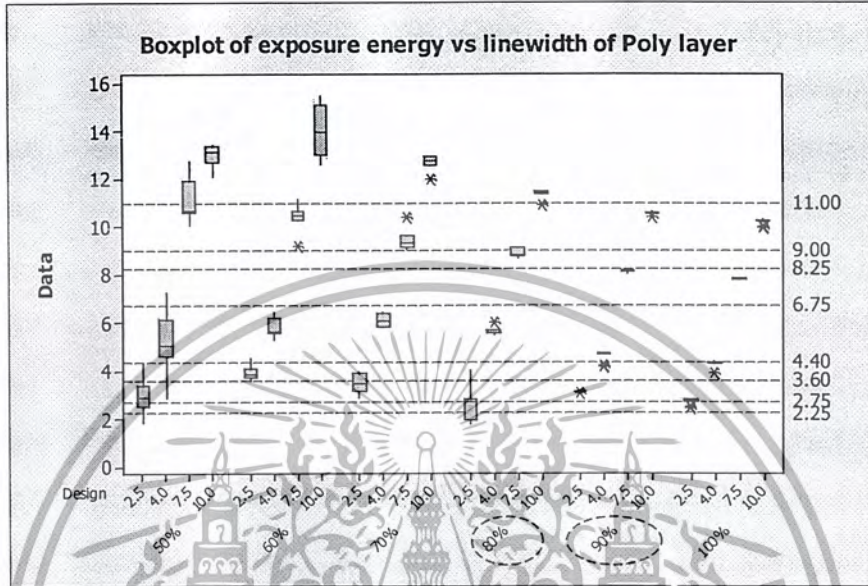
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจรมิติต่างๆ ของลายวงจร TEG ที่เล็กที่สุดของชั้น N-field

4.3.1.4 การวิเคราะห์ลายวงจรมิติ Poly

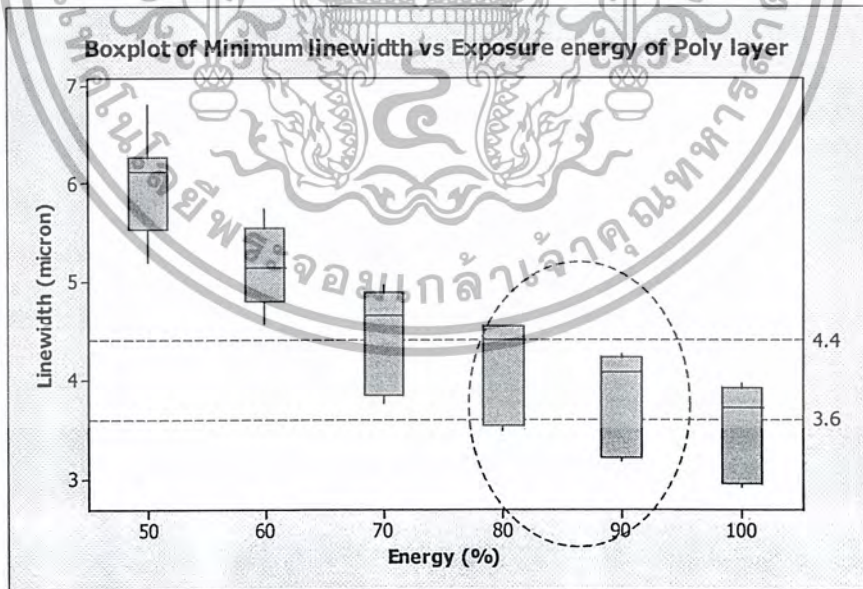
จากการพิจารณาภาพถ่ายลายวงจรมิติ ดังแสดงในภาคผนวกที่ ๑4 พบว่าที่ลายวงจรมิติ CD test pattern นั้น มีเพียงพลังงานในการฉายแสงที่ 90% และ 100% ที่ทำให้ลายวงจรมิติมีความสมบูรณ์ได้ ในขณะที่พลังงานที่ต่ำกว่าคือ 50 ถึง 80% เป็นค่าพลังงานที่ไม่เพียงพอ ยังคงมีน้ำยาไวแสงตกค้างอยู่เมื่อพิจารณาที่ลายวงจรมิติ TEG ที่มีขนาดเล็กที่สุด คือที่ 4 ไมครอน พบว่ามีเพียงพลังงานในการฉายแสงที่ 80%, 90% และ 100% เท่านั้น ที่สามารถสร้างลายวงจรมิติที่มีความสมบูรณ์ได้

เมื่อพิจารณาความกว้างของลายวงจรมิติที่พลังงานต่างๆ พบว่าที่ลาย CD test pattern มีเพียงค่าพลังงานที่ 90 และ 100% เท่านั้น ที่สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรมิติให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ที่ 10, 7.5 ไมครอน และ 10, 7.5, 4.0 ไมครอน ตามลำดับ ส่วนที่ลายวงจรมิติขนาด 2.5 ไมครอน ไม่สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรมิติได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.18 เมื่อพิจารณาที่ความกว้างของลายวงจรมิติที่เล็กที่สุดในชั้น Poly คือ 4 ไมครอน พบว่ามีเพียงพลังงาน 90 และ 100% ที่สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรมิติได้ แต่ยังมีกระจายตัวของข้อมูลที่กว้างอยู่ โดยมีข้อมูลส่วนมากอยู่ในควอร์แดนต์ที่ 3 ของ Box plot ซึ่งถือว่าอยู่ในขอบเขตที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 4.19 และเมื่อพิจารณาร่วมกันทั้งภาพถ่ายและขนาดของลายวงจรมิติ พบว่าค่าพลังงานที่เหมาะสมที่

จุดในการสร้างลายวงจรชั้น Poly คือ ที่พลังงาน 100% โดยแนวโน้มของขนาดลายวงจรจะมีขนาดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ดังแสดงในภาคผนวกที่ 2



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจรขนาดต่างๆ ของลายวงจร CDtest pattern ชั้น Poly



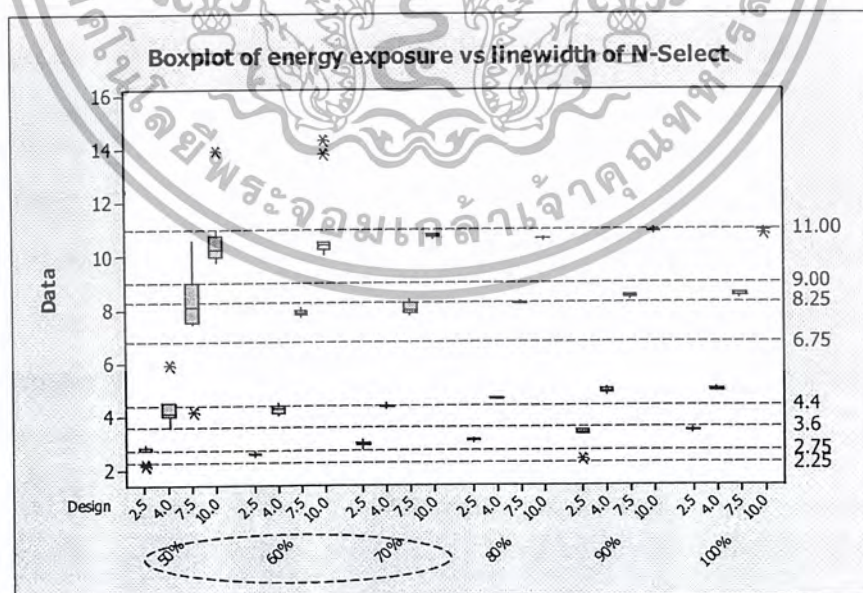
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจรขนาดต่างๆ ของลายวงจร TEG ที่เล็กที่สุดของชั้น Poly

4.3.1.5 การวิเคราะห์ลายวงจรชั้น N-select

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

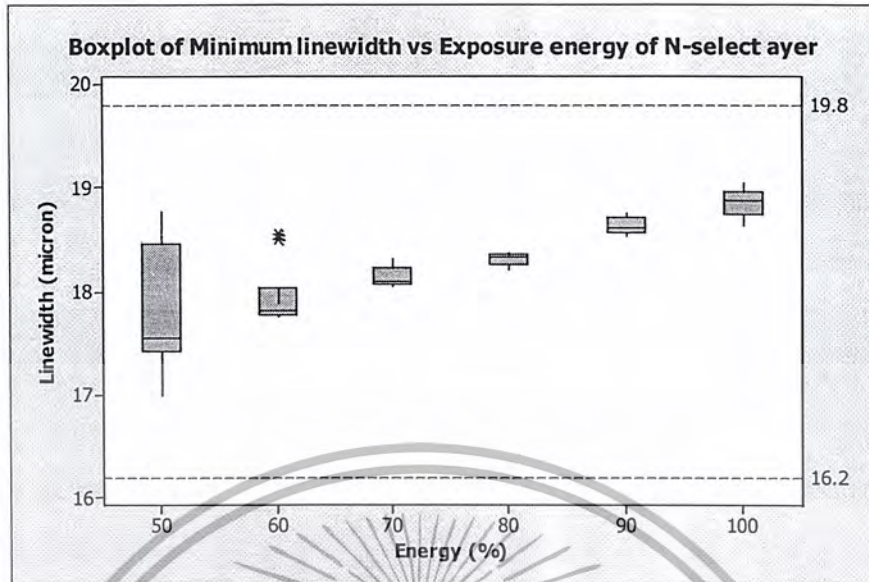
จากการพิจารณารูปถ่ายลายวงจรถัดไป แสดงในภาคผนวกที่ ๑5 พบว่าที่ลายวงจรถัดไป CD test pattern และที่ลายวงจรถัดไป TEG ที่มีขนาดเล็กที่สุด คือที่ 18 ไมครอน นั้น มีเพียงพลังงานในการฉายแสงที่ 100% เท่านั้น ที่ทำให้ลายวงจรมีความสมบูรณ์ได้ ในขณะที่พลังงานที่ต่ำกว่าคือ 50 ถึง 90% เป็นค่าพลังงานที่ไม่เพียงพอ ยังคงมีน้ำยาไวแสงตกค้างอยู่

เมื่อพิจารณาความกว้างของลายวงจรถัดไปพลังงานต่างๆ พบว่าที่ลาย CD test pattern มีเพียงค่าพลังงานที่ 60% เท่านั้น ที่สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรถัดไปอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ที่ 10, 7.5, 4.0 และ 2.5 ไมครอน และมีการกระจายตัวของข้อมูลที่ดี ในขณะที่พลังงาน 50 และ 70% สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรถัดไปอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ที่ 10, 7.5, 4.0 ไมครอน ส่วนพลังงานที่ 90 และ 100% สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรถัดไปอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ที่ 10 ไมครอน เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.20 เมื่อพิจารณาถึงความกว้างของลายวงจรถัดไปเล็กที่สุดในชั้น N-select คือ 18 ไมครอน พบว่าทุกค่าพลังงานในการฉายแสงที่ 50 ถึง 100% สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรถัดไปได้ และมีการกระจายตัวของข้อมูลอยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.21 และเมื่อพิจารณารวมกันทั้งรูปถ่ายและขนาดของลายวงจรถัดไป พบว่าค่าพลังงานที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างลายวงจรถัดไปชั้น N-select คือ ที่พลังงาน 100% โดยแนวโน้มของขนาดลายวงจรถัดไปจะมีขนาดใหญ่กว่าลายวงจรถัดไปที่ได้ออกแบบไว้ ดังแสดงในภาคผนวกที่ ๒



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจรถัดไปขนาดต่างๆ ของลายวงจรถัดไป CD test pattern ชั้น N-select

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



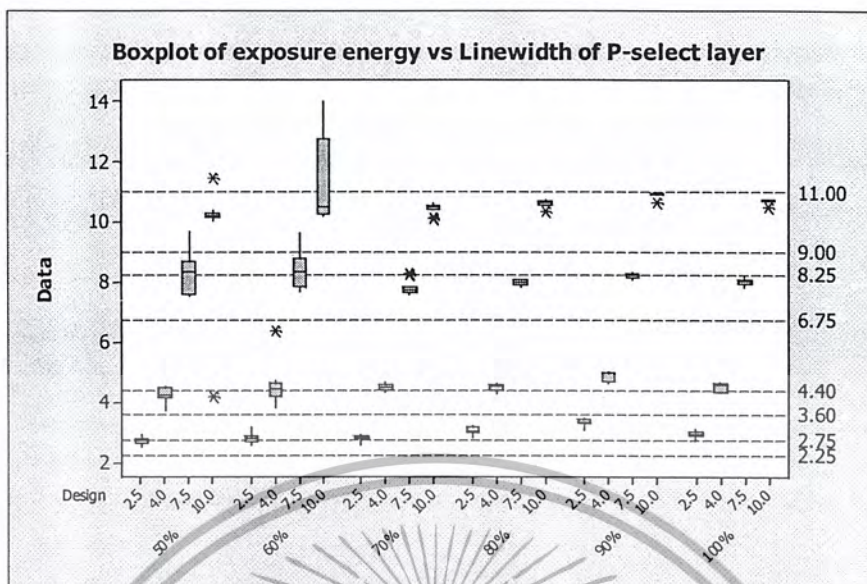
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจรขนาดต่างๆ ของลายวงจร TEG ที่เล็กที่สุดของชั้น N-select

4.3.1.6 การวิเคราะห์ลายวงจรชั้น P-select

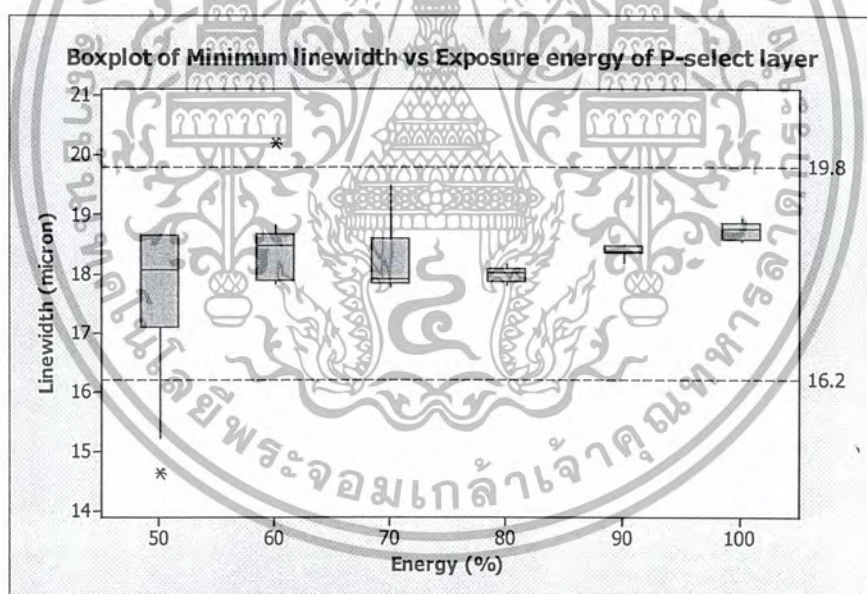
จากการพิจารณารูปถ่ายลายวงจร ดังแสดงในภาคผนวกที่ ๑6 พบว่าที่ลายวงจร CD test pattern และที่ลายวงจร TEG ที่มีขนาดเล็กที่สุด คือที่ 18 ไมครอน นั้น มีเพียงพลังงานในการฉายแสงที่ 100% เท่านั้น ที่ทำให้ลายวงจรมีความสมบูรณ์ได้ ในขณะที่พลังงานที่ต่ำกว่าคือ 50 ถึง 90% เป็นค่าพลังงานที่ไม่เพียงพอ ยังคงมีน้ำยาไวแสงตกค้างอยู่

เมื่อพิจารณาความกว้างของลายวงจรที่พลังงานต่างๆ พบว่าที่ลาย CD test pattern มีเพียงค่าพลังงานที่ 50% เท่านั้น ที่สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ที่ 10, 4.0 และ 2.5 ไมครอน ในขณะที่พลังงาน 60% สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ที่ 10 ไมครอน เท่านั้น ส่วนพลังงานที่ 70, 80, 90 และ 100% สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ที่ 10 และ 7.5 ไมครอน โดยมีการกระจายตัวของข้อมูลที่แคบ ดังแสดงในรูปที่ 4.22 เมื่อพิจารณาที่ความกว้างของลายวงจรที่เล็กที่สุดในชั้น P-select คือ 18 ไมครอน พบว่าทุกค่าพลังงานในการฉายแสงที่ 50 ถึง 100% สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรได้ และมีการกระจายตัวของข้อมูลอยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.23 และเมื่อพิจารณาร่วมกันทั้งรูปถ่ายและขนาดของลายวงจร พบว่าค่าพลังงานที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างลายวงจรชั้น N-select คือ ที่พลังงาน 100% โดยแนวโน้มของขนาดลายวงจรจะมีขนาดใหญ่กว่าลายวงจรที่ได้ออกแบบไว้ ดังแสดงในภาคผนวกที่ ๒

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจรขนาดต่างๆ ของลายวงจร CD test pattern ชั้น P-select



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจรขนาดต่างๆ ของลายวงจร TEG ที่เล็กที่สุดของชั้น P-select

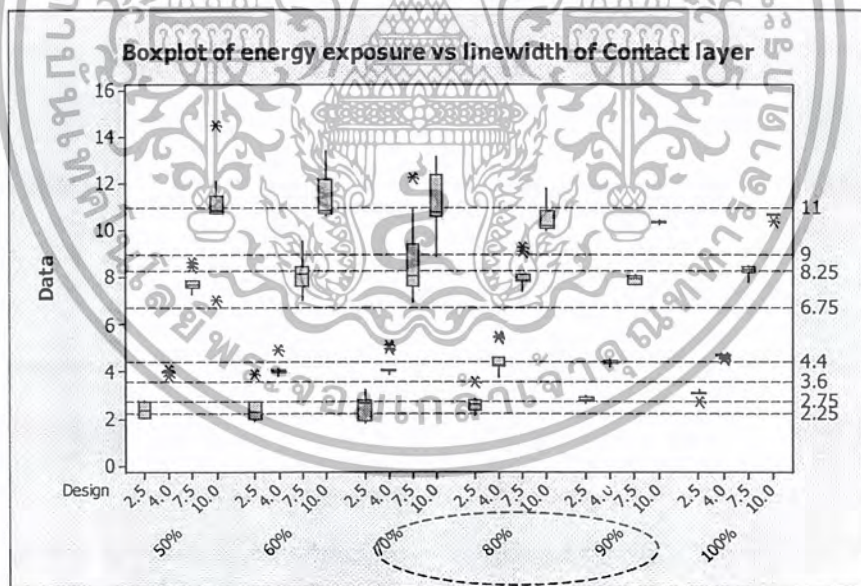
4.3.1.7 การวิเคราะห์ลายวงจรชั้น Contact

จากการพิจารณารูปถ่ายลายวงจร ดังแสดงในภาคผนวกที่ ๗ พบว่าที่ลายวงจร CD test pattern และที่ลายวงจร TEG ที่มีขนาดเล็กที่สุด คือที่ 4 ไมครอน นั้น มีเพียงพลังงานในการฉาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

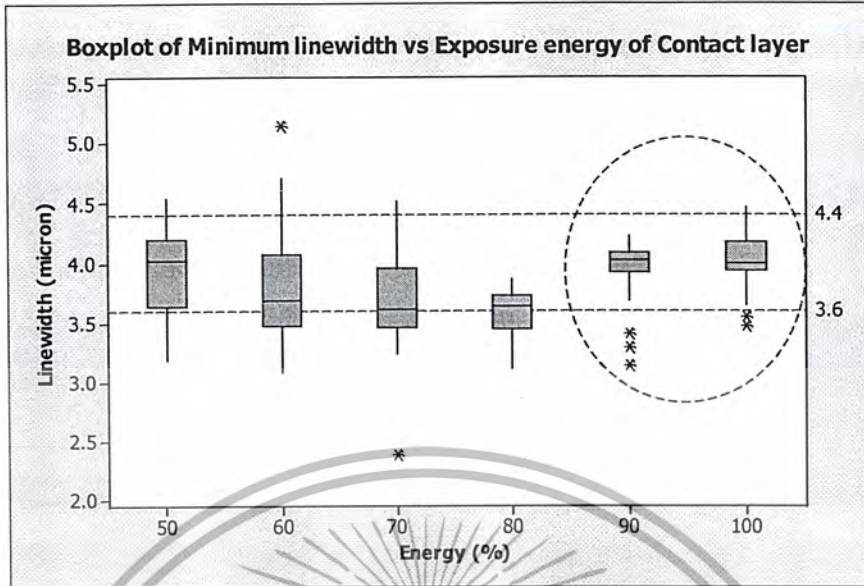
แสงที่ 100% เท่านั้น ที่ทำให้ลายวงจรมีความสมบูรณ์ได้ ในขณะที่พลังงานที่ต่ำกว่าคือ 50 ถึง 90% เป็นค่าพลังงานที่ไม่เพียงพอ ยังคงมีน้ำยาไวแสงตกค้างอยู่

เมื่อพิจารณาความกว้างของลายวงจรมีพลังงานต่างๆ พบว่าที่ลาย CD test pattern ที่พลังงาน 50 ถึง 80% เท่านั้น สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรมีอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ที่ 7.5, 4 และ 2.5 ไมครอน เท่านั้น เมื่อเปลี่ยนค่าพลังงานเป็น 90% จะสามารถควบคุมขนาดลายวงจรมีที่ 10, 7.5 และ 4 ไมครอน ได้ แต่เมื่อเพิ่มค่าพลังงานเป็น 100% จะมีเพียงลายวงจรมีขนาด 10 ไมครอน เท่านั้น ที่สามารถควบคุมได้ ในขณะที่ลายวงจรมีขนาดอื่นๆ จะใหญ่กว่าขนาดลายวงจรมีที่ได้ออกแบบไว้ดังแสดงในรูปที่ 4.24 เมื่อพิจารณาที่ความกว้างของลายวงจรมีเล็กที่สุดในชั้น Contact คือ 4 ไมครอน พบว่ามีเพียงพลังงาน 90 และ 100% ที่สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรมีได้ โดยมีการกระจายตัวของข้อมูลอยู่ในขอบเขตที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และเมื่อพิจารณาร่วมกันทั้งรูปถ่ายและขนาดของลายวงจรมี พบว่าค่าพลังงานที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างลายวงจรมีชั้น Contact คือ ที่พลังงาน 100% โดยแนวโน้มของขนาดลายวงจรมีจะมีขนาดใหญ่กว่าลายวงจรมีที่ได้ออกแบบไว้ ดังแสดงในภาคผนวกที่ 2



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจรมีขนาดต่างๆ ของลายวงจรมี CD test pattern ชั้น Contact

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจรมิติต่างๆ ของลายวงจร TEG ที่เล็กที่สุดของชั้น Contact

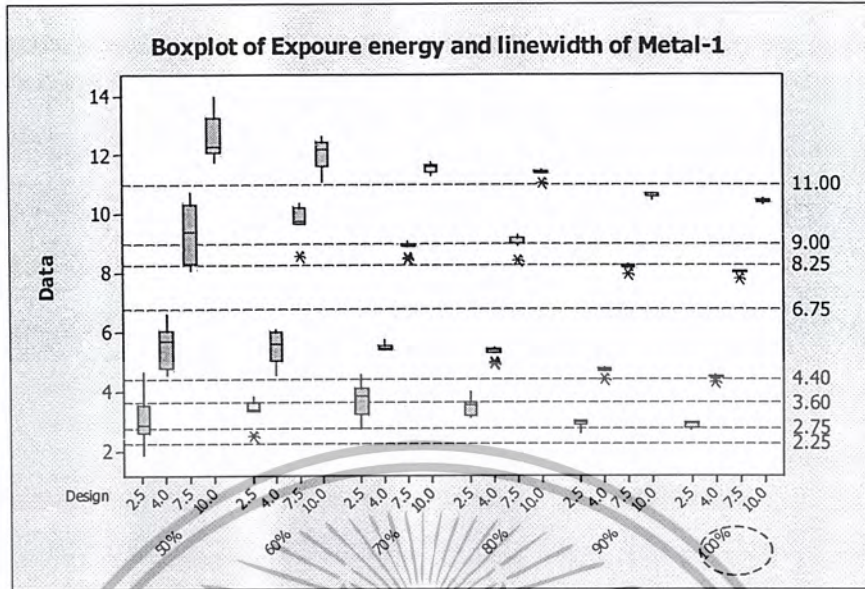
4.3.1.8 การวิเคราะห์ลายวงจรมิติ Metal-1

จากการพิจารณาภาพถ่ายลายวงจรมิติ ดังแสดงในภาคผนวกที่ ๑8 พบว่าที่ลายวงจรมิติ CD test pattern นั้น มีเพียงพลังงานในการฉายแสงที่ 90% และ 100% ที่ทำให้ลายวงจรมิติมีความสมบูรณ์ได้ ในขณะที่พลังงานที่ต่ำกว่าคือ 50 ถึง 80% เป็นค่าพลังงานที่ไม่เพียงพอ ยังคงมีน้ำยาไวแสงตกค้างอยู่เมื่อพิจารณาที่ลายวงจรมิติ TEG ที่มีขนาดเล็กที่สุด คือที่ 5 ไมครอน พบว่ามีเพียงพลังงานในการฉายแสงที่ 50% เท่านั้น ที่ไม่สามารถสร้างลายวงจรมิติที่มีความสมบูรณ์ได้

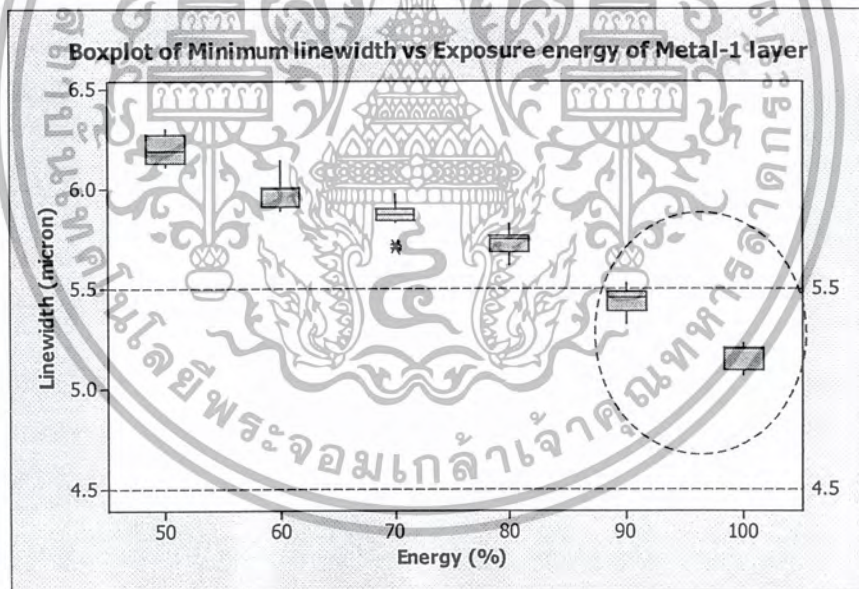
เมื่อพิจารณาความกว้างของลายวงจรมิติที่พลังงานต่างๆ พบว่าที่ลาย CD test pattern มีเพียงค่าพลังงานที่ 90 และ 100% เท่านั้น ที่สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรมิติให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ที่ 10, 7.5 ไมครอน โดยมีการกระจายตัวของข้อมูลค่า ส่วนพลังงานในการฉายแสงที่ต่ำกว่าคือ 50 ถึง 80% ไม่สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรมิติได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.26

เมื่อพิจารณาที่ความกว้างของลายวงจรมิติที่เล็กที่สุดในชั้น Metal-1 คือ 5 ไมครอน พบว่ามีเพียงพลังงาน 90 และ 100% ที่สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรมิติได้ และมีการกระจายตัวของข้อมูลที่อยู่ในขอบเขตที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 4.27 และเมื่อพิจารณาร่วมกันทั้งภาพถ่ายและขนาดของลายวงจรมิติ พบว่าค่าพลังงานที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างลายวงจรมิติ Metal-1 คือ ที่พลังงาน 100% โดยแนวโน้มของขนาดลายวงจรมิติจะมีขนาดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ดังแสดงในภาคผนวกที่ ๒

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจรขนาดต่างๆ ของลายวงจร CD test pattern ชั้น Metal-1



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจรขนาดต่างๆ ของลายวงจร TEG ที่เล็กที่สุดของชั้น Metal-1

4.3.1.9 การวิเคราะห์ลายวงจรชั้น Via

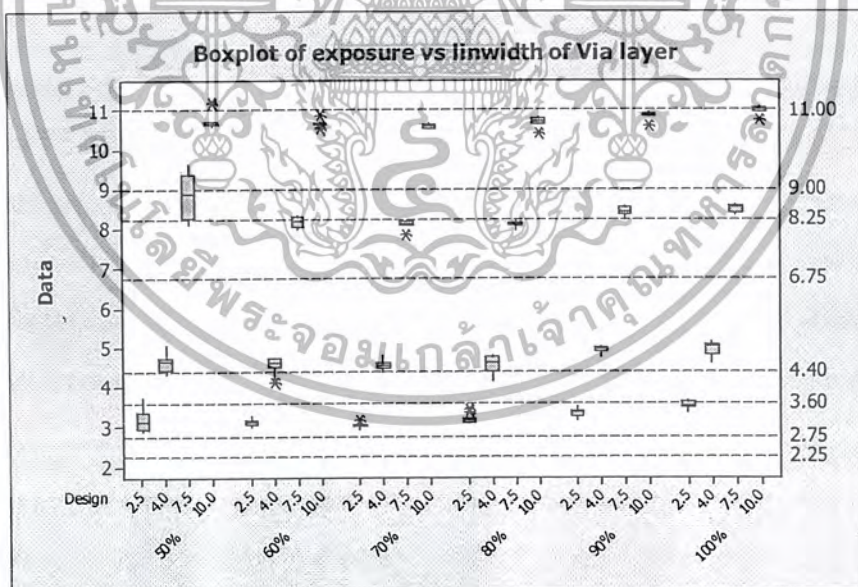
จากการพิจารณารูปถ่ายลายวงจร ดังแสดงในภาคผนวกที่ ๑9 พบว่าที่ลายวงจร CD test pattern นั้น มีเพียงพลังงานในการฉายแสงที่ 90% และ 100% ที่ทำให้ลายวงจรมีความสมบูรณ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่พลังงานที่ต่ำกว่าคือ 50 ถึง 80% เป็นค่าพลังงานที่ไม่เพียงพอ ยังคงมีน้ำยาไวแสงตกค้างอยู่เมื่อพิจารณาที่ลายวงจร TEG ที่มีขนาดเล็กที่สุด คือที่ 4 ไมครอน พบว่ามีเพียงพลังงานในการฉายแสงที่ 100% เท่านั้น ที่สามารถสร้างลายวงจรที่มีความสมบูรณ์ได้

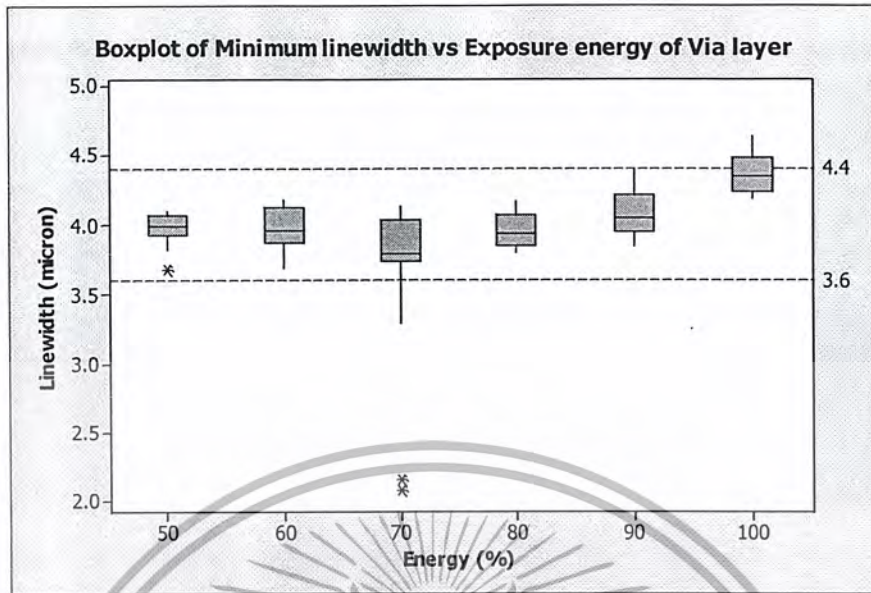
เมื่อพิจารณาความกว้างของลายวงจรที่พลังงานต่างๆ พบว่าที่ลาย CD test pattern ที่ค่าพลังงาน 50 และ 100% สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ที่ 10 ไมครอน เท่านั้น ในขณะที่พลังงาน 60, 70, 80 และ 90% สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ที่ 10 และ 7.5 ไมครอน โดยมีการกระจายตัวของข้อมูลที่แคบ ดังแสดงในรูปที่ 4.28

เมื่อพิจารณาที่ความกว้างของลายวงจรที่เล็กที่สุดในชั้น Via คือ 4 ไมครอน พบว่ามีเพียงค่าพลังงานในการฉายแสงที่ 100% เท่านั้น ที่ไม่สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรได้ โดยที่พลังงานที่สามารถควบคุมขนาดลายวงจรได้คือ 50 ถึง 90% นั้น จะมีการกระจายตัวของข้อมูลที่แคบ ดังแสดงในรูปที่ 4.29 และเมื่อพิจารณารวมกันทั้งรูปถ่ายและขนาดของลายวงจร พบว่าค่าพลังงานที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างลายวงจรชั้น Via คือ ที่พลังงาน 100% โดยแนวโน้มของขนาดลายวงจรจะมีขนาดใหญ่กว่าลายวงจรที่ได้ออกแบบไว้ ดังแสดงในภาคผนวกที่ 2



รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจรขนาดต่างๆ ของลายวงจร CD test pattern ชั้น Via

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



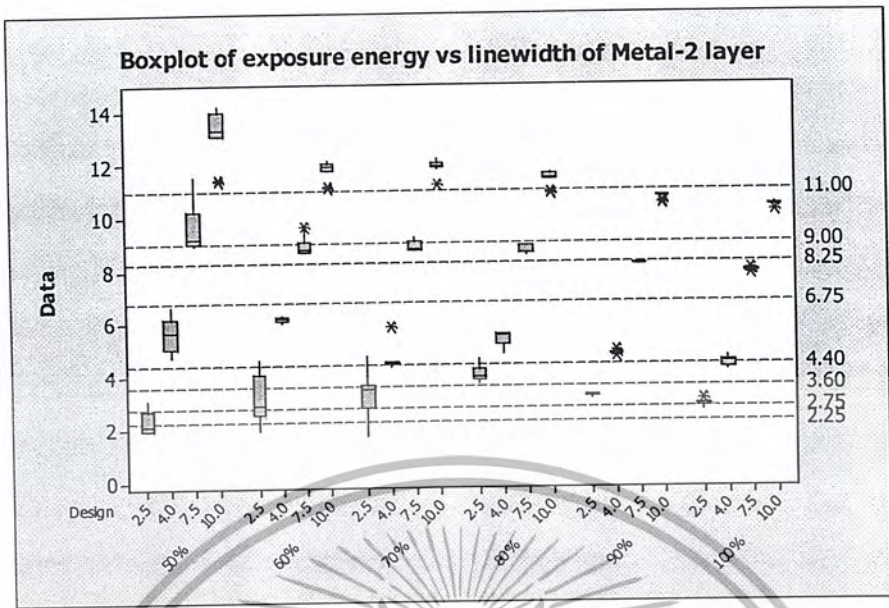
รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจรมิติต่างๆ ของลายวงจร TEG ที่เล็กที่สุดของชั้น Via

4.3.1.10 การวิเคราะห์ลายวงจรมิติชั้น Metal-2

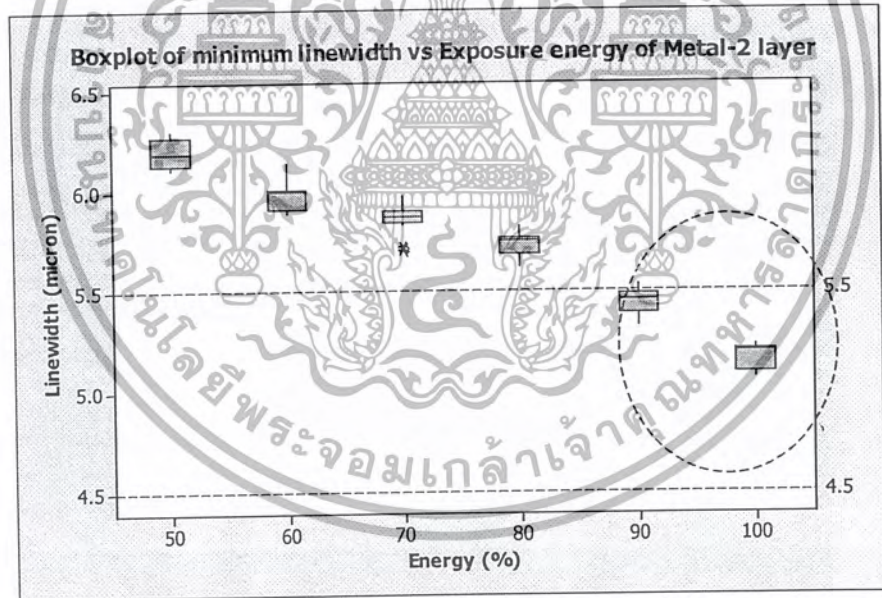
จากการพิจารณารูปถ่ายลายวงจร ดังแสดงในภาคผนวกที่ ๑10 พบว่าที่ลายวงจร CD test pattern นั้น มีเพียงพลังงานในการฉายแสงที่ 90% และ 100% ที่ทำให้ลายวงจรมีความสมบูรณ์ได้ ในขณะที่พลังงานที่ต่ำกว่าคือ 50 ถึง 80% เป็นค่าพลังงานที่ไม่เพียงพอ ยังคงมีน้ำยาไวแสงตกค้างอยู่เมื่อพิจารณาที่ลายวงจร TEG ที่มีขนาดเล็กที่สุด คือที่ 5 ไมครอน พบว่ามีเพียงพลังงานในการฉายแสงที่ 100% เท่านั้น ที่สามารถสร้างลายวงจรมีความสมบูรณ์ได้

เมื่อพิจารณาความกว้างของลายวงจรที่พลังงานต่างๆ พบว่าที่ลาย CD test pattern ที่พลังงาน 50% ไม่สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ในขณะที่พลังงาน 60, 70 และ 80% สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ที่ 7.5 ไมครอน เท่านั้น ส่วนพลังงานในการฉายแสงที่ 90 และ 100% ควบคุมขนาดของลายวงจรได้ที่ 10 ไมครอน เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.30 เมื่อพิจารณาที่ความกว้างของลายวงจรที่เล็กที่สุดในชั้น Metal-2 คือ 5 ไมครอน พบว่ามีเพียงพลังงาน 90 และ 100% ที่สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรได้ และมีการกระจายตัวของข้อมูลที่อยู่ในขอบเขตที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 4.31 และเมื่อพิจารณาร่วมกันทั้งรูปถ่ายและขนาดของลายวงจร พบว่าค่าพลังงานที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างลายวงจรมิติชั้น Metal-2 คือ ที่พลังงาน 100% โดยแนวโน้มของขนาดลายวงจรมีขนาดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ดังแสดงในภาคผนวกที่ ๒

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจรขนาดต่างๆ ของลายวงจร CD test pattern ชั้น Metal-2



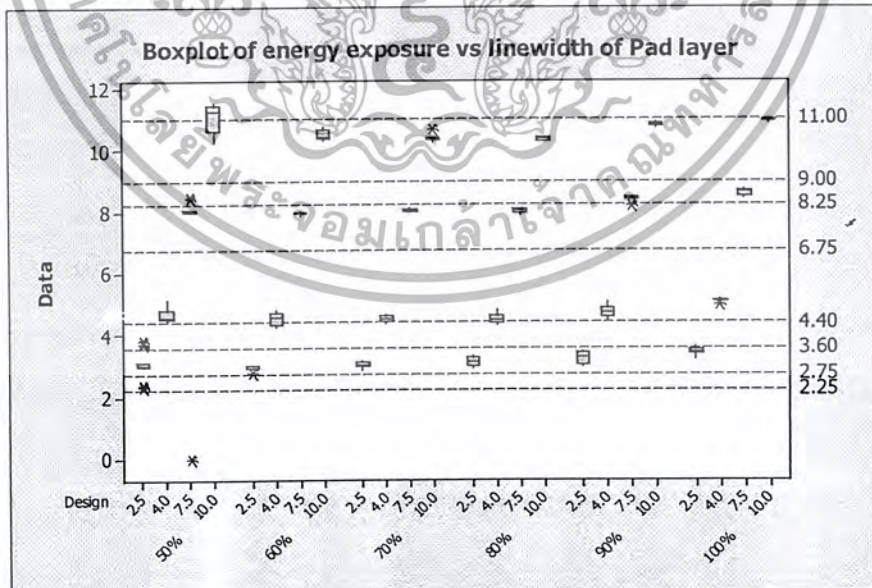
รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจรขนาดต่างๆ ของลายวงจร TEG ที่เล็กที่สุดของชั้น Metal-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

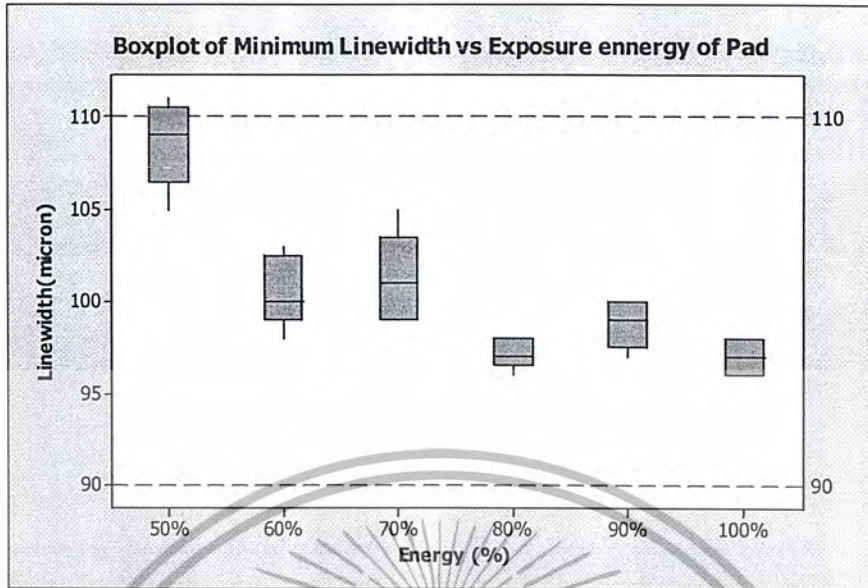
4.3.1.11 การวิเคราะห์ลายวงจรรชั้น Pad

จากการพิจารณารูปถ่ายลายวงจรร ชั้น Pad ดังแสดงในภาคผนวกที่ ๑11 พบว่าที่ลายวงจรร CD test pattern นั้น มีเพียงพลังงานในการฉายแสงที่ 100% ที่ทำให้ลายวงจรรมีความสมบูรณ์ได้ ในขณะที่พลังงานที่ต่ำกว่าคือ 50 ถึง 80% เป็นค่าพลังงานที่ไม่เพียงพอ ยังคงมีน้ำยาไวแสงตกค้างอยู่ เมื่อพิจารณาที่ลายวงจรร TEG ที่มีขนาดเล็กที่สุด คือที่ 100 ไมครอน พบว่ามีเพียงพลังงานในการฉายแสงที่ 90% และ 100% เท่านั้น ที่สามารถสร้างลายวงจรรที่มีความสมบูรณ์ได้

เมื่อพิจารณาความกว้างของลายวงจรรที่พลังงานต่างๆ พบว่าที่ลาย CD test pattern ที่ค่าพลังงาน 50% สามารถควบคุมขนาดให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ที่ 7.5 ไมครอน เท่านั้น ในขณะที่พลังงาน 60, 70, 80% สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรรให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ที่ 10 และ 7.5 ไมครอน แต่เมื่อเพิ่มพลังงานเป็นที่ 90 และ 100% จะสามารถควบคุมขนาดของลายวงจรรให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ที่ 10 ไมครอน เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.32 เมื่อพิจารณาที่ความกว้างของลายวงจรรที่เล็กที่สุดในชั้น Pad คือ 100 ไมครอน พบว่าค่าพลังงาน 60 ถึง 100% สามารถควบคุมขนาดได้ ในขณะที่ค่าพลังงาน 50% มีการกระจายตัวกว้าง และมีโอกาสที่ลายวงจรรจะมีขนาดใหญ่กว่าขอบเขตความคลาดเคลื่อนที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 4.33 และเมื่อพิจารณาร่วมกันทั้งรูปถ่ายและขนาดของลายวงจรร พบว่าค่าพลังงานที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างลายวงจรรชั้น Pad คือ ที่พลังงาน 100% โดยแนวโน้มของขนาดลายวงจรรจะมีขนาดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ดังแสดงในภาคผนวกที่ ๑2



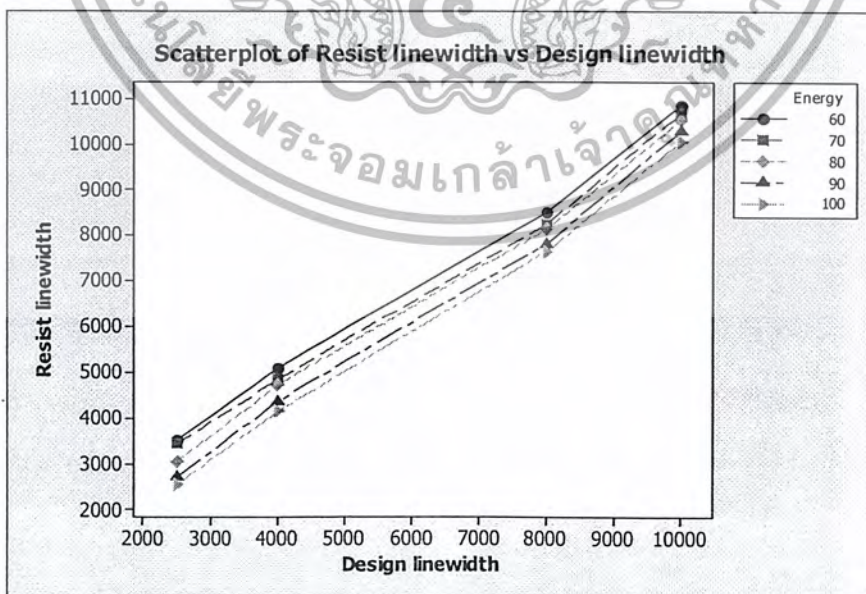
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจรรขนาดต่างๆ ของลายวงจรร CD test pattern ชั้น Pad



รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในการฉายแสงกับความกว้างลายวงจรมิติต่างๆ ของลายวงจร TEG ที่เล็กที่สุดของชั้น Pad

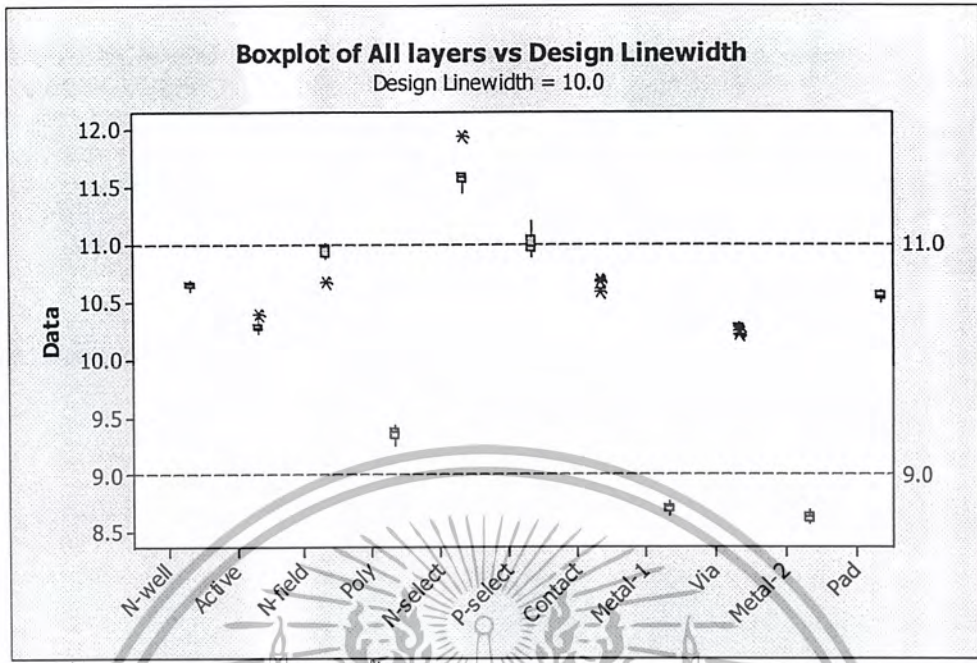
4.3.2 การวิเคราะห์ขนาดของลายวงจร TEG หลังการกัดลายวงจร

จากรูปกราฟที่ 4.34 แสดงให้เห็นว่าค่าพลังงานของลำแสงเลเซอร์ที่ใช้เขียน ส่งผลต่อขนาดและความกว้างของลาย เนื่องจากเมื่อแสงเลเซอร์มีพลังงานสูงย่อมทำให้เกิดการกระเจิงของแสงสู่บริเวณรอบข้าง ทำให้ลายเส้นที่เกิดขึ้นหลังจากการนำไป Develop มีความกว้างกว่าความเป็นจริง

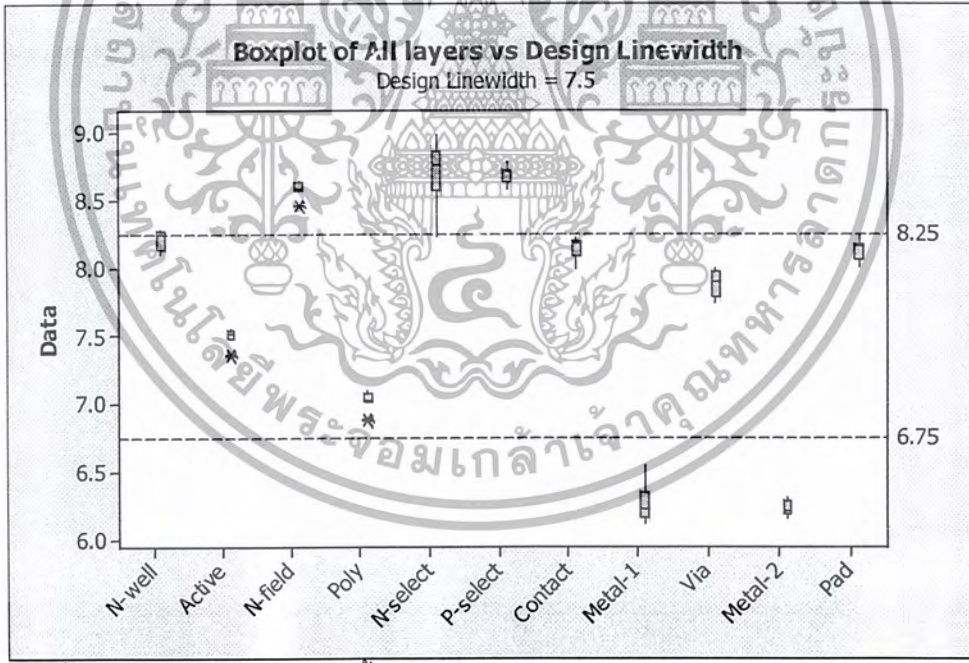


รูปที่ 4.34 แสดงขนาดลายเส้นที่ค่าพลังงานต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

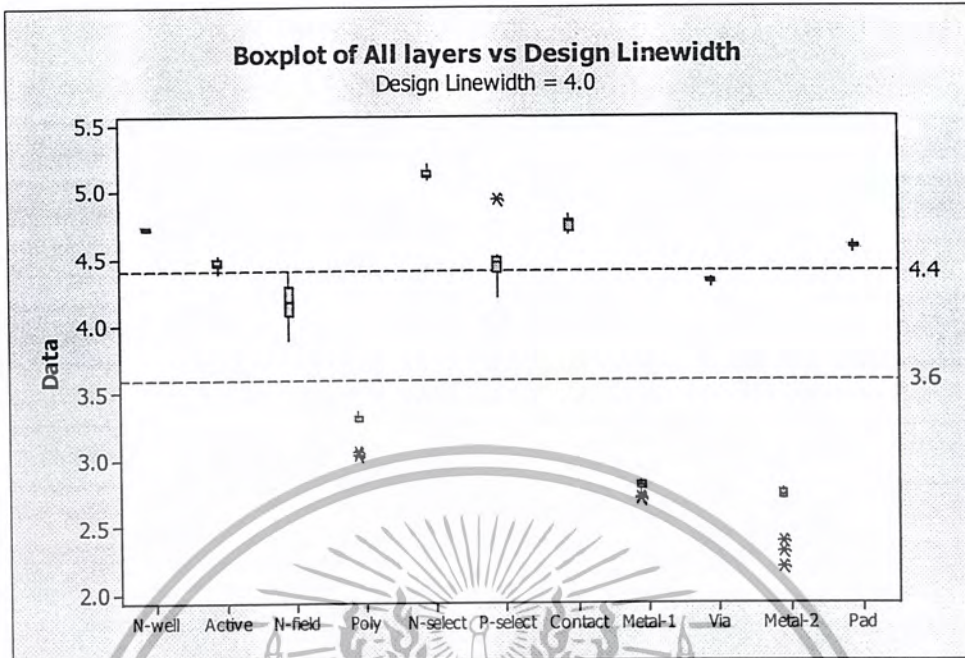


รูปที่ 4.35 แสดงขนาดลายเส้นชั้นต่างๆ ขนาด 10 ไมครอน หลังจากการกัดลายโลหะ

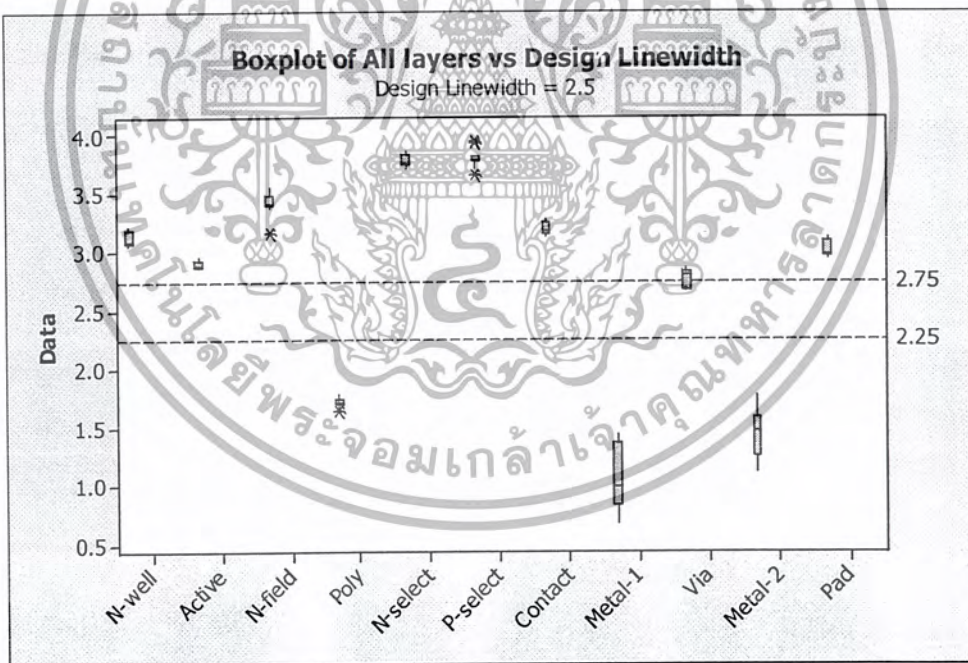


รูปที่ 4.36 แสดงขนาดลายเส้นชั้นต่างๆ ขนาด 7.5 ไมครอน หลังจากการกัดลายโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 แสดงขนาดลายเส้นชั้นต่างๆ ขนาด 4.0 ไมครอน หลังจากการกัดลายโลหะ



รูปที่ 4.38 แสดงขนาดลายเส้นชั้นต่างๆ ขนาด 2.5 ไมครอน หลังจากการกัดลายโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ขนาดของลายเส้นหลังจากผ่านกระบวนการกัดลายโลหะ

Layer	ขนาดลายเส้น			
	10 micron	7.5 micron	4 micron	2.5 micron
N-well	√	√	Over	Over
Active	√	√	Over	Over
N-field	√	Over	√	Over
Poly	√	√	Under	Under
N-select	Over	Over	Over	Over
P-select	√	Over	√	Over
Contact	√	√	Over	Over
Metal1	Under	Under	Under	Under
Via	√	√	√	√
Metal2	Under	Under	Under	Under
Pad	√	√	Over	Over

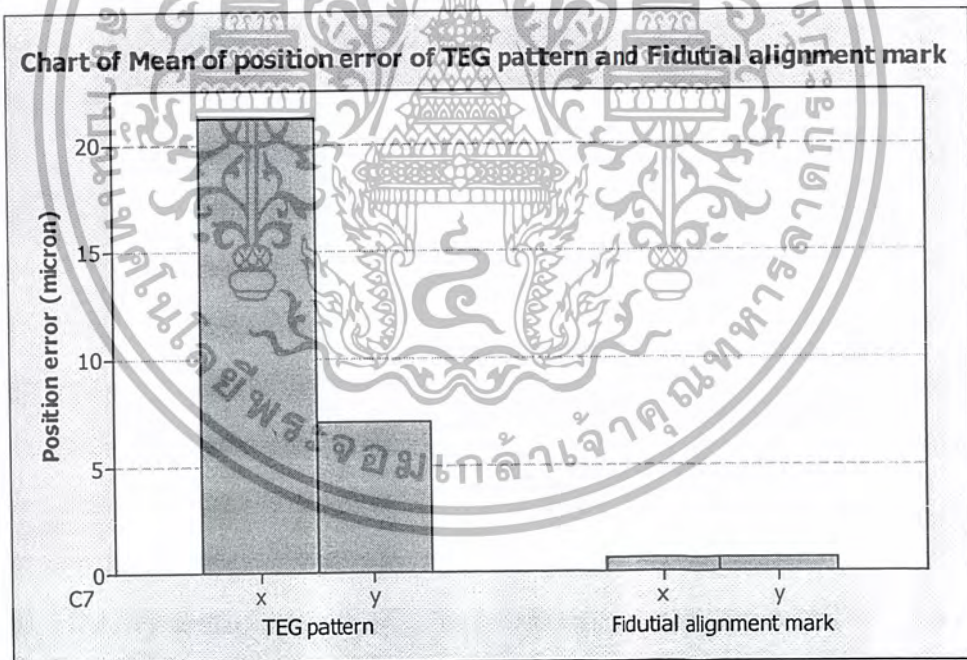
จากรูปที่ 4.35-4.38 แสดงให้เห็นว่าเกิดการ Overdevelop ขึ้นเนื่องจากชั้นของน้ำยาไวแสงเกิดความชื้น ทำให้การกัดลายเส้นเกิดความผิดพลาด ลายเส้นมีขนาดกว้างมากขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.1

4.4 การวิเคราะห์ตำแหน่งของลายวงจรถ่าย Test Element Group

จากการวัดค่าตำแหน่งของลายวงจรถ่าย TEG ทั้ง 7 ตำแหน่ง และลายวงจรถ่าย Fidutial alignment mark ของกระจกต้นแบบทั้งสองแผ่น ดังข้อมูลในภาคผนวกที่... พบว่าค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งลายวงจรถ่าย Fidutial มีค่าคือ 0.6 ไมครอน ทั้งในแนวแกน x และแนวแกน y ซึ่งมีค่ามากกว่าขอบเขตความคลาดเคลื่อนที่กำหนดคือ +/- 0.4 ไมครอน แต่เมื่อนำแผ่นกระจกต้นแบบ ไปทดสอบด้วยเครื่อง Stepper พบว่าสามารถใช้งานได้ แสดงว่าอาจมีความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการวัด ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งลายวงจรถ่าย TEG นั้น มีค่า 21 ไมครอน ในแนวแกน x และ 7 ไมครอน ในแนวแกน y ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนที่สูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเมื่อนำข้อมูลของลายวงจรทั้ง 7 ตำแหน่ง มาทดสอบด้วยวิธีทางสถิติคือ การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variation, ANOVA) ด้วยเทคนิค Turkey's pairwise comparison ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยตั้งสมมติฐานคือ $H_0 : \Delta_{pos.1} = \Delta_{pos.2} = \dots = \Delta_{pos.7}$ และ $H_1 :$ คือ มีข้อมูลความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งอย่างน้อย 2 ตำแหน่ง ที่แตกต่างกัน ซึ่งลายวงจรทั้ง 7 ตำแหน่ง ไม่สามารถมีค่าผลต่างของความคลาดเคลื่อนของลายวงจรที่สร้างเท่ากับศูนย์ได้ทั้งหมด ดังนั้นความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของลายวงจรทั้ง 7 ตำแหน่ง จึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้ไม่สามารถหาค่าชดเชยความคลาดเคลื่อนทางด้านตำแหน่งให้กับเครื่องจักร DWL ได้ และเมื่อพิจารณาช่วงเวลาที่แตกต่างกันในการสร้างลายวงจรทั้ง 2 ชนิด พบว่า ระยะเวลาที่ต่างกัน 1 เดือน เกิดค่าความคลาดเคลื่อนของลายวงจรเพิ่มขึ้นในแนวแกน x เท่ากับ 20 ไมครอน และในแนวแกน y เท่ากับ 7 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 4.39 จึงสามารถสรุปได้ว่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นทางด้านตำแหน่ง มีสาเหตุมาจากความบกพร่องและชำรุดของเครื่องจักร และไม่สามารถชดเชยความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นจึงต้องทำการซ่อมบำรุงเครื่องจักรต่อไป



รูปที่ 4.39 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทางตำแหน่งของลายวงจร TEG และ Fidutial Alignment mark

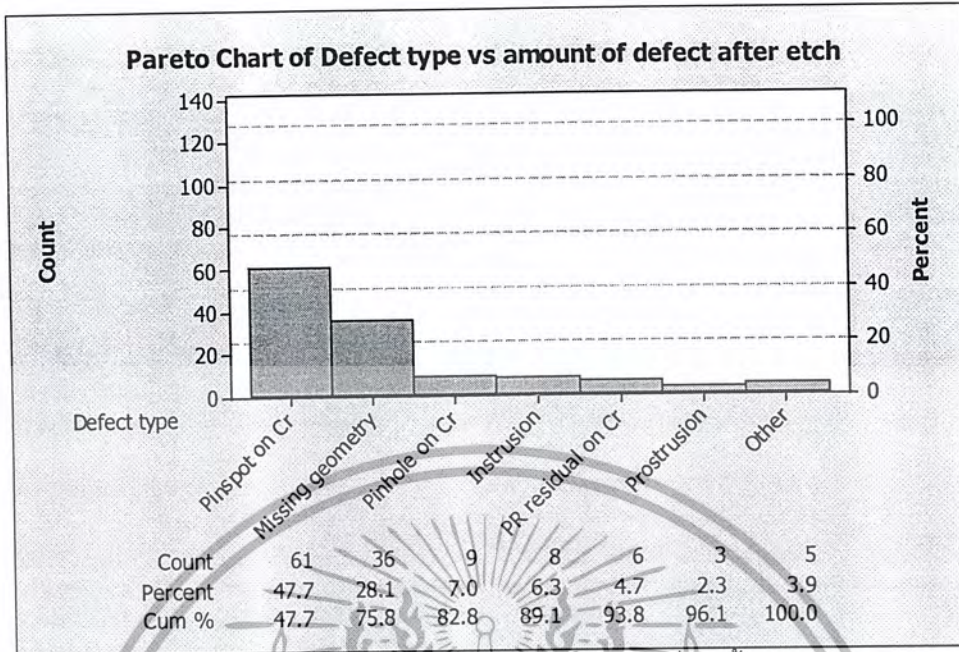
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การวิเคราะห์จุดบกพร่องที่เกิดขึ้นบนลายวงจรบนแผ่นกระจกต้นแบบ

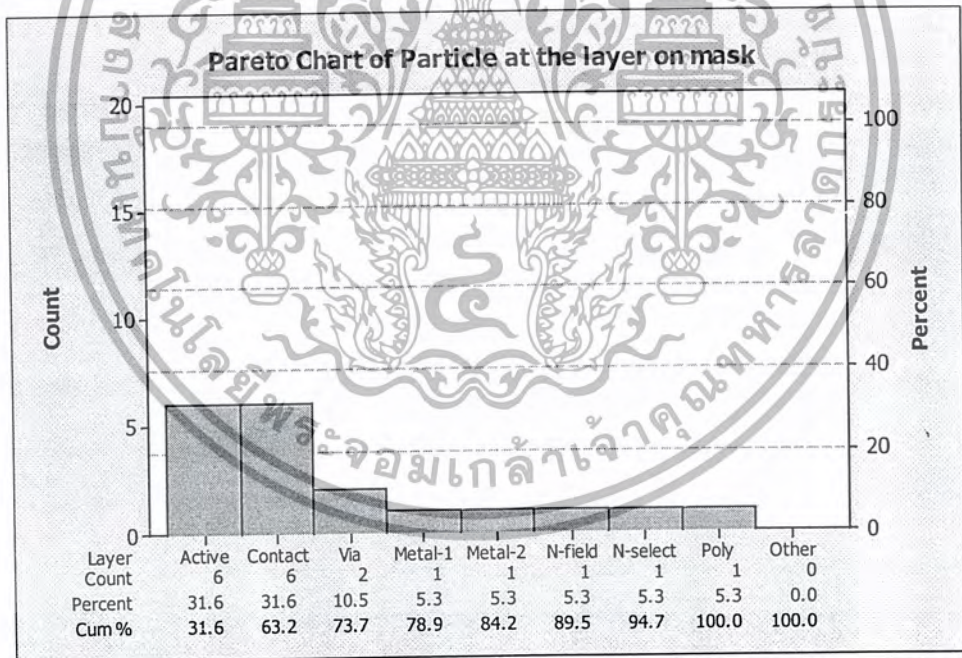
จากการตรวจสอบลายวงจร Test element group ทั้ง 11 ชั้น ด้วยกล้องจุลทรรศน์ทางแสง พบว่ามีจุดบกพร่องเกิดขึ้นในลายวงจร ซึ่งจุดบกพร่องเหล่านี้สามารถทำให้เกิดการเสียหายของลายวงจรได้ เมื่อนำต้นแบบนี้ไปใช้ในการถ่ายย่อแบบลายวงจร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนับจำนวนทั้งหมดของจุดบกพร่องรวมถึงการจำแนกประเภทของจุดบกพร่อง เพื่อประกอบการตัดสินใจในการนำแผ่นกระจกต้นแบบไปใช้งานต่อไป

จากข้อมูลในภาคผนวกที่ ก3 สามารถนำมาสร้าง Pareto chart เพื่อหาชนิดของจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นมากที่สุดในกระบวนการผลิต จากรูปที่ 4.40 พบว่าจุดบกพร่องหลักที่เกิดขึ้นคือ Pinspot และ missing geometry ซึ่งมีปริมาณคือ 61 และ 36 จุด ตามลำดับ โดยเป็นปริมาณรวมของทุกชั้นลายวงจร โดยไม่มี Killer defect เกิดขึ้นเลย แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะจุดบกพร่องที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อลายวงจร(Critical defect) โดยใช้รูปถ่ายในภาคผนวกที่...(รูป defect) และจากรูปที่ 4.41 พบว่าชั้น Active และชั้น Contact มีปริมาณ critical defect คือ 6 จุดเท่ากัน ซึ่งมีจำนวนมากกว่า 3 จุด ซึ่งเป็นจำนวนสูงสุดที่อนุญาตให้เกิดขึ้นได้ สำหรับลายวงจรขนาด 35000x35000 ไมครอน (ref.) ในขณะที่ชั้นอื่น ๆ มีจำนวนอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้

เมื่อพิจารณาชนิดของจุดบกพร่องที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อลายวงจร ในชั้น Active และ Contact ในรูปที่ 4.42 พบว่าทั้งหมดเป็นจุดบกพร่องชนิด Pinspot ซึ่งจุดบกพร่องชนิดนี้มักมีสาเหตุมาจากฝุ่นละอองที่ตกลงไปในระหว่างกระบวนการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 4.43 จึงเป็นสาเหตุให้น้ำยาไวแสงส่วนที่ต้องถูกฉายแสงนั้น กลับไม่ถูกฉายแสงและไม่หลุดลอกออกไปในขั้นตอนการล้างลายวงจร ทำให้ชั้นโครเมียมส่วนนี้ไม่ถูกกัดออกไปในกระบวนการกัดลายวงจร จึงเหลือเป็นเกาะของโลหะโครเมียมอยู่ ซึ่งจากผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดสอบจำนวนและขนาดของฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต กล่าวคือจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตยังคงมีฝุ่นละอองขนาดเล็กเหลืออยู่ จึงอาจเป็นสาเหตุให้เกิด Pinspot ได้ ในขณะที่ฝุ่นละอองขนาดใหญ่ นั้นมีปริมาณน้อยมาก จึงอาจหลุดออกไปในระหว่างกระบวนการผลิต ไม่ก่อให้เกิด Killer defect ขึ้น

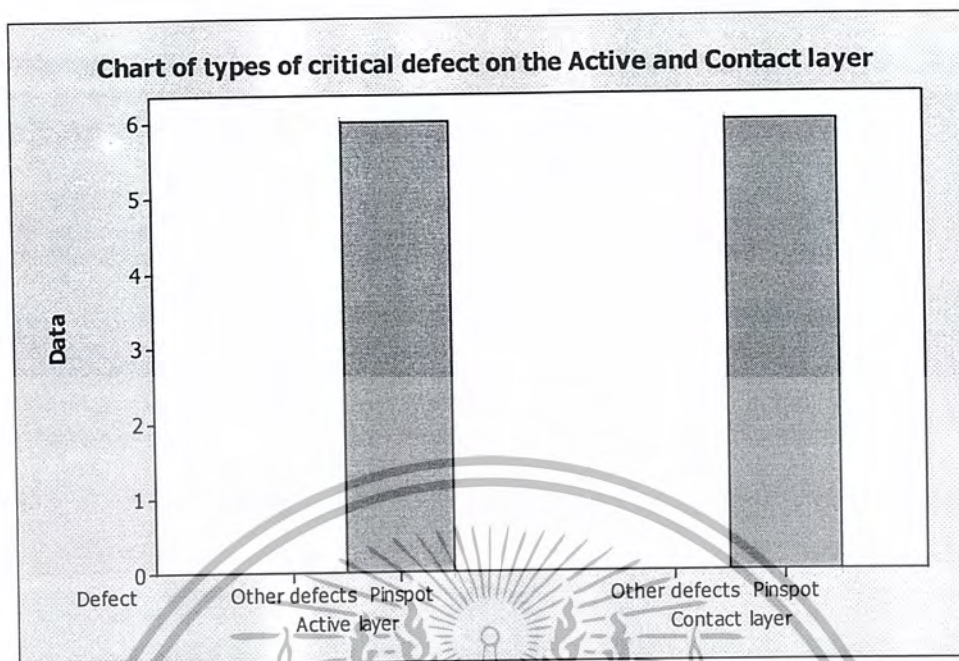


รูปที่ 4.40 กราฟแสดงจำนวนจุดบกพร่องแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นในลายวงจร

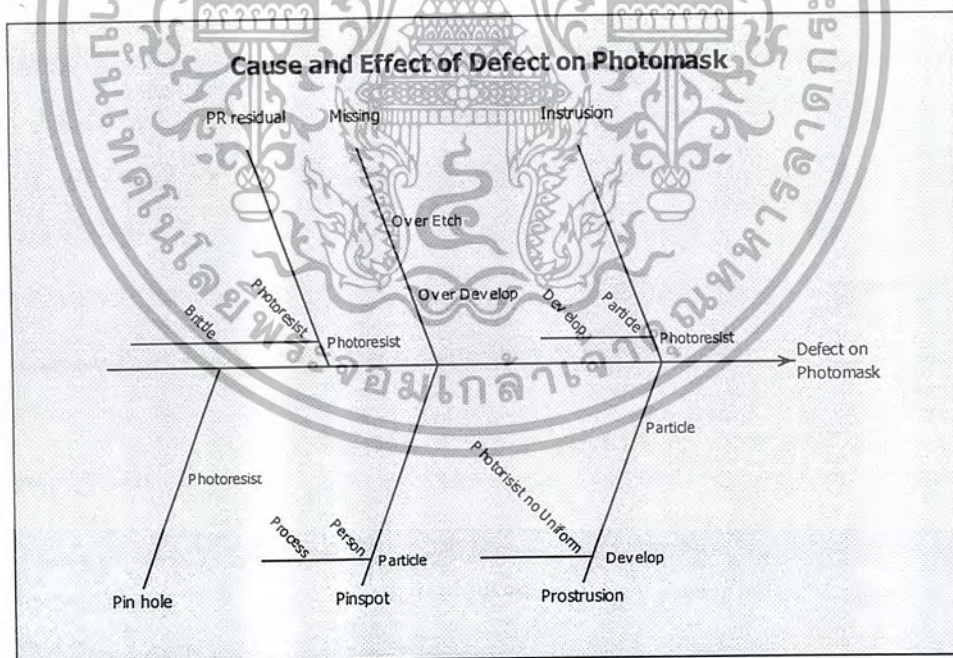


รูปที่ 4.41 กราฟแสดงจำนวนจุดบกพร่องที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อลายวงจรแต่ละชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.42 กราฟแสดงจำนวนจุดบกพร่องที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อลายวงจรแต่ละชนิดในชั้น Active และ Contact



รูปที่ 4.43 แสดงสาเหตุของการเกิดจุดบกพร่องที่พบบนกระจกต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยและพัฒนากระบวนการสร้างลายวงจรถนบนแผ่นกระจกต้นแบบขนาด 6 นิ้ว โดยใช้น้ำยาไวแสง Shipley s1805 ที่มีความหนาชั้นฟิล์ม 0.8 ไมครอน ถ่ายแบบลายวงจรถ้วยเครื่อง Direct Write Laser เพื่อสร้างลายวงจรถ Test Element Group (TEG) ที่มีเส้นลายวงจรถที่เล็กที่สุดคือ 4 ไมครอน นั้น สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. สามารถปรับปรุงอุปกรณ์ต่างๆ คือ แท่นสุญญากาศสำหรับการเคลือบน้ำยาไวแสงแทนโลหะสำหรับเตาอบชิ้นงาน, ที่จับแผ่นกระจกต้นแบบสำหรับกระบวนการทางเคมีและฝาดกรอบเครื่องเคลือบน้ำยาไวแสง โดยสามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ
2. สามารถปรับปรุงอุปกรณ์เพื่อลดจำนวนฝุ่นละอองในการผลิตได้ คือ ที่จับแผ่นกระจกต้นแบบสำหรับกระบวนการทั่วไปและฝาดกรอบแทนเคลือบของเครื่องเคลือบน้ำยาไวแสง
3. มีค่าพลังงานที่เหมาะสมสำหรับการสร้างลายวงจรถให้มีขนาดลายวงจรถอยู่ในช่วง $\pm 10\%$ ของขนาดลายวงจรถที่ได้ออกแบบไว้ในชั้น N-well, Active, N-field, Poly, N-select, P-select, Contact, Metal1, Via, Metal2 และ Pad คือ 70%, 90%, 100%, 80%, 100%, 100%, 100%, 100%, 90%, 100% และ 90% ตามลำดับที่พลังงานแสงเลเซอร์ 120 mW/cm^2
4. ไม่สามารถควบคุมขนาดของลายวงจรถภายหลังการกัดลายโลหะโครเมียม เนื่องจากปรากฏการณ์ Undercut อันเกิดจากการล้างลายวงจรถด้วยเวลาที่มากเกินไป (Overdevelop)
5. สามารถควบคุมปริมาณจุดบกพร่องที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อลายวงจรถได้ โดยมีจำนวนไม่เกิน 3 ชิ้นต่อหนึ่งชั้นลายวงจรถ ยกเว้นชั้น Active กับชั้น Contact
6. ไม่สามารถควบคุมคลาดเคลื่อนทางด้านตำแหน่งให้อยู่ในขอบเขตความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ อันเนื่องมาจากการชำรุดของเครื่องจักร และไม่สามารถหาค่าชดเชยทางสถิติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ผศ.ดร.สมเกียรติ ศุภเดช. 2523. เทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำ. กรุงเทพมหานคร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
2. ดร.ภาวิน สยามไชย, ธิปไตย ตัณฑ์ประพันธ์, การพัฒนาวัสดุความเที่ยงตรงสูงสำหรับวงจรรวม CMOS ขนาดเกต 5 ไมครอน, การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่26,หน้า 217-220
3. ธิปไตย ตัณฑ์ประพันธ์ และคณะ, 2545, การสร้างวัสดุสำหรับกระบวนการลิโทกราฟีในระดับไมครอน, การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่25,หน้า 149-153
4. ชลิดา คูหาเรือง, เสกสรรค์ ธิมากุล, 4546, กระบวนการสร้างโฟโตมาส์สำหรับวงจรรวมขนาด 5 ไมครอน, การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่26,หน้า 245-249
5. Stanley Wolf & Richard N. Tauber. 1986. Silicon Processing for the VLSI ERA. California U.S.A.: Lattice Press.
6. Ralph Dammel. 1993, Diazonaphthoquinone-based Resists. Washington U.S.A.:SOEP.
7. Michael Quirk & Julian Serda, Semiconductor Manufacturing Technology. Ohio Columbus: Prentice Hall.
8. Heidelberg Instruments Mikrotechnik. 1996. Heidelberg DWL 200 User's Guide. Heidelberg.
9. C.Schomburg, B.Hofflinger. paper 1996. Economic production of submicron ASICs with laser beam direct write lithography.
10. David J.Elliott. 1985. Integrated and Mask Technology. New York. McGraw-Hill

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

คู่มือและจุดบกพร่อง

สำนักงานเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก1 แสดงผลต่างของจำนวนฝุ่นละอองที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ (ก่อนปรับปรุงกระบวนการ)

Wafer no.	Location test							Number of Particles/size (pieces/micron)						Sum of defects (pieces)
	Storage		Process											
	Litho room	HMDS	Spinner no Resist	Hot plate (90°C)	N2 gas		DWL 1 hr	1	1.7	3	5.3	9.2	16.1	Started
					Litho room	MWB		1.7	3	5.3	9.2	16.1	28	
1	✓							-1	3	1	1	1	4	7
2		✓						-2	6	-1	1	0	0	4
3			✓					14	1	0	4	0	1	20
4				✓				3	3	0	-1	2	-1	6
5						✓		59	28	29	24	10	6	156
6						✓		2	0	0	1	1	1	5
7						✓		-3	9	-6	2	2	3	7
8_1		✓						-1	0	-1	1	0	0	-1
8_2		✓	✓					3	-2	7	3	-2	1	10
8_3		✓	✓	✓				-4	1	1	-2	2	-1	-3
8_4		✓	✓	✓		✓		7	0	2	3	2	0	14
8_5		✓	✓	✓		✓	✓	10	5	-2	-5	-2	1	7

ภาคผนวก ก2 แสดงผลต่างของจำนวนฝุ่นละอองที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ (หลังปรับปรุงกระบวนการ)

Wafer no.	Location test							Number of Particles/size (pieces/micron)						Sum of defects (pieces)
	Storage		Process											
	Litho room	HMDS	Spinner no Resist	Hot plate (90°C)	N2 gas		DWL 1 hr	1 1.7	1.7 3	3 5.3	5.3 9.2	9.2 16.1	16.1 28	Started
1	✓							-6	-2	4	0	0	-1	-5
2		✓						-6	1	5	-2	1	3	2
3			✓					4	-9	-1	8	2	-1	3
4				✓				10	-1	1	-2	2	1	11
5					✓			-14	5	5	1	-3	-1	-7
6						✓		-5	-3	-5	-2	1	2	-12
7						✓		7	-4	3	0	1	-1	6
8_1		✓						7	1	-4	-2	-1	0	1
8_2		✓	✓					3	-3	6	1	-2	1	6
8_3		✓	✓	✓				-3	7	-5	-3	3	2	1
8_4		✓	✓	✓		✓		-5	0	-1	7	-2	-1	-2
8_5		✓	✓	✓		✓	✓	3	2	1	-4	-1	-1	0

ภาคผนวก ก1 จำนวนจุดบกพร่องที่เกิดขึ้น

Defect type		Layer name											Frequency
		N-well	Active	N-field	Poly	N-select	P-select	Contact	Metal1	Metal0	Metal2	Pad	
On pattern(Cr)	Break	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bridge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Instrusion	0	0	1	1	1	2	0	1	0	2	0	8
	Prostrusion	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	3
	Missing geometry	0	0	0	0	0	0	6	0	30	0	0	36
	Pinhole on Cr	0	0	0	2	5	1	0	0	1	0	0	9
	Pinspot on Cr	0	7	2	2	4	2	27	3	11	2	1	61
	PR residual on Cr	0	0	0	0	0	0	1	1	3	1	0	6
Substrate(Quartz)	Glass fracture	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Glass seed	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Scratch	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Opaque	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	Solvent spot	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	Pinhole on Quartz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pinspot on Quartz	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	PR residual on Quartz	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Total Defect (no./all area)		2	8	3	7	11	6	35	5	45	5	1	
Critical defect (no./all area)		0	6	0	0	1	0	6	1	2	1	0	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข1 ความหนาของน้ำยาไวแสงที่ความเร็วรอบการเคลือบต่างๆ

Photoresist	Spin condition		Position	Thickness (Angs.)					
	1st. step (rpm/sec)	2nd. step (rpm/sec)		1	2	3	4	5	Avg.
s1805(wafer)	500/5	1500/40	Die1	7230	7239	7252	7256	7227	7241
			Die2	7235	7222	7086	7112	7115	7154
			Die3	7132	7132	7113	7144	7145	7133
			Die4	7124	7119	7109	7121	6989	7092
			Die5	7054	6969	7110	7152	7002	7057
s1805(wafer)	500/5	2000/40	Die1	6042	6034	6049	6052	6051	6045
			Die2	6057	6047	5977	6003	5986	6014
			Die3	5999	6017	5999	5984	5987	5997
			Die4	5986	5995	5966	5988	5939	5975
			Die5	6019	5932	5935	5982	5907	5955
s1805(wafer)	500/5	2500/40	Die1	5187	5173	5205	5213	5218	5199
			Die2	5208	5187	5158	5155	5175	5176
			Die3	5168	5176	5192	5191	5187	5183
			Die4	5180	5158	5162	5154	5173	5165
			Die5	5207	5182	5190	5193	5182	5191
s1805	500/10	2000/50	Die1	13334	13334	13451	9046	13279	12489
			Die2	8742	8690	8621	8524	8548	8625
			Die3	8557	8688	13236	8733	8646	9572
			Die4	8530	8484	8528	8575	8536	8531
			Die5	9013	8748	9068	13358	8536	9745
s1805	500/10	2500/50	Die1	8777	13213	13147	13162	13172	12294
			Die2	8720	8676	8622	8679	8698	8679
			Die3	8632	8749	8786	8742	8783	8738
			Die4	13307	8747	13233	13214	8737	11448
			Die5	8759	8621	8572	8632	8588	8634
s1805	500/10	2800/80	Die1	7915	7924	7819	7920	7924	7900
			Die2	12623	12556	12353	12372	12401	12461
			Die3	12612	12781	12875	12663	12574	12701
			Die4	12575	12350	12377	12375	12542	12444
			Die5	12371	12486	12804	12606	12887	12631
s1805	500/10	3100/80	Die1	12213	14398	14241	14466	7320	12528
			Die2	13835	6818	13677	13775	6892	10999
			Die3	6806	13703	14019	14305	14003	12567
			Die4	7296	14191	14257	7251	7314	10062
			Die5	13717	6706	13715	13784	13752	12335
s1805	500/10	3500/50	Die1	8663	8913	8915	8930	8867	8858
			Die2	8917	8623	8390	8712	8128	8554
			Die3	8903	8878	8575	8173	8202	8546
			Die4	8864	8881	8895	8861	8908	8882
			Die5	8850	8923	8913	8804	8761	8850

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค.
การสร้าง Job File

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค1 ข้อมูลในการเขียนลาย

TEG 0.8 micron Convert data to DWL M/C

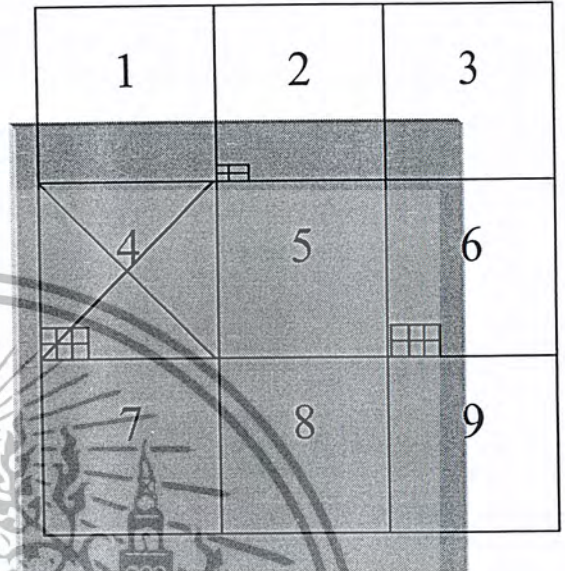
File name	File type	Layer	Convert	Mag.	Writing name	Check list									
						Border(micron)				No.strips	Convert data				
						Left	Right	Lower	Upper		Tic	cfg	OS-9	Update	Convert
T08_CWN	.cif	N-well	Non-inverted	5x	T08CWN	0	34000	0	34000	213	✓	✓	✓	✓	✓
T08_CAA	.cif	Active	Inverted	5x	T08CAA	0	34000	0	34000	213	✓	✓	✓	✓	✓
T08_CNF	.cif	N-field	Non-inverted	5x	T08CNF	0	34000	0	34000	213	✓	✓	✓	✓	✓
T08_CPG	.cif	Poly	Inverted	5x	T08CPG	0	34000	0	34000	213	✓	✓	✓	✓	✓
T08_CSN	.cif	N-select	Non-inverted	5x	T08CSN	0	34000	0	34000	213	✓	✓	✓	✓	✓
T08_CSP	.cif	P-select	Non-inverted	5x	T08CSP	0	34000	0	34000	213	✓	✓	✓	✓	✓
T08_CCC	.cif	Contact	Non-inverted	5x	T08CCC	0	34000	0	34000	213	✓	✓	✓	✓	✓
T08_CMF	.cif	Metal-1	Inverted	5x	T08CMF	0	34000	0	34000	213	✓	✓	✓	✓	✓
T08_CVA	.cif	Via hole	Non-inverted	5x	T08CVA	0	34000	0	34000	213	✓	✓	✓	✓	✓
T08_CMS	.cif	Metal-2	Inverted	5x	T08CMS	0	34000	0	34000	213	✓	✓	✓	✓	✓
T08_COG	.cif	Pad	Non-inverted	5x	T08COG	0	34000	0	34000	213	✓	✓	✓	✓	✓

Layer	File name	Field condition (micron)				move fidutial	Energy	ramp	Tetra	
		Width	Height	per row	start at					
Fidutial mark	testWrMskC, MskX	64000	72000	3,3,3	7	x(um.)	y(um.)	(%)	3695.t4	0
Fidutial mark	testWrMskC, MskX	64000	72000	3,3,3	7	0	0	100	3695.t4	0
Fidutial mark	testWrMskC, MskX	64000	72000	3,3,3	7	0	0	100	3695.t4	0
CWN	T08CWN	35000	35000	3,3,3	7	15550	-14450	95	3695.t4	0.002
CAA	T08CAA	35000	35000	3,3,3	7	70000	-34800	95	3695.t4	0.006
COG	T08COG	35000	35000	3,3,3	7	15550	-14450	95	3695.t4	0.006
CCC	T08CCC	35000	35000	3,3,3	7	70000	-34800	100	3695.t4	0.001
CPG	T08CPG	35000	35000	3,3,3	7	15550	-14450	50	3695.t4	0.006
CAA	T08CAA	35000	35000	3,3,3	7	70000	-34800	65	3695.t4	0.007
CMF	T08CMF	35000	34000	3,3,3	7	15550	-14450	100	3695.t4	0.006
CMS	T08CMS	35000	34000	3,3,3	7	15550	-14450	100	3695.t4	0.006
CSN	T08CSN	35000	34000	3,3,3	7	15550	-14450	100	3695.t4	0.004
CSP	T08CSP	35000	34000	3,3,3	7	15550	-14450	100	3695.t4	0.004
CNF	T08CNF	35000	34000	3,3,3	7	15550	20550	100	3695.t4	0.002

ภาคผนวก ค1. การสร้าง Fidutial Alignment Mark

Fidutial Alignment Mark exposure map design

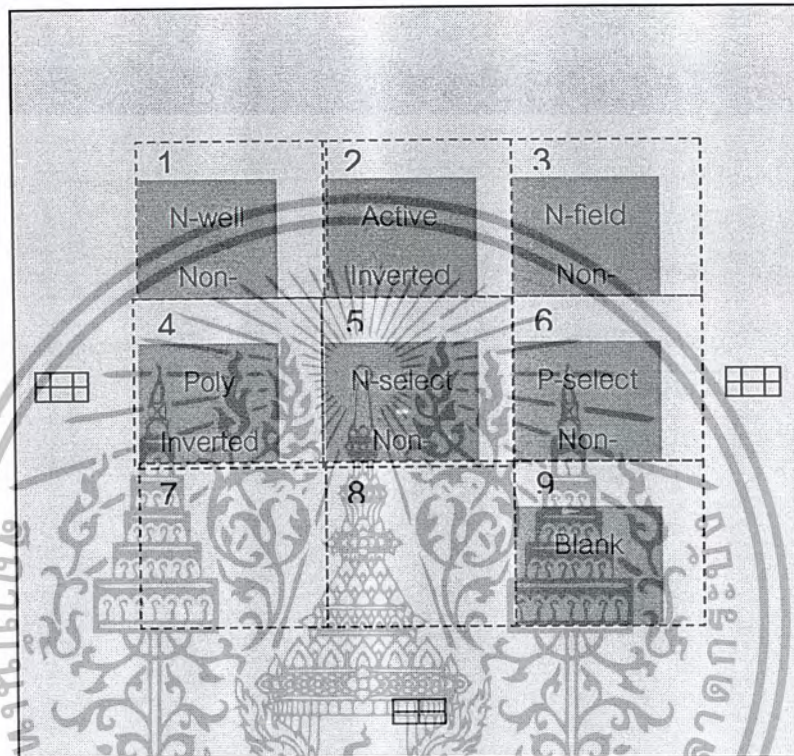
1. Field width = 64,000 micron
2. Field height = 72,000 micron
3. Alignment site x = 0
4. Alignment site y = 0
5. Fields per row = 3,3,3
6. Field start at = 0,0,0
7. Field zero = 7
8. die size = $7,500 \times 2,500$
= $5,500 \times 3,000$



	field	do	All	Xoff	Yoff	Lic Buf	Defoc	Energy	Command
	1								
X	2	-1				WrMskY	-25	100	Os9:ramp bl.3695.t4
	3								
X	4	-1				WrMskC	-25	100	Os9:ramp bl.3695.t4
	5								
X	6	-1				WrMskC	-25	100	Os9:ramp bl.3695.t4
	7								
	8								
	9								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

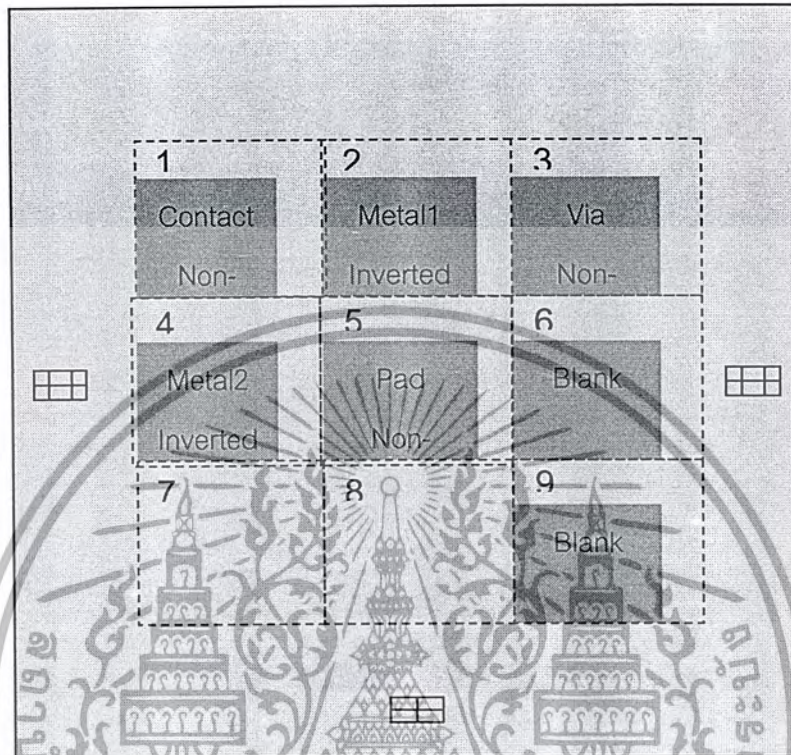
ภาคผนวก ค2. การเขียนลาย TEG (Mask1)



	field	do	All	Xoff	Yoff	Lic Buf	Defoc	Energy	Command
X	1	-1				N-well	-25	100	Os9:ramp bl.3695.t4
X	2	-1				Active	-25	100	Os9:ramp bl.3695.t4
X	3	-1				N-field	-25	100	Os9:ramp bl.3695.t4
X	4	-1				Poly	-25	100	Os9:ramp bl.3695.t4
X	5	-1				N-select	-25	100	Os9:ramp bl.3695.t4
X	6	-1				P-select	-25	100	Os9:ramp bl.3695.t4
	7								
	8								
	9								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค3. การเขียนลาย TEG (Mask2)



	field	do	Ali	Xoff	Yoff	Lic Buf	Defoc	Energy	Command
X	1	-1				Contact	-25	100	Os9:ramp bl.3695.t4
X	2	-1				Metal1	-25	100	Os9:ramp bl.3695.t4
X	3	-1				Via	-25	100	Os9:ramp bl.3695.t4
X	4	-1				Metal2	-25	100	Os9:ramp bl.3695.t4
X	5	-1				Pad	-25	100	Os9:ramp bl.3695.t4
	6								
	7								
	8								
	9								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Contact layer CD before etch

Energy	50%				60%				70%				80%				90%				100%			
	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5
CD																								
1	12.11	7.56	3.95	2.57	13.43	9.11	4.02	2.42	12.38	9.17	3.88	2.42	10.14	8.08	5.41	2.74	10.33	7.90	4.30	2.75	10.65	8.30	4.67	3.10
2	11.62	7.87	4.04	2.79	10.74	8.11	4.11	2.73	10.66	8.11	4.04	3.21	10.02	7.91	4.19	2.48	10.35	8.09	4.43	2.77	10.71	8.45	4.66	3.09
3	10.85	7.61	3.97	2.74	10.86	8.13	4.06	2.66	10.78	8.11	4.07	2.77	11.47	7.83	4.54	2.83	10.34	8.02	4.35	2.94	10.70	8.48	4.73	3.20
4	10.72	7.80	3.96	2.18	10.70	7.62	4.02	2.05	10.56	7.60	4.02	1.89	10.87	7.87	4.18	2.32	10.43	7.92	4.51	2.63	10.71	8.36	4.66	2.74
5	10.69	8.48	3.94	2.02	10.70	8.00	4.03	1.86	10.78	12.25	3.97	2.63	10.07	7.45	4.30	2.65	10.29	7.69	4.31	2.74	10.68	8.18	4.69	3.03
6	11.02	7.27	3.93	2.03	12.53	7.05	4.91	1.94	12.34	7.02	4.96	1.78	10.20	9.11	3.74	2.18	10.40	7.69	4.21	2.88	10.41	7.79	4.55	3.02
7	10.80	7.57	3.90	2.42	11.29	9.57	3.91	2.43	12.99	9.53	3.94	3.03	10.11	8.13	5.51	3.54	10.31	7.93	4.33	2.74	10.64	8.31	4.66	3.14
8	7.03	7.87	4.06	2.76	10.87	8.15	4.04	3.85	10.72	8.08	4.06	2.76	10.00	7.88	4.23	2.53	10.34	8.10	4.49	2.82	10.67	8.47	4.64	3.08
9	10.73	7.61	3.97	2.69	10.77	8.13	4.01	2.71	10.48	8.07	4.05	2.77	11.78	7.79	4.56	2.79	10.33	8.04	4.37	2.93	10.68	8.51	4.74	3.20
10	10.78	7.83	3.96	2.16	10.67	7.64	3.97	2.07	11.21	7.63	4.04	1.89	10.70	7.86	4.21	2.34	10.41	7.97	4.51	2.67	10.67	8.39	4.67	2.72
11	14.53	8.66	3.93	2.04	10.71	8.56	3.91	1.99	8.91	10.89	4.01	2.62	10.07	7.45	4.38	2.67	10.27	7.69	4.34	2.74	10.64	8.18	4.67	3.03
12	11.02	7.27	3.83	2.01	13.12	7.02	3.82	1.92	13.16	6.98	5.07	1.84	10.20	9.26	3.77	2.16	10.37	7.69	4.24	2.92	10.37	7.82	4.52	3.01
ave	10.99	7.78	3.95	2.37	11.37	8.09	4.07	2.39	11.25	8.62	4.18	2.47	10.47	8.05	4.42	2.60	10.35	7.89	4.36	2.79	10.63	8.27	4.65	3.03
std/n	0.26	0.03	0.00	0.03	0.24	0.06	0.02	0.04	0.24	0.12	0.03	0.04	0.21	0.05	0.04	0.03	0.20	0.02	0.01	0.01	0.21	0.03	0.02	0.02

Metal-1 layer CD before etch

Energy	50%				60%				70%				80%				90%				100%			
	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5
CD																								
1	13.97	10.30	4.58	2.63	12.12	9.66	4.55	3.29	11.53	8.86	5.51	3.83	11.36	8.98	5.35	3.08	10.64	8.18	4.74	2.61	10.42	8.00	4.50	2.96
2	12.20	8.30	6.12	4.54	12.25	9.77	5.04	2.47	11.68	8.95	5.71	2.74	11.38	8.98	5.48	3.49	10.68	8.20	4.76	3.00	10.51	8.02	4.50	2.85
3	12.05	10.69	5.20	3.18	12.53	10.35	6.08	3.80	11.72	9.00	5.41	4.32	11.51	9.18	5.39	3.64	10.68	8.20	4.65	3.00	10.47	8.03	4.53	2.95
4	12.39	8.11	6.59	1.89	12.40	9.70	5.97	3.45	11.63	8.88	5.39	4.05	11.43	9.03	5.28	3.49	10.69	8.26	4.68	2.95	10.49	8.02	4.53	2.70
5	13.33	9.73	5.84	2.59	11.60	10.18	5.98	3.62	11.30	9.09	5.45	3.79	11.36	9.29	5.38	3.96	10.58	8.26	4.73	3.02	10.36	8.01	4.46	2.92
6	11.78	9.01	5.65	3.50	11.12	8.57	5.24	3.31	11.39	8.49	5.38	3.17	11.03	8.43	4.94	3.19	10.48	7.94	4.41	2.83	10.32	7.78	4.30	2.77
7	13.25	10.35	4.57	2.60	12.08	9.66	4.54	3.32	11.54	8.85	5.54	3.79	11.36	8.97	5.36	3.10	10.61	8.15	4.74	2.61	10.41	8.00	4.50	2.97
8	12.19	8.29	6.13	4.67	12.30	9.77	5.00	2.48	11.66	8.94	5.73	2.74	11.38	8.95	5.43	3.49	10.67	8.24	4.78	2.99	10.49	8.03	4.49	2.88
9	12.05	10.73	5.32	3.11	12.62	10.32	6.09	3.81	11.75	9.00	5.41	4.53	11.50	9.18	5.41	3.62	10.69	8.22	4.71	3.01	10.44	8.03	4.51	2.95
10	12.37	8.10	4.62	1.87	12.42	9.70	6.00	3.43	11.64	8.89	5.35	4.11	11.45	9.02	5.27	3.48	10.70	8.24	4.71	2.94	10.51	8.02	4.52	2.69
11	13.26	9.82	5.70	2.62	11.63	10.21	5.95	3.62	11.30	9.08	5.47	3.84	11.37	9.29	5.40	3.96	10.55	8.31	4.71	3.02	10.39	8.01	4.49	2.95
12	11.79	8.97	5.70	3.54	11.11	8.55	5.21	3.33	11.39	8.48	5.37	3.22	11.02	8.43	4.92	3.17	10.49	7.95	4.41	2.85	10.31	7.78	4.29	2.75
ave	12.55	9.37	5.50	3.06	12.01	9.70	5.47	3.33	11.54	8.88	5.48	3.68	11.35	8.98	5.30	3.47	10.62	8.18	4.67	2.90	10.43	7.98	4.47	2.86
std/n	0.27	0.09	0.06	0.07	0.25	0.07	0.06	0.04	0.23	0.03	0.03	0.05	0.23	0.04	0.03	0.03	0.21	0.02	0.02	0.01	0.20	0.01	0.01	0.01

Via layer CD before etch

Energy	50%				60%				70%				80%				90%				100%			
	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5
CD	10.68	8.97	4.70	3.06	10.64	8.00	4.71	3.28	10.54	7.85	4.52	3.02	10.71	7.97	4.74	3.15	10.82	8.35	4.98	3.24	10.95	8.37	5.06	3.46
1	10.68	8.97	4.70	3.06	10.64	8.00	4.71	3.28	10.54	7.85	4.52	3.02	10.71	7.97	4.74	3.15	10.82	8.35	4.98	3.24	10.95	8.37	5.06	3.46
2	10.70	9.40	4.67	3.22	10.69	8.33	4.70	3.17	10.63	8.08	4.58	2.99	10.80	8.15	4.75	3.10	10.88	8.56	4.95	3.33	11.01	8.53	5.13	3.46
3	10.64	9.64	4.44	3.72	10.66	8.04	4.70	3.08	10.58	8.08	4.52	3.16	10.81	8.08	4.66	3.18	10.92	8.46	4.95	3.50	11.00	8.54	5.07	3.65
4	10.65	8.77	4.58	3.39	10.63	8.20	4.53	3.15	10.63	8.21	4.47	3.03	10.74	8.24	4.58	3.16	10.91	8.52	4.94	3.37	11.01	8.59	4.99	3.61
5	10.58	8.15	5.08	2.90	10.54	8.20	4.58	3.12	10.53	8.18	4.41	3.02	10.65	8.12	4.17	3.07	10.81	8.41	4.88	3.38	10.95	8.53	4.83	3.48
6	11.16	8.29	4.36	3.01	10.86	8.30	4.11	3.00	10.66	8.16	4.77	2.97	10.40	8.18	4.41	3.36	10.61	8.25	4.76	3.21	10.74	8.33	4.62	3.39
7	10.63	9.06	4.74	3.05	10.65	8.04	4.71	3.28	10.52	7.85	4.56	3.06	10.65	7.95	4.80	3.13	10.84	8.35	5.02	3.23	10.99	8.41	5.07	3.50
8	10.64	9.41	4.70	3.17	10.65	8.30	4.73	3.14	10.57	8.07	4.61	3.00	10.74	8.13	4.78	3.07	10.89	8.56	5.01	3.30	11.07	8.58	5.10	3.50
9	10.65	9.25	4.41	3.73	10.67	8.01	4.67	3.08	10.56	8.06	4.54	3.13	10.78	8.08	4.66	3.19	10.95	8.48	4.98	3.47	11.05	8.58	5.05	3.67
10	10.63	8.68	4.60	3.31	10.65	8.15	4.53	3.16	10.58	8.21	4.44	3.01	10.74	8.20	4.57	3.14	10.94	8.52	4.98	3.40	11.06	8.62	5.00	3.63
11	10.62	8.12	4.98	2.90	10.52	8.16	4.50	3.06	10.52	8.18	4.40	3.04	10.62	8.07	4.18	3.10	10.82	8.40	4.88	3.34	10.97	8.56	4.80	3.48
12	11.20	8.24	4.34	2.91	10.85	8.29	4.21	3.00	10.63	8.12	4.79	2.95	10.40	8.15	4.39	3.43	10.60	8.23	4.76	3.18	10.76	8.35	4.62	3.37
ave	10.73	8.83	4.63	3.20	10.67	8.17	4.55	3.13	10.58	8.09	4.55	3.03	10.67	8.11	4.56	3.17	10.83	8.42	4.92	3.33	10.96	8.50	4.94	3.52
std/n	0.22	0.05	0.02	0.03	0.22	0.02	0.02	0.02	0.21	0.02	0.02	0.01	0.21	0.02	0.02	0.02	0.21	0.02	0.02	0.02	0.21	0.02	0.03	0.02

Metal-2 layer CD before etch

Energy	50%				60%				70%				80%				90%				100%			
	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5
CD	13.94	8.94	6.61	2.75	11.75	8.66	6.17	2.55	11.81	8.72	4.41	3.61	11.37	8.58	5.56	4.05	10.68	8.18	4.76	3.23	10.35	7.80	4.17	2.87
1	13.94	8.94	6.61	2.75	11.75	8.66	6.17	2.55	11.81	8.72	4.41	3.61	11.37	8.58	5.56	4.05	10.68	8.18	4.76	3.23	10.35	7.80	4.17	2.87
2	13.06	9.03	4.76	1.97	11.78	8.70	6.06	1.96	11.85	8.72	4.46	2.77	11.47	8.57	5.14	4.01	10.73	8.16	4.67	3.11	10.36	7.85	4.21	2.77
3	14.14	9.13	6.14	2.15	12.00	8.78	6.07	4.63	11.92	8.75	4.51	3.61	11.43	8.60	5.48	3.69	10.73	8.17	4.76	3.15	10.38	7.85	4.49	3.06
4	13.19	9.28	5.44	2.09	12.00	8.78	6.27	2.74	12.14	8.77	4.38	3.18	11.60	8.65	5.53	4.30	10.75	8.16	4.77	3.18	10.41	7.87	4.44	2.69
5	13.43	10.20	5.31	1.96	12.11	9.06	6.17	2.97	12.01	9.04	5.83	4.71	11.64	8.85	5.47	3.82	10.74	8.19	4.75	3.16	10.39	7.95	4.51	2.89
6	11.45	11.53	5.82	3.08	11.13	9.62	6.25	4.04	11.18	9.23	4.43	2.54	10.89	8.88	4.77	3.84	10.49	8.18	4.90	3.23	10.18	7.86	4.64	2.89
7	14.01	8.96	6.36	2.62	11.75	8.67	6.13	2.54	11.84	8.73	4.41	3.63	11.36	8.58	5.50	4.03	10.66	8.13	4.75	3.18	10.33	7.79	4.16	2.88
8	13.09	9.03	4.75	1.95	11.81	8.68	6.00	1.97	11.89	8.71	4.46	2.75	11.47	8.56	5.12	4.62	10.71	8.18	4.66	3.13	10.40	7.88	4.23	2.80
9	14.22	9.13	6.10	2.15	12.00	8.75	6.06	4.50	11.91	8.79	4.50	1.73	11.42	8.61	5.52	3.70	10.70	8.20	4.77	3.17	10.37	7.89	4.50	3.06
10	13.20	9.29	5.53	2.02	12.02	8.79	6.27	2.74	12.17	8.79	4.34	3.41	11.59	8.64	5.52	4.28	10.76	8.17	4.74	3.19	10.40	7.88	4.45	2.66
11	13.35	10.19	4.93	1.97	12.10	9.03	6.15	2.98	12.02	9.08	5.82	3.45	11.65	8.88	5.52	3.87	10.74	8.19	4.74	3.20	10.43	7.96	4.48	2.89
12	11.41	11.58	6.17	3.09	11.11	9.60	6.24	3.98	11.19	9.20	4.43	3.92	10.85	8.88	4.89	3.76	10.48	8.16	4.88	3.23	10.16	7.85	4.65	2.88
ave	13.21	9.69	5.66	2.32	11.80	8.93	6.15	3.13	11.83	8.88	4.66	3.27	11.39	8.69	5.34	4.00	10.68	8.17	4.76	3.18	10.35	7.87	4.41	2.86
std/n	0.29	0.09	0.06	0.03	0.24	0.04	0.05	0.07	0.24	0.03	0.04	0.06	0.23	0.03	0.04	0.04	0.21	0.02	0.02	0.02	0.20	0.01	0.02	0.01

Pad layer CD before etch

Energy CD	50%				60%				70%				80%				90%				100%			
	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5	10	7.5	4	2.5
1	11.32	8.07	4.58	2.33	10.75	7.89	4.61	2.93	10.26	7.96	4.63	3.05	10.25	7.88	4.61	2.97	10.73	8.38	4.61	3.00	10.91	8.50	5.07	3.22
2	11.13	8.03	4.48	3.73	10.39	7.94	4.79	2.96	10.34	8.11	4.58	3.17	10.25	8.05	4.79	3.30	10.69	8.46	4.50	2.98	10.90	8.67	5.06	3.43
3	11.47	8.03	4.78	3.14	10.41	7.94	4.46	3.01	10.39	8.04	4.47	3.19	10.39	8.05	4.38	3.28	10.79	8.43	4.87	3.44	10.93	8.70	5.10	3.57
4	11.54	8.42	4.50	3.04	10.38	7.96	4.65	2.79	10.34	8.04	4.36	2.99	10.38	8.05	4.59	3.11	10.80	8.48	4.56	3.18	10.92	8.65	5.15	3.34
5	10.27	7.97	5.05	2.96	10.32	8.02	4.30	3.02	10.32	8.03	4.59	2.86	10.38	7.89	4.34	2.97	10.89	8.16	4.85	3.32	10.94	8.45	4.96	3.37
6	10.62	0.00	4.53	2.95	10.67	7.91	4.28	2.95	10.64	7.95	4.42	3.00	10.29	7.96	4.35	3.13	10.89	8.43	5.04	3.45	10.83	8.64	5.12	3.52
7	11.40	8.03	4.58	2.37	10.71	7.90	4.63	2.93	10.28	7.97	4.65	3.06	10.25	7.87	4.59	2.90	10.76	8.36	4.53	3.06	10.93	8.47	5.07	3.21
8	11.17	8.06	4.46	3.80	10.35	7.96	4.81	2.92	10.31	8.10	4.57	3.12	10.25	8.04	4.70	3.30	10.70	8.46	4.46	2.96	10.96	8.64	5.08	3.49
9	11.33	7.96	4.83	3.10	10.36	7.98	4.46	3.03	10.38	8.05	4.47	3.13	10.38	8.07	4.37	3.25	10.81	8.44	4.85	3.45	10.99	8.66	5.11	3.60
10	11.44	7.99	4.53	3.07	10.34	7.98	4.70	2.76	10.32	8.04	4.36	2.98	10.40	8.07	4.55	3.07	10.79	8.46	4.57	3.19	10.97	8.63	5.09	3.36
11	10.32	8.45	5.13	3.00	10.32	7.99	4.33	2.99	10.33	8.05	4.60	2.88	10.38	7.93	4.32	2.98	10.86	8.19	4.87	3.32	10.98	8.43	5.01	3.37
12	10.62	7.97	4.46	2.97	10.63	7.89	4.27	2.92	10.65	7.98	4.46	2.96	10.33	8.00	4.33	3.13	10.86	8.48	5.01	3.44	10.88	8.56	5.09	3.54
ave	11.05	7.42	4.66	3.04	10.47	7.95	4.52	2.94	10.38	8.02	4.51	3.03	10.33	7.99	4.49	3.11	10.80	8.39	4.73	3.23	10.93	8.58	5.07	3.42
std/n	0.23	0.18	0.02	0.04	0.21	0.01	0.02	0.01	0.21	0.01	0.01	0.01	0.20	0.01	0.02	0.02	0.21	0.02	0.02	0.02	0.21	0.03	0.02	0.02



ภาคผนวก ง2 ขนาดของลาย Pattern ก่อนกัดลาย

N-well CD before etch 50 micron

Energy	50%	60%	70%	80%	90%	100%
1	51.74	51.02	51.58	48.62	49.04	49.38
2	62.91	51.46	52.01	49.17	50.06	51.30
3	64.28	51.39	52.08	49.19	50.33	51.92
4	63.80	51.54	52.20	49.46	50.73	53.82
5	50.83	51.56	52.21	49.36	50.90	54.36
6	50.91	51.60	52.21	49.46	51.26	57.14
7	61.88	51.60	52.30	49.39	51.34	56.85
8	50.86	51.43	52.22	49.26	51.53	59.12
9	64.95	51.42	52.15	49.41	51.46	57.70
10	57.76	51.48	52.17	49.31	51.77	58.58
ave	51.74	51.02	51.58	48.62	49.04	49.38
std/n	0.63	0.02	0.02	0.02	0.08	0.34

Active CD before etch 50 micron

Energy	50%	60%	70%	80%	90%	100%
1	6.44	5.00	4.62	4.35	3.95	4.13
2	4.97	5.15	4.73	4.41	4.06	4.03
3	6.55	4.37	4.93	4.53	4.50	4.05
4	5.94	5.59	4.95	4.51	4.33	3.88
5	6.85	5.44	4.75	4.54	4.20	3.99
6	6.28	5.03	4.61	4.33	3.93	4.11
7	4.94	5.17	4.72	4.38	4.06	3.99
8	6.56	6.47	4.96	4.52	4.48	4.05
9	5.94	5.60	4.95	4.50	4.31	3.94
10	6.77	5.46	4.77	4.56	4.20	3.98
ave	6.44	5.00	4.62	4.35	3.95	4.13
std/n	0.07	0.05	0.01	0.01	0.02	0.01

N-field CD before etch 50 micron

Energy	50%	60%	70%	80%	90%	100%
1	7.40	5.80	4.93	4.70	4.19	4.19
2	8.06	6.64	5.98	5.76	5.52	5.41
3	7.88	6.82	6.47	6.42	6.31	6.08
4	5.41	5.15	4.88	4.61	4.43	4.20
5	8.09	6.67	5.98	5.78	5.50	5.42
6	7.82	6.85	6.56	6.41	6.31	6.11
7	7.38	5.77	4.96	4.96	4.17	4.16
8	8.08	6.67	5.99	5.99	5.53	5.35
9	7.88	6.83	6.51	6.51	6.29	6.03
10	5.43	5.13	4.87	4.87	4.43	4.15
ave	7.40	5.80	4.93	4.70	4.19	4.19
std/n	0.10	0.07	0.07	0.08	0.09	0.09

Poly CD before etch 50 micron

Energy	50%	60%	70%	80%	90%	100%
1	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51
2	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51
3	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51
4	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51
5	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51
6	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51
7	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51
8	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51
9	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51
10	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51
ave	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51
std/n	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51

N-select CD before etch 50 micron

Energy	50%	60%	70%	80%	90%	100%
1	17.00	17.81	18.10	18.35	18.68	18.80
2	17.39	17.83	18.05	18.21	18.57	18.63
3	17.46	17.85	18.07	18.27	18.58	18.86
4	17.65	18.55	18.32	18.33	18.76	19.03
5	18.56	17.76	18.20	18.36	18.60	18.89
6	18.77	17.78	18.10	18.37	18.71	18.78
7	17.46	17.79	18.08	18.22	18.56	18.64
8	17.44	17.89	18.05	18.26	18.54	18.88
9	17.66	18.50	18.31	18.32	18.74	19.04
10	18.43	17.77	18.16	18.37	18.61	18.94
ave	17.00	17.81	18.10	18.35	18.68	18.80
std/n						

P-select CD before etch 50 micron

Energy	50%	60%	70%	80%	90%	100%
1	18.10	17.84	17.89	18.06	18.49	18.90
2	15.22	18.59	18.32	17.94	18.39	18.74
3	17.92	18.60	19.50	18.02	18.48	18.82
4	18.24	17.91	17.80	17.83	18.37	18.54
5	18.04	18.83	17.84	18.17	18.24	18.58
6	18.64	17.83	17.93	18.06	18.49	18.94
7	14.63	20.22	18.33	17.86	18.37	18.77
8	17.70	18.62	19.42	17.98	18.47	18.84
9	18.64	17.91	17.77	17.82	18.37	18.54
10	18.67	18.34	17.88	18.16	18.19	18.63
ave	18.10	17.84	17.89	18.06	18.49	18.90
std/n	0.14	0.07	0.07	0.01	0.01	0.01

Contact CD before etch 50 micron

Energy	50%	60%	70%	80%	90%	100%
1	4.02	3.20	4.35	3.63	3.94	3.99
2	3.62	3.87	3.88	3.84	4.07	4.47
3	3.65	3.73	3.87	3.86	4.03	4.32
4	3.31	3.65	3.64	3.68	4.02	4.12
5	3.19	3.43	3.57	3.73	4.06	4.14
6	4.13	3.08	3.37	3.69	4.09	3.95
7	4.01	4.32	3.56	3.56	4.23	3.97
8	4.41	4.13	4.40	3.51	3.93	3.99
9	4.14	3.47	3.43	3.11	3.29	3.67
10	4.05	3.47	2.38	3.22	3.41	3.47
ave	4.02	3.20	4.35	3.63	3.94	3.99
std/n	0.04	0.04	0.06	0.02	0.03	0.03

Metal-1 CD before etch 50 micron

Energy	50%	60%	70%	80%	90%	100%
1	6.30	6.15	5.98	5.83	5.46	5.20
2	6.12	5.91	5.85	5.69	5.40	5.09
3	6.22	5.98	5.90	5.76	5.48	5.20
4	6.16	6.01	5.84	5.75	5.51	5.20
5	6.28	6.01	5.88	5.76	5.53	5.23
6	6.13	5.90	5.71	5.63	5.37	5.07
7	6.31	6.15	5.98	5.80	5.45	5.20
8	6.12	5.93	5.85	5.68	5.38	5.10
9	6.22	6.00	5.91	5.77	5.49	5.19
10	6.17	6.00	5.87	5.74	5.44	5.21
ave	6.27	6.01	5.90	5.76	5.47	5.21
std/n	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Via CD before etch 50 micron

Energy	50%	60%	70%	80%	90%	100%
1	3.83	3.82	3.94	3.85	3.92	4.39
2	3.92	3.88	3.76	3.87	4.10	4.20
3	3.97	4.10	4.06	3.97	4.37	4.33
4	4.02	4.18	4.03	4.08	4.32	4.50
5	3.94	4.14	2.07	4.12	4.19	4.57
6	4.06	4.15	4.05	4.17	4.23	4.64
7	4.08	3.95	3.78	4.03	3.87	4.37
8	4.06	3.97	3.80	3.92	4.04	4.20
9	4.07	3.98	3.78	3.84	4.00	4.22
10	3.94	3.69	3.30	3.85	4.01	4.27
ave	3.83	3.82	3.94	3.85	3.92	4.39
std/n	0.01	0.02	0.06	0.01	0.02	0.02

Metal-2 CD before etch 50 micron

Energy	50%	60%	70%	80%	90%	100%
1	8.56	7.42	7.40	7.13	6.70	6.47
2	8.08	7.45	7.40	7.18	6.60	6.44
3	8.32	7.43	7.30	7.17	6.62	6.41
4	8.15	7.34	7.35	7.21	6.61	6.38
5	7.93	7.32	7.39	7.15	6.58	6.38
6	7.95	7.30	7.30	7.14	6.61	6.39
7	6.51	6.14	6.10	6.12	5.69	5.39
8	6.32	5.94	5.96	6.04	5.56	5.24
9	6.40	6.06	6.06	6.14	5.62	5.29
10	6.50	6.04	5.98	6.06	5.60	5.29
ave	8.56	7.42	7.40	7.13	6.70	6.47
std/n	0.09	0.07	0.07	0.06	0.05	0.06

Pad CD before etch 50 micron

Energy	50%	60%	70%	80%	90%	100%
1	97.16	97.54	96.16	96.16	96.16	96.16
2	96.13	96.22	96.13	96.13	96.13	96.13
3	96.22	96.16	96.16	96.16	96.16	96.16
4	96.08	96.08	96.08	96.08	96.08	96.08
5	95.97	95.97	95.97	95.97	95.97	95.97
6	96.62	96.44	96.62	96.62	96.62	96.62
7	96.32	96.48	96.48	96.48	96.48	96.48
8	96.20	96.20	96.20	96.20	96.20	96.20
9	97.44	97.00	96.30	96.30	96.30	96.30
10	97.76	97.36	96.36	96.36	96.36	96.36
ave	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
std/n	0.06	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02

ภาคผนวก ง3 ตารางแสดงการวิเคราะห์ค่าพลังงาน

At CD-test Pattern(before etch)					In Pattern	CD-Pic	Pattern-Pic
N-well	10 micron	7.5 micron	4 micron	2.5 micron	50micron	Condition	Condition
50%	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Over	Under not clear	Under not clear
60%	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Acceptable	Under not clear	Under not clear
70%	Acceptable	Over	Over	Over	Acceptable	Under not clear	Clear
80%	Over	Over	Over	Over	Acceptable	Under not clear	Clear
90%	Over	Over	Over	Over	Acceptable	Clear	Clear
100%	Over	Over	Over	Over	Over	Clear	Clear

At CD-test Pattern(before etch)					In Pattern	CD-Pic	Pattern-Pic
Active	10 micron	7.5 micron	4 micron	2.5 micron	4 micron	Condition	Condition
50%	Over	Over	Over	Over	Over	Under not clear	Under not clear
60%	Over	Over	Over	Over	Over	Under not clear	Under not clear
70%	Over	Over	Over	Over	Over	Under not clear	Clear
80%	Over	Over	Over	Over	Over	Under not clear	Clear
90%	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Acceptable	Clear	Clear
100%	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Clear	Clear

At CD-test Pattern(before etch)					In Pattern	CD-Pic	Pattern-Pic
N-field	10 micron	7.5 micron	4 micron	2.5 micron	4 micron	Condition	Condition
50%	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Under not clear	Under not clear
60%	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Under not clear	Under not clear
70%	Acceptable	Over	Over	Over	Over	Under not clear	Clear
80%	Over	Over	Over	Over	Over	Under not clear	Clear
90%	Over	Over	Over	Over	Over	Clear	Clear
100%	Over	Over	Over	Over	Over	Clear	Clear

At CD-test Pattern(before etch)					In Pattern	CD-Pic	Pattern-Pic
Poly	10 micron	7.5 micron	4 micron	2.5 micron	4 micron	Condition	Condition
50%	Over	Over	Over	Over	Over	Under not clear	Under not clear
60%	Over	Over	Over	Over	Over	Under not clear	Under not clear
70%	Over	Over	Over	Over	Over	Under not clear	Under not clear
80%	Over	Over	Over	Over	Over	Under not clear	Clear
90%	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Acceptable	Clear	Clear
100%	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Over	Acceptable	Clear	Clear

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

At CD-test Pattern(before etch)					In Pattern	CD-Pic	Pattern-Pic
Nselect	10 micron	7.5 micron	4 micron	2.5 micron	18 micron	Condition	Condition
50%	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Over	Acceptable	Under not clear	Under not clear
60%	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Under not clear	Under not clear
70%	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Over	Acceptable	Under not clear	Under not clear
80%	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Acceptable	Under not clear	Under not clear
90%	Acceptable	Over	Over	Over	Acceptable	Under not clear	Under not clear
100%	Acceptable	Over	Over	Over	Acceptable	Clear	Clear

At CD-test Pattern(before etch)					In Pattern	CD-Pic	Pattern-Pic
Pselect	10 micron	7.5 micron	4 micron	2.5 micron	18 micron	Condition	Condition
50%	Acceptable	Over	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Under not clear	Under not clear
60%	Acceptable	Over	Over	Over	Acceptable	Under not clear	Under not clear
70%	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Acceptable	Under not clear	Under not clear
80%	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Acceptable	Under not clear	Under not clear
90%	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Acceptable	Under not clear	Under not clear
100%	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Acceptable	Clear	Clear

At CD-test Pattern(before etch)					In Pattern	CD-Pic	Pattern-Pic
Contact	10 micron	7.5 micron	4 micron	2.5 micron	4 micron	Condition	Condition
50%	Over	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Under	Under not clear	Under not clear
60%	Over	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Under	Under not clear	Under not clear
70%	Over	Over	Acceptable	Acceptable	Under	Under not clear	Under not clear
80%	Over	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Under	Under not clear	Under not clear
90%	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Over	Acceptable	Under not clear	Under not clear
100%	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Acceptable	Clear	Clear

At CD-test Pattern(before etch)					In Pattern	CD-Pic	Pattern-Pic
Metal-1	10 micron	7.5 micron	4 micron	2.5 micron	5 micron	Condition	Condition
50%	Over	Over	Over	Over	Over	Under not clear	Under not clear
60%	Over	Over	Over	Over	Over	Under not clear	Clear
70%	Over	Over	Over	Over	Over	Under not clear	Clear
80%	Over	Over	Over	Over	Over	Under not clear	Clear
90%	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Acceptable	Clear	Clear
100%	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Acceptable	Clear	Clear

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

At CD-test Pattern(before etch)					In Pattern	CD-Pic	Pattern-Pic
Via	10 micron	7.5 micron	4 micron	2.5 micron	4 micron	Condition	Condition
50%	Acceptable	Over	Over	Over	Acceptable	Under not clear	Under not clear
60%	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Acceptable	Under not clear	Under not clear
70%	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Acceptable	Under not clear	Under not clear
80%	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Acceptable	Under not clear	Under not clear
90%	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Acceptable	Clear	Under not clear
100%	Acceptable	Over	Over	Over	Over	Clear	Clear

At CD-test Pattern(before etch)					In Pattern	CD-Pic	Pattern-Pic
Metal-2	10 micron	7.5 micron	4 micron	2.5 micron	5 micron	Condition	Condition
50%	Over	Over	Over	Under	Over	Under not clear	Under not clear
60%	Over	Acceptable	Over	Over	Over	Under not clear	Under not clear
70%	Over	Acceptable	Over	Over	Over	Under not clear	Under not clear
80%	Over	Acceptable	Over	Over	Over	Under not clear	Under not clear
90%	Acceptable	Under	Over	Over	Acceptable	Clear	Under not clear
100%	Acceptable	Under	Over	Over	Acceptable	Clear	Clear

At CD-test Pattern(before etch)					In Pattern	CD-Pic	Pattern-Pic
Pad	10 micron	7.5 micron	4 micron	2.5 micron	100 micron	Condition	Condition
50%	Over	Acceptable	Over	Over	Acceptable	Under not clear	Under not clear
60%	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Acceptable	Under not clear	Under not clear
70%	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Acceptable	Under not clear	Under not clear
80%	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Acceptable	Under not clear	Under not clear
90%	Acceptable	Over	Over	Over	Acceptable	Under not clear	Clear
100%	Acceptable	Over	Over	Over	Acceptable	Clear	Clear

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง4 ขนาดของลาย CD-Test หลังกัดลาย

N-well CD after etch

CD	10	7.5	5	4	3	2.5
1	10.60	8.11	5.70	4.71	3.70	3.08
2	10.65	8.25	5.78	4.74	3.66	3.07
3	10.67	8.28	5.66	4.74	3.73	3.19
4	10.68	8.26	5.85	4.73	3.58	3.22
5	10.65	8.15	5.68	4.73	3.71	3.07
6	10.41	8.03	5.60	4.54	3.57	3.00
7	10.60	8.11	5.70	4.73	3.70	3.08
8	10.66	8.24	5.78	4.73	3.70	3.09
9	10.68	8.27	5.64	4.71	3.73	3.20
10	10.69	8.27	5.83	4.74	3.60	3.21
11	10.66	8.13	5.69	4.71	3.73	3.06
12	10.41	8.03	5.60	4.52	3.59	3.01
ave	10.61	8.18	5.71	4.69	3.67	3.11
std/n	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01

Active CD after etch

CD	10	7.5	5	4	3	2.5
1	10.27	7.36	5.13	4.41	3.37	2.87
2	10.23	7.54	5.13	4.45	3.47	2.88
3	10.29	7.48	5.12	4.51	3.44	2.90
4	10.26	7.52	5.09	4.50	3.52	2.87
5	10.38	7.53	4.95	4.45	3.52	2.95
6	10.02	7.79	5.25	4.38	3.18	3.02
7	10.27	7.35	5.13	4.44	3.32	2.88
8	10.24	7.54	5.12	4.45	3.46	2.89
9	10.30	7.48	5.13	4.51	3.44	2.90
10	10.25	7.51	5.10	4.49	3.52	2.87
11	10.37	7.54	4.92	4.46	3.53	2.95
12	10.00	7.79	5.23	4.39	3.17	3.05
ave	10.24	7.54	5.11	4.45	3.41	2.92
std/n	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

N-field CD after etch

CD	10	7.5	5	4	3	2.5
1	10.99	8.64	6.28	5.23	4.30	3.45
2	10.89	8.58	6.26	5.09	4.08	3.40
3	10.98	8.64	6.09	5.07	4.39	3.55
4	10.99	8.59	6.35	5.03	4.22	3.52
5	11.01	8.46	6.14	5.01	4.16	3.41
6	11.16	8.86	6.75	5.75	4.40	3.79
7	10.88	8.64	6.28	5.23	3.90	3.43
8	10.90	8.57	6.26	5.10	4.07	3.39
9	10.67	8.64	6.09	5.07	4.39	3.39
10	11.00	8.60	6.33	5.03	4.20	3.17
11	11.01	8.46	6.15	5.01	4.18	3.39
12	11.14	8.86	6.73	5.75	4.46	3.69
ave	10.97	8.63	6.31	5.20	4.23	3.46
std/n	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02

Poly CD after etch

CD	10	7.5	5	4	3	2.5
1	9.32	7.02	4.37	3.29	2.21	1.65
2	9.36	7.07	4.46	3.33	2.32	1.71
3	9.43	7.10	4.55	3.33	2.28	1.73
4	9.40	7.02	4.51	3.37	2.39	1.70
5	9.25	6.88	4.55	3.04	2.24	1.78
6	9.34	6.84	4.18	3.40	2.34	1.69
7	9.31	7.01	4.37	3.30	2.21	1.64
8	9.38	7.07	4.46	3.33	2.33	1.72
9	9.43	7.10	4.56	3.33	2.27	1.73
10	9.39	7.01	4.51	3.37	2.39	1.70
11	9.25	6.87	4.55	3.04	2.25	1.78
12	9.33	6.83	4.17	3.38	2.34	1.68
ave	9.35	6.99	4.44	3.29	2.30	1.71
std/n	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02

N-select CD after etch

CD	10	7.5	5	4	3	2.5
1	11.94	N.A.	6.32	5.11	4.34	3.72
2	11.54	N.A.	6.41	5.09	4.32	3.75
3	11.59	N.A.	6.37	5.15	4.44	3.81
4	11.61	N.A.	6.45	5.20	4.36	3.85
5	11.47	N.A.	6.37	5.12	4.45	3.75
6	11.90	N.A.	6.56	5.45	4.46	3.75
7	11.95	N.A.	6.35	5.11	4.35	3.71
8	11.54	N.A.	6.42	5.09	4.30	3.75
9	11.59	N.A.	6.50	5.16	4.44	3.83
10	11.62	N.A.	6.44	5.21	4.37	3.85
11	11.46	N.A.	6.38	5.12	4.45	3.77
12	12.00	N.A.	6.51	5.45	4.50	3.90
ave	11.68	N.A.	6.42	5.19	4.40	3.79
std/n	0.04	N.A.	0.03	0.03	0.03	0.03

P-select CD after etch

CD	10	7.5	5	4	3	2.5
1	10.90	8.72	6.53	5.39	4.48	3.72
2	10.98	8.70	6.28	5.46	4.50	3.79
3	10.95	8.58	6.49	5.58	4.39	3.77
4	11.07	8.64	6.42	5.70	4.44	3.93
5	12.42	8.81	7.51	6.42	4.68	3.97
6	11.21	8.79	6.54	5.66	4.94	3.77
7	10.90	8.72	6.53	5.40	4.47	3.66
8	10.98	8.71	6.28	5.46	4.94	3.80
9	10.94	8.59	6.51	5.59	4.32	3.77
10	11.06	8.63	6.42	5.70	4.49	3.95
11	12.42	8.82	7.53	6.39	5.11	4.02
12	11.19	8.78	6.54	5.63	4.26	3.81
ave	11.25	8.71	6.63	5.70	4.58	3.83
std/n	0.05	0.01	0.04	0.03	0.02	0.01

Contact CD after etch

CD	10	7.5	5	4	3	2.5
1	10.58	8.00	5.53	4.71	3.78	3.15
2	10.62	8.20	5.72	4.70	3.74	3.17
3	10.62	8.19	5.59	4.78	3.81	3.28
4	10.61	8.19	5.74	4.76	3.70	3.24
5	10.67	8.08	5.53	4.78	3.67	3.14
6	10.43	8.18	5.60	4.51	3.68	3.09
7	10.58	7.99	5.54	4.68	3.80	3.15
8	10.62	8.21	5.71	4.75	3.73	3.16
9	10.61	8.17	5.59	4.82	3.84	3.25
10	10.61	8.18	5.74	4.81	3.72	3.24
11	10.68	8.08	5.54	4.79	3.68	3.14
12	10.45	8.17	5.61	4.54	3.66	3.09
ave	10.59	8.14	5.62	4.72	3.73	3.17
std/n	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02

Metal-1 CD after etch

CD	10	7.5	5	4	3	2.5
1	8.64	6.30	3.71	2.71	1.59	1.44
2	8.68	6.29	3.68	2.82	1.62	1.40
3	8.72	6.36	3.75	2.80	1.33	0.85
4	8.73	6.23	3.67	2.84	1.50	0.96
5	8.72	6.18	3.75	2.84	1.48	0.78
6	8.35	6.12	3.70	2.65	1.31	0.52
7	8.67	6.29	3.70	2.73	1.60	1.37
8	8.73	6.26	3.69	2.80	1.73	1.21
9	8.73	6.36	3.76	2.83	1.46	0.83
10	8.75	6.24	3.66	2.84	1.46	1.08
11	8.74	6.19	3.77	2.85	1.61	0.72
12	8.35	6.10	3.70	2.65	1.31	0.68
ave	8.65	6.24	3.71	2.78	1.50	0.98
std/n	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04

Via CD after etch

CD	10	7.5	5	4	3	2.5
1	10.21	7.78	5.34	4.31	3.38	2.82
2	10.28	7.97	5.51	4.32	3.37	2.67
3	10.28	7.99	5.26	4.32	3.42	2.81
4	10.30	7.89	5.46	4.35	3.38	2.79
5	10.29	7.75	5.34	4.33	3.44	2.68
6	10.15	7.82	5.18	4.33	3.42	2.76
7	10.22	7.80	5.35	4.31	3.38	2.82
8	10.30	7.94	5.51	4.33	3.38	2.67
9	10.29	7.99	5.29	4.33	3.40	2.83
10	10.30	7.91	5.46	4.35	3.36	2.79
11	10.32	7.74	5.33	4.33	3.42	2.67
12	10.14	7.84	5.18	4.33	3.40	2.78
ave	10.26	7.87	5.35	4.33	3.40	2.76
std/n	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Metal-2 CD after etch

CD	10	7.5	5	4	3	2.5
1	8.58	6.20	3.73	2.72	N.A.	N.A.
2	8.61	6.19	3.74	2.78	N.A.	N.A.
3	8.67	6.28	3.78	2.77	N.A.	N.A.
4	8.65	6.26	3.65	2.72	N.A.	N.A.
5	8.57	6.16	3.81	2.40	N.A.	N.A.
6	8.46	5.82	3.58	2.58	N.A.	N.A.
7	8.59	6.18	3.74	2.74	N.A.	N.A.
8	8.64	6.18	3.73	2.78	N.A.	N.A.
9	8.69	6.30	3.77	2.75	N.A.	N.A.
10	8.68	6.29	3.66	2.71	N.A.	N.A.
11	8.60	6.18	3.81	2.21	N.A.	N.A.
12	8.49	5.83	3.58	2.58	N.A.	N.A.
ave	8.60	6.16	3.71	2.64	N.A.	N.A.
std/n	0.03	0.03	0.03	0.03	N.A.	N.A.

Pad CD after etch

CD	10	7.5	5	4	3	2.5
1	10.56	8.01	5.49	4.59	3.53	2.97
2	10.54	8.15	5.69	4.59	3.51	2.95
3	10.59	8.12	5.55	4.63	3.61	3.09
4	10.56	8.22	5.76	4.58	3.55	3.09
5	10.51	8.07	5.56	4.56	3.58	2.96
6	10.38	7.97	5.39	4.46	3.43	2.98
7	10.54	8.01	5.46	4.59	3.55	2.95
8	10.54	8.17	5.69	4.59	3.53	2.96
9	10.59	8.16	5.55	4.61	3.61	3.10
10	10.59	8.22	5.73	4.58	3.55	3.12
11	10.52	8.05	5.56	4.54	3.61	2.97
12	10.39	7.98	5.40	4.46	3.43	2.99
ave	10.53	8.09	5.57	4.56	3.54	3.01
std/n	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01

ภาคผนวก ง5 ขนาดของลาย Pattern หลังกัดลาย

CD after etch

Layer	N-well	Active	N-field	Poly	N-select	P-select	Contact	Metal-1	Via	Metal-2	Pad
Design	50	4	50	4	18	5	4	5	4	5	100
1	59.64	3.58	48.66	3.44	18.32	5.74	4.33	3.34	3.77	3.38	100.25
2	60.15	3.89	48.67	3.28	17.71	5.78	4.07	3.45	3.71	3.46	105.00
3	60.65	3.86	48.95	3.56	17.79	5.84	4.19	3.46	3.70	3.52	102.00
4	60.10	3.62	48.80	3.25	18.03	5.80	3.94	3.44	3.79	3.46	101.00
5	59.63	3.60	48.83	3.25	17.91	5.84	4.13	3.39	3.77	3.41	105.00
6	60.13	3.89	48.81	3.10	18.05	5.56	4.03	3.35	3.77	3.49	106.00
7	60.08	3.88	48.90	3.10	18.20	5.60	4.06	3.47	3.75	3.38	102.00
8	60.07	3.61	48.81	3.08	18.15	5.67	4.01	3.48	3.60	3.47	104.00
9	60.27	3.62	48.73	3.43	18.26	5.66	4.02	3.45	3.65	3.52	105.00
10	60.20	3.60	48.85	3.31	18.13	5.69	4.03	3.40	3.75	3.46	107.00
ave	60.09	3.72	48.80	3.28	18.05	5.72	4.08	3.42	3.72	3.45	103.73
std/n	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.23



ภาคผนวก ง6 การวิเคราะห์หลาย TEG หลังกัดลาย

Layer	10 micron	7.5 micron	4 micron	2.5 micron	CD Conclusion	CD on mask			
						10	7.5	4	2.5
N-well	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Acceptable	10.6	8.2	4.7	3.1
Active	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Over	10.2	7.5	4.5	2.9
N-field	Acceptable	Over	Acceptable	Over	Over	11.0	8.6	5.2	3.5
Poly	Acceptable	Acceptable	Under	Under	Under	9.3	7.0	3.3	1.7
N-select	Over	Over	Over	Over	Acceptable	11.7	0.0	5.2	3.8
P-select	Acceptable	Over	Over	Over	Acceptable	11.3	8.7	5.7	3.8
Contact	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Acceptable	10.6	8.1	4.7	3.2
Metal-1	Under	Under	Under	Under	Under	8.7	6.2	2.8	1.0
Via	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Over	Acceptable	10.3	7.9	4.3	2.8
Metal-2	Under	Under	Under	Under	Under	8.6	6.2	2.6	0.0
Pad	Acceptable	Acceptable	Over	Over	Acceptable	10.5	8.1	4.6	3.0

ภาคผนวก ง7 ขนาดของลาย Fidutial Mark

x-axis linewidth						y-axis linewidth					
Ali1		Ali2		Ali3		Ali1		Ali2		Ali3	
CD	Design	CD	Design	CD	Design	CD	Design	CD	Design	CD	Design
19.83	20	19.51	20	20.00	20	19.56	20	19.48	20	20.14	20
20.12	20	19.56	20	20.12	20	19.77	20	19.67	20	20.12	20
19.80	20	19.36	20	20.05	20	19.84	20	14.73	20	20.01	20
19.93	20	19.52	20	20.06	20	19.58	20	19.59	20	20.07	20
19.76	20	19.26	20			19.86	20	19.48	20		
19.84	20	19.45	20			19.78	20	19.70	20		
19.75	20	19.47	20			19.86	20	19.40	20		
15.52	15	14.97	15			19.81	20	19.55	20		
15.00	15	14.60	15			19.86	20	19.52	20		
15.43	15	14.75	15			19.90	20	19.75	20		
14.94	15	14.39	15			19.86	20	19.79	20		
15.35	15	14.85	15			19.70	20	19.71	20		
14.82	15	14.39	15			14.95	15	14.62	15		
15.73	15	14.83	15			15.13	15	14.73	15		
14.79	15	14.66	15			14.85	15	14.49	15		
14.97	15	14.49	15			14.68	15	14.77	15		
14.90	15	14.77	15			15.15	15	14.73	15		
14.69	15	14.44	15			15.19	15	14.96	15		
14.79	15	14.65	15			14.97	15	14.66	15		
14.67	15	14.34	15			14.74	15	14.66	15		
14.89	15	14.46	15			15.02	15	14.71	15		
14.75	15	14.58	15			15.01	15	15.08	15		
14.75	15	14.78	15			14.91	15	14.83	15		
						15.13	15	14.71	15		
						14.92	15	14.56	15		
						14.81	15	14.53	15		
						14.82	15	14.64	15		
						14.90	15	14.80	15		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง8 ตำแหน่งของลาย Fidutial Mark

error	pos1		pos2		pos3		pos4	
	x	y	x	y	x	y	x	y
mask1	9.77	16.30	21.91	6.06	21.75	6.72	19.48	7.29
	10.89	16.46	22.47	5.90	21.89	6.56	19.94	6.60
	10.67	16.08	22.28	5.20	22.15	6.23	20.48	6.84
	11.27	16.20	22.40	5.68	22.44	6.31	20.43	6.38
	10.86	16.07	22.84	5.21	22.37	6.20	20.64	6.44
mask2	10.28	17.85	21.86	5.65	23.97	5.67	19.93	7.81
	10.56	17.30	21.77	5.36	24.51	5.66	19.52	7.81
	10.68	17.58	21.88	4.89	24.54	5.23	19.99	8.01
	10.48	17.22	22.44	5.16	24.75	5.32	20.25	7.67
	11.00	16.43	22.37	5.14	24.61	5.57	20.61	7.72

error	pos5		pos6		pos7		pos8	
	x	y	x	y	x	y	x	y
mask1	8.76	19.09	19.12	8.01	12.17	19.54	0.77	0.45
	9.11	18.53	19.52	7.79	12.40	19.07	0.46	0.31
	9.10	18.47	19.49	8.13	12.38	19.10	1.18	0.03
	9.07	18.27	19.86	7.78	12.89	19.24	1.03	0.02
	9.33	18.44	19.68	7.84	12.76	19.12	1.21	-0.08
mask2	10.85	-982.58	20.42	9.02	21.70	6.87	0.13	-1.16
	11.36	-983.04	20.73	8.70	21.72	6.93	0.19	-1.68
	10.99	-982.94	21.14	8.56	22.17	7.07	0.07	-1.62
	11.40	-983.19	20.75	8.66	21.93	6.72	0.29	-1.47
	11.30	-983.17	21.24	8.10	22.41	6.72	0.72	-1.44

Compensate error	pos1		pos2		pos3		pos4	
	x	y	x	y	x	y	x	y
mask1	19.77	6.30	21.91	6.06	21.75	6.72	19.48	7.29
	20.89	6.46	22.47	5.90	21.89	6.56	19.94	6.60
	20.67	6.08	22.28	5.20	22.15	6.23	20.48	6.84
	21.27	6.20	22.40	5.68	22.44	6.31	20.43	6.38
	20.86	6.07	22.84	5.21	22.37	6.20	20.64	6.44
mask2	20.28	7.85	21.86	5.65	23.97	5.67	19.93	7.81
	20.56	7.30	21.77	5.36	24.51	5.66	19.52	7.81
	20.68	7.58	21.88	4.89	24.54	5.23	19.99	8.01
	20.48	7.22	22.44	5.16	24.75	5.32	20.25	7.67
	21.00	6.43	22.37	5.14	24.61	5.57	20.61	7.72

Compensate error	pos5		pos6		pos7		pos8	
	x	y	x	y	x	y	x	y
mask1	18.76	9.09	19.12	8.01	22.17	9.54	0.77	0.45
	19.11	8.53	19.52	7.79	22.40	9.07	0.46	0.31
	19.10	8.47	19.49	8.13	22.38	9.10	1.18	0.03
	19.07	8.27	19.86	7.78	22.89	9.24	1.03	0.02
	19.33	8.44	19.68	7.84	22.76	9.12	1.21	-0.08
mask2	20.85	7.42	20.42	9.02	21.70	6.87	0.13	-1.16
	21.36	6.97	20.73	8.70	21.72	6.93	0.19	-1.68
	20.99	7.06	21.14	8.56	22.17	7.07	0.07	-1.62
	21.40	6.81	20.75	8.66	21.93	6.72	0.29	-1.47
	21.30	6.83	21.24	8.10	22.41	6.72	0.72	-1.44

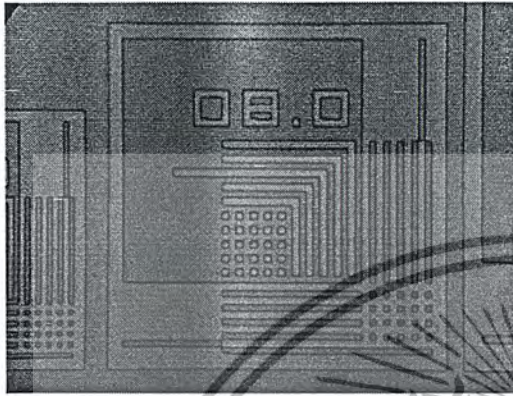
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ1

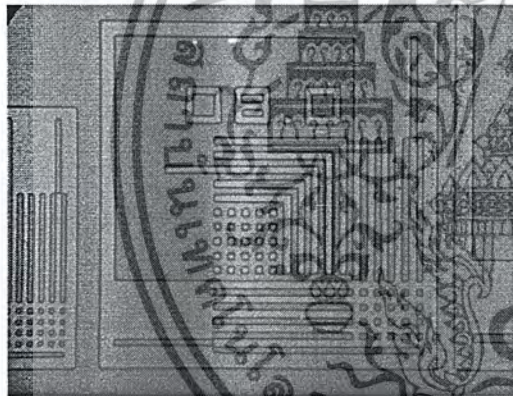
N-well



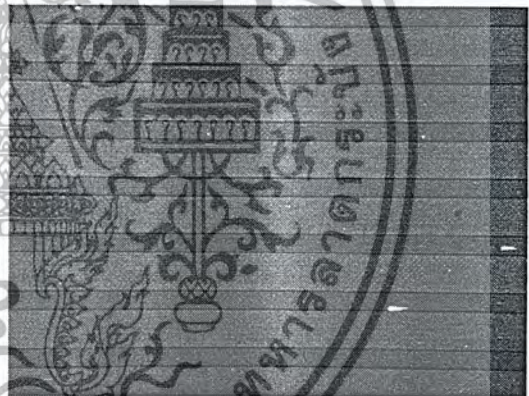
N-well 100%(CD test) 50x



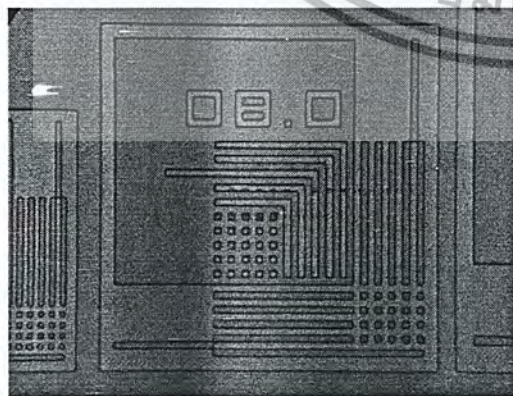
N-well 100%(Pattern) 100x



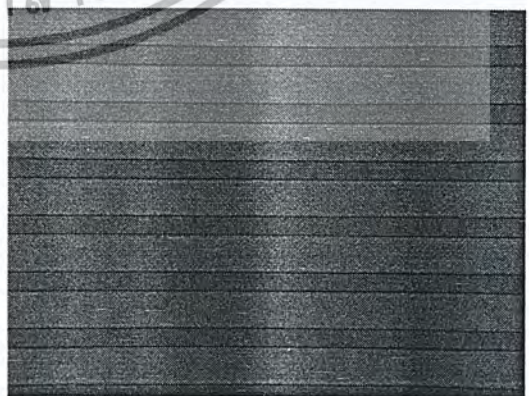
N-well 90%(CD test) 50x



N-well 90%(Pattern) 100x

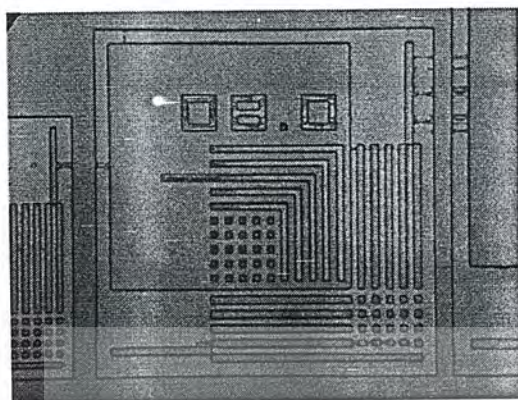


N-well 80%(CD test) 50x

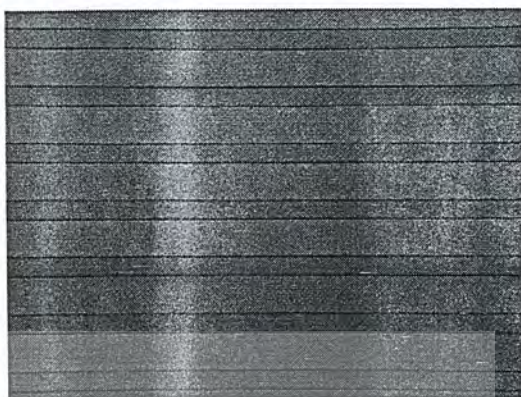


N-well 80%(Pattern)100x

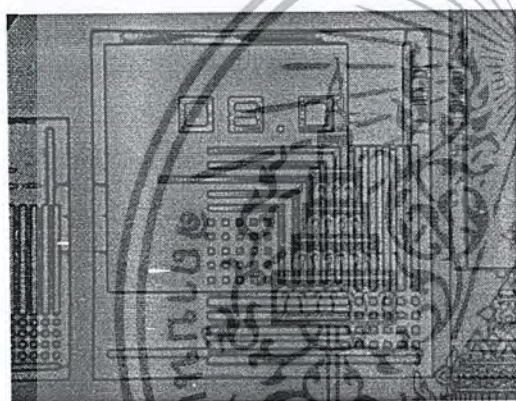
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



N-well 70%(CD test) 50x



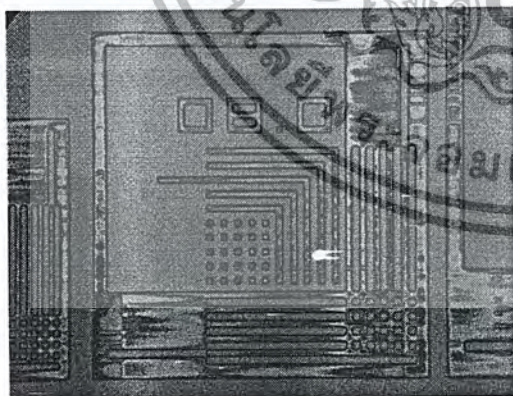
N-well 70%(Pattern)100x



N-well 60%(CD test) 50x



N-well 60%(Pattern)100x



N-well 50%(CD test) 50x

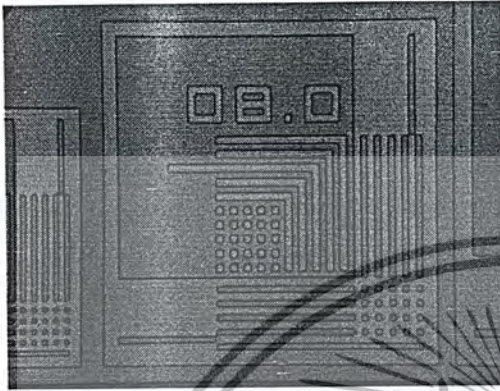


N-well 50%(Pattern) 100x

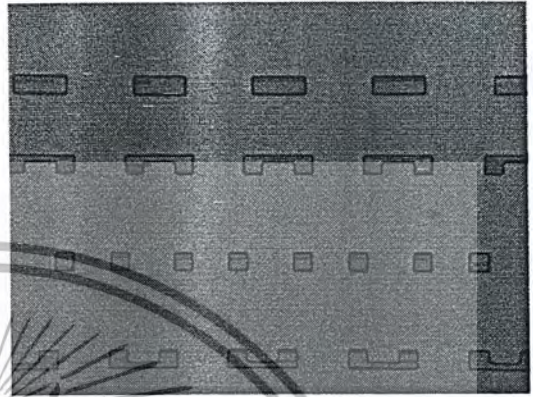
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ2

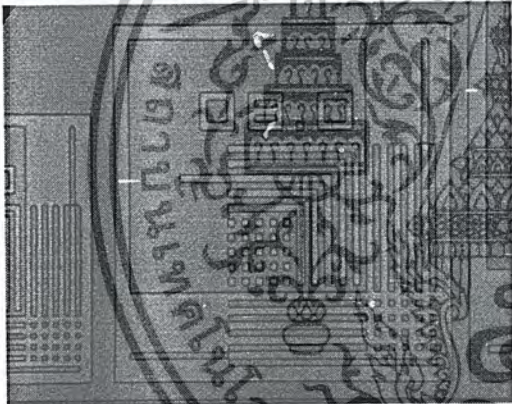
Active



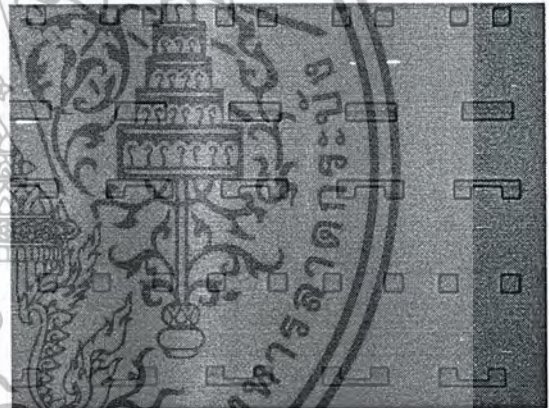
Active 100%(CD test) 50x



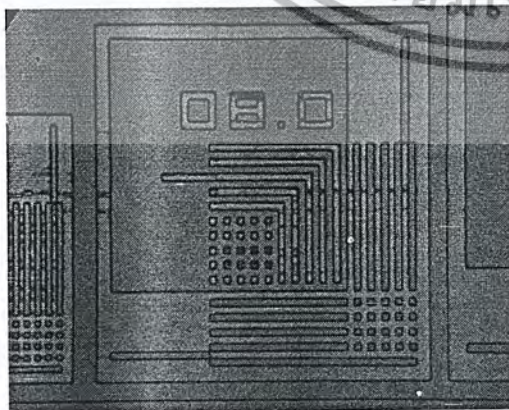
Active 100%(Pattern) 100x



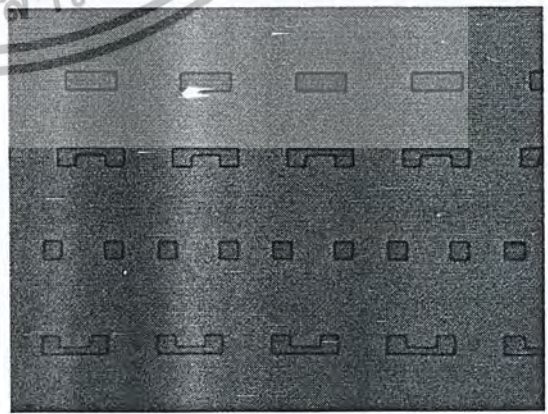
Active 90%(CD test) 50x



Active 90%(Pattern) 100x

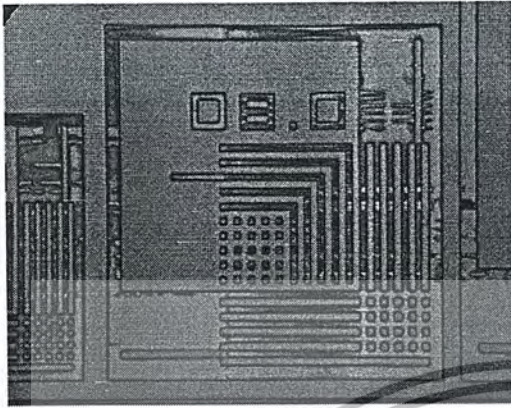


Active 80%(CD test) 50x

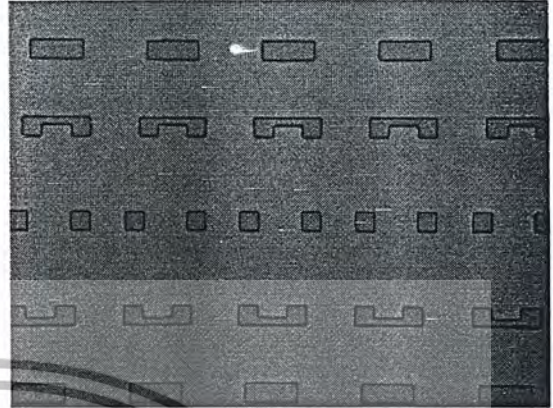


Active 80%(Pattern) 100x

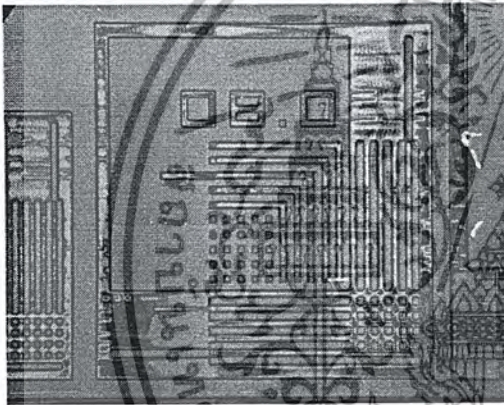
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปแจ้งประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



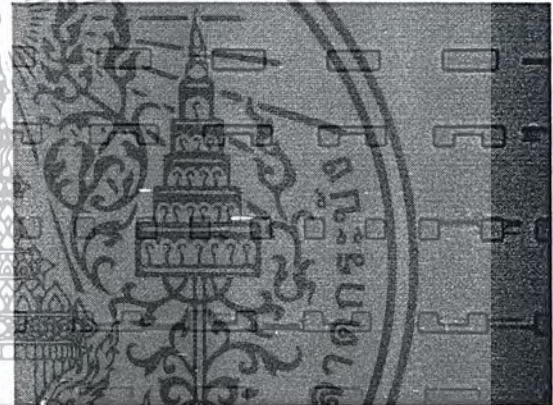
Active 70%(CD test) 50x



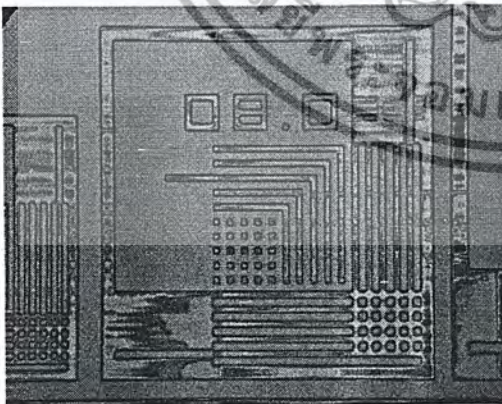
Active 70%(Pattern) 100x



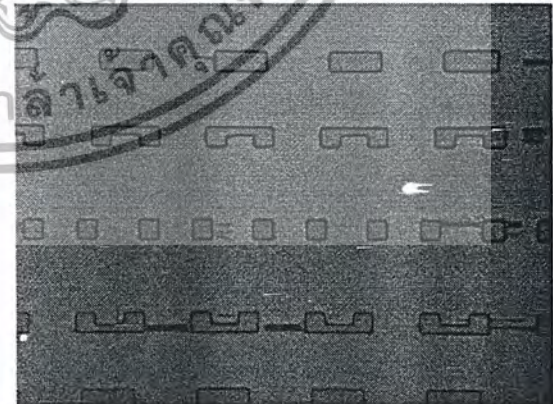
Active 60%(CD test) 50x



Active 60%(Pattern) 100x



Active 50%(CD test) 50x

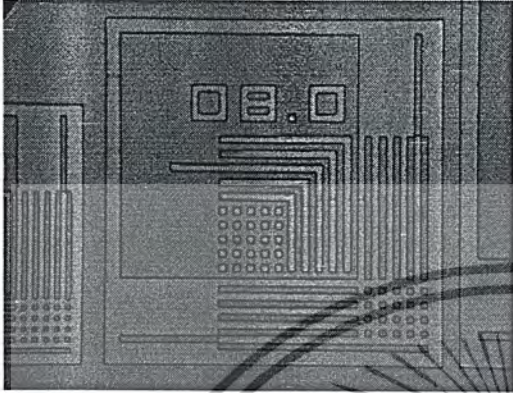


Active 50%(Pattern) 100x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ3

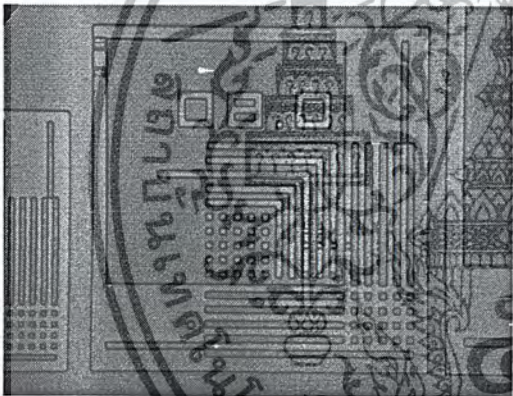
N-field



N-field 100%(CD test) 50x



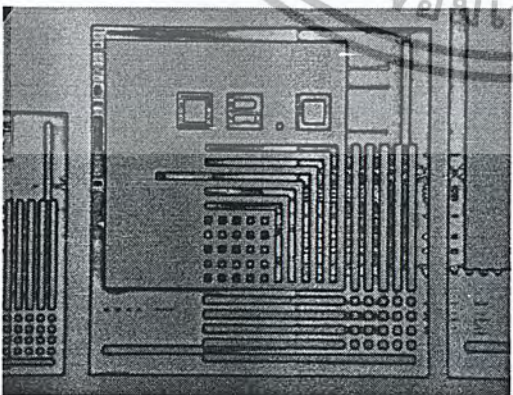
N-field 100%(Pattern) 100x



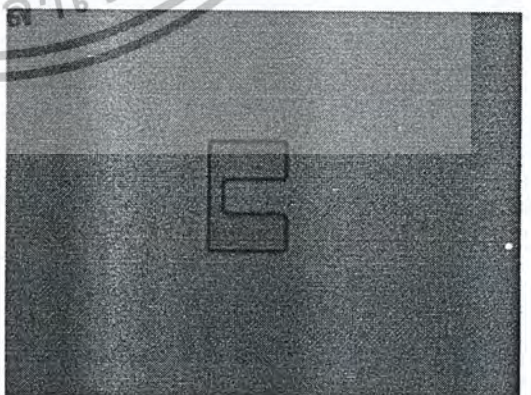
N-field 90%(CD test) 50x



N-field 90%(Pattern) 100x

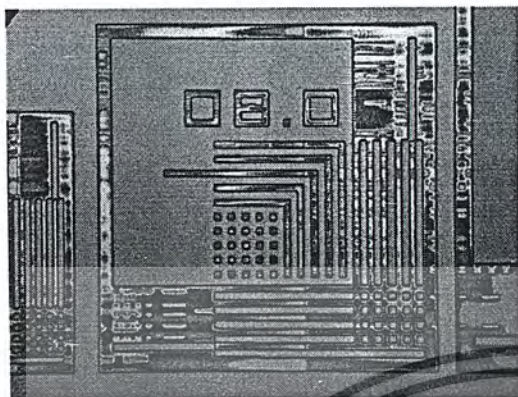


N-field 80%(CD test) 50x

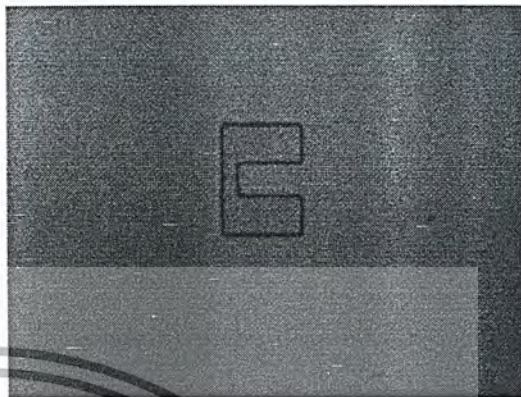


N-field 80%(Pattern) 100x

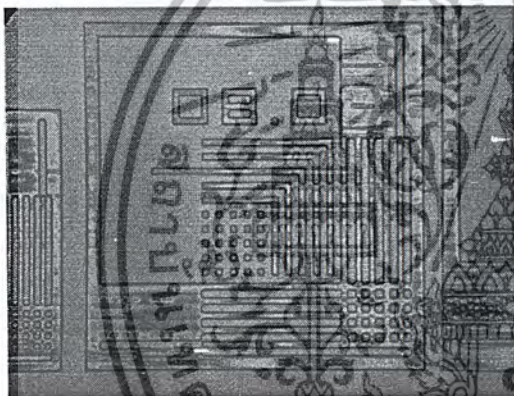
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



N-field 70%(CD test) 50x



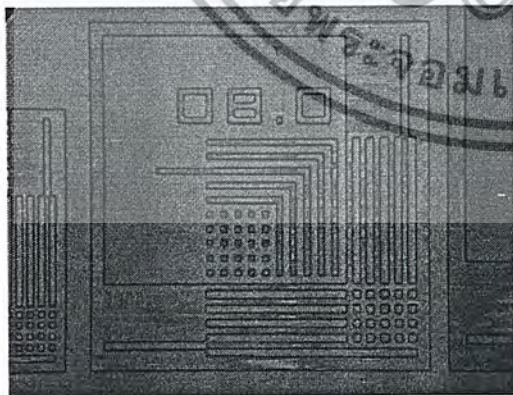
N-filed 70%(Pattern) 100x



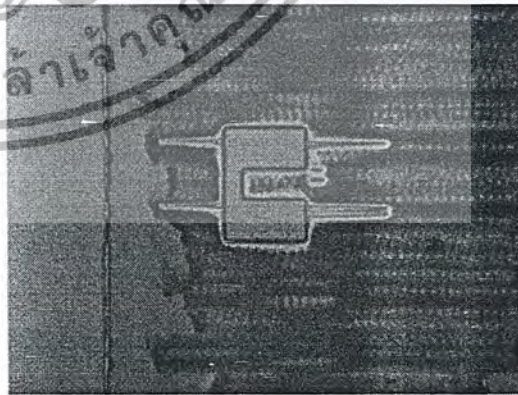
N-field 60%(CD test) 50x



N-filed 60%(Pattern) 100x



N-field 50%(CD test) 50x

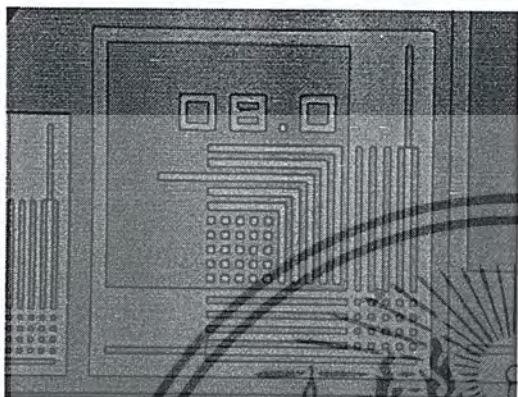


N-filed 50%(Pattern) 100x

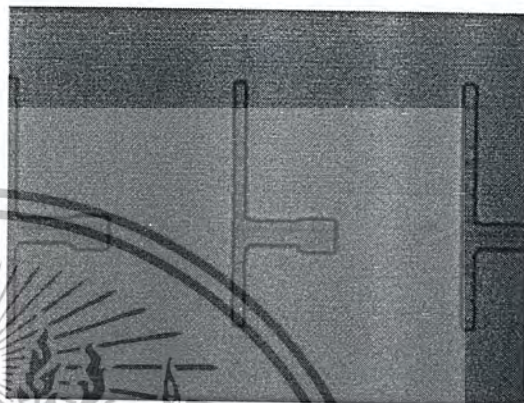
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ4

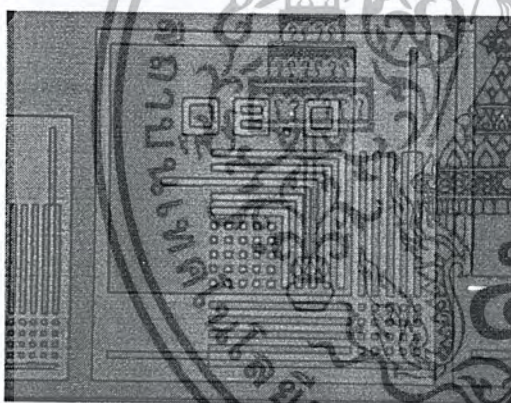
Poly



Poly 100%(CD test) 50x



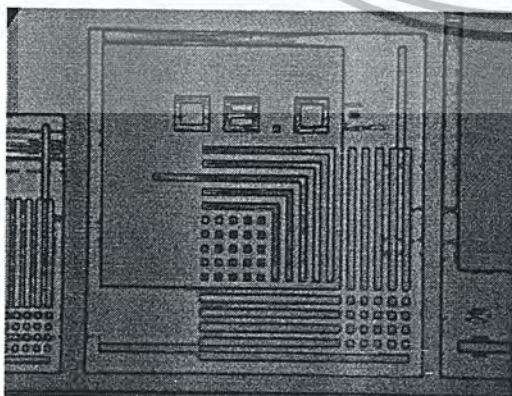
Poly 100%(Pattern) 100x



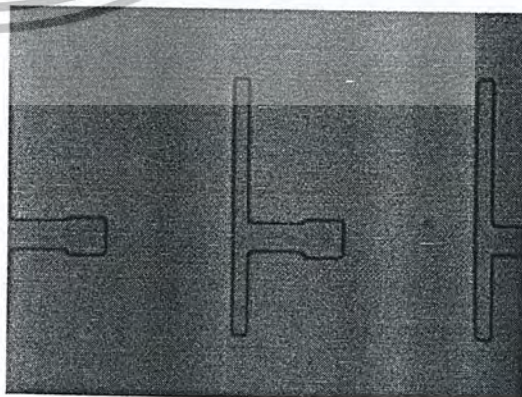
Poly 90%(CD test) 50x



Poly 90%(Pattern) 100x

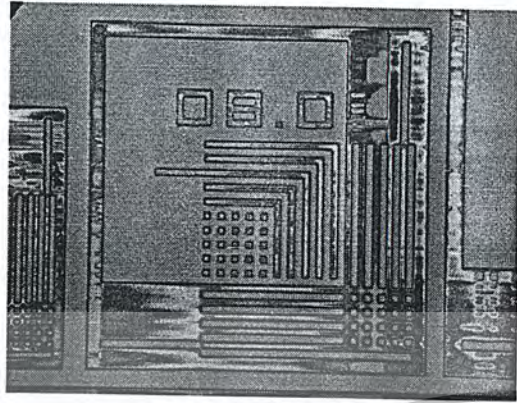


Poly 80%(CD test) 50x

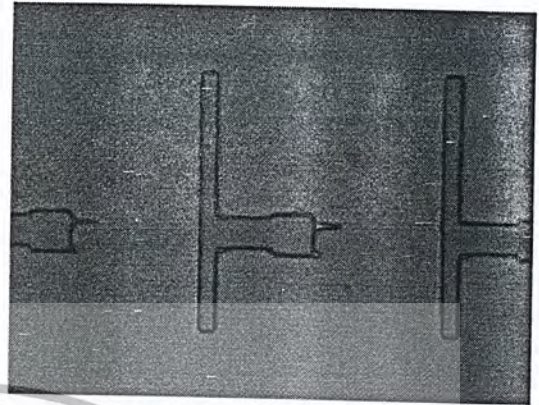


Poly 80%(Pattern) 100x

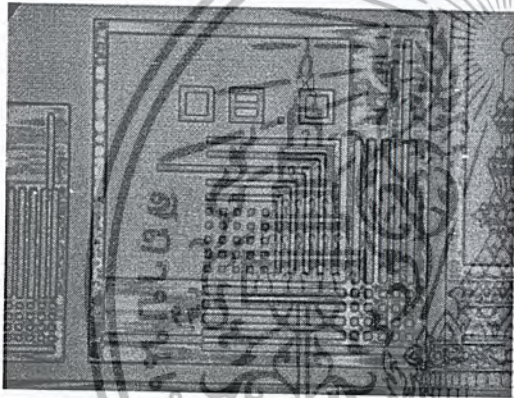
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



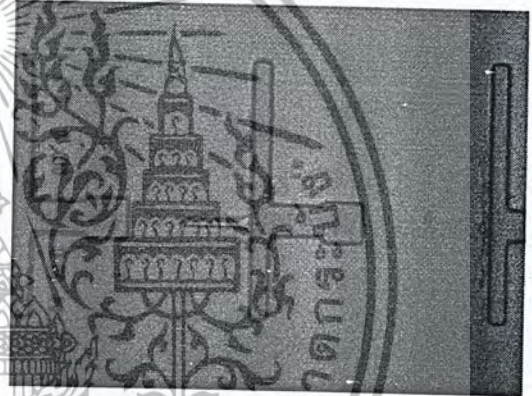
Poly 70%(CD test) 50x



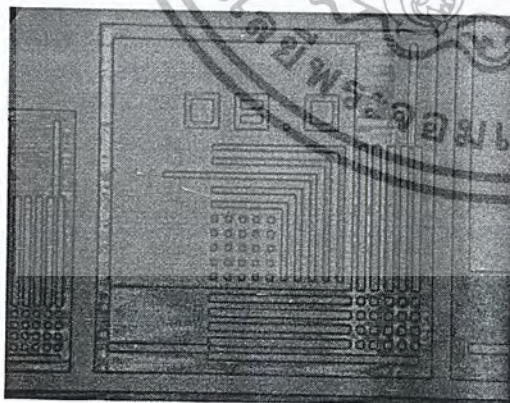
Poly 70%(Pattern)



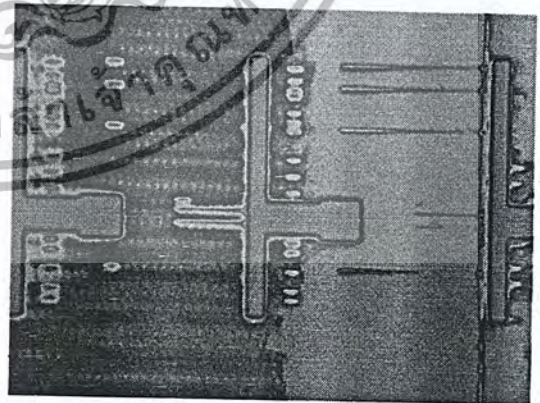
Poly 60%(CD test) 50x



Poly 60%(Pattern) 100x



Poly 50%(CD test) 50x

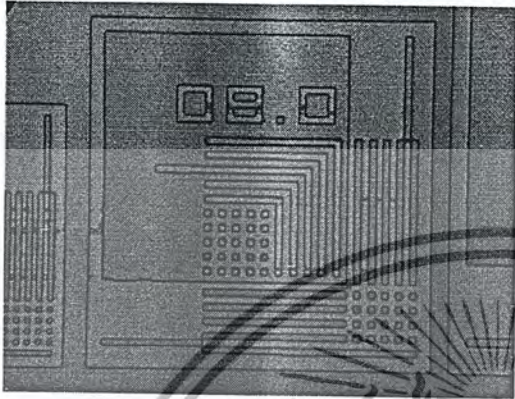


Poly 50%(Pattern) 100x

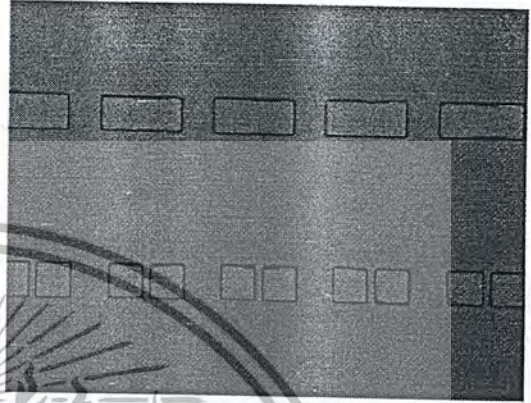
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ5

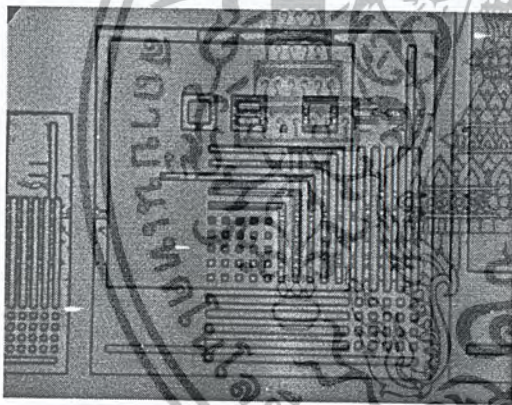
N-select



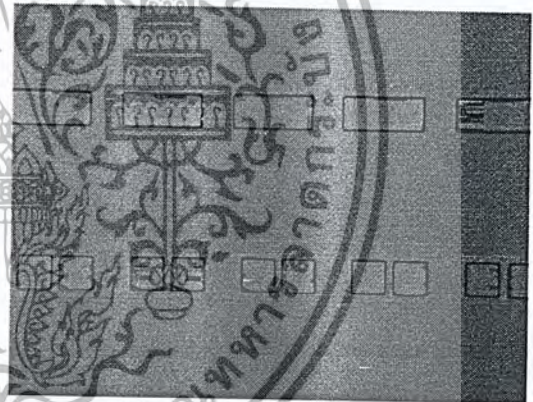
N-select 100%(CD test) 50x



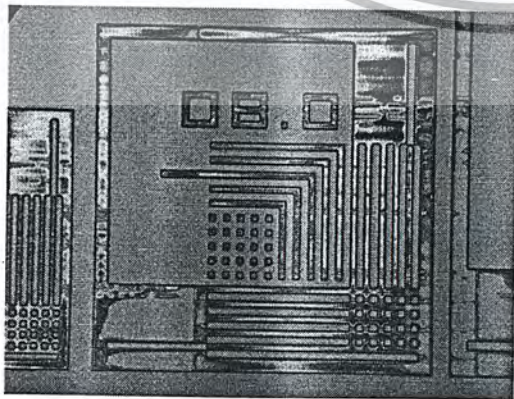
N-select 100%(Pattern) 100x



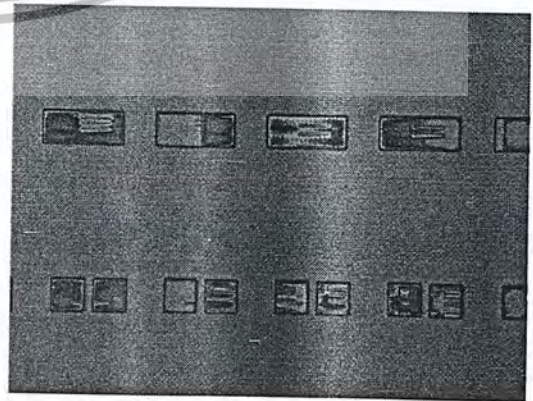
N-select 90%(CD test) 50x



N-select 90%(Pattern) 100x

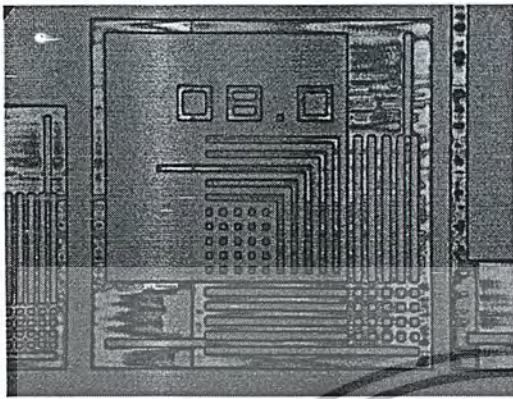


N-select 80%(CD test) 50x

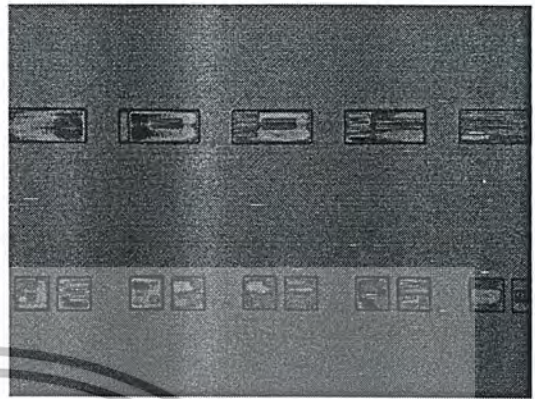


N-select 80%(Pattern) 100x

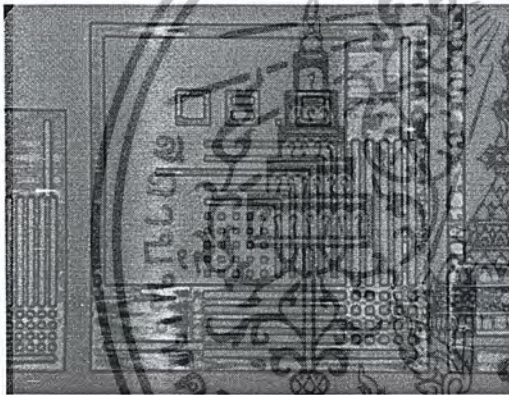
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



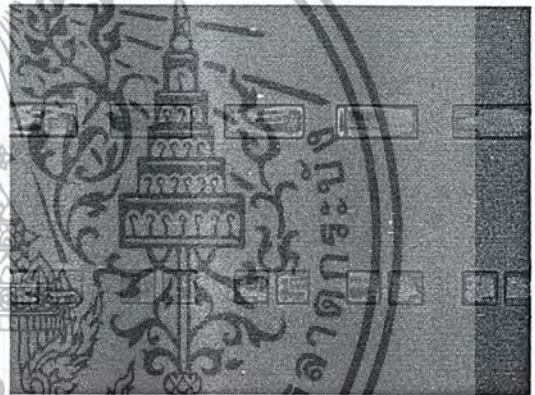
N-select 70%(CD test) 50x



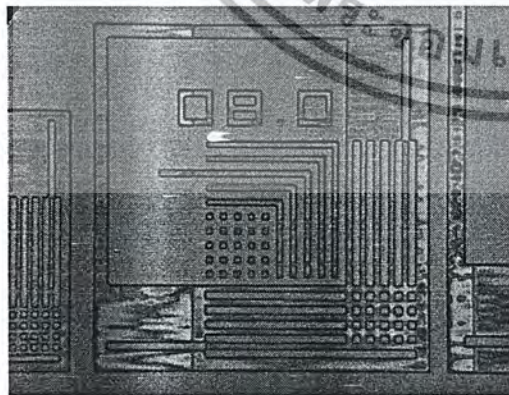
N-select 70%(Pattern) 100x



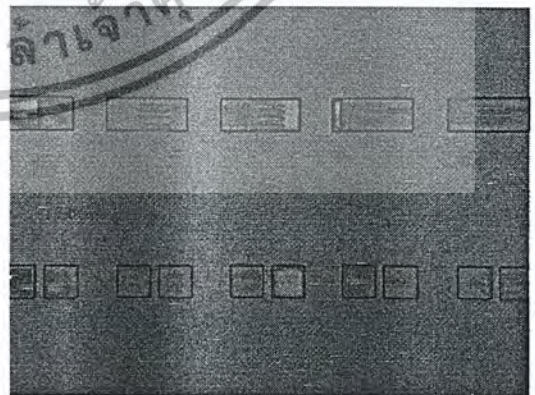
N-select 60%(CD test) 50x



N-select 60%(Pattern) 100x



N-select 50%(CD test) 50x

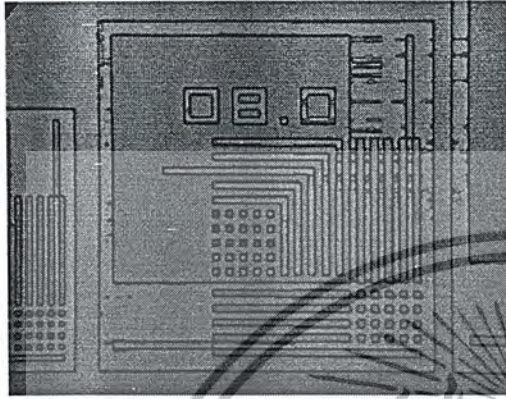


N-select 50%(Pattern) 100x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ6

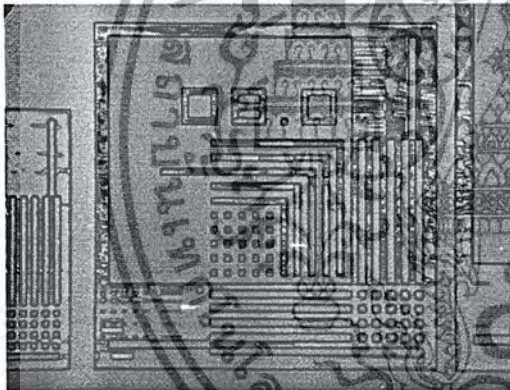
P-select



P-select 100%(CD test) 50x



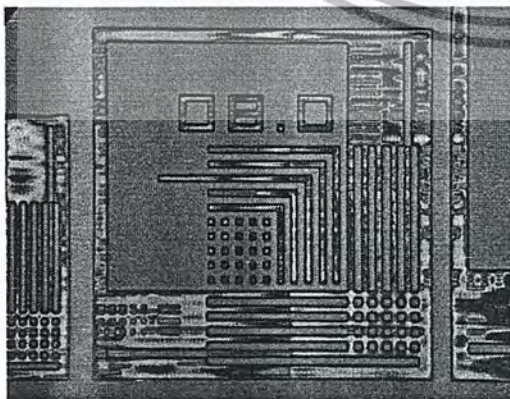
P-select 100%(Pattern) 100x



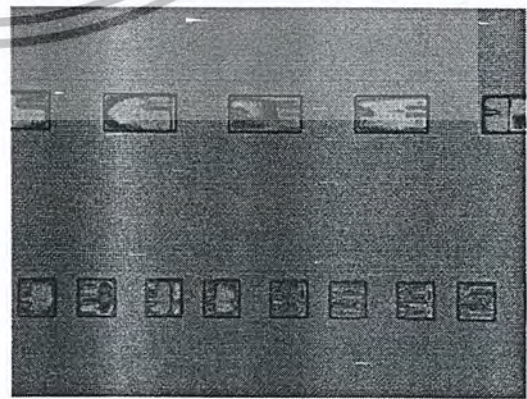
P-select 90%(CD test) 50x



P-select 90%(Pattern) 100x

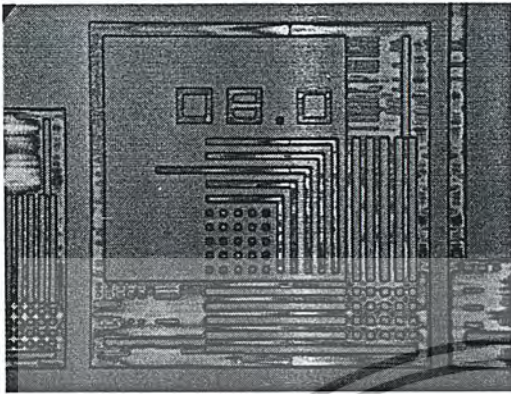


P-select 80%(CD test) 50x



P-select 80%(Pattern) 100x

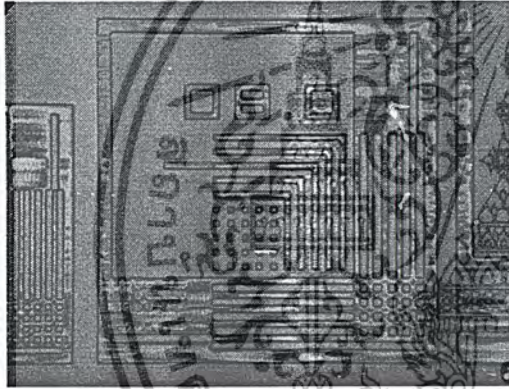
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



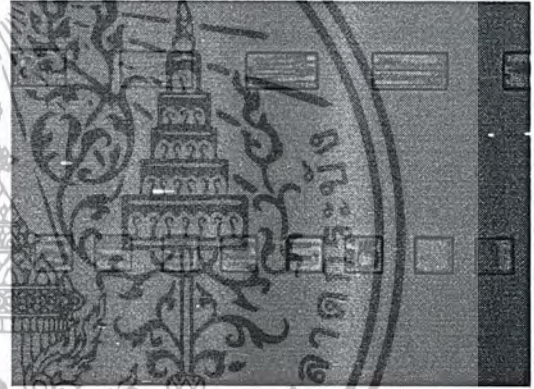
P-select 70%(CD test) 50x



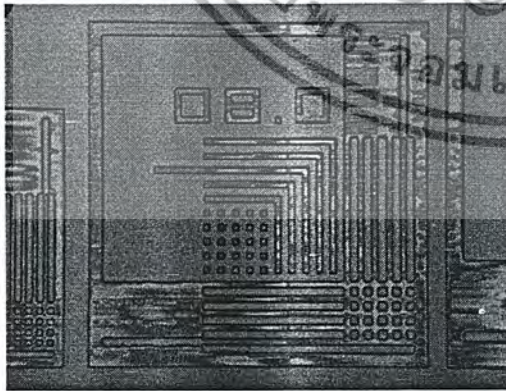
P-select 70%(Pattern) 100x



P-select 60%(CD test) 50x



P-select 60%(Pattern) 100x



P-select 50%(CD test) 50x

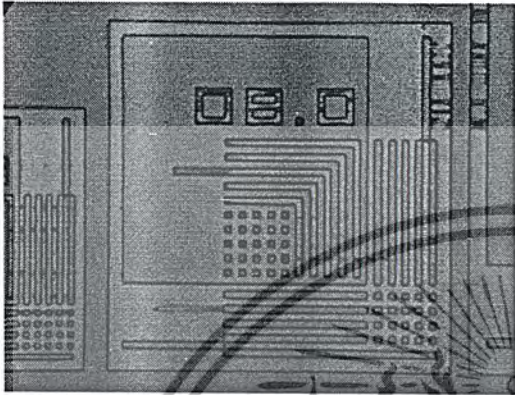


P-select 50%(Pattern) 100x

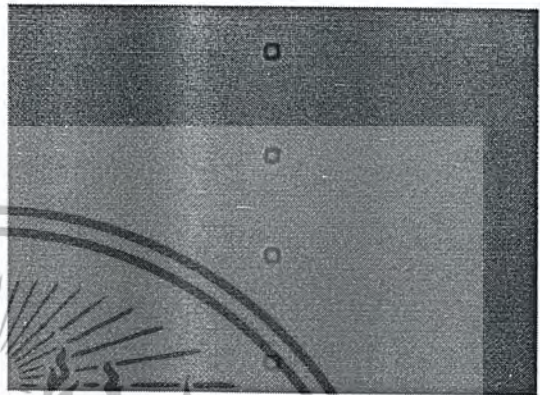
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ7

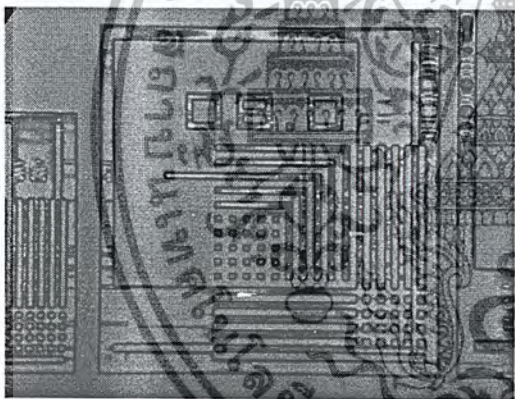
Contact



Contact 100%(CD test) 50x



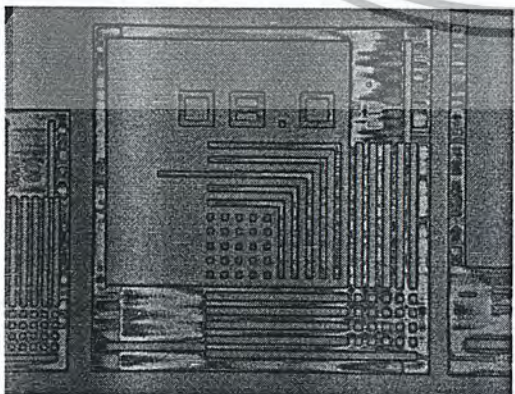
Contact 100%(Pattern) 100x



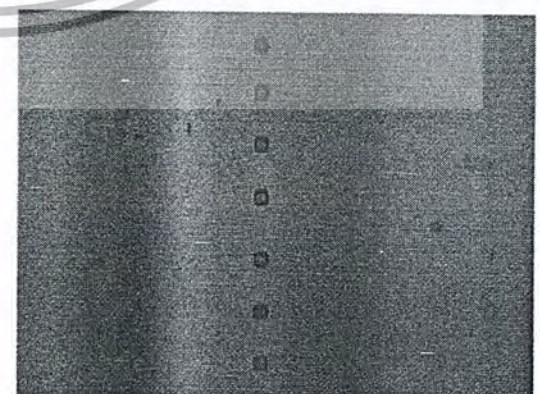
Contact 90%(CD test) 50x



Contact 90%(Pattern) 100x

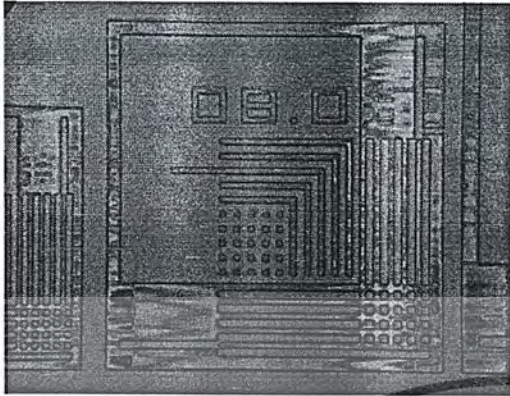


Contact 80%(CD test) 50x

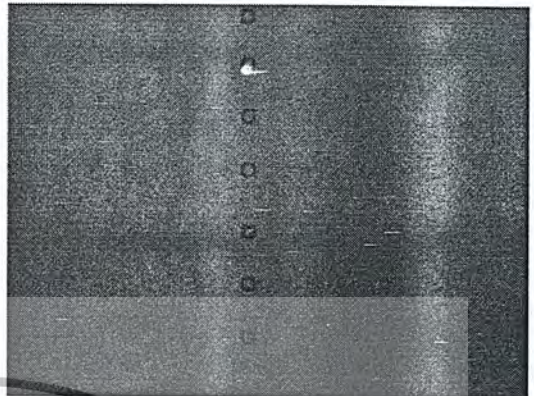


Contact 80%(Pattern) 100x

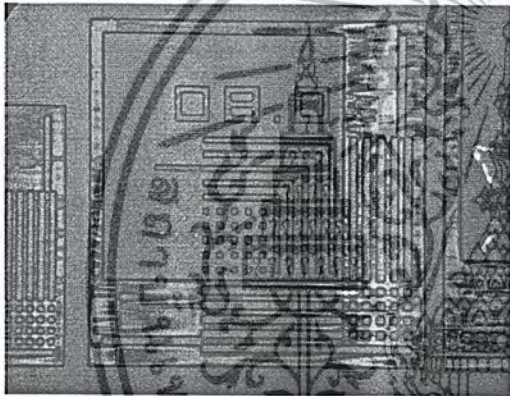
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Contact 70%(CD test) 50x



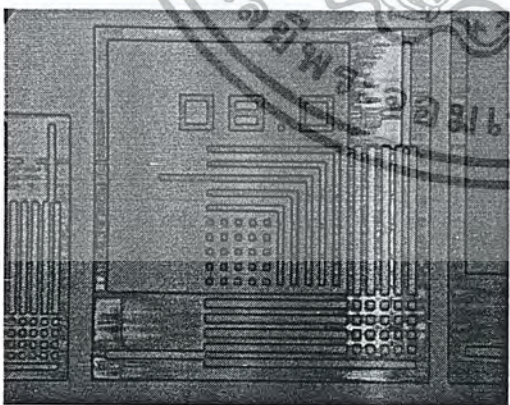
Contact 70%(Pattern) 100x



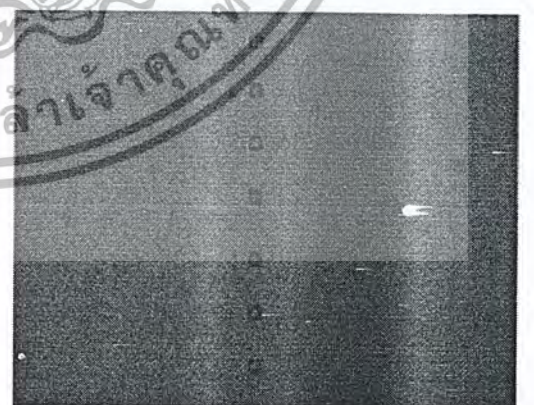
Contact 60%(CD test) 50x



Contact 60%(Pattern) 100x



Contact 50%(CD test) 50x

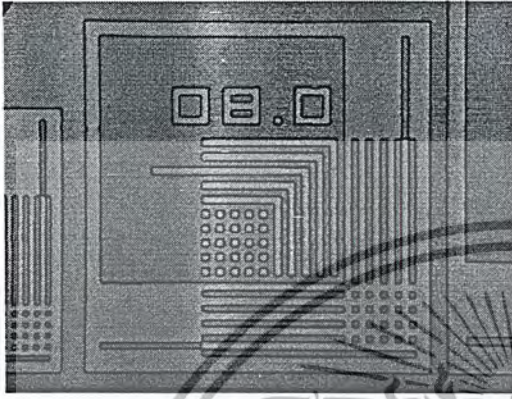


Contact 50%(Pattern) 100x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ8

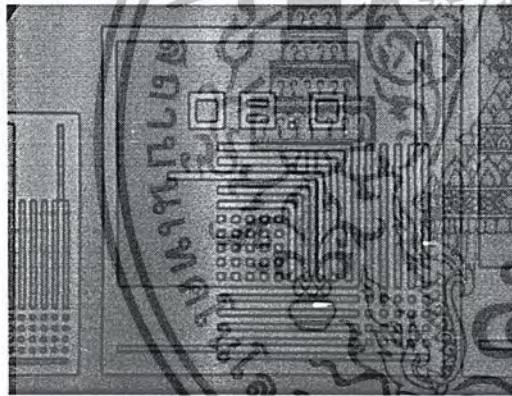
Metal-1



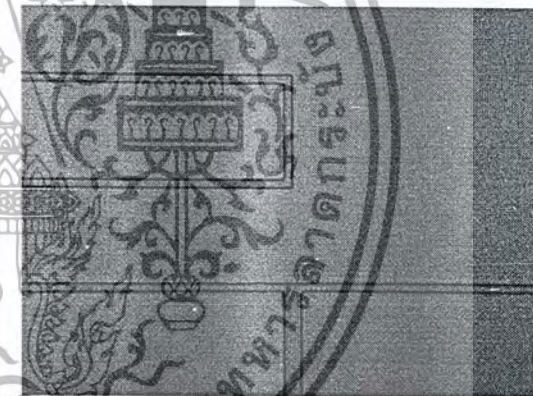
Metal-1 100%(CD test) 50x



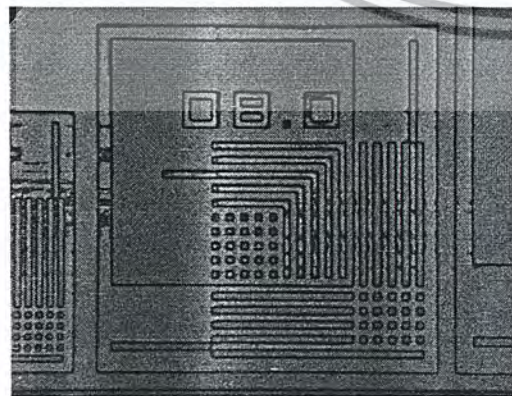
Metal-1 100%(Pattern) 100x



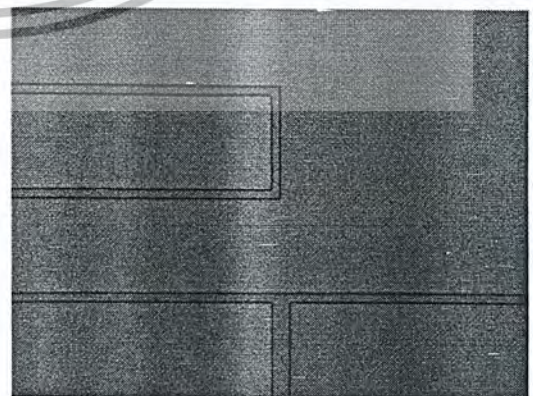
Metal-1 90%(CD test) 50x



Metal-1 90%(Pattern) 100x

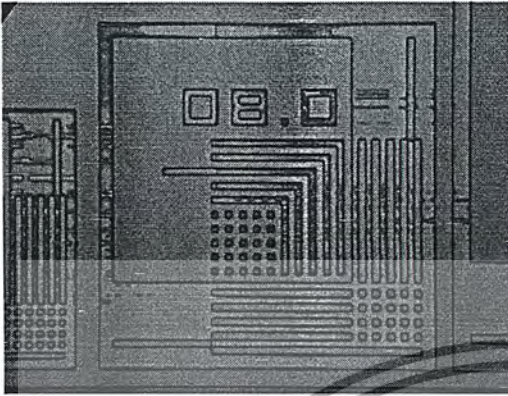


Metal-1 80%(CD test) 50x



Metal-1 80%(Pattern) 100x

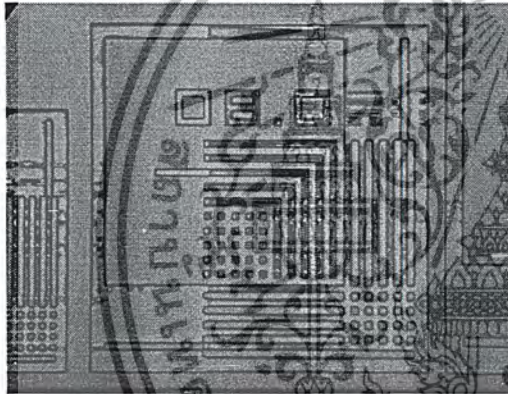
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



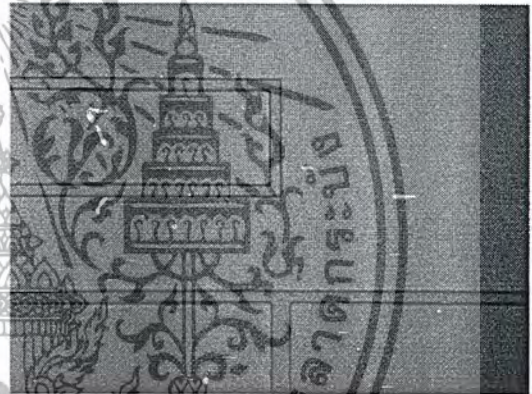
Metal-1 70%(CD test) 50x



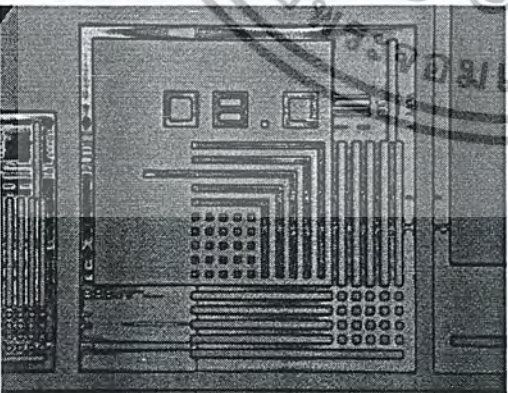
Metal-1 70%(Pattern) 100x



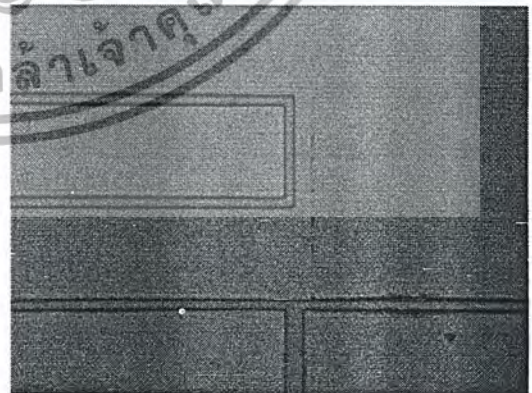
Metal-1 60%(CD test) 50x



Metal-1 60%(Pattern) 100x



Metal-1 50%(CD test) 50x

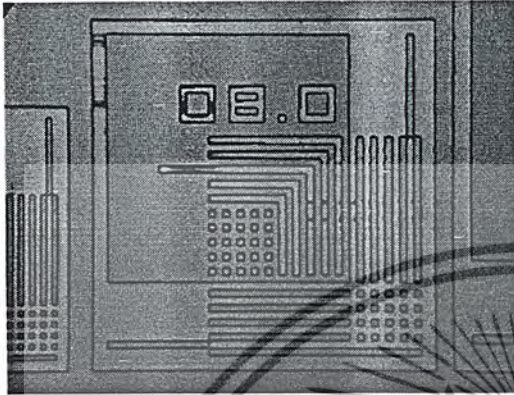


Metal-1 50%(Pattern) 100x

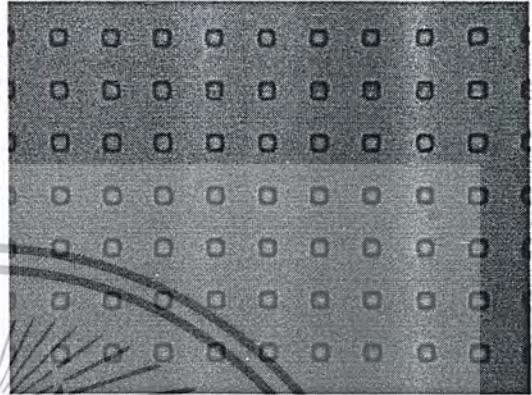
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ9

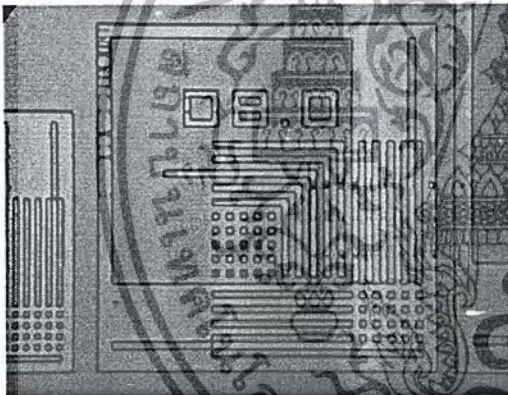
Via



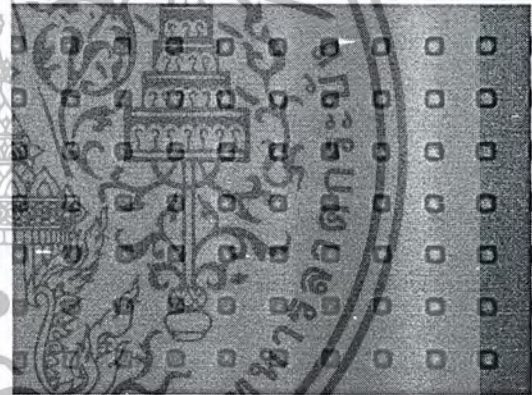
Via 100%(CD test) 50x



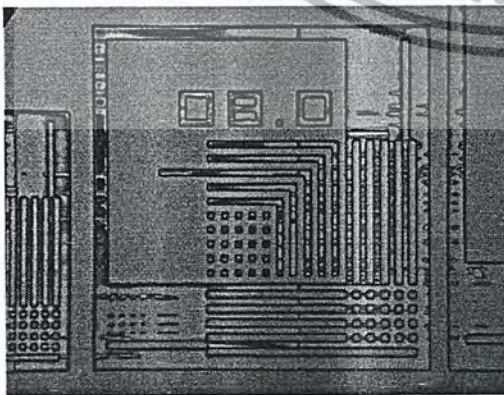
Via 100%(Pattern) 100x



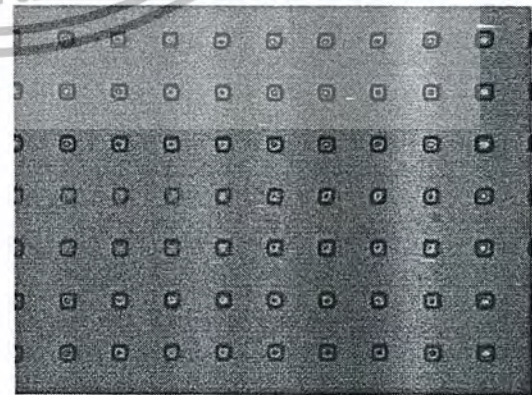
Via 90%(CD test) 50x



Via 90%(Pattern) 100x

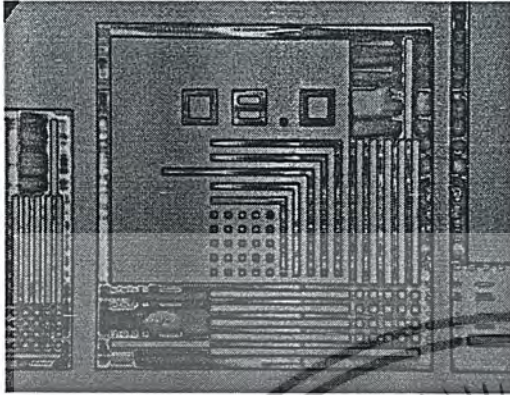


Via 80%(CD test) 50x

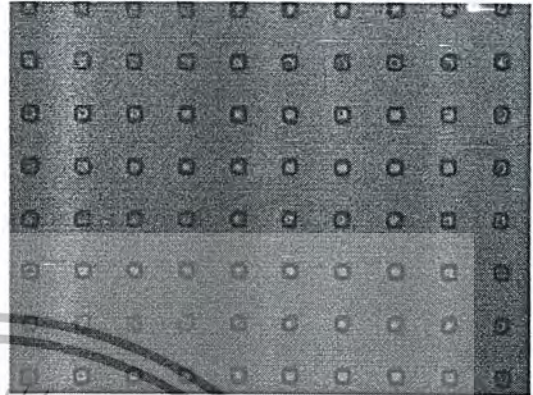


Via 80%(Pattern) 100x

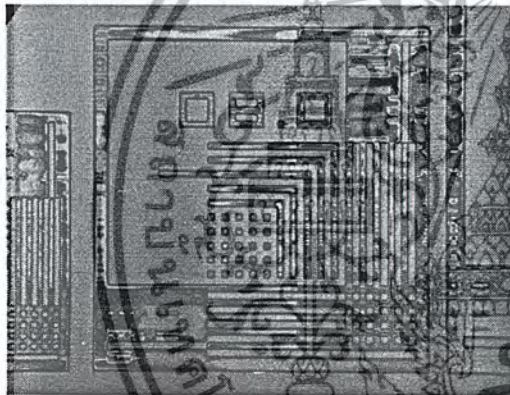
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



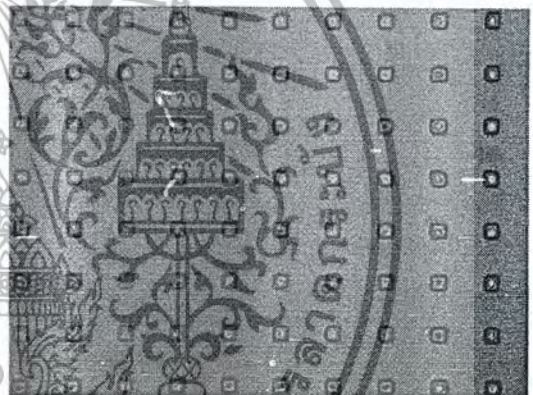
Via 70%(CD test) 50x



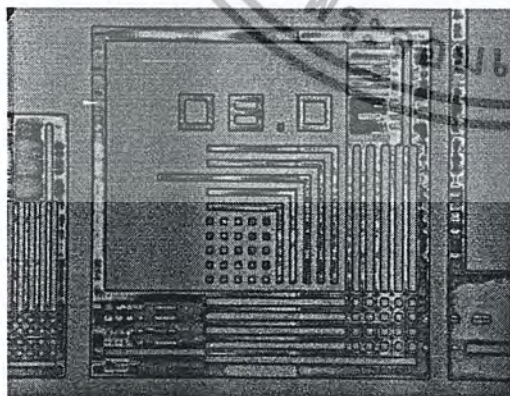
Via 70%(Pattern) 100x



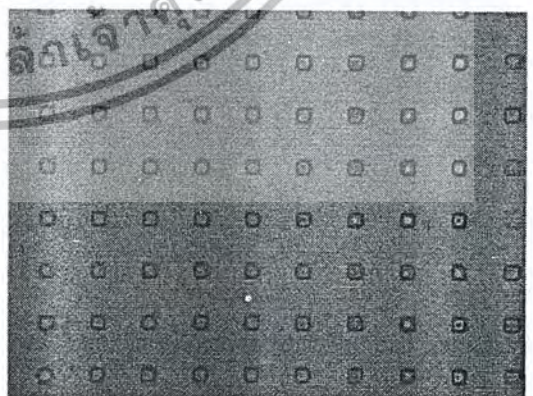
Via 60%(CD test) 50x



Via 60%(Pattern) 100x



Via 50%(CD test) 50x

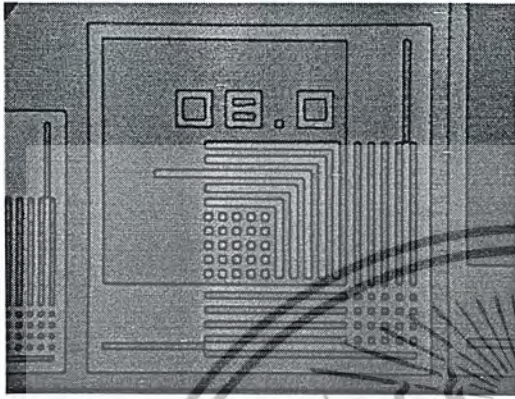


Via 50%(Pattern) 100x

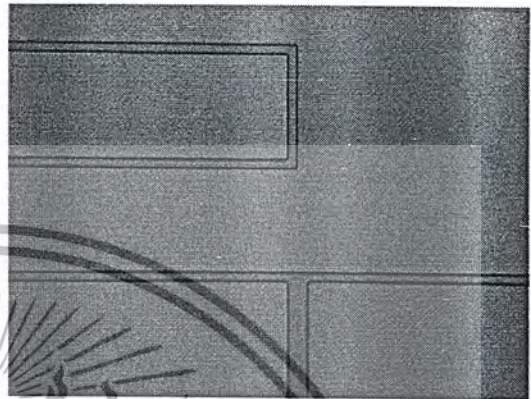
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ10

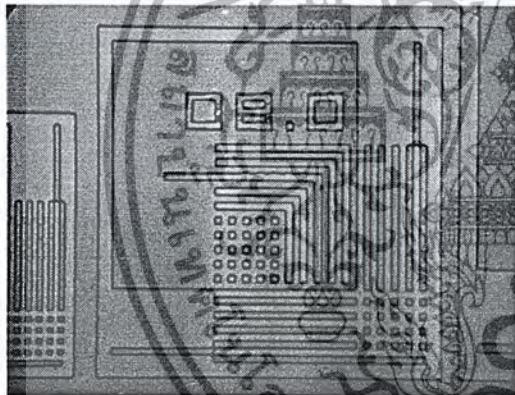
Metal-2



Metal-2 100%(CD test) 50x



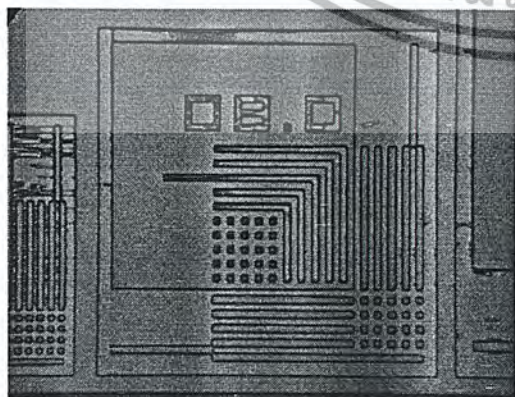
Metal-2 100%(Pattern) 100x



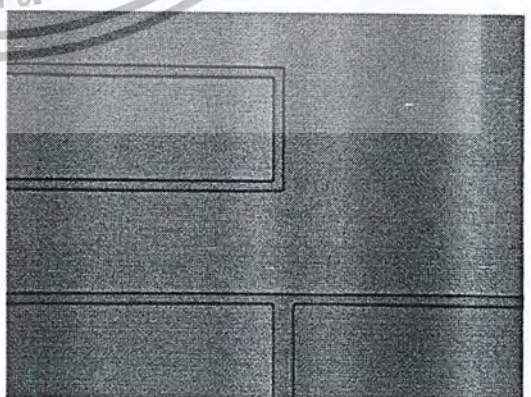
Metal-2 90%(CD test) 50x



Metal-2 90%(Pattern) 100x

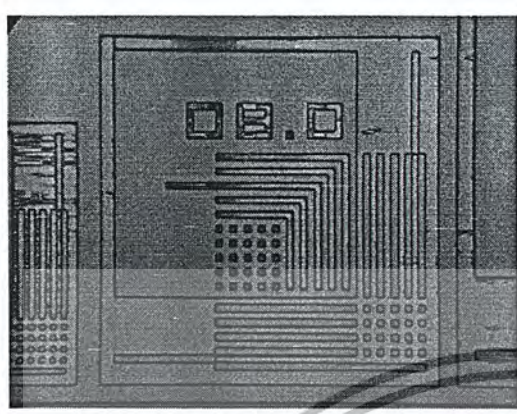


Metal-2 80%(CD test) 50x

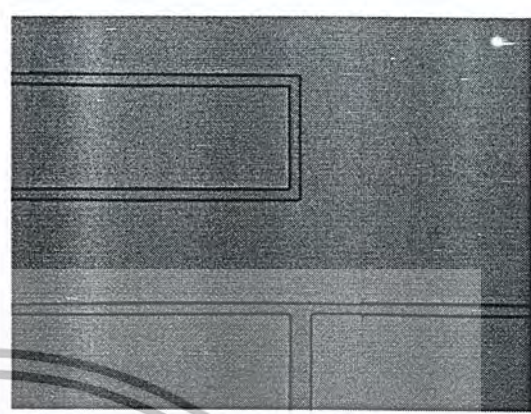


Metal-2 80%(Pattern) 100x

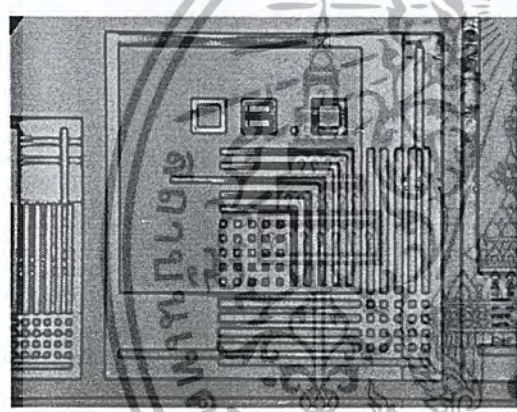
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



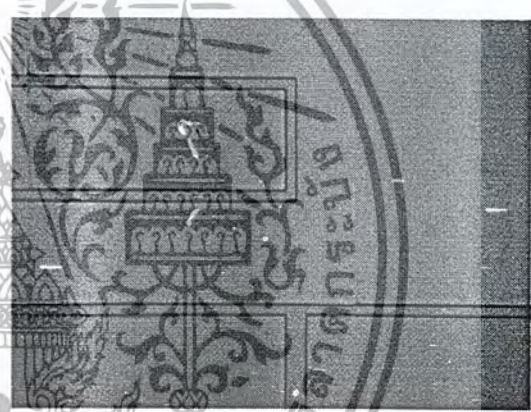
Metal-2 70%(CD test) 50x



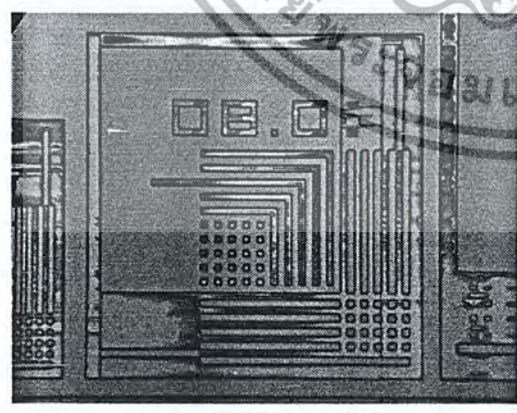
Metal-2 70%(Pattern) 100x



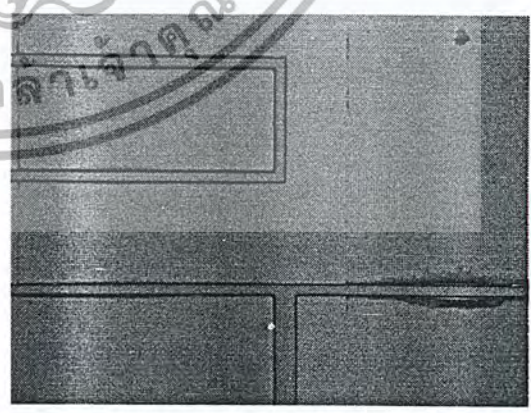
Metal-2 60%(CD test) 50x



Metal-2 60%(Pattern) 100x



Metal-2 50%(CD test) 50x

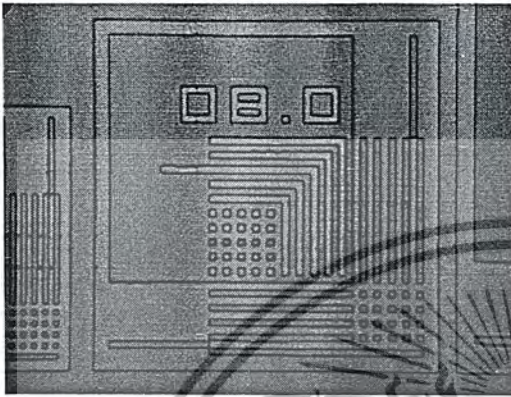


Metal-2 50%(Pattern) 100x

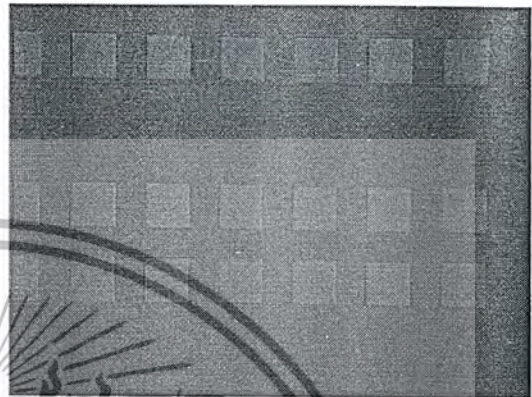
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ11

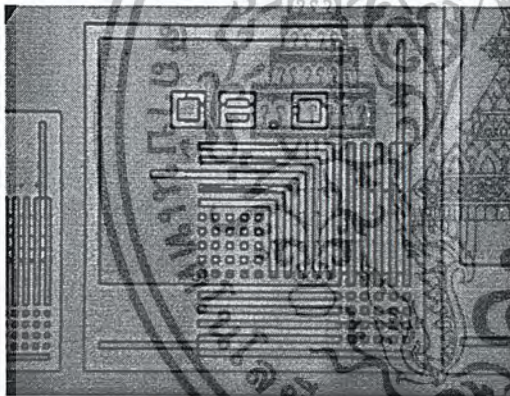
Pad



Pad 100%(CD test) 50x



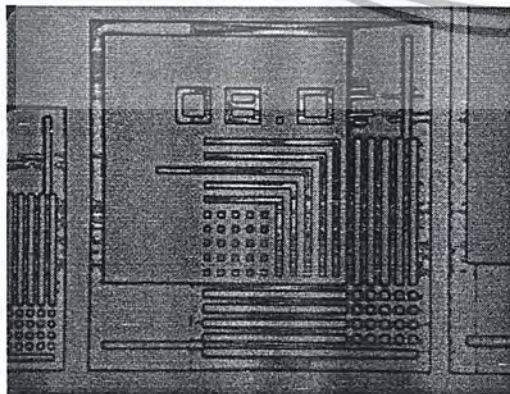
Pad 100%(Pattern) 100x



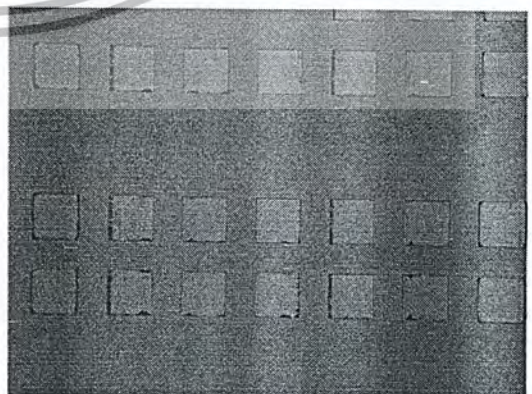
Pad 90%(CD test) 50x



Pad 90%(Pattern) 100x

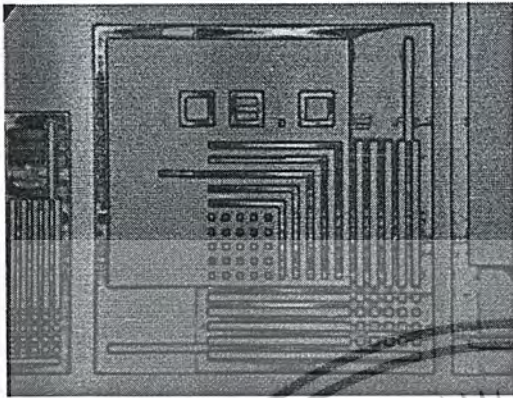


Pad 80%(CD test) 50x

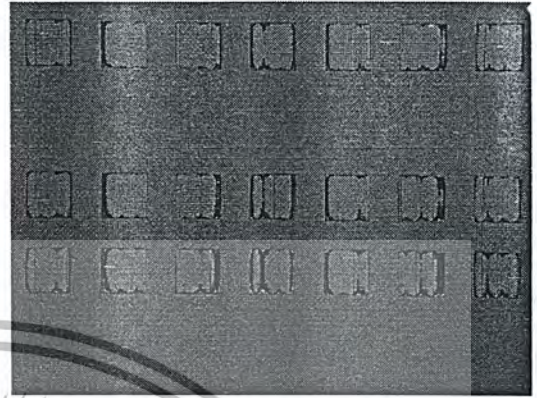


Pad 80%(Pattern) 100x

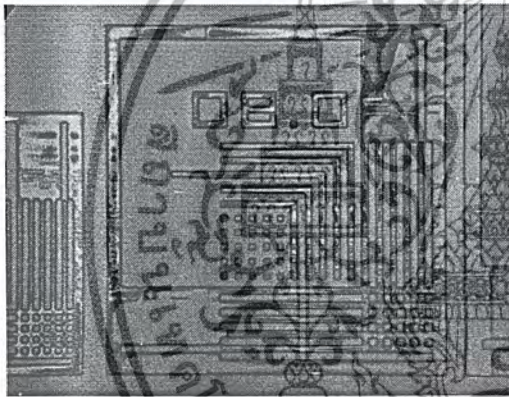
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



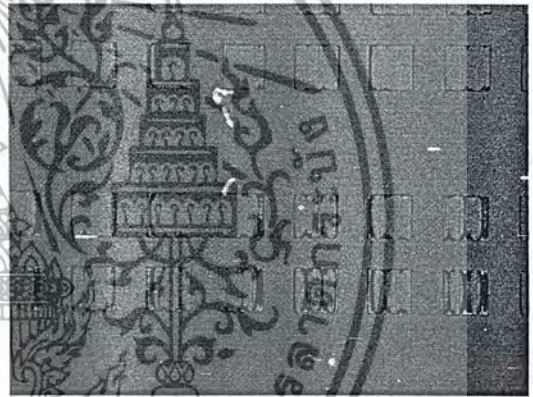
Pad 70%(CD test) 50x



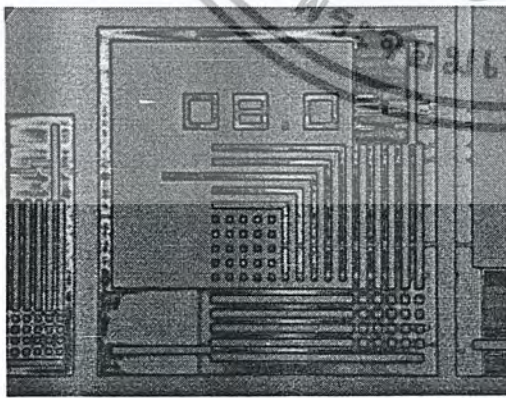
Pad 70%(Pattern) 100x



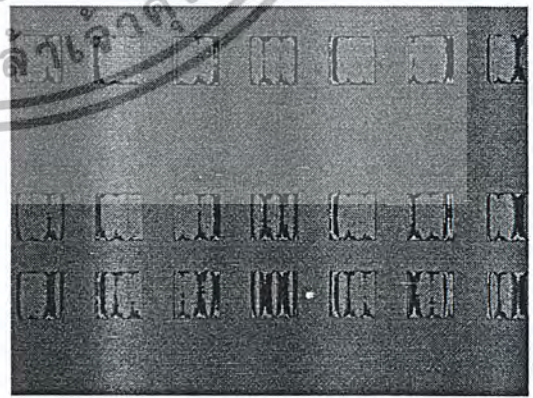
Pad 60%(CD test) 50x



Pad 60%(Pattern) 100x



Pad 50%(CD test) 50x



Pad 50%(Pattern) 100x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



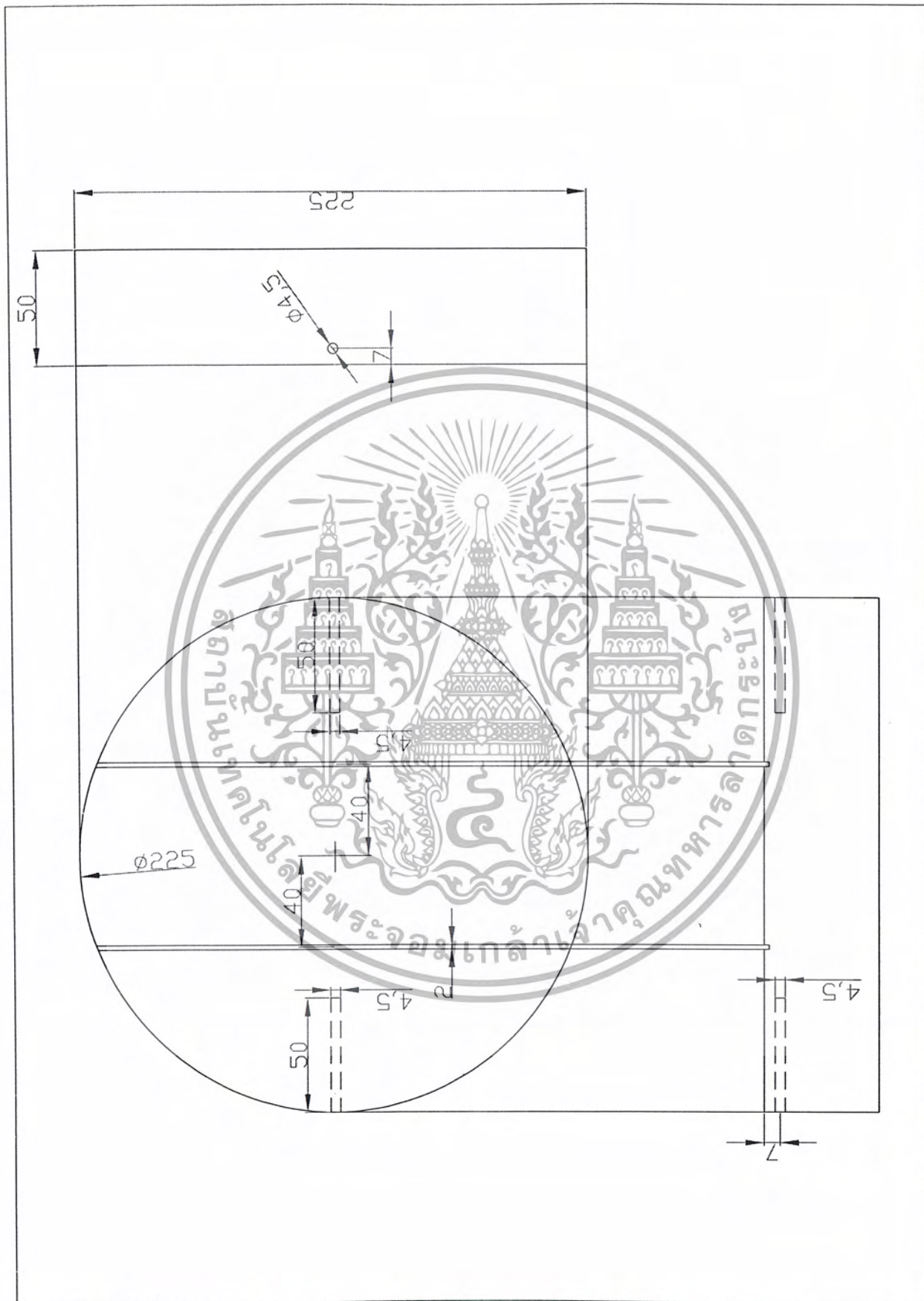
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

106000

