

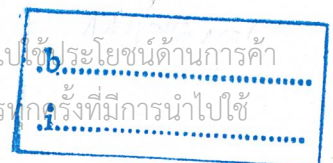
การสร้างลวดลายบนโลหะอลูมิเนียมด้วยกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี
ขนาด 5 ไมครอน

PATTERN TRANSFER OF PHOTOLITHOGRAPHY PROCESS ON METAL
ALUMINIUM FOR 5 MICRON



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สาขาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 55795
วัน,เดือน,ปี 25 ๗.๘. 2548



การสร้างลวดลายบนโลหะอลูมิเนียมด้วยกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี

ขนาด 5 ไมครอน

PATTERN TRANSFER OF PHOTOLITHOGRAPHY PROCESS ON METAL
ALUMINIUM FOR 5 MICRON



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สาขาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2546

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การสร้างลวดลายบนโลหะอลูมิเนียมด้วยกระบวนการโฟลิโตกราฟฟีขนาด 5 ไมครอน

ผู้จัดทำ

1 นายทวีพงศ์ ชัตติยารังสรรค์ รหัส 44015192

2 นายศักดิ์ชัย จิตรหาญ รหัส 44015216



[Signature].....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การสร้างลวดลายบนโลหะอลูมิเนียมด้วยกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี
ขนาด 5 ไมครอน

**PATTERN TRANSFER OF PHOTOLITHOGRAPHY PROCESS
ON METAL ALUMINIUM OF 5 MICRON**

ชื่อนักศึกษา 1 นายทวีพงศ์ ขัตติยรังสรรค์ รหัส 44015192
2 นายศักดิ์ชัย จิตรหาญ รหัส 44015216

โครงการนี้ได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบแล้ว



(ผศ. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างลวดลายบนโลหะอลูมิเนียมด้วยกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีขนาด 5 ไมครอน

นาย ทวีพงศ์ ชัดติยารังสรรค์

นาย ศักดิ์ชัย จิตรหาญ

ผศ. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการสร้างลวดลายบนอลูมิเนียมด้วยกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีขนาด 5 ไมครอน ซึ่งเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการสร้างลวดลายให้มีขนาดเล็กลง เดิมการสร้างลวดลายที่สร้างในศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สามารถสร้างลวดลายได้เล็กที่สุด 10 ไมครอน โดยกระบวนการที่สำคัญในการพัฒนาให้ได้ลวดลายที่เล็กลงคือกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี โดยการศึกษาเกี่ยวกับจำนวนอลูมิเนียมที่มีผลต่อความหนาของชั้นอลูมิเนียม และทำการตรวจสอบลวดลายในการสร้างรวมถึงวัดขนาดของลวดลายที่ได้ทำการสร้างขึ้นมาแล้ว พร้อมทั้งวิเคราะห์ผลที่ทำให้ลวดลายมีความสมบูรณ์หรือคมชัด โดยผลของการกัดกร่อนของลวดลาย ควรมีข้อผิดพลาดไม่เกิน 10% เพราะว่าถ้ามีข้อผิดพลาดของลวดลายมากกว่านี้ จะทำให้ไม่สามารถนำไปสร้างวงจรรวม (Integrated Circuit : IC) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PATTERN TRANSFER PHOTOLITHOGRAPHY PROCESS ON METAL ALUMINIUM FOR 5 MICRON

Mr. Thaweepong Kattiyarungsan

Mr. Sakchai Chitharn

Asst. Prof. Surasak Niemcharoen(Advisor)

Abstract

This thesis is design on Aluminium to be made by photolithography process 5 microns size. It is technology development of design making to be smaller. In the past, design making that was made in electronic research center of King's Mongkut Institute Technology Ladkrabang, design was able to be made 10 microns smallest. The important process in smaller design development is photolithography process. The study about thickness of Aluminium shell is affected by Aluminium quantity and design making is investigated including design made is measured. In addition to, the effects that made design complete or sharp are analyzed. The effects of design destroying should not be mistakes over 10%. If there are mistakes of design over 10%, integrated circuit can't be made.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรเล่มนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ ขอขอบพระคุณ ผศ.สุรศักดิ์ เนียมเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร และคุณชลิตา คูหาเรือง ที่ให้ความรู้ แนวความคิด และให้คำปรึกษาแก้ไขปัญหาในขณะที่ทำการวิจัย มาโดยตลอด ขอขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือของศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ในระหว่างทำการวิจัย ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคน ที่เป็นกำลังใจให้ปริญญาบัตรเล่มนี้สำเร็จลงด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ ผู้ให้กำเนิด ให้ความอุปการะ และสนับสนุนทางการศึกษามาโดยตลอด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย	2
1.3 ขั้นตอนการศึกษา	2
บทที่ 2 กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี	3
2.1 การสร้างโฟโต้ Mask	3
2.2 ขบวนการโฟโตลิโทกราฟี	4
2.2.1 ขั้นตอนการเตรียมผิว โดยการทำความสะอาดผิว	6
2.2.2 ขั้นตอนการเคลือบน้ำยาไวแสง โดยการใช้แกนหมุน Spinner	7
2.2.3 ขั้นตอนการอบชิ้นงาน โดยการอบในเตาอบอุณหภูมิพอเหมาะ	9
2.2.4 ขั้นตอนการปรับชั้น Mask	9
2.2.5 ขั้นตอนการฉายแสงและการล้างน้ำยาไวแสง	10
2.2.6 ขั้นตอนการขึ้นสวดลายของน้ำยาไวแสง (Development)	12
2.2.7 ขั้นตอนการอบครั้งหลัง	13
บทที่ 3 สวดลายและเครื่องมือสำหรับการทดสอบ	14
3.1 สวดลายสำหรับตรวจสอบ	14
3.1.1 สวดลายสำหรับตรวจสอบ ขนาดและช่องว่างของหน้าสัมผัส	14
3.1.2 สวดลายสำหรับตรวจสอบ การตั้งฉาก และความโค้ง	15
3.1.3 สวดลายสำหรับตรวจสอบ ขนาดและช่องว่างของเส้นตรง	16
3.1.4 สวดลายสำหรับตรวจสอบ ขนาดและช่องว่างของเส้นตรงเอียง	17
3.2 เครื่องมือสำหรับการทดสอบ	17
3.2.1 กล้องจุลทรรศน์ (Microscope)	17
3.2.2 เครื่องวัดความหนาฟิล์มบาง (Thin Film Measurement : TFM)	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope)	19
บทที่ 4 การทดลองกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี	20
4.1 การทดลองการ spin เพื่อไล่น้ำยาไวแสง	20
4.2 กระบวนการ Pre bake	21
4.3 กระบวนการฉายแสง	21
4.4 กระบวนการ Development	23
4.5 กระบวนการ Post bake	27
บทที่ 5 กระบวนการการสกัดชั้นสาร(Etching)	30
5.1 การทดลอง โดยการ Evaporator	30
5.2 การทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนาของอลูมิเนียม	30
5.3 ในการศึกษาผลของจำนวนอลูมิเนียมที่เคลือบต่อความหนาของอลูมิเนียม	31
5.4 กระบวนการตรวจสอบความหนาด้วยกล้องจุลทรรศน์	32
5.4.1 การตรวจสอบลักษณะของหน้าสัมผัส (contact)	32
5.4.2 การตรวจสอบลักษณะการตั้งฉาก และความโค้ง	34
5.4.3 การตรวจสอบลักษณะของเส้นตรง	38
5.4.4 การตรวจสอบลักษณะของเส้นตรงเอียง	40
5.5 การวิเคราะห์ลักษณะของลวดลายที่ผ่านการสกัดชั้นสาร โดยวิธี SEM	42
5.6 การทดลอง โดยการ Sputtering	45
บทที่ 6 สรุปและบทวิจารณ์	49

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของความหนาของอลูมิเนียมกับจำนวนเส้นอลูมิเนียมที่เคลือบ	31
รูปที่ 5.3 ลวดลายตรวจสอบหน้าสัมผัสวงกลม	32
รูปที่ 5.4 ลวดลายตรวจสอบหน้าสัมผัสสี่เหลี่ยม	33
รูปที่ 5.5 ลวดลายตรวจสอบขนาด (Width) ของเส้นตรงมุมฉาก	34
รูปที่ 5.6 ลวดลายตรวจสอบช่องว่าง (Space) ของเส้นตรงมุมฉาก	35
รูปที่ 5.7 ลวดลายตรวจสอบขนาด (Width) ของเส้นโค้งวงกลม	36
รูปที่ 5.8 ลวดลายตรวจสอบช่องว่าง (Space) ของเส้นโค้งวงกลม	37
รูปที่ 5.9 ลวดลายตรวจสอบขนาดและช่องว่างของเส้นตรงแนวอน	38
รูปที่ 5.10 ลวดลายตรวจสอบขนาด และช่องว่าง ของเส้นตรงแนวตั้ง	39
รูปที่ 5.11 ลวดลายตรวจสอบขนาดของเส้นตรงเอียง	40
รูปที่ 5.12 ลวดลายตรวจสอบช่องว่างของเส้นตรงเอียง	41
รูปที่ 5.13 ลวดลายขนาด 5 μm ที่ใช้อลูมิเนียม 3เส้น	42
รูปที่ 5.14 ลวดลายขนาด 5 μm ที่ใช้อลูมิเนียม 5 เส้น	43
รูปที่ 5.15 ลวดลายขนาด 5 μm ที่ใช้อลูมิเนียม 7 เส้น	43
รูปที่ 5.16 ลวดลายขนาด 5 μm ที่ใช้อลูมิเนียม 10 เส้น	44
รูปที่ 5.17 การกัดเซาะด้านข้างของลวดลายขนาด 5 ไมครอน ที่ความหนาของอะลูมิเนียมต่างกัน	44
รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความหนาของอลูมิเนียมต่อเวลาในการทำ Sputtering	45
รูปที่ 5.19 ภาพตัดขวางของอลูมิเนียมขนาด 5 μm ที่มีความหนา 3334 Å	46
รูปที่ 5.20 ภาพตัดขวางของอลูมิเนียมขนาด 5 μm ที่มีความหนา 5000 Å	46
รูปที่ 5.21 ภาพตัดขวางของอลูมิเนียมขนาด 5 μm ที่มีความหนา 7010 Å	47
รูปที่ 5.22 กราฟแสดงการกัดเซาะด้านข้างของอลูมิเนียมที่มาจากการSputtering	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงโฟโต Mask ที่ใช้ในการสร้างวงจรรวม	4
รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของน้ำยาไวแสงกับจำนวนรอบของสปินเนอร์	8
รูปที่ 2.3 เครื่องปรับช้อน Mask (Mask aligner)	10
รูปที่ 2.4 การฉายแสง (Exposure)	11
รูปที่ 2.5 ผลที่ได้จากการล้างฟิล์มน้ำยาไวแสงแบบต่าง ๆ	12
รูปที่ 3.1 ลวดลายตรวจสอบและช่องว่างของหน้าสัมผัส (Contact)	14
รูปที่ 3.2 ลวดลายตรวจสอบการตั้งฉาก และความโค้งแบบต่าง ๆ	15
รูปที่ 3.3 ลวดลายตรวจสอบขนาดและช่องว่างของเส้นตรง	16
รูปที่ 3.4 ลวดลายตรวจสอบขนาดและช่องว่างของเส้นตรงเอียง	17
รูปที่ 3.5 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์	18
รูปที่ 3.6 ภาพถ่ายเครื่องวัดความหนาของฟิล์มบางรุ่น TFM-120	18
รูปที่ 3.7 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด SEM	19
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงกับความเร็วรอบของสปินเนอร์ เมื่อใช้น้ำยาไวแสงแต่ละชนิด ในปริมาณ 0.75 ลบ.ซม.	20
รูปที่ 4.2 ลวดลายบนกระจกมาส์กต้นแบบ	21
รูปที่ 4.3 ระยะเวลาในการฉายแสง 8 วินาที	22
รูปที่ 4.4 ระยะเวลาในการฉายแสง 15 วินาที	22
รูปที่ 4.5 ระยะเวลาในการฉายแสง 20 วินาที	23
รูปที่ 4.6 การ Developer ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20 วินาที	24
รูปที่ 4.7 การ Developer ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 25 วินาที	24
รูปที่ 4.8 การ Developer ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 35 วินาที	25
รูปที่ 4.9 การ Developer ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 50 วินาที	25
รูปที่ 4.10 กราฟ Developer โดยการ Vary ค่าของอุณหภูมิ	26
รูปที่ 4.11 กระบวนการ Post bake ในอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	27
รูปที่ 4.12 กระบวนการ Post bake ในอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส	28
รูปที่ 4.13 กระบวนการ Post bake ในอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส	28
รูปที่ 5.1 ชั้นซิลิกอนไดออกไซด์และอลูมิเนียมอยู่ด้านบนสุด	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

จากอดีตถึงปัจจุบันอุตสาหกรรมทางด้านสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ได้ผ่านการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้กระบวนการใหม่ ๆ และปรับปรุงกระบวนการที่มีอยู่เดิมให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นเป็นแรงผลักดันให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางวิทยาศาสตร์ และการพัฒนาต่าง ๆ ตามมา

กระบวนการพัฒนาทางด้านสารกึ่งตัวนำเกิดขึ้นใน 2 ลักษณะกว้าง ๆ คือ การพัฒนาทางด้านกรอกแบบและการพัฒนาทางด้านกระบวนการสร้าง ในการพัฒนาทางด้านกรอกแบบนั้นเป็นการพัฒนากรอกแบบวงจรรวมที่มีความซับซ้อนมากขึ้นและมีขีดความสามารถในการทำงานมากขึ้น ส่วนการพัฒนาทางด้านกระบวนการสร้างนั้นเป็นการคิดค้นและพัฒนากระบวนการผลิตและเทคนิคต่าง ๆ เพื่อให้ได้ตัวอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กลง และตัวอุปกรณ์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การลดขนาดของอุปกรณ์ลงนั้นมีประโยชน์ในแง่ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ เมื่ออุปกรณ์มีตัวอุปกรณ์ขนาดเล็กลงจะทำให้ค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุภายในตัวอุปกรณ์มีค่าน้อยลงซึ่งจะทำให้ตัวอุปกรณ์มีความเร็วในการทำงานสูงขึ้น ในแง่ประสิทธิภาพโดยรวมของวงจรเมื่อขนาดของตัวอุปกรณ์ ลดลงจะทำให้อุปกรณ์แต่ละตัวกินพื้นที่บนชิปน้อยลง ซึ่งจะทำให้ชิปสามารถบรรจุจำนวนตัวอุปกรณ์ได้มากขึ้น และยังทำให้ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์แต่ละตัวบนวงจรรวมมีค่าน้อยลงผลที่ตามมาคือระยะเวลาที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณมีค่าน้อยลงซึ่งจะทำให้วงจรรวมมีประสิทธิภาพในการทำงานที่เร็วขึ้น นอกจากนี้ประโยชน์ในแง่การผลิตในเชิงอุตสาหกรรมขนาดของอุปกรณ์ที่เล็กลงทำให้ได้จำนวนอุปกรณ์ต่อพื้นที่มีค่ามากขึ้นจึงสามารถสร้างชิปที่มีขนาดเล็กลง หรือสามารถสร้างชิปที่มีความซับซ้อนสูงได้

กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี (Photolithography) เป็นกระบวนการที่สำคัญมากกระบวนการหนึ่งในการสร้างวงจรรวมและอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ซึ่งกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีเป็นกระบวนการในการกรอกแบบสร้างลวดลายของวงจรรวม ซึ่งขนาดของลวดลายที่สร้างขึ้นจะส่งผลโดยตรงต่อขนาดของอุปกรณ์ จึงถือว่ากระบวนการโฟโตลิโทกราฟีเป็นหัวใจสำคัญที่จะพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตวงจรรวมให้มีขนาดเล็กลงได้

แต่เดิมนั้นห้องปฏิบัติการสารกึ่งตัวนำของศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีเทคโนโลยีที่สามารถสร้างวงจรรวมได้ในระดับขนาด 10 ไมครอน (ขนาดของส่วนเกท) และเป็นเกทแบบโลหะ ในปัจจุบันยังถือว่าเป็นขนาดใหญ่เกินในการสร้างวงจรรวมแบบซีมอส จึงได้มีแนวความคิดในการศึกษาการสร้างเอ็กสตรีนเป็นเอ็กสตรีนสองชั้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลวดลายสำหรับวงจรรวมแบบซิมอสที่มีขนาดเกทลดลงเหลือ 5 ไมครอน ซึ่งสามารถลดขนาดลงได้ครึ่งหนึ่งของความสามารถเดิมทำให้ ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ สามารถสร้างวงจรรวมที่มีขนาดเล็กกว่าเดิม ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในแง่ประสิทธิภาพการทำงานที่มีเสถียรภาพ ดีขึ้นกว่าเดิม มีความน่าเชื่อถือของวงจรรวมที่สูงขึ้น และสามารถสร้างวงจรรวมที่มีความซับซ้อนได้มากกว่าเดิม ได้ดังที่กล่าวไว้แล้ว และจะได้เป็นจุดเริ่มต้นของการเรียนรู้ การพัฒนาเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำของ ศูนย์วิจัย อิเล็กทรอนิกส์ในระดับไมครอนหรือเล็กกว่านี้ในโอกาสต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย

การทำวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการโฟโตลิโทกราฟี ในการสร้างลวดลายสำหรับวงจรรวมแบบซิมอส ระดับ 5 ไมครอน โดยใช้แผ่นผลึกซิลิคอนขนาด 2 นิ้ว เพื่อกำหนดเป็นกระบวนการมาตรฐานสำหรับกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีของศูนย์วิจัย อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งในการการศึกษานี้ได้ทำการทดลองสร้างลวดลายบนฟิล์มของซิลิคอนไดออกไซด์ที่มีความหนาประมาณ 5000 Å

1.3 ขั้นตอนของการศึกษา

ในการทำงานวิจัยนี้มีขั้นตอนการศึกษา สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีของกระบวนการสร้างวงจรรวมแบบซิมอส โดยเน้นความสำคัญที่กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี
2. ศึกษาและทำความเข้าใจในขั้นตอนต่างๆและเครื่องมือที่ใช้กับกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี สำหรับการสร้างวงจรรวมแบบซิมอส ระดับ 5 ไมครอน
3. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนาของอลูมิเนียม โดยทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอลูมิเนียมกับความหนาของอลูมิเนียม เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการหาความหนาของอลูมิเนียม และอัตราการกัดเซาะด้านข้างของอลูมิเนียม และเพื่อใช้ในการสร้างชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสง ให้ได้ความหนาที่เหมาะสมกับกระบวนการสร้างในขั้นตอนต่อไป
4. ศึกษาขั้นตอน และตัวแปรต่างๆ ในการฉายแสง การขึ้นลวดลาย (Development) และการกัดแบบเปียก (Wet Etching)
5. สร้างลวดลายสำหรับตรวจสอบ บนแผ่นผลึกซิลิคอน โดยใช้เงื่อนงำที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 และขั้นตอนที่ 4 โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (Microscope) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope : SEM) เพื่อหาตัวแปรที่อาจทำให้เกิดข้อจำกัดกับกระบวนการนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี

งานของขบวนการโฟโตมาส์คิงค์ (Photomasking) อาจถูกแบ่งออกได้เป็นสองขั้นตอน ซึ่งจุดประสงค์ของขบวนการนี้ ก็คือการถ่ายภาพแบบแผนของสิ่งประดิษฐ์ลงบนผิวของแผ่นผลึกซิลิกอนขั้นตอนที่สองของขบวนการโฟโตมาส์คิงค์ ก็คือ

1. การสร้างกระจกแบบแผน นิยมเรียกว่า “โฟโตมาส์ค” (Photomask) ซึ่งจะถูกใช้เป็นต้นแบบสำหรับการถ่ายภาพแบบแผนลงบนผิวของแผ่นผลึก
2. การดำเนินการถ่ายภาพแบบแผนจากโฟโตมาส์คลงบนผิวของแผ่นผลึกโดยการใช้สารไวแสงและขบวนการถ่ายภาพ ซึ่งนิยมเรียกกันว่า “ขบวนการโฟโตลิโทกราฟี” (Photolithography)

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงขั้นตอนทั้งสองนี้โดยสรุปอย่างง่าย ๆ เป็นลำดับขั้นตอนของการโฟโตมาส์คิงค์

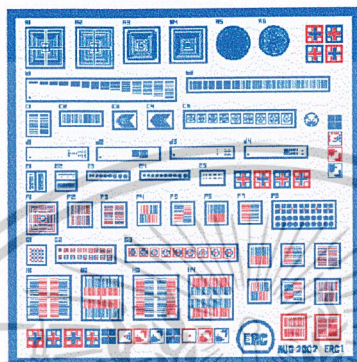
2.1 การสร้างโฟโตมาส์ค

งานแรกสำหรับขบวนการสร้างสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำชนิดต่าง ๆ ก็คือ การสร้างโฟโตมาส์คของสิ่งประดิษฐ์ต่าง ๆ เหล่านั้นในขบวนการสร้างแต่ละขั้นตอน เช่นการ CVD การอิพิแทกเซียมการ Predeposition หรือการ drive in กระทั่งการ metallization จำเป็นต้องใช้โฟโตมาส์คซึ่งแตกต่างกัน ดังนั้นโดยปกติแล้วการสร้างสิ่งประดิษฐ์ชนิดหนึ่ง ๆ ให้เสร็จสิ้นสมบูรณ์จึงจำเป็นต้องใช้โฟโตมาส์คหลาย ๆ อัน เช่นแสดงดังในรูปที่ 2.1 เป็นภาพของโฟโตมาส์คซึ่งใช้ในการสร้างวงจรรวมแบบหนึ่ง โดยมีถึง 7 อัน ตามลำดับขั้นตอนของการสร้างในงานการสร้างโฟโตมาส์คของวงจรรวม ก็คือการพิจารณาเปลี่ยนแปลงวงจรทางไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ของวงจรรวมนั้น ๆ ออกมาเป็นภาพแผนผังเพื่อการสร้างวงจรรวมขึ้น ขั้นตอนในการออกแบบสร้าง โฟโตมาส์คสรุปได้ดังนี้ คือ

1. เขียนภาพรูปรูปร่างของสิ่งประดิษฐ์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในวงจรรวม
2. จัดตำแหน่งที่อยู่ของสิ่งประดิษฐ์แต่ละตัวให้เหมาะสม โดยให้เหลือที่ว่างน้อยที่สุด และการเดินสายต่อภายในระหว่างสิ่งประดิษฐ์แต่ละตัวต้องทำได้ง่ายและต้องสะดวกต่อการต่อสายออกไปยังวงจรรายนอกอีกด้วย

3. ทำการแยกส่วนของสิ่งประดิษฐ์ออกเป็นโฟโตมาส์ค แต่ละขั้นตอนของการสร้างขั้นตอนทั้งสามดังกล่าวนี้อาจใช้คอมพิวเตอร์ช่วยได้และเมื่อออกแบบเรียบร้อยแล้วงานของการสร้างโฟโตมาส์คจริง ๆ ก็จะเริ่มขึ้น โดยการถ่ายย่อภาพของแบบแผนแต่ละโฟโตมาส์ค ให้มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเล็กลงเหลือเป็น 50 เท่า ของขนาดที่ต้องการ สร้างภาพแบบแผนขึ้นซ้ำ ๆ กันบนแผ่นกระจก ซึ่งในที่สุดต้นแบบของโฟโตมาส์ถูกสร้างขึ้นมาได้และนิยมเรียกว่า “มาสเตอร์” (Master) จากมาสเตอร์นี้ก็จะถูกนำไปเป็นต้นแบบของโฟโตมาส์ เพื่อสร้างโฟโตมาส์ที่เหมือนกันนี้ขึ้นอีกจำนวนมาก ๆ เพื่อนำไปใช้เป็นโฟโตมาส์สำหรับถ่ายภาพแบบแผนของสิ่งประดิษฐ์ลงบนผิวของแผ่นผลึกซิลิกอน ในขบวนการสร้างสิ่งประดิษฐ์



รูปที่ 2.1 แสดงโฟโตมาส์ที่ใช้ในการสร้างวงจรรวม

โดยทั่วไปโฟโตมาส์ที่ใช้งานมักเป็น แผ่นกระจกใสซึ่งมีสารไวแสงเคลือบอยู่ในลักษณะเป็นแบบแผนของสิ่งประดิษฐ์บริเวณ ซึ่งมีสารไวแสงติดอยู่ก็จะมีความสมบัติทึบแสงบริเวณใดที่ไม่มีสารไวแสงติดอยู่ก็จะสามารถปล่อยให้แสงผ่านได้ ดังนั้นลักษณะของโฟโตมาส์ก็คือมีส่วนโปร่งแสง และทึบแสงดังแสดงในรูปที่ 2.1 นอกจากนี้แล้วบางครั้งสำหรับงานการสร้างสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำบางประเภท เช่น การสร้างวงจรรวมชนิด LSI ส่วนที่ทึบแสงของโฟโตมาส์อาจมาจากโครเมียมหรือ โครเมียมออกไซด์ หรือเหล็กออกไซด์ก็ได้ ซึ่งโฟโตมาส์ประเภทนี้จะมีคุณสมบัติที่ดีกว่าแบบที่ใช้สารไวแสง แต่จะมีราคาแพงกว่านอกจากนี้สารประกอบเหล็กออกไซด์ ยังมีคุณสมบัติให้แสงสีเหลืองทะลุผ่านไปได้แต่จะไม่ยอมให้แสงอุลตราไวโอเลตผ่าน ซึ่งเป็นคุณสมบัติพิเศษและมีประโยชน์อย่างยิ่ง

2.2 ขบวนการโฟโตลิโทกราฟี

ขบวนการ โฟโตลิโทกราฟีเป็นขบวนการที่ใช้สำหรับการถ่ายภาพแบบแผนจากโฟโตมาส์ลงบนผิวของแผ่นผลึกโดยการใช้ฉายาไวแสง (Photoresist) ฉายาไวแสงดังกล่าวเป็นสารประกอบซึ่งประกอบด้วยสารไวแสงส่วนผสมอื่นอยู่ในลักษณะเป็นสารละลาย โดยฉายาไวแสงนี้จะไวต่อแสงสีน้ำเงิน ม่วง ซึ่งถูกปล่อยออกมาจากหลอดไฟ อาร์ครปรอท (Mercury arc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

lamp) แต่ไม่มีปฏิกิริยาต่อแสงสีแดง หรือสีเหลืองทั่ว ๆ ไป ซึ่งใช้ในห้องมืดปกติ น้ำยาไวแสงดังกล่าวนี้อาจแบ่งได้เป็นสองชนิด คือ

1. ชนิดถูกแสงแล้วแข็งตัว (Light hardened resist) เป็นน้ำยาไวแสงซึ่งเมื่อถูกฉายแสงแล้วจะมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลง มีลักษณะแข็งตัวไม่ยอมละลายในน้ำยาล้าง (developer) น้ำยาไวแสงชนิดนี้นิยมเรียกกันว่า “น้ำยาไวแสงชนิดลบ” (negative photo resist)

2. ชนิดถูกแสงอ่อนตัว (light softened resist) เป็นน้ำยาไวแสง ซึ่งเมื่อถูกฉายแสงแล้วจะมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงโดยมีการอ่อนตัวและสามารถละลายได้ในน้ำยาล้าง น้ำยาไวแสงชนิดนี้นิยมเรียกกันว่า “น้ำยาไวแสงชนิดบวก” (positive photo resist)

คุณสมบัติ หรือ ประสิทธิภาพของน้ำยาไวแสง ถูกกำหนดได้ด้วยพารามิเตอร์ 4 ตัว ดังนี้ คือ

1. Adhesion เป็นคุณสมบัติของความเหนียวหรือการยึดเหนี่ยวของโมเลกุลของน้ำยาไวแสงสามารถวัดได้โดยการพิจารณา ความคมของภาพแบบแผนที่เกิดขึ้นภายหลังการล้างน้ำยาไวแสงด้วยน้ำยาล้าง ถ้าหากได้ภาพแบบแผนที่มีขอบไม่คมหรือขาด แสดงว่าแรง adhesion มีค่าน้อย ซึ่งปกติต้องการค่าที่สูง เพื่อความคมชัดของภาพที่เกิดขึ้น

2. Etch resistance เป็นคุณสมบัติที่ทนทานต่อน้ำยาสะกัด (etching solution) สามารถวัดได้โดยการเคลือบน้ำยาไวแสงบนบนผิวของแผ่นผลึกเหนือชั้นออกไซด์แล้วจึงนำไปจุ่มลงในน้ำยาสะกัดเป็นเวลานาน ๆ เพื่อเฝ้าดูว่าน้ำยาไวแสงนี้จะทนน้ำยาสะกัดได้แค่ไหนเพียงไร โดยเมื่อทิ้งไว้เป็นเวลานานมาก ๆ น้ำยาสะกัดจะทะลุผ่านชั้นรองน้ำยาไวแสงเข้าไปละลายชั้นของออกไซด์ได้ ปกติต้องการค่าที่สูง เพื่อให้ชั้นของออกไซด์ถูกสะกัดออกอย่างถูกต้องและแน่นอน

3. Resolution เป็นคุณสมบัติความละเอียดของน้ำยาไวแสงซึ่งสามารถที่จะถ่ายความละเอียดของภาพได้มากหรือน้อย สามารถวัดได้โดยการพิจารณาแถบเส้นที่มีขนาดความกว้างน้อยที่สุดที่สามารถถ่ายลงบนชั้นของน้ำยาไวแสงได้ ปกติต้องการมีค่าสูงเพื่อให้สามารถถ่ายภาพแบบแผนที่มีขนาดเล็ก ๆ และความละเอียดมาก ๆ ได้

4. Photosensitivity เป็นคุณสมบัติเกี่ยวกับความไวต่อแสงนี้สามารถวัดได้โดยการพิจารณาปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของสารนี้กับแสงที่มีความเข้มต่าง ๆ กัน ปกติต้องการค่าสูง ๆ เพื่อให้ไวต่อแสงที่มีความเข้มแสงค่าน้อย ๆ ได้

คุณสมบัติทั้ง 4 ข้อ ของน้ำยาไวแสงนี้เป็นสิ่งที่ควรนำมาพิจารณาเพื่อนำไปใช้กับงานที่เหมาะสมอันจะมีประโยชน์และประหยัดได้เป็นอย่างดี สำหรับตัวทำละลาย (solvent) ที่ผสมอยู่ในน้ำยาไวแสงนี้จะเป็นตัวกำหนดความหนืด (viscosity) ของน้ำยาไวแสง ยิ่งมีความหนืดมากจะมีลักษณะข้นและเหนียว ค่าความหนืดของน้ำยาไวแสงนี้วัดได้ในหน่วยของ “เซนติพอยส์” (centipoise) ใช้ตัวย่อว่า C.P. และหน่วยของ “เซนติสโตค” (centistoke) โดยทั่วไปน้ำยาไวแสงที่

ใช้มีค่าความหนืดราว 28-60 เซนติพอยส์ ซึ่งจะมีลักษณะคล้าย ๆ กับความข้นของน้ำเชื่อม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนสำหรับขบวนการโฟโตลิโทกราฟีอาจกล่าวโดยสรุปเป็นลำดับขั้นตอนได้ต่อไปนี้เป็นคือ

1. ขั้นตอนการเตรียมผิว โดยการทำความสะอาดผิว ไล่ความชื้น เป็นต้น
2. ขั้นตอนการเคลือบน้ำยาไวแสง โดยการใช้แทนหมุน spinner
3. ขั้นตอนการอบชั้นต้น โดยการอบในเตาอบอุณหภูมิต่ำพอเหมาะเพื่อให้ น้ำยาไวแสงแห้งสนิท
4. ขั้นตอนการปรับชั้นมาสก์
5. ขั้นตอนการฉายแสงและการล้างน้ำยาไวแสง
6. ขั้นตอนการตรวจสอบผล โดยการสังเกตภาพแบบแผนที่เกิดขึ้นภายหลังการล้างน้ำยา เพื่อให้แน่ใจว่าได้ภาพที่คมชัดแน่นอนและสมบูรณ์

7. ขั้นตอนการอบชั้นสุดท้าย โดยการอบในเตาอบอุณหภูมิสูงพอเหมาะเพื่อให้ น้ำยาไวแสงที่เคลืออยู่ที่แห้งสนิทติดแน่นกับผิวแผ่นผลึกเป็นอย่างดี

ถ้าแผ่นผลึกซิลิกอนอยู่ในขั้นตอนการตรวจสอบลวดลายแล้วพบว่าลวดลายมีความผิดพลาดแผ่นผลึกนั้นจะถูกลอกเอาฟิล์มน้ำยาไวแสงออกคดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการอบครั้งหลัง และเริ่มกระบวนการ โฟโตลิโทกราฟีใหม่ตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนกระทั่งผ่านในขั้นตอนการตรวจสอบลวดลาย

2.2.1 ขั้นตอนการเตรียมผิว โดยการทำความสะอาดผิวไล่ความชื้น

ในการเตรียมผิวอาจไม่จำเป็นต้องทำก็ได้ ถ้าหากแผ่นผลึกนั้นเพิ่งจะถูกนำออกมาจากเตาแพร่สารหรือเตาออกซิเดชัน หรือ จากเครื่องเคลือบโลหะในสุญญากาศ เป็นต้น ยกเว้นที่ผิวของแผ่นล็กเป็นชั้นของซิลิกอนไนไตรด์ หรือเป็นผลึกซิลิกอนชนิดหลายรูป (polycrystalline) ซึ่งจำเป็นต้องมีการเตรียมผิวเป็นกรณีพิเศษ โดยการจุ่มแผ่นผลึกลงในสารละลายชนิดหนึ่งที่เรียกว่า “primming solution” สารละลายนี้จะช่วยทำให้น้ำยาไวแสงสามารถติดแน่นกับผิวของแผ่นผลึกได้เป็นอย่างดีและสมบูรณ์นอกจากนี้อาจจะใช้วิธีพ่น หรือผ่านไอของสารละลายนี้ลงบนผิวแผ่นก็ได้ ซึ่งในกรณีที่มีการใช้สารละลายนี้ จะต้องมีการอบแผ่นผลึกให้แห้งสนิทก่อนที่จะไปเคลือบผิวหน้าด้วยน้ำยาไวแสงในการทำ ความสะอาด โดยทั่วไปมักจะใช้วิธีการทางเคมี โดยการใช้สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดเพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอมทั้งที่มีองค์ประกอบทางอินทรีย์และอนินทรีย์ หลังจากนั้น จะทำการล้างแผ่นให้สะอาดด้วยน้ำบริสุทธิ์ (Deionized water : DI water) ตามด้วยการเป่าด้วยอากาศแห้งหรือก๊าซไนโตรเจนเพื่อทำให้แผ่นผลึกซิลิกอนแห้ง

สิ่งแปลกปลอมที่อยู่บนผลึกซิลิกอนอาจเป็นสาเหตุให้เกิดรูพรุน (pin hole) ในชั้นฟิล์มของน้ำยาไวแสง อีกทั้งอาจทำให้เกิดปัญหาการยึดเกาะผิวของน้ำยาไวแสง รวมถึงปัญหาของขนาดลวดลายของตัวอุปกรณ์ที่อาจผิดพลาดไป เป็นผลทำให้อุปกรณ์และหรือ วงจรไม่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

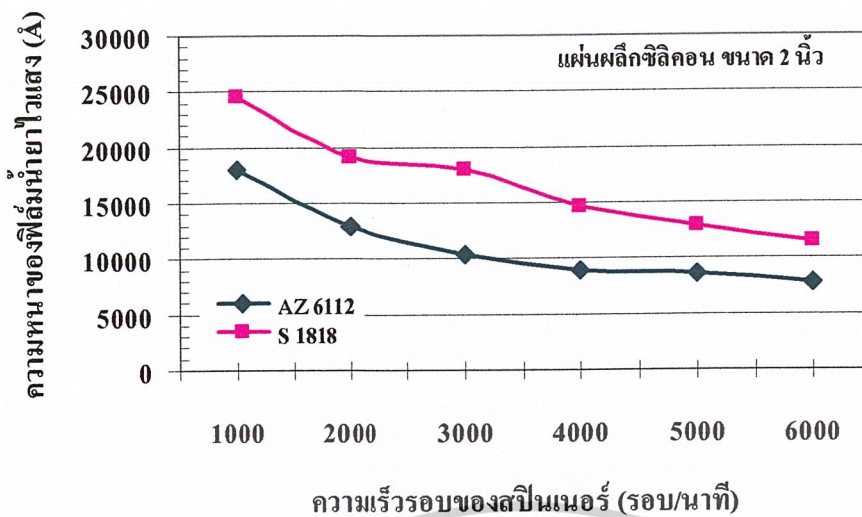
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น การกำจัดหรือทำให้สิ่งแปลกปลอมมีปริมาณน้อยที่สุดก่อนจะเข้าสู่กระบวนการโฟโตลิโทกราฟีจึงถือเป็นเรื่องสำคัญ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าลวดลายที่ได้จากกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีสามารถผ่านการตรวจสอบและนำไปสู่กระบวนการอื่น ๆ ต่อไปได้

2.2.2 ขั้นตอนการเคลือบนำยาไวแสง โดยการใช้แท่นหมุน Spinner

การเคลือบนำยาไวแสงบนแผ่นซิลิกอนนั้นเราใช้เครื่องสปินเนอร์ (Spinner) ช่วยโดยอาศัยหลักการของแรงหนีศูนย์กลางทำให้หน้าเคลือบผิวซิลิกอนด้วยความสม่ำเสมอ วิธีการคือวางแผ่นซิลิกอนลงบนแกนที่อยู่ตรงกลางของเครื่องสปินเนอร์ แผ่นซิลิกอนจะถูกกดให้ติดแน่นกับแกนนี้โดยระบบสุญญากาศ ต่อไปจึงหยอดนำยาลงบนแผ่นซิลิกอน แล้วจึงกดปุ่มให้แกนหมุนรอบตัวเองนำยาจะถูกเหวี่ยงด้วยแรงหนีศูนย์กลางจนสม่ำเสมอทั่วผิวหน้า ความหนาของนำยาเหนือผิวออกไซด์ จึงขึ้นอยู่กับความเร็วเชิงมุมของแกน (โดยปกติ 1,000-5,000 rpm) และความหนืด (viscosity) ของนำยาเอง นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบต่อนาทีกับความหนาของชั้นนำยาไวแสง ที่มีความหนืดค่าต่าง ๆ เป็นที่น่าสังเกตว่าที่ความเร็วต่ำ ๆ ความหนาของชั้นนำยาไวแสงจะไม่สม่ำเสมอ โดยจะมีความหนามาก ที่บริเวณของแผ่นผลึก แต่ถ้าหากความเร็วสูงเกินไปความหนาของชั้นนำยาไวแสงก็จะไม่สม่ำเสมออีกเช่นกัน กล่าวคือ บางบริเวณอาจไม่มีนำยาไวแสงเคลือบอยู่เลยก็ได้

นำยาจะเคลือบสม่ำเสมอยิ่งขึ้นหากแกนมีความเฉื่อยน้อย กล่าวคือ มีความเร่งเชิงมุมสูงมากทันทีที่ทันใดที่กดปุ่มให้ทำงาน หากเคลือบหนาจะมีความคมที่ขอบ หากบางจะมีความคมที่ขอบดีขึ้น แต่อาจจะไม่หนาพอที่จะทนต่อสารเคมีที่ใช้กัดออกไซด์ (หรือ A1) นอกจากนี้นำยาที่เคลือบบางจนเกินไปจะมีโอกาสเกิดรูเข็มเล็ก (pin holes) มากขึ้น ฉะนั้นเราจำเป็นต้องเลือกความหนาของการเคลือบที่พอเหมาะกับการเคลือบแผ่นซิลิกอนด้วยนำยาไวแสงนั้นอาจใช้วิธีอื่น ๆ เช่น จุ่มแผ่นซิลิกอนลงไปในการนำยาโดยตรง (dipping method) ฉีดละอองนำยาลงบนแผ่นซิลิกอน (spray method) ใช้ลูกกลิ้งบนแผ่นซิลิกอน (roller method) แต่ในปัจจุบันการใช้เครื่องสปินเนอร์ดังกล่าวมาแต่ต้นเป็นที่นิยมแพร่หลายกว่าวิธีอื่น ๆ จุดประสงค์ รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของนำยาและความเร็วเชิงมุมหรือจำนวนรอบต่อ นาที (rpm) ของเครื่องสปินเนอร์ เฉพาะเครื่องความสัมพันธ์นี้เป็นเพียงตัวอย่างเท่านั้น ฉะนั้นเราจำเป็นต้องหาความสัมพันธ์ของเครื่องที่ใช้โดยตนเอง



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของน้ำยากับจำนวนรอบต่อนาที (rpm) ของเครื่องสปินเนอร์

น้ำยาไวต่อแสง (Photo resist)

น้ำยาไวต่อแสงเป็นสารที่เปลี่ยนคุณสมบัติ (polymerization reaction) ได้เมื่อถูกรังสีอุลตราไวโอเล็ต น้ำยานี้แบ่งออกเป็นสองประเภทกล่าวคือ น้ำยาชนิดลบ (negative photo resist) และน้ำยาชนิดบวก (positive photo resist) หลังจากให้แสงตกกระทบน้ำยาผ่านแผ่นแก้วภาพหน้ากาก และน้ำไปล้างแล้ว น้ำยาชนิดลบส่วนที่ถูกแสงและน้ำยาชนิดบวกส่วนที่ไม่ถูกแสงจะยังเหลืออยู่และเนื่องจากความแตกต่างในคุณสมบัติของน้ำยาทั้งสองนี้ จึงทำให้ลักษณะที่ขอบของน้ำยา ส่วนที่เหลือแตกต่างกันไป อันเนื่องมาจากปรากฏการณ์การบ่ยเลี้ยว (diffraction) และการสะท้อน (reflection) ของแสง ฉะนั้นน้ำยาชนิดบวกจะให้ความคมมากกว่าชนิดลบ แต่เนื่องจากน้ำยาชนิดบวกเกาะผิว SiO_2 ฉะนั้นน้ำยาชนิดนี้จึงใช้เฉพาะเมื่อกัด A1 เท่านั้น อีกประการหนึ่ง หากมีฝุ่นละอองเกาะบนผิวหน้าของแผ่นแก้วภาพหน้ากากจะทำให้เกิดเป็นรูเล็ก ๆ (pinholes) ในน้ำยาลบส่วนที่เหลือได้ อันจะเป็นผลเสียหายซึ่งต่างกันในกรณีของน้ำยา บวก เพราะถึงแม้จะมีฝุ่นละอองบังแสงบ้างก็ไม่เกิดผลเสียหายมากนัก (เพราะส่วนที่เหลือค้างอยู่เล็กน้อยเหล่านี้อาจหลุดไปพร้อม ๆ กับเวลาล้างน้ำยาหรือถูกกรดกัดออกไปตอนกัดออกไซด์) สารประกอบของน้ำยาไวแสงอาจเป็นยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์ (natural or synthetic rubber) ซึ่งเป็นโพลีวินิล ซินนามเมท (polyvinyl cinnamate) ในน้ำยาลบและโนโวแลก คลินนอน ไดอะโซเนียม (novolac quinon diazonium) ในน้ำยาบวก ส่วนชื่อที่เรียก ในการซื้อขายตามท้องตลาดได้แก่ KPR (สำหรับ SiO_2 และ A1) (สำหรับ SiO_2 และแผ่นฟิล์มโลหะ) KMER (สำหรับโลหะและแก้ว (glass)) KOR (สำหรับโลหะ) ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นน้ำยาลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ขั้นตอนการอบขั้นต้น โดยการอบในเตาอบอุณหภูมิต่ำพอเหมาะ

หลังจากเคลือบแล้ว เราต้องนำแผ่นซิลิกอนที่เคลือบน้ำยานี้ไปที่อุณหภูมิพอเหมาะ (กล่าวคืออุณหภูมิที่ไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนคุณสมบัติของน้ำยา (polymerization reaction) การอบก็เพื่อทำให้น้ำยาแห้งมีฉนวนกันน้ำอาจไปเกาะผิวแผ่นแก้วภาชนะที่แนบลงไป การอบครั้งนี้เรียกว่า อบครั้งแรก (prebaking) หลังจากผ่านกระบวนการล้างน้ำยาแล้วต้องอบอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้น้ำยาแห้งเกาะแผ่นกับผิวออกไซด์ของแผ่นซิลิกอน และทนต่อสารเคมีที่ใช้กัดออกไซด์ต่อไป อุณหภูมิในการอบครั้งนี้สูงกว่าครั้งแรกแต่ต้องไม่สูงจนเกินไปเพราะจะสร้างรอยแตกของแผ่นน้ำยาได้ การอบครั้งนี้เรียกว่า อบครั้งหลัง (postbaking) เวลาและอุณหภูมิในการอบแต่ละครั้งขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำยาไวแสง เช่น ในกรณี KPR หรือ KTRF ใช้ 10-20 นาที ที่ 80°C ในการอบครั้งแรก และ 10 นาที ที่ $100-120^{\circ}\text{C}$ ในการอบครั้งหลัง

2.2.4 ขั้นตอนการปรับซ็อนมาส์ก

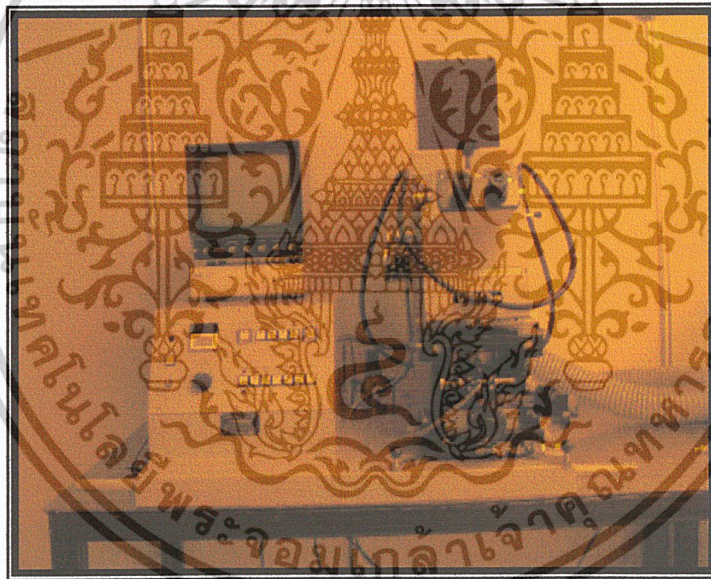
การปรับซ็อนมาส์กและฉายแสง เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดของกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี ซึ่งเป็นขั้นตอนการถ่ายลวดลายบนกระจกโฟโตมาส์กลงไปบนชั้นฟิล์มของน้ำยาไวแสงที่ผิวของแผ่นผลึกซิลิกอน

2.2.4.1 ขั้นตอนการปรับซ็อนมาส์ก (Mask alignment)

การฉายแสงผ่านกระจกโฟโตมาส์ก ซึ่งปกติถูกวางทาบทับลงไปบนแผ่นผลึก ที่เคลือบน้ำยาไวแสง ในกรณีที่กระจกโฟโตมาส์กชิ้นแรก หรือมาส์กที่ 1 สามารถทำได้โดยไม่ต้องมีการปรับซ็อนมาส์ก ทั้งนี้เนื่องจาก ยังไม่ได้มีการสร้างส่วนหนึ่งส่วนใดของวงจรรวมบนแผ่นผลึกเลย แต่ในกรณีที่แผ่นผลึกนั้น ได้ผ่านการสร้างส่วนของวงจรรวมมาบ้างแล้ว การจะสร้างส่วนใหญ่ต่อไปจำเป็นต้องสร้างให้อยู่ในตำแหน่งหรือบริเวณที่ถูกต้อง เพื่อให้ได้โครงสร้างของวงจรรวมตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังนั้น การใช้กระจกโฟโตมาส์ก ตั้งแต่มาส์กที่ 2 เป็นต้นไป ก่อนการฉายแสงจะต้องมีการปรับซ็อนมาส์ก เพื่อให้ได้ลวดลายบนกระจกมาส์กซ้อนทับกับลวดลายที่มีอยู่บนแผ่นผลึกอย่างถูกต้อง ในที่สุดของกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี จะทำให้สามารถเปิดชั้นของออกไซด์ที่ตำแหน่งถูกต้อง โครงสร้างของวงจรรวมจึงเป็นไปตามที่ออกแบบและถูกต้อง เนื่องจากภาพลวดลายของวงจรรวมมีขนาดเล็กมาก ดังนั้นการปรับซ็อนจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ช่วย ซึ่งเรียกว่า เครื่องปรับซ็อนมาส์ก (mask aligner) ซึ่งอาศัยหลักการง่าย ๆ คือ แผ่นผลึกจะถูกวาง และติดกับแผ่นเลื่อน ซึ่งสามารถปรับให้เลื่อนในแนวนอน (x) แนวตั้งฉาก (y) และแนวสูง (z) ได้ การปรับเลื่อนนี้ทำได้ด้วยทั้งแนว x, y และ z นอกจากนี้ยังปรับหมุนแผ่นผลึกได้โดยรอบ โดยใช้โครมิเตอร์ที่มีความละเอียดสูง ส่วนกระจกโฟโตมาส์กถูกยึดให้อยู่นิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหนือแผ่นฟิล์มเล็กน้อย และการใช้กล้องจุลทรรศน์ ทำการสังเกตภาพลวดลาย ที่ปรากฏทั้งบนแผ่นฟิล์มและโฟโตมาส์ก์ พร้อมกับทำการปรับเลื่อนทั้งแกน x , y , z และมุม θ จนกระทั่งภาพลวดลายที่ปรากฏบนแผ่นฟิล์ม และบนโฟโตมาส์ก์ซ้อนกันลงตรงตำแหน่งที่ถูกต้อง จากนั้นจึงปรับให้แผ่นฟิล์มเลื่อนสูงขึ้นในแนวแกน z จนแนบสนิท กับกระจกโฟโตมาส์ก์ ในกรณีที่ลวดลายมีขนาดใหญ่พอที่จะสังเกตได้ การปรับเลื่อนภาพนี้ จะสามารถทำได้โดยสังเกตจากลวดลายของวงจรรวมโดยตรง แต่โดยทั่วไป ภาพลวดลายของวงจรรวมมีขนาดเล็กมาก นอกจากนี้ยังมีจำนวนมากอีกด้วย จึงเป็นการยาก ที่จะทำการปรับเลื่อนโดยสังเกตจากภาพลวดลายของวงจรรวม ในทางปฏิบัติ เพื่อให้การปรับเลื่อนทำได้ง่าย จึงมีการใช้ภาพลวดลาย ซึ่งออกแบบขึ้นเพื่อใช้สำหรับการปรับเลื่อนมาส์ก์โดยเฉพาะ และเรียกว่า เครื่องหมายปรับเลื่อน (alignment mark) ซึ่งอาจเป็นภาพจัตุรัสในกล่องสี่เหลี่ยม, กากบาทในสี่เหลี่ยม หรือสี่เหลี่ยมในกากบาท ดังแสดงในรูปที่ 2.3



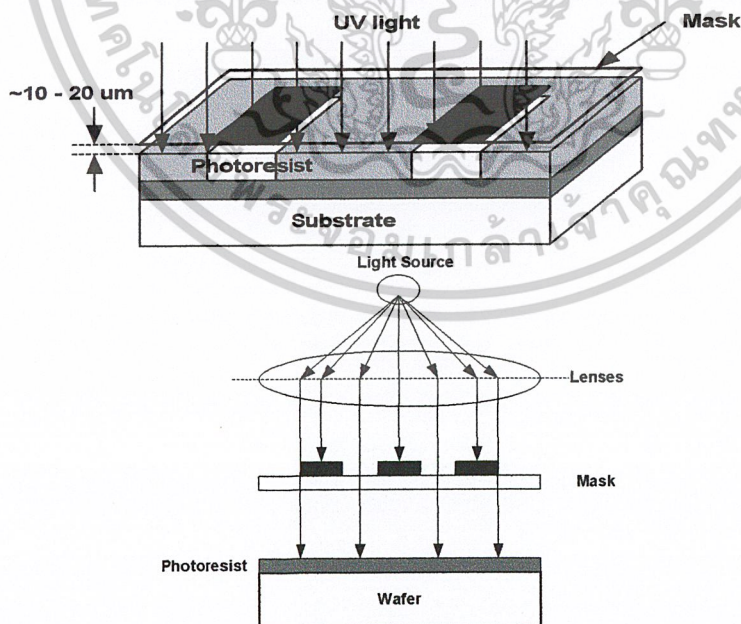
รูปที่ 2.3 เครื่องปรับเลื่อนมาส์ก์ (mask aligner)

2.2.5 ขั้นตอนการฉายแสงและการล้างน้ำยาไวแสง

เมื่อทำการปรับเลื่อนภาพระหว่างกระจกโฟโตมาส์ก์และแผ่นฟิล์มเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การฉายแสง ผ่านกระจกโฟโตมาส์ก์ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีแสงขึ้นที่ชั้นน้ำยาไวแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกติน้ำยาไวแสงที่ใช้ในเทคนิคโฟโตลิโทกราฟี สำหรับกระบวนการสร้างวงจรรวมจะมีความไวต่อแสง ที่มีความยาวคลื่น (λ) ในช่วง 300-500 นาโนเมตร ซึ่งแสงที่เรามองเห็นเป็นสีม่วงและสีน้ำเงินนั่นเอง ดังนั้นในห้องปฏิบัติการเทคนิคโฟโตลิโทกราฟี จึงสามารถใช้แสงสีเหลืองได้ เพราะแสงสีเหลืองมีความยาวคลื่นมากกว่า 500 นาโนเมตร ซึ่งจะไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำยาไวแสง แต่ถ้าเป็นฟิล์มถ่ายรูปจะต้องใช้แสงในห้องที่มีสีแดงเท่านั้น แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้กันโดยทั่วไปได้จากหลอดไอปรอท ซึ่งหลอดนี้ให้เส้นสเปกตรัมที่มีความเข้มสูง ที่ความยาวคลื่นราว 310, 365, 405 และ 440 นาโนเมตร ตามลำดับ และจากการศึกษา พบว่าน้ำยาไวแสงชนิดลบจะมีความไวสูงสุดใกล้กับเส้นสเปกตรัม 405 นาโนเมตร และน้ำยาไวแสงชนิดบวก จะมีความไวสูงสุด ใกล้กับเส้นสเปกตรัม 365 นาโนเมตร จากสเปกตรัมแสงความยาวคลื่นประมาณ 400 นาโนเมตร ถูกเรียกว่า near ultraviolet wave lengths หรือ near UV ซึ่งเป็นแสงสำหรับเทคนิคโฟโตลิโทกราฟี โดยทั่วไป สำหรับความยาวคลื่นที่ต่ำกว่านี้เราเรียกว่า far ultraviolet wave lengths หรือ far UV จากการศึกษาพบว่าการพิมพ์ภาพที่มีขนาดเล็ก ๆ จำเป็นต้องใช้แสงที่มีความยาวคลื่นสั้น ๆ เช่น ขนาดราว 2 ไมโครเมตร ต้องใช้คลื่น far UV ราว 100-200 นาโนเมตร นอกจากนี้ ยังสามารถใช้คลื่นรังสีเอ็กซ์ (X-ray) และลำอิเล็กตรอน (electron beam) มาใช้แทนแสงได้ด้วย ทำให้สามารถพิมพ์ภาพลวดลาย วงจรรวมที่มีขนาดเล็กมากได้ ซึ่งเทคนิคนี้ถูกเรียกว่า X-ray photolithography และ electron beam lithography อย่างไรก็ตาม น้ำยาไวแสงที่ใช้ต้องแยกต่างจากธรรมดา เพราะรังสีเอ็กซ์ และลำอิเล็กตรอน มีพลังงานสูงกว่าแสง near UV ที่ใช้กับน้ำยาไวแสงปกติ



รูปที่ 2.4 การฉายแสง (exposure)

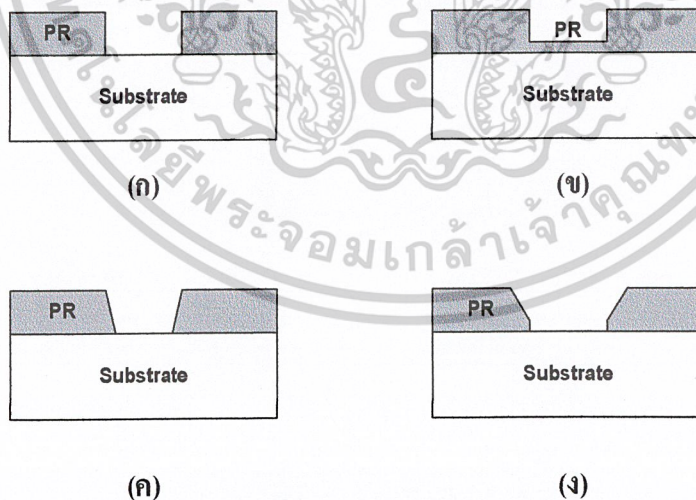
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 ขั้นตอนการขึ้นลวดลายของน้ำยาไวแสง (Development)

หลังจากผ่านกระบวนการฉายแสงแล้ว จะทำการขึ้นลวดลายของน้ำยาไวแสงซึ่งจะเป็นการกำจัดน้ำยาไวแสงในส่วนที่ไม่ต้องการออกไปและคงเหลือฟิล์มน้ำยาไวแสงในส่วนที่ต้องการไว้ลวดลายที่เหลืออยู่บนแผ่นผลึกซิลิคอนคือลวดลายที่ถูกกำหนดโดยกระจกโฟโตมาส์กนั่นเอง

กระบวนการขึ้นลวดลายของน้ำยาไวแสงทำได้โดย การล้างด้วยน้ำยาดีเวลอปเปอร์ (developer) หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ (Deionized water : DI water) เพื่อหยุดการล้างฟิล์มแล้วทำแผ่นผลึกซิลิคอนให้แห้ง

น้ำยาไวแสงชนิดบวกเมื่อผ่านการล้างฟิล์มน้ำยาไวแสงแล้ว บริเวณที่ถูแสงจะถูกล้างด้วยน้ำยาดีเวลอปเปอร์ออกไป ส่วนน้ำยาไวแสงชนิดลบ บริเวณที่ไม่ถูแสงจะถูกล้างด้วยน้ำยาดีเวลอปเปอร์ออกไป น้ำยาไวแสงแต่ละชนิดจำเป็นต้องใช้น้ำยาดีเวลอปเปอร์ที่ต่างกัน และต้องใช้อุณหภูมิที่ต่างกันด้วย ซึ่งในกระบวนการล้างฟิล์มน้ำยาไวแสงนี้การควบคุมอุณหภูมิถือเป็นเรื่องสำคัญเนื่องจากการล้างฟิล์มน้ำยาไวแสงเป็นกระบวนการทางเคมี จึงมีความไวต่ออุณหภูมิทำให้ต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ในระหว่างกระบวนการ ถ้าอุณหภูมิสูงปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นเร็วทำให้เกิดการล้างฟิล์มมากเกินไปลวดลายจะเกิดความเสียหาย ถ้าอุณหภูมิต่ำปฏิกิริยาเคมีเกิดช้าทำให้เกิดการตกค้างของฟิล์มที่ไม่ต้องการ



รูปที่ 3.9 ผลที่ได้จากการล้างฟิล์มน้ำยาไวแสงแบบต่าง ๆ

(ก) Normal development (ข) Incomplete development

(ค) Under development (ง) Over development

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.7 ขั้นตอนการอบครั้งหลัง (Post bake)

เป็นกระบวนการให้ความร้อนเพื่อกำจัดตัวทำละลายหรือ โมเลกุลของน้ำที่เหลืออยู่บนชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงออกไป ทำให้ชั้นฟิล์มของน้ำยาไวแสงที่อยู่บนผิวหน้าของแผ่นผลึกซิลิกอนแห้งตัวมากขึ้นและยึดติดกับผิวหน้าของแผ่นผลึกซิลิกอนดียิ่งขึ้น

ขั้นตอนการอบ Post bake เหมือนกับขั้นตอนการอบ Pre bake และวิธีที่นิยมใช้คือการใช้แผ่นความร้อนเช่นเดียวกับการอบ Pre bake แต่จะแตกต่างกันตรงที่อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ Post bake จะสูงกว่า คืออบที่อุณหภูมิ 100-130°C ใช้เวลาในการอบ 1-2 นาที ซึ่งทั้งอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบจะขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำยาไวแสงที่เลือกใช้

การอบ Post bake จะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและเวลา เนื่องจากถ้าใช้อุณหภูมิต่ำและเวลาน้อยเกินไป จะมีผลต่อการยึดเกาะของน้ำยาไวแสง ความแข็งแรงของน้ำยาไวไม่เพียงพอ ถ้าใช้อุณหภูมิสูงและเวลานานเกินไปจะทำให้น้ำยาไวแสงเสื่อมได้



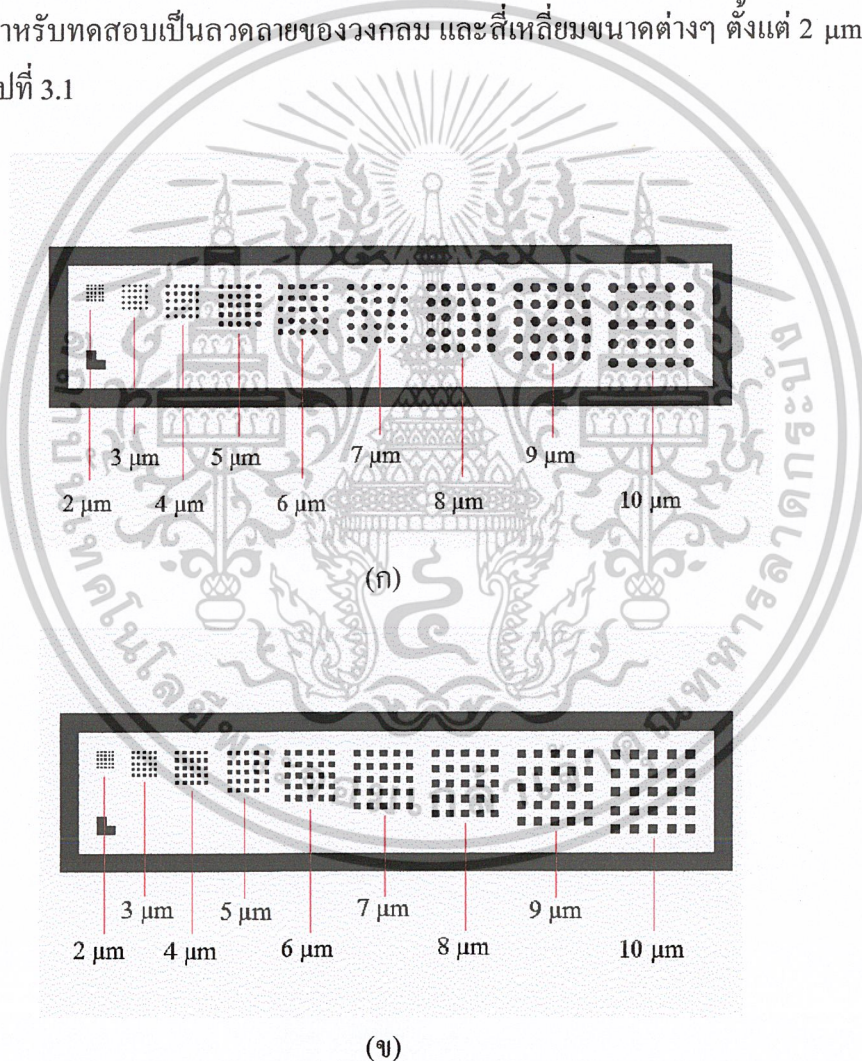
บทที่ 3

ลวดลายและเครื่องมือสำหรับการทดสอบ

3.1 ลวดลายสำหรับการทดสอบ

3.1.1 ลวดลายสำหรับตรวจสอบขนาดและช่องว่างของหน้าสัมผัส (contact)

การตรวจสอบขนาดและช่องว่างของหน้าสัมผัสทำได้โดยตรวจสอบคุณสมบัติของลักษณะวงกลม (หลุมหรือทรงกระบอก) ลักษณะสี่เหลี่ยม (เช่น Via, Pad, Contact Cut) ซึ่งมีลวดลายที่ใช้สำหรับทดสอบเป็นลวดลายของวงกลม และสี่เหลี่ยมขนาดต่างๆ ตั้งแต่ 2 μm ถึง 10 μm แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลวดลายสำหรับตรวจสอบขนาดและช่องว่างของหน้าสัมผัส (contact)

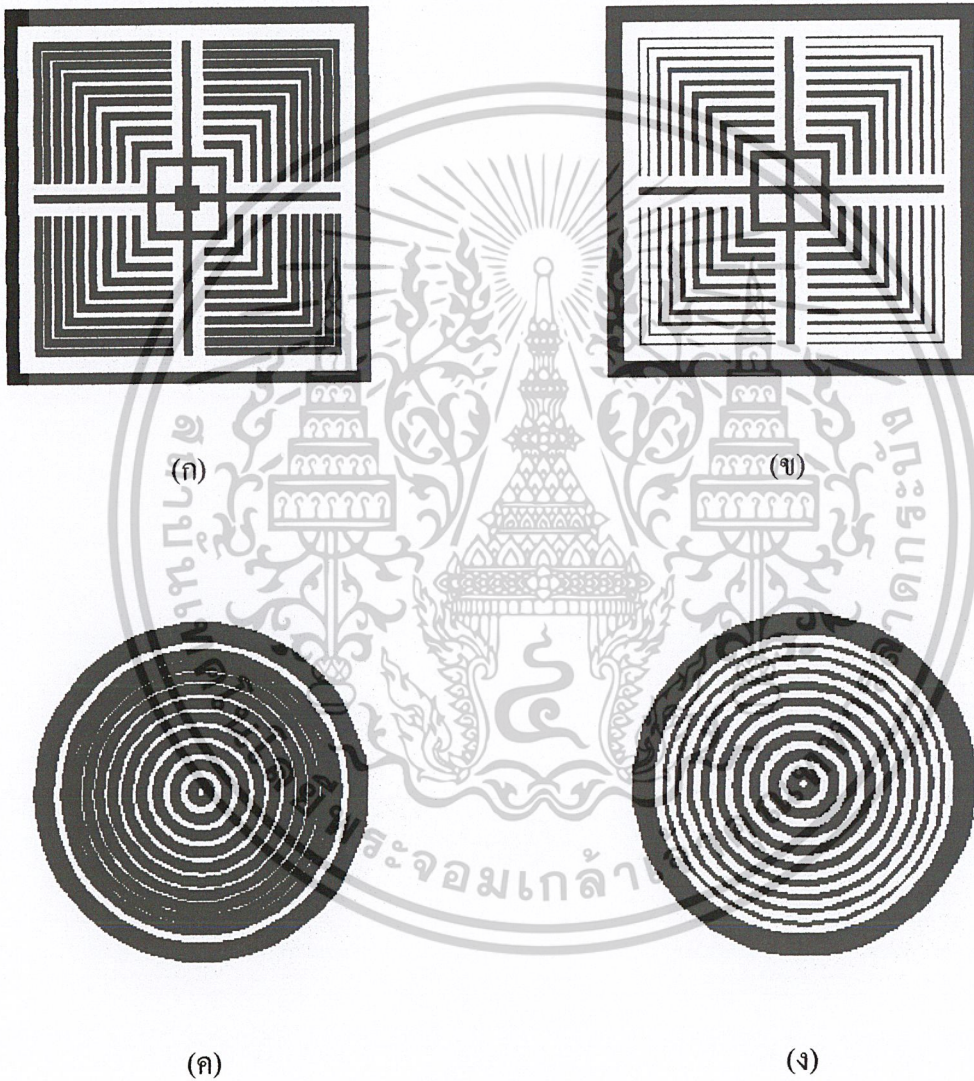
(ก) ลวดลายตรวจสอบลักษณะวงกลม

(ข) ลวดลายตรวจสอบลักษณะสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ลวดลายสำหรับตรวจสอบ การตั้งฉาก และความโค้ง

การตรวจสอบดูความสมบูรณ์และความคมชัดของลวดลายจะต้องดูลักษณะการตั้งฉากและความโค้งของลวดลายด้วย ซึ่งลวดลายที่จะใช้ตรวจสอบแสดงดังรูปที่ 4.2 เป็นลวดลายที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงมุมฉาก และเส้นโค้งวงกลม แบบต่างๆ ที่มีขนาดของลวดลาย และขนาดของช่องว่าง ตั้งแต่ $1\ \mu\text{m}$ ถึง $10\ \mu\text{m}$



รูปที่ 3.2 ลวดลายสำหรับตรวจสอบการตั้งฉาก และความโค้ง แบบต่างๆ

(ก) เส้นตรงมุมฉากมีลวดลายขนาด $10\ \mu\text{m}$ ขนาดช่องว่างแปรค่า $2-10\ \mu\text{m}$

(ข) เส้นตรงมุมฉากมีช่องว่างขนาด $10\ \mu\text{m}$ ขนาดลวดลายแปรค่า $2-10\ \mu\text{m}$

(ค) เส้นโค้งวงกลมมีลวดลายขนาด $10\ \mu\text{m}$ ขนาดช่องว่างแปรค่า $2-10\ \mu\text{m}$

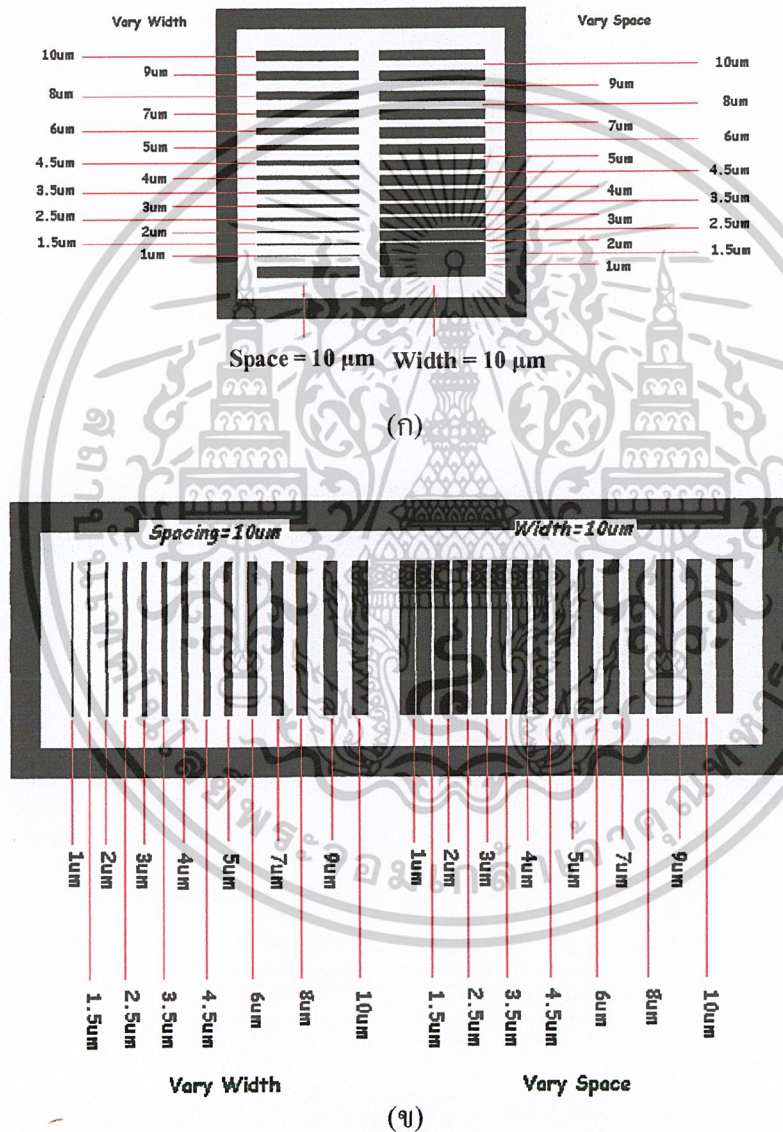
(ง) เส้นโค้งวงกลมมีช่องว่างขนาด $10\ \mu\text{m}$ ขนาดลวดลายแปรค่า $2-10\ \mu\text{m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ลวดลายสำหรับตรวจสอบขนาดและช่องว่างของเส้นตรง

การตรวจสอบขนาดและช่องว่างของเส้นตรง นั้นจะใช้ลวดลายสำหรับตรวจสอบเพื่อให้เห็นชัดว่าสามารถสร้างลวดลายที่มีความคมชัดสมบูรณ์ ได้เล็กที่สุดที่ระดับใด ลวดลายที่ใช้ตรวจสอบแสดงดังรูปที่ 4.3 เป็นลวดลายที่มีขนาดของลวดลาย และขนาดของช่องว่าง ซึ่งมีค่าต่างๆ คือ $1\ \mu\text{m}$, $1.5\ \mu\text{m}$, $2\ \mu\text{m}$, $2.5\ \mu\text{m}$, $3\ \mu\text{m}$, $3.5\ \mu\text{m}$, $4\ \mu\text{m}$, $4.5\ \mu\text{m}$, $5\ \mu\text{m}$, $6\ \mu\text{m}$, $7\ \mu\text{m}$, $8\ \mu\text{m}$, $9\ \mu\text{m}$ และ $10\ \mu\text{m}$



รูปที่ 3.3 ลวดลายสำหรับตรวจสอบขนาดและช่องว่างของเส้นตรง

ที่แปรค่าของขนาดของเส้นและขนาดของช่องว่าง

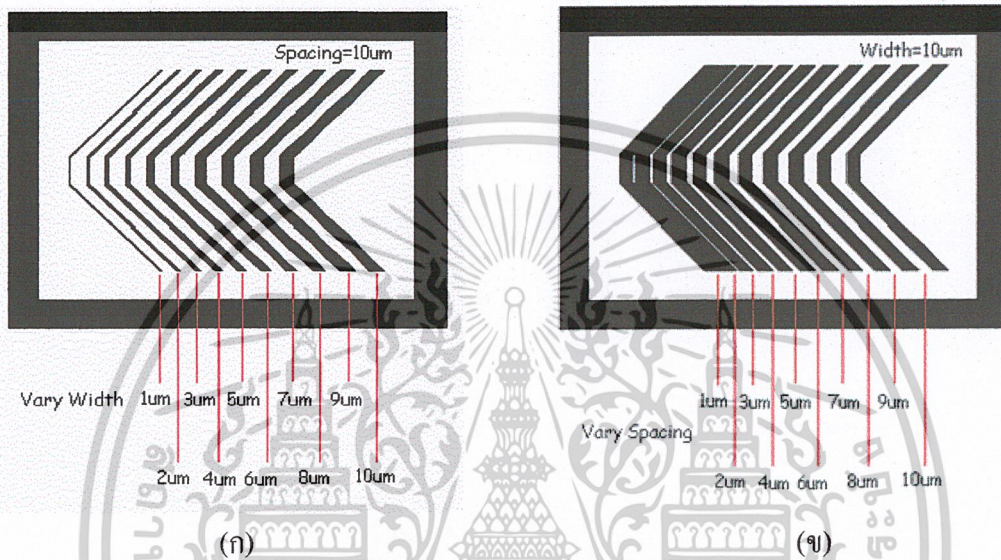
(ก) เส้นตรงแนวนอน

(ข) เส้นตรงแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 ลวดลายสำหรับตรวจสอบขนาดและช่องว่างของเส้นตรงเอียง

การตรวจสอบดูความสมบูรณ์และความคมชัดของลวดลายที่มีลักษณะเอียงนั้น จะใช้ลวดลายเส้นตรงในลักษณะทำมุม 45 องศา ที่มีขนาดเส้นตรง และขนาดช่องว่าง ตั้งแต่ 1 μm ถึง 10 μm สำหรับตรวจสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 3.4 ลวดลายตรวจสอบขนาดและช่องว่างของเส้นตรงเอียง

(ก) ขนาดของลวดลายแปรค่าตั้งแต่ 2-10 μm ช่องว่างขนาดคงที่ 10 μm

(ข) ขนาดของช่องว่างแปรค่าตั้งแต่ 2-10 μm ลวดลายขนาดคงที่ 10 μm

3.2 เครื่องมือสำหรับการทดสอบ

3.2.1 กล้องจุลทรรศน์ (microscope)

การตรวจสอบแผ่นฟลิคซิลิคอนระหว่างทำกระบวนการ เพื่อตรวจสอบดูความสมบูรณ์และความคมชัดของลวดลายที่ได้ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงตรวจดูหลังจากผ่านขั้นตอนการขึ้นลวดลาย (development) , การสกัด(etching) และ การลอกฟิล์มน้ำยาไวแสง (resist strip) ซึ่งกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ส่องตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์

3.2.2 เครื่องวัดความหนาของฟิล์ม

ในกระบวนการสร้างวงจรรวมนั้น ในบางขั้นตอนจะมีการวัดความหนาของชั้นฟิล์มบางชนิดต่างๆ เช่น ความหนาของชั้นออกไซด์ ความหนาของชั้นไนไตรด์ ความหนาของชั้นน้ำยาไวแสง เป็นต้น เพื่อตรวจสอบว่าได้ความหนาตามที่ต้องการหรือไม่ ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการตรวจสอบความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง ด้วยเครื่องวัดความหนาของฟิล์มบาง (Automatic Thin Film Measurement) รุ่น TFM-120 ซึ่งเครื่องวัดความหนาของฟิล์มบางนี้อาศัยหลักการทางแสงและค่าดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางต่างๆ ในการคำนวณความหนาของฟิล์มบาง



รูปที่ 3.6 ภาพถ่ายของเครื่องวัดความหนาของฟิล์มรุ่น TFM-120

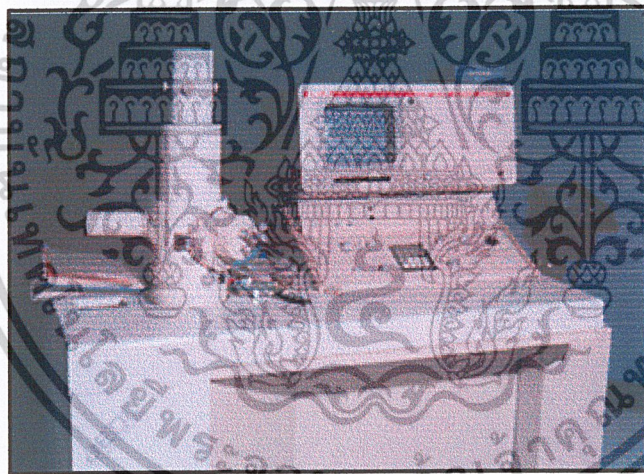
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope) หรือ SEM เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์พื้นผิวและศึกษาโครงสร้างของวัสดุ มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในหลายสาขาวิชา โดยมีจุดเด่นที่สำคัญอยู่ 2 ประการ คือ

1. สามารถให้รูปที่มีความชัดลึกสูง (high depth of field)
2. สามารถให้กำลังแยกแยะเชิงระยะสูง (high special resolution)

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) ก็เพื่อศึกษาภาพตัดขวางของลวดลายที่ได้สร้างขึ้นโดยเครื่อง SEM ที่ใช้เป็นเครื่องของบริษัท JEOL รุ่น JSM6301F ซึ่งเป็นกล้องที่ใช้แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนแบบ โคลด์ฟิลด์อิเล็กตรอน (cold field electron gun) ทำให้มีความสว่างสูง สามารถให้กำลังแยกแยะได้สูงมากในระดับ 1.4 nm ที่ 30 KV และมีกำลังขยายสูงสุดถึง 200,000 เท่า



รูปที่ 3.7 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM)

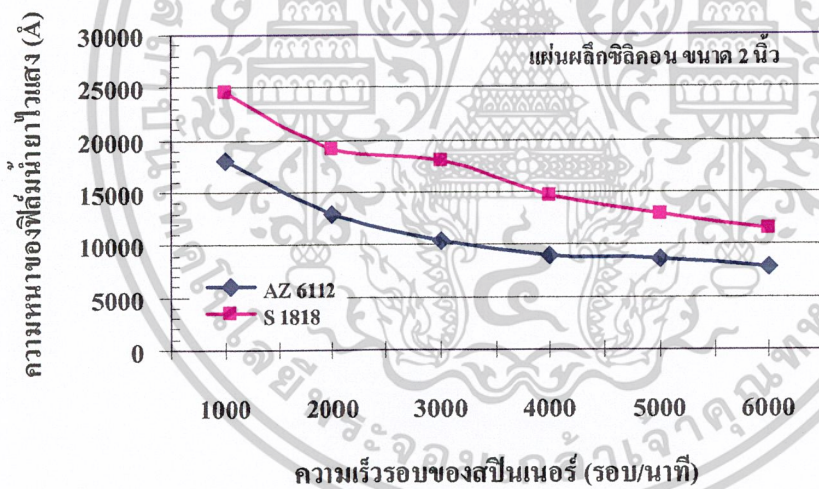
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี

4.1 การทดลองการ spin เพื่อเลือกน้ำยาไวแสง

ในการทดลองนี้จะทำการศึกษาว่าน้ำยาไวแสงแต่ละชนิดจะให้ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงเหมือนกันหรือไม่ภายใต้เงื่อนไขความเร็วรอบของสปินเนอร์และปริมาณน้ำยาไวแสงเดียวกัน คอยทำการทดลองเปรียบเทียบกันระหว่างน้ำยาไวแสง 2 ชนิด คือ น้ำยาไวแสง เบอร์ AZ6112 และน้ำยาไวแสงเบอร์ S1818 ซึ่งอาศัยผลการทดลองจากการทดลองของน้ำยาไวแสงเบอร์ AZ6112 จากการทดลอง ผลการทดลองของน้ำยาไวแสงเบอร์ S1818 จากการทดลอง เมื่อทำการเปรียบเทียบกันระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงทั้ง 2 ชนิด ซึ่งแสดงค่าดังรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าชั้นความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงที่สร้างจากน้ำยาไวแสงเบอร์ S1818 จะมีความหนามากกว่าชั้นความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงที่สร้างจากน้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 เสมอ



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงกับความเร็วยรอบของสปินเนอร์ เมื่อใช้น้ำยาไวแสงแต่ละชนิด ในปริมาณ 0.75 ลบ.ซม.

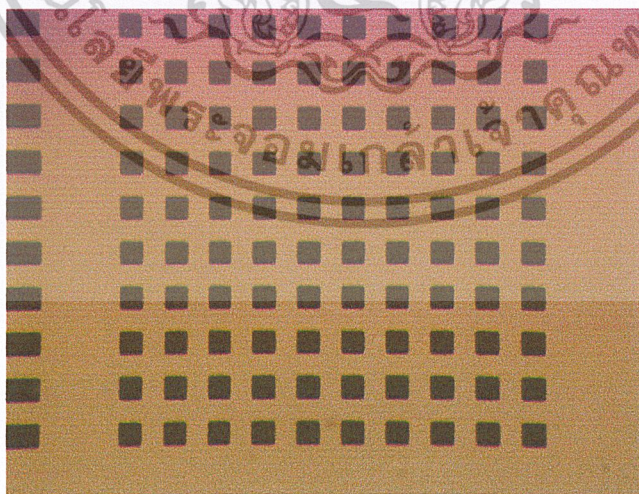
จากกราฟ จะต้องเลือกใช้น้ำยาไวแสง AZ 6112 และใช้ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อวินาที จึงสามารถเคลือบน้ำยาไวแสงได้ความหนาน้อยกว่า 15,000 Å

4.2 กระบวนการPre bake

เนื่องจากการเคลือบผิวหน้าด้วย photo resist แบบ positive แล้วแผ่นผลึกซิลิกอนจะเข้าสู่กระบวนการให้ความร้อน เพื่อให้ตัวทำละลายในน้ำยาไวแสงระเหยออกไป แล้วน้ำยาไวแสงจะเปลี่ยนลักษณะของเหลวไปสู่ของแข็ง และมีสภาพการยึดติดผิวดีขึ้น โดยใช้อุณหภูมิในการทดลองนี้คือ 90 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 30 นาที อุณหภูมิกับเวลาต้องสัมพันธ์กัน ถ้าอุณหภูมิสูง เวลานานจะทำให้ฟิล์มไหม้ได้ แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำ เวลาน้อยก็จะทำให้ฟิล์มไม่แห้งและยึดเกาะผิวไม่ดี หลังจากอบแล้วความหนาของฟิล์มจะลดลง 10-20% และจะมีตัวทำละลายเหลืออยู่ 5-20%

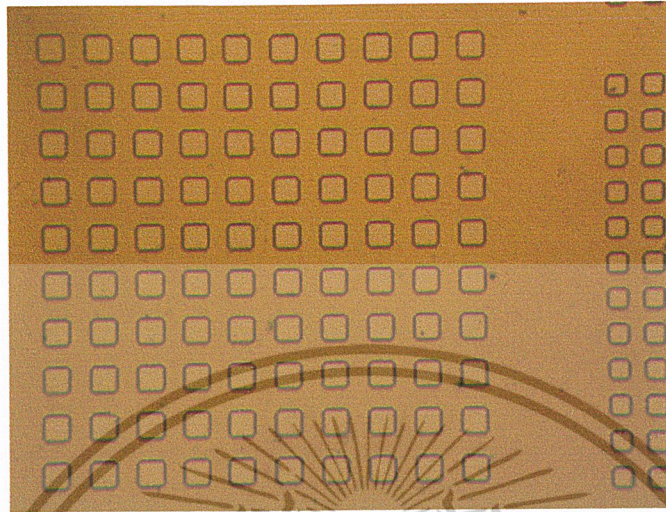
4.3 กระบวนการฉายแสง

กระบวนการฉายแสง คือ การฉายแสงผ่านโฟโตมาสก์ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นที่ชั้นของน้ำยาไวแสง โดยในการทดลองนี้เราใช้น้ำยาไวแสง AZ 6112 ซึ่งเป็นน้ำยาไวแสงชนิดบวก ซึ่งโดยปกติน้ำยาไวแสงที่ใช้ในเทคนิคโฟโตลิโทกราฟี สำหรับกระบวนการสร้างวงจรรวม มีความยาวคลื่นในช่วง 300 – 500 nm ซึ่งน้ำยาไวแสงชนิดลบ มีความไวสูงสุดใกล้กับเส้นสเปกตรัม 405 nm และน้ำยาไวแสงชนิดบวก มีความไวสูงสุดใกล้กับเส้นสเปกตรัม 365 nm ซึ่งในการทดลองนี้เราจะทำการ vary ของเวลาเพื่อที่จะหาเวลาที่เหมาะสมที่สุด ในการฉายแสงเพื่อที่จะได้ลวดลายที่ใกล้เคียงกระจกมาสก์มากที่สุด

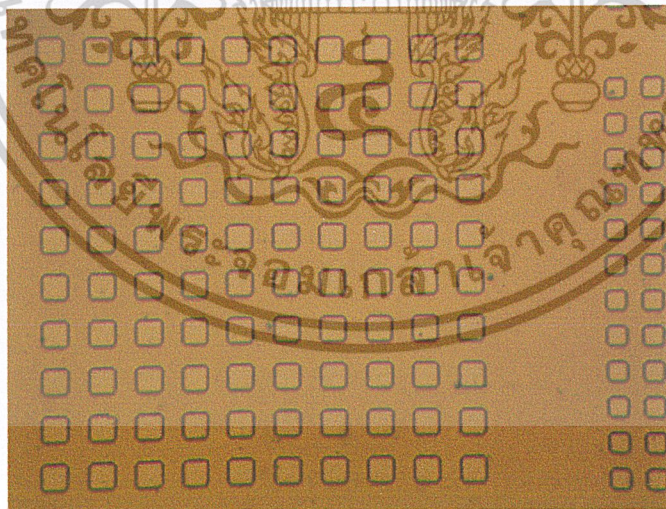


รูปที่ 4.2 ลวดลายบนกระจกมาสก์ต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

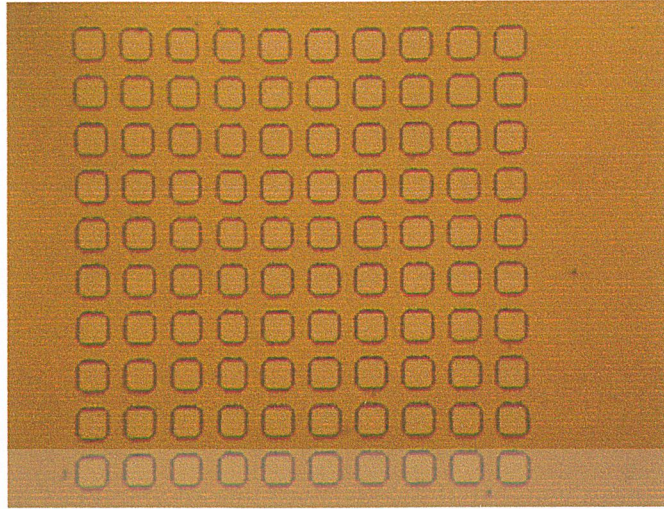


รูปที่ 4.3 ระยะเวลาในการฉายแสง 8 วินาที



รูปที่ 4.4 ระยะเวลาในการฉายแสง 15 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



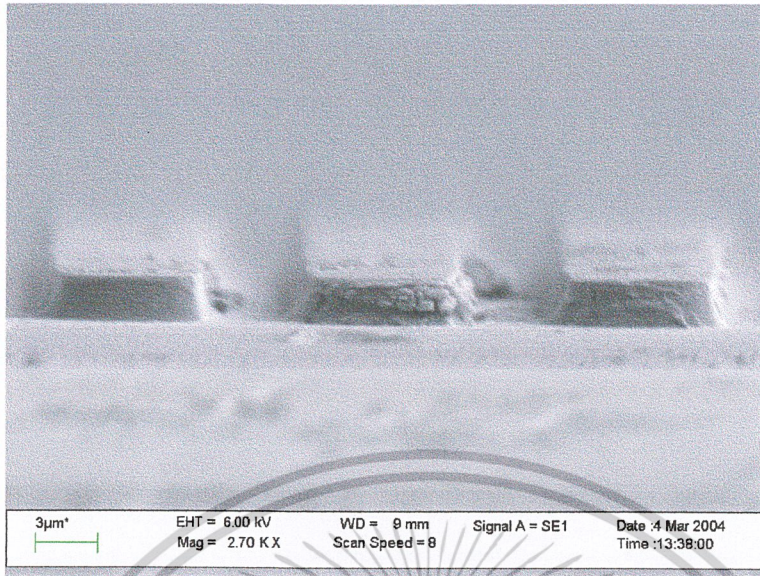
รูปที่ 4.5 ระยะเวลาในการฉายแสง 20 วินาที

หลังจากที่ฉายแสงแล้ว ที่เวลา 8 วินาทีเราจะได้ลวดลายที่ใกล้เคียงกับลวดลายบนกระจกมากที่สุดมากที่สุด โดยที่เวลา 15 วินาทีนั้นสังเกตว่าบริเวณขอบของลวดลายจะเริ่มโค้ง ไม่คมชัด และที่เวลา 20 วินาทีลวดลายที่ได้จะเริ่มโค้งมากขึ้นกว่าเดิม ทำให้ลวดลายที่ได้ไม่คมชัดมากขึ้น ในการทดลองนี้น้ำยาไวแสงได้เคลือบอยู่บนอลูมิเนียม แต่จากการทดลองที่น้ำยาไวแสงชนิดเดียวกันแต่เคลือบอยู่บนซิลิกอนไดออกไซด์จะใช้เวลาในการฉายแสง 10 วินาทีซึ่งจะทำให้ได้ลวดลายที่อยู่บนฟิล์มนั้น ใกล้เคียงกับลวดลายที่อยู่บนกระจกมากที่สุดซึ่งในกรณีนี้อาจเป็นเพราะว่าอลูมิเนียมมีการสะท้อนของแสงได้ดีกว่าซิลิกอนไดออกไซด์จึงทำให้ระยะเวลาในการฉายแสงนั้นน้อยกว่า

4.4 กระบวนการDevelopment

จะเป็นการขึ้นลวดลายของน้ำยาไวแสงซึ่งเป็นการกำจน้ำยาไวแสงในส่วนที่ไม่ต้องการออกไปและยังคงเหลือฟิล์มของน้ำยาไวแสงในส่วนที่ต้องการไว้ ลวดลายที่เหลืออยู่คือลวดลายที่อยู่บน photomask นั้นเอง กระบวนการขึ้นลวดลายของน้ำยาไวแสงทำได้โดย การล้างด้วยน้ำยาดิวเวลอปเปอร์ โดยเราใช้น้ำยา AZ 300 MIF หลังจากนั้นเราล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ (DI Water) เพื่อหยุดการล้างฟิล์มแล้วทำให้ผลึกซิลิกอนแห้ง ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการ Developer คืออุณหภูมิห้องนั่นเอง คือ 24 องศาเซลเซียส เนื่องจากในกระบวนการล้างฟิล์มน้ำยาไวแสงนี้ การควบคุมอุณหภูมิจึงเป็นเรื่องสำคัญเนื่องจากการล้างฟิล์มของน้ำยาไวแสงเป็นกระบวนการทางเคมี จึงมีความไวต่ออุณหภูมิ ทำให้ต้องควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการและเนื่องจากเราใช้อุณหภูมิห้อง ดังนั้นในการทดลองเราจึงได้ Vary ค่าของเวลา เพื่อที่จะทราบว่าที่อุณหภูมิห้องเวลาในการ developer ระยะเวลาในการ developer นานเท่าไรจึงจะทำให้ลวดลายของฟิล์มออกมาคมชัดที่สุด โดยเราใช้เวลา 20,24,35,50 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

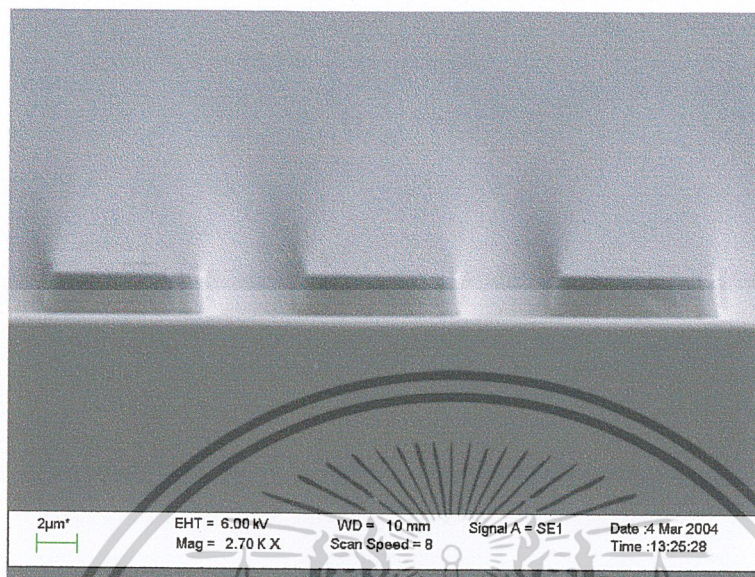


รูปที่ 4.6 การ Developer ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20 วินาที

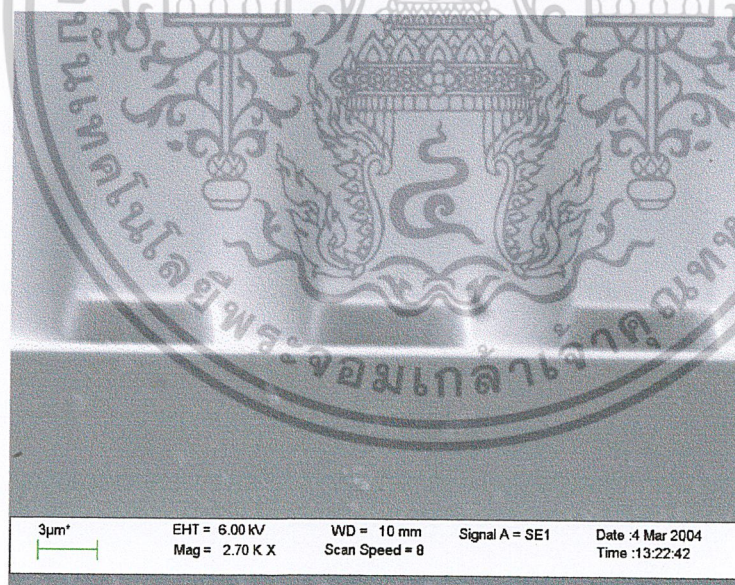


รูปที่ 4.7 การ Developer ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 25 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



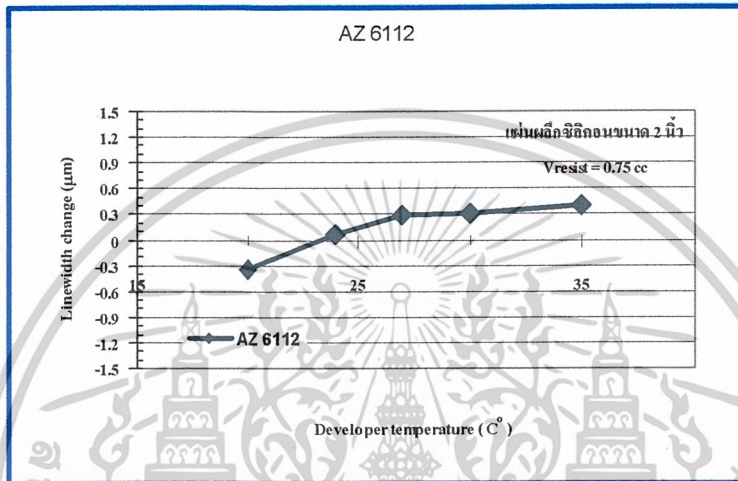
รูปที่ 4.8 การ Developer ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 35 วินาที



รูปที่ 4.9 การ Developer ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 50 วินาที

เนื่องจากเรา Developer ที่อุณหภูมิห้อง 24 องศาเซลเซียสจากรูปเราจะเห็นว่า ที่เวลา 20 วินาที จะเห็นว่า ระยะเวลาสั้นอย่างมากเกินไปทำให้การ developer ทำให้ฟิล์มไม่หมด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 25 วินาที จะเห็นว่า ระยะการ developer นี้ยังน้อยเกินไปทำให้เกิดเป็น under developer เนื่องจากเวลาที่น้อยแต่ยังดีกว่าการใช้เวลา 20 วินาที และ ที่เวลา 35 วินาที เวลานี้จะเป็นเวลาการ developer ที่สมบูรณ์ซึ่งเราเรียกโดยทั่วไปว่า normal developer ส่วนที่เวลา 50 วินาที นั้นเราใช้ระยะเวลาในการ developer มากเกินไปทำให้เกิดการกัดเซาะฟิล์มจากด้านข้างมากเกินไปจนเกิดเป็น over developer



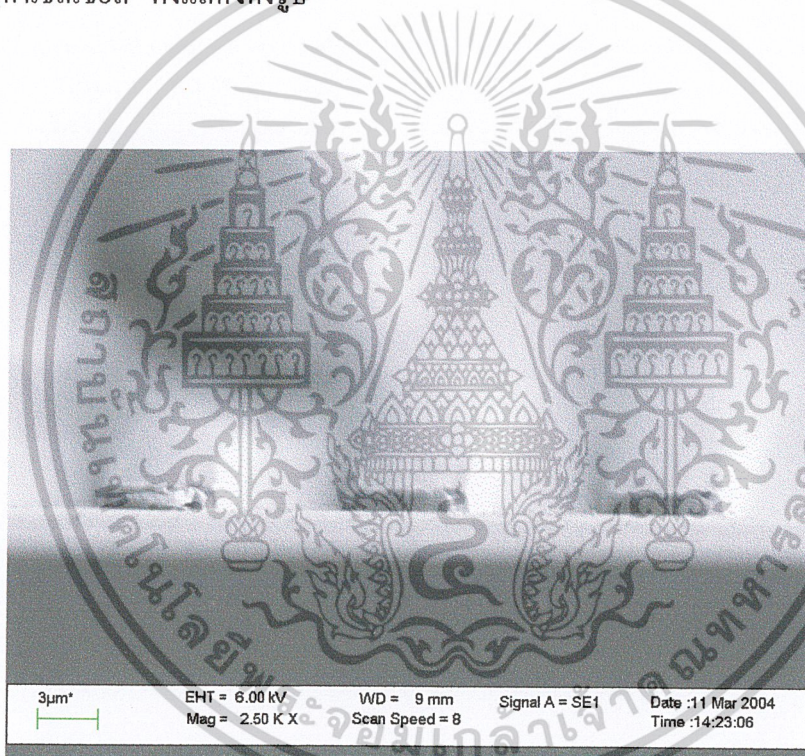
รูปที่ 4.10 กราฟ Developer โดยการ Vary ค่าของอุณหภูมิ

เนื่องจากข้างต้นเราได้แล้วว่าที่เวลา 35 วินาที เราจะได้การ developer เป็นแบบ normal developer ดังนั้นเราจึงทำการ Vary ค่าของอุณหภูมิดูบ้าง โดยเราใช้เวลาในการ developer คือ 35 วินาที จากกราฟเราจะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความกว้างของช่องจากปกติจะต้องเป็น 5 µm แต่จากกราฟความกว้างของช่องเพียงแค่ว่า 4.7 µm แสดงว่ามีการ Developer ของฟิล์มน้อยเกินไปเนื่องจากเราใช้อุณหภูมิในการ Developer น้อยเกินไป ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส เห็นว่าอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ความกว้างของช่องเพิ่มมากขึ้น โดยที่ 27 องศาเซลเซียส ความกว้างของช่อง 5.27 µm และที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความกว้างของช่องเพิ่มมากขึ้นอีกเป็น 5.3 µm และที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เนื่องจากเกิดการ Developer มากจึงมีค่าความกว้างของช่องคือ 5.47 µm ยิ่งอุณหภูมิสูงมากการ Developer ให้ยิ่งมากขึ้น แต่จากกราฟที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส จะมีความกว้างของช่องคือ 5.1 µm ซึ่งใกล้เคียงกับ 5 µm มากที่สุด ซึ่งในปกติการทำให้ได้ 5 µm เป็นเรื่องที่ยากมากแต่ในทางปฏิบัติความกว้างของช่อง 5.1 µm ก็เป็นที่ยอมรับได้ ซึ่งจากการทดลองนี้ เราจึงได้ว่าการ developer photoresist แบบ Positive โดยใช้ยา AZ 300 MIF ควรใช้เวลา 35 วินาที ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

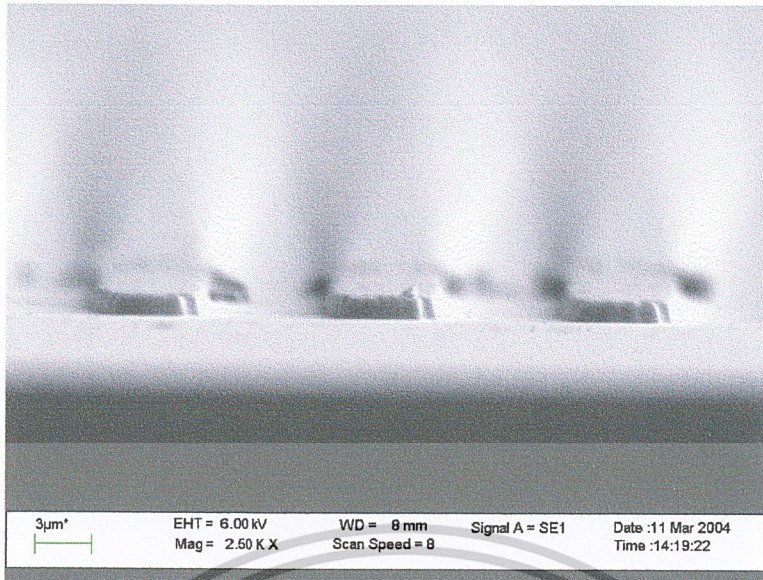
4.5 กระบวนการ Post bake

เป็นกระบวนการให้ความร้อนเพื่อกำจัดตัวทำละลายหรือ โมเลกุลของน้ำที่เหลืออยู่บนชั้นฟิล์มของน้ำยาไวแสงออกไปทำให้ชั้นฟิล์มของน้ำยาไวแสงที่อยู่บนผิวหน้าของแผ่นผลึกซิลิกอนแข็งตัวมากขึ้นและยึดติดกับผิวหน้าซิลิกอนดียิ่งขึ้น การอบ post bake จะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและเวลาเนื่องจากถ้าใช้อุณหภูมิต่ำและเวลาน้อยเกินไปจะมีผลต่อการยึดเกาะของน้ำยาไวแสง ความแข็งของน้ำยาไวแสงไม่เพียงพอ ถ้าใช้อุณหภูมิสูงและเวลานานเกินไปจะทำให้น้ำยาไวแสงไหม้ได้ ดังนั้นในการทดลองนี้เราจึงได้ Vary ค่าของอุณหภูมิในการ post bake โดยใช้เวลาในการ Post bake 30 นาทีเพื่อที่จะหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดโดยเรา Vary ค่าอุณหภูมิคือ 90,120 และ 140 องศาเซลเซียส ดังแสดงดังรูป

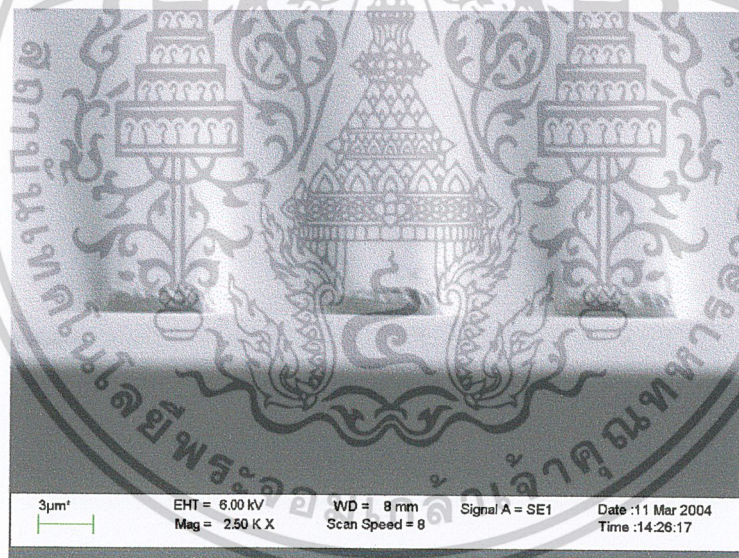


รูปที่ 4.11 กระบวนการ Post bake ในอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กระบวนการ Post bake ในอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.13 กระบวนการ Post bake ในอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส

จากรูปจะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการ post bake 30 นาที ฟิล์มจะยังไม่แห้งสนิทดีเพราะเมื่อนำไป etching จะมีปัญหาการยึดเกาะของฟิล์มและที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 30 นาที ฟิล์มนั้นแห้งสนิทดีเพราะเมื่อนำไป etching ไม่มีปัญหาการยึดเกาะของฟิล์มและเมื่อเราเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเป็น 140 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 30 นาทีก็จะทำให้ฟิล์มใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

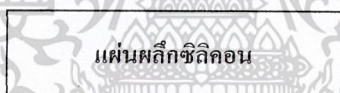
กระบวนการการสกัดชั้นสาร(Etching)

5.1 การทดลองโดยการ Evaporator

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการศึกษาความหนาของชั้นอลูมิเนียมโดยการปรับค่าจำนวนของอลูมิเนียมที่จะเคลือบลงบนแผ่นซิลิกอน ให้ได้อลูมิเนียมที่มีคุณภาพดีและได้ความหนาตามที่เรารต้องการ และส่วนที่สองคือ เปรียบเทียบลวดลายของต่าง ๆ ของแผ่นซิลิกอนกับลวดลายบนกระจกมารู้ว่ามีความคมชัดสมบูรณ์แตกต่างกันอย่างไร และเป็นเพราะปัจจัยจากสาเหตุใด

5.2 การทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนาของอลูมิเนียม

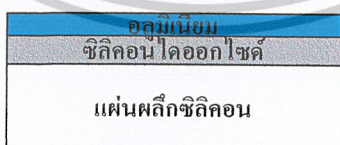
ในการทดลองนี้ ได้เตรียมแผ่น ซิลิกอนขนาด 1 นิ้ว จำนวน 4 แผ่น ซึ่งแต่ละแผ่นนั้นได้สร้างซิลิกอนไดออกไซด์ไว้แล้วและ จะถูกนำมาใช้ใน กระบวนการevaporatorเพื่อสร้างชั้นอลูมิเนียม หลังจากแผ่นผลึกซิลิกอนผ่าน กระบวนการสร้างซิลิกอนไดออกไซด์โดยที่อลูมิเนียมจะถูกสร้างบนซิลิกอน โดยใช้เครื่องเคลือบอลูมิเนียม เงื่อนไขคือใช้จำนวนเส้นของอลูมิเนียมแตกต่างกันซึ่งในการทดลองนี้ จะได้แผ่นผลึกซิลิกอน ที่มีชั้นซิลิกอนไดออกไซด์และอลูมิเนียมอยู่ด้านบนสุด



(ก)



(ข)



(ค)

ผังรูปที่ 5.1 ก) แผ่นผลึกซิลิกอนเปล่า

ข) แผ่นผลึกซิลิกอนหลังผ่านกระบวนการออกซิเดชัน

ค) แผ่นผลึกซิลิกอนหลังทำการเคลือบอลูมิเนียมแล้ว

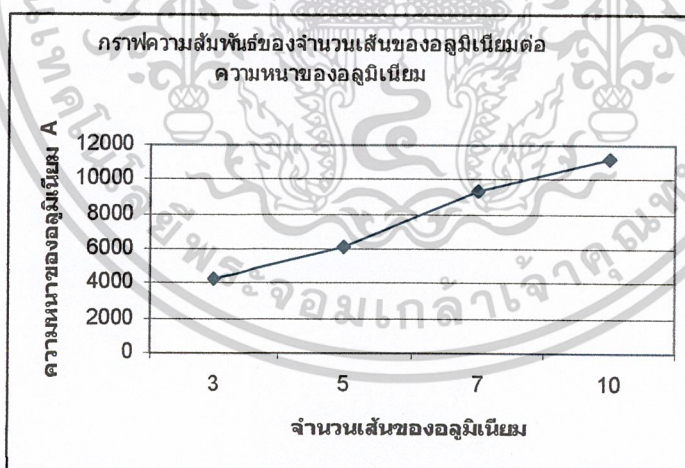
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวัดของความหนาของชั้นอลูมิเนียมนั้นเราไม่สามารถวัดได้โดยตรงได้เราจะวัดอลูมิเนียมได้ก็ต่อเมื่อเรานำแผ่นที่เคลือบอลูมิเนียมนี้ไปผ่านกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีและทำการ Aluminium Etching เราจึงจะวัดความหนาของอลูมิเนียมโดยวิธี SEM ซึ่งใช้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope) ตรวจสอบดูตามลายตัดขวาง

5.3 ในการศึกษาผลของจำนวนอลูมิเนียมที่เคลือบต่อความหนาของอลูมิเนียม

จากการทดลองนี้เราจะศึกษาผลของจำนวนเส้นอลูมิเนียมที่จะเคลือบที่มีผลต่อความหนาของอลูมิเนียมเพื่อทำการวิเคราะห์หาความหนาของอลูมิเนียมที่เหมาะสมลงบนแผ่นซิลิกอน ขนาด 2 นิ้ว เพื่อให้ได้ความหนาของอลูมิเนียมทั่วทั้งแผ่น

ทำการทดลองโดยการเคลือบอลูมิเนียม โดยทำการเปลี่ยนแปลงเส้นของอลูมิเนียมคือ 3, 5, 7, 10 เส้น โดยใช้ความดันที่ 2×10^{-6} Torr ซึ่งโดยปกติแล้วเราจะใช้ความดันที่ 1.648×10^{-6} Torr แต่เนื่องจากเรามีข้อจำกัดบางประการและใช้กระแสที่ 30 A และเวลาเปิดซัดเตอร์ประมาณ 25 วินาที หลังจากเคลือบอลูมิเนียมโดยใช้เครื่องเคลือบอลูมิเนียมแล้ว นำแผ่นไปผ่านกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี แล้วนำไปผ่านกระบวนการ Aluminium Etching ซึ่งเราจะทราบความหนาของอลูมิเนียมด้วยวิธี SEM ซึ่งเราจะได้ความสัมพันธ์ของความหนาของอลูมิเนียมกับจำนวนเส้นอลูมิเนียมที่เคลือบ



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของความหนาของอลูมิเนียมกับจำนวนเส้นอลูมิเนียมที่เคลือบ

จากการศึกษาความหนาของชั้นอลูมิเนียมจะเห็นได้ว่าเมื่อเราเพิ่มเส้นอลูมิเนียมจาก 3 เส้นไป 5 เส้น จาก 5 เส้นไป 7 เส้น และจาก 7 เส้นไป 10 เส้น จะมีผลทำให้ความหนาของอลูมิเนียมมีค่าสูงขึ้นจาก 1118 Å ไป 6400 Å

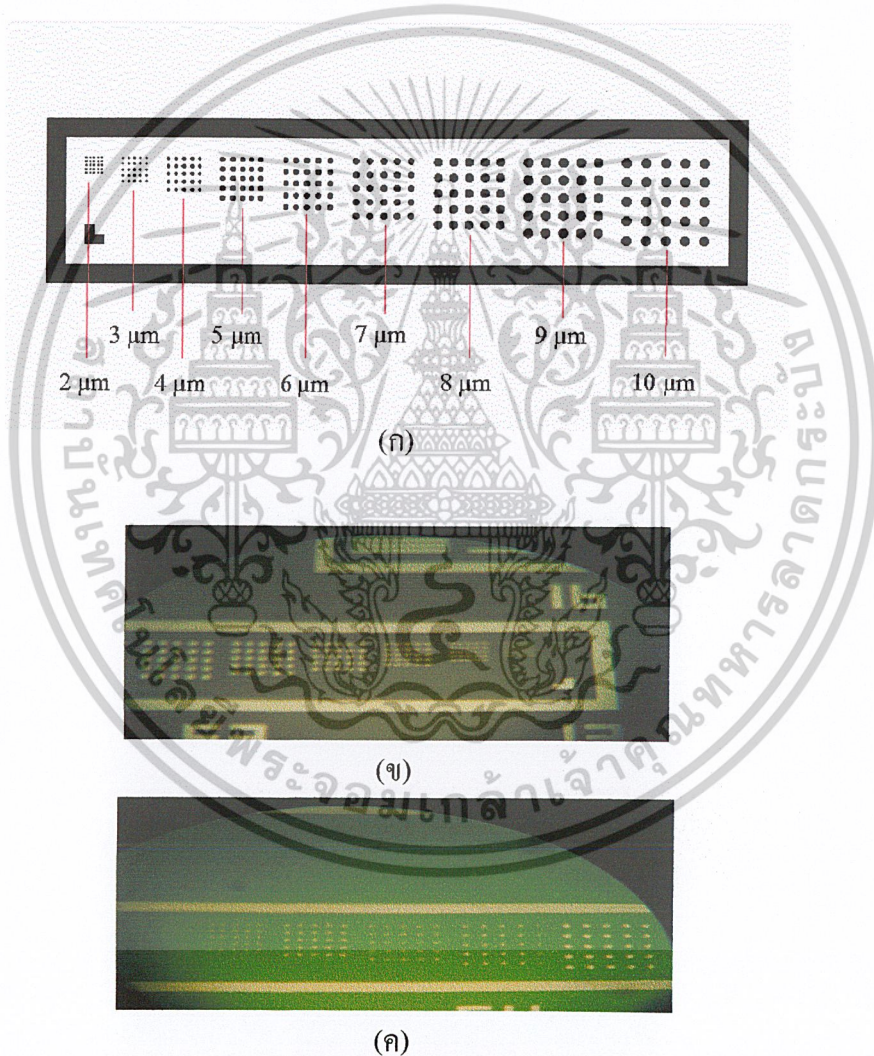
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 กระบวนการตรวจสอบลวดลายด้วยกล้องจุลทรรศน์

ในการทดลองนี้จะนำแผ่นผลึกซิลิคอนไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยทำการเปรียบเทียบลวดลายขนาด $5\ \mu\text{m}$ ที่สร้างขึ้นบนแผ่นผลึกซิลิคอน กับลวดลายขนาด $5\ \mu\text{m}$ ที่ออกแบบไว้บนกระจกต้นแบบ ซึ่งจะพิจารณาลักษณะของลวดลายแบบต่างๆ เพื่อตรวจสอบรายละเอียดของลวดลายว่ามีความคมชัดและมีความสมบูรณ์เพียงใด ซึ่งได้ผลแสดงดังต่อไปนี้

5.4.1 การตรวจสอบลักษณะของหน้าสัมผัส (contact)

ทำการตรวจสอบขนาด ของหน้าสัมผัสที่มีลักษณะเป็นวงกลม และสี่เหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 ตามลำดับ



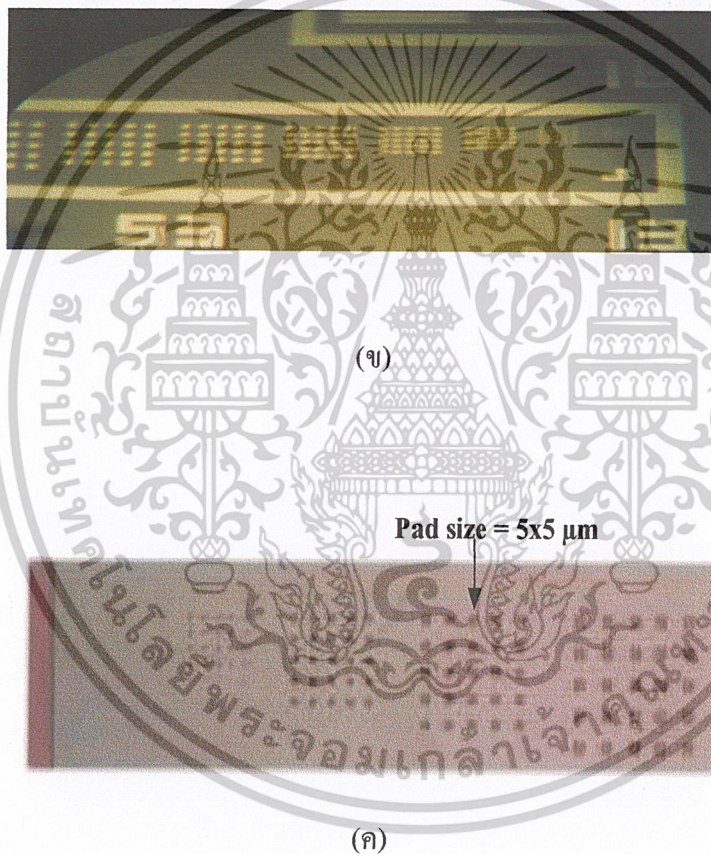
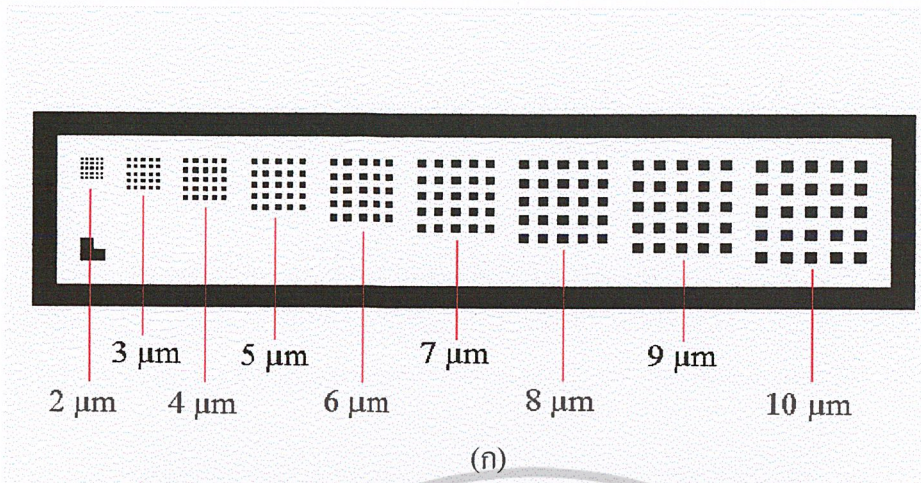
รูปที่ 5.3 ลวดลายตรวจสอบหน้าสัมผัสวงกลม

(ก) ลวดลายที่ออกแบบ

(ข) ลวดลายบนกระจกต้นแบบ กำลังขยาย 400 เท่า

(ค) ลวดลายบนแผ่นผลึกซิลิคอน กำลังขยาย 400 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 ลวดลายตรวจสอบหน้าสัมผัสที่เปลี่ยน

(ก) ลวดลายที่ออกแบบ

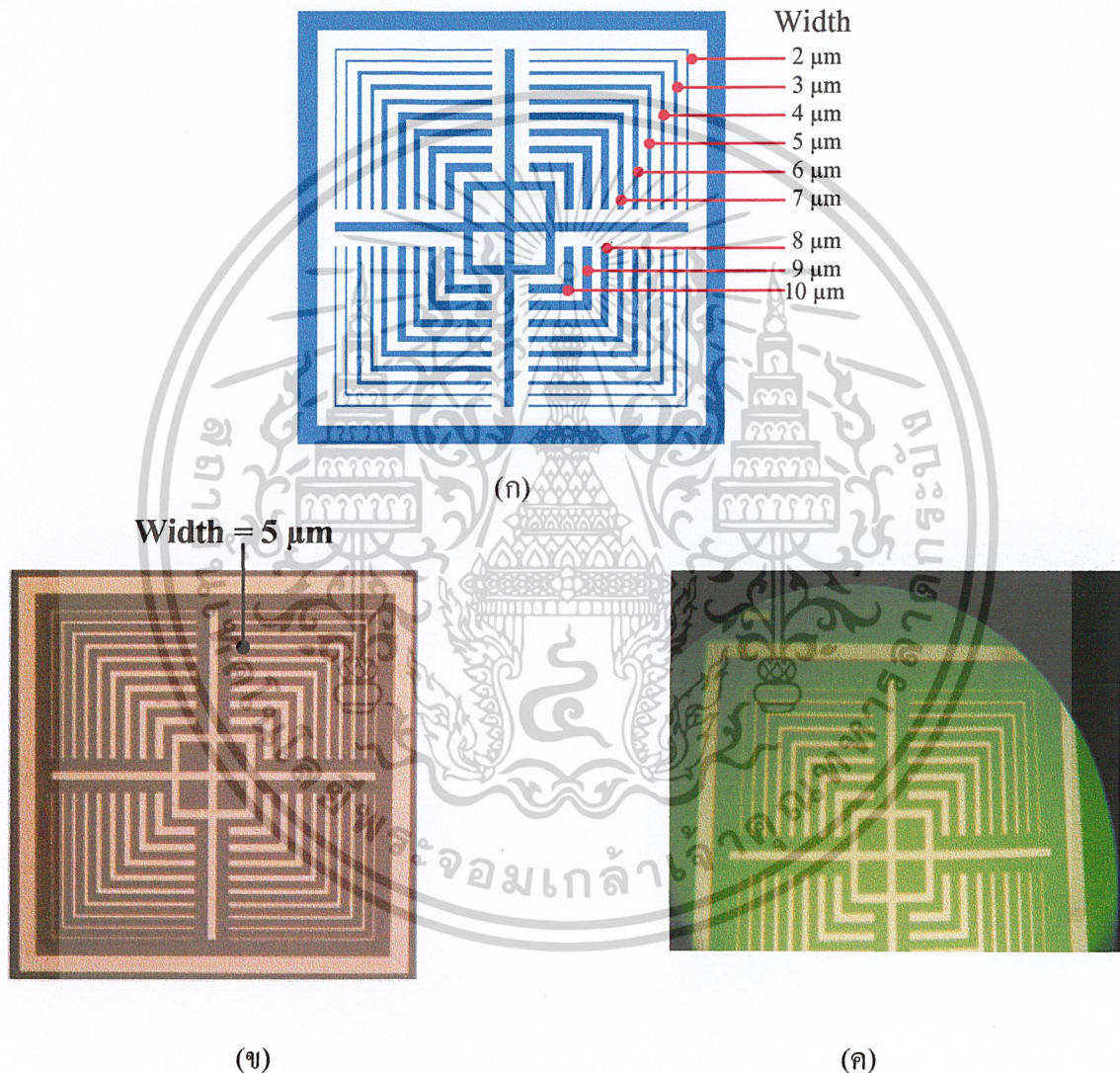
(ข) ลวดลายบนกระจกต้นแบบ กำลังขยาย 400 เท่า

(ค) ลวดลายบนแผ่นฟลิกซ์พริคคอน กำลังขยาย 400 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 การตรวจสอบลักษณะการตั้งฉาก และความโค้ง

ทำการตรวจสอบขนาด (Width) และช่องว่าง (Space) ของลวดลายที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงมุมฉาก และทำการตรวจสอบขนาด และช่องว่าง ของลวดลายที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งวงกลม ดังแสดงในรูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.6 ตามลำดับ



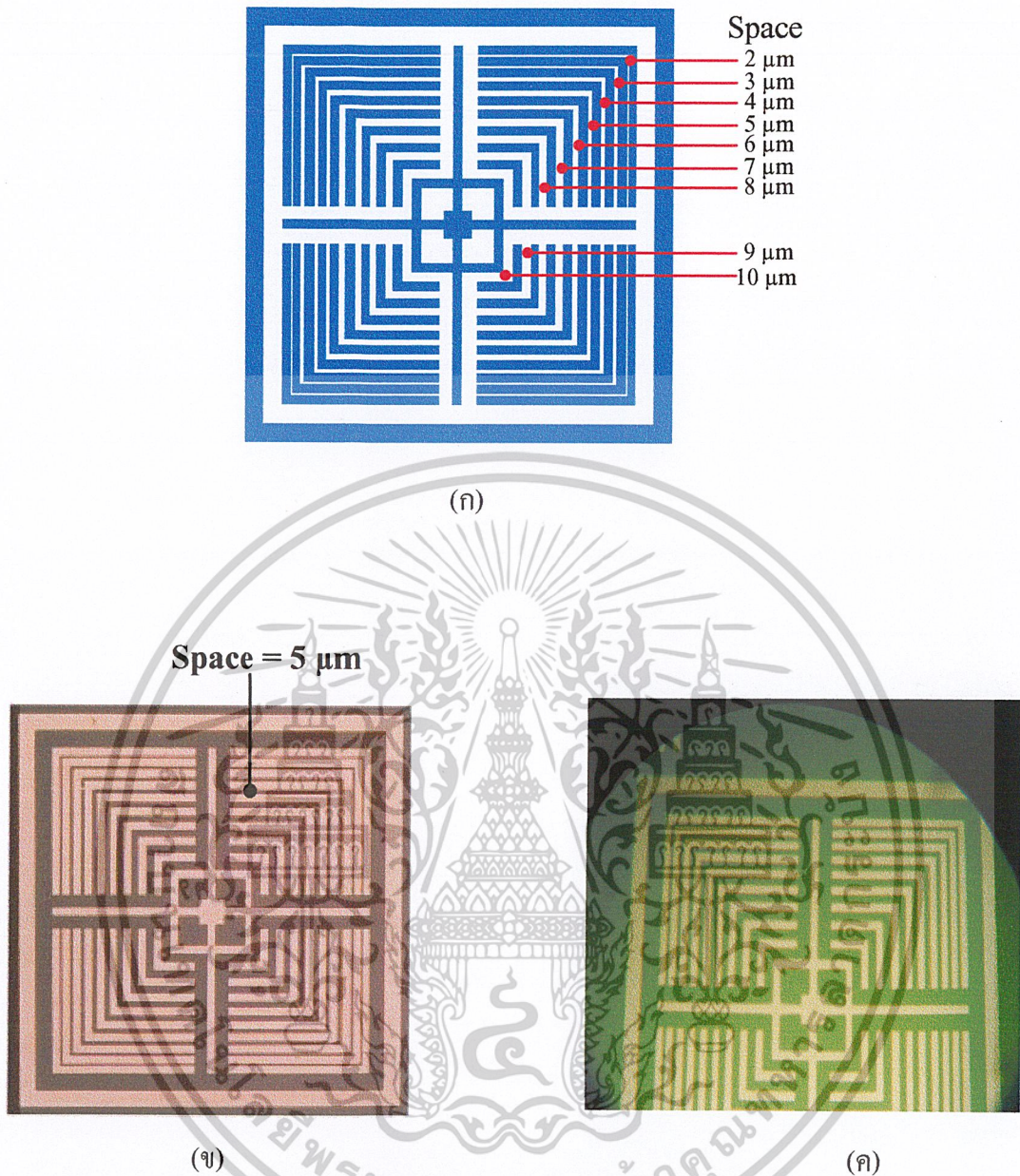
รูปที่ 5.5 ลวดลายตรวจสอบขนาด (Width) ของเส้นตรงมุมฉาก

(ก) ลวดลายที่ออกแบบ

(ข) ลวดลายบนกระจกคั่นแบบ กำลังขยาย 400 เท่า

(ค) ลวดลายบนแผ่นผลึกซิลิคอน กำลังขยาย 400 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



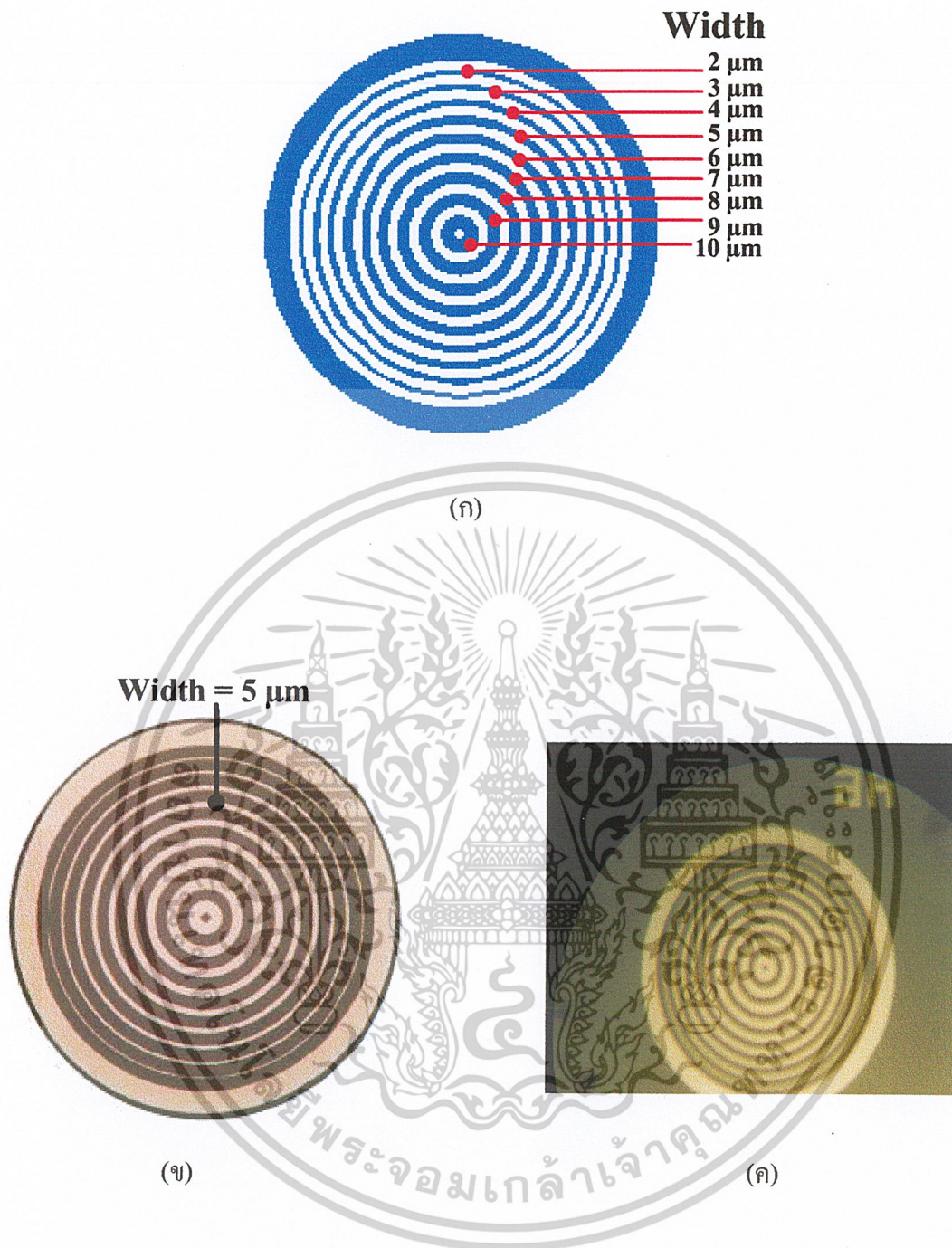
รูปที่ 5.6 ลวดลายตรวจสอบช่องว่าง (Space) ของเส้นตรงมูมฉาก

(ก) ลวดลายที่ออกแบบ

(ข) ลวดลายบนกระจกต้นแบบ กำลังขยาย 400 เท่า

(ค) ลวดลายบนแผ่นผลึกซิลิคอน กำลังขยาย 400 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



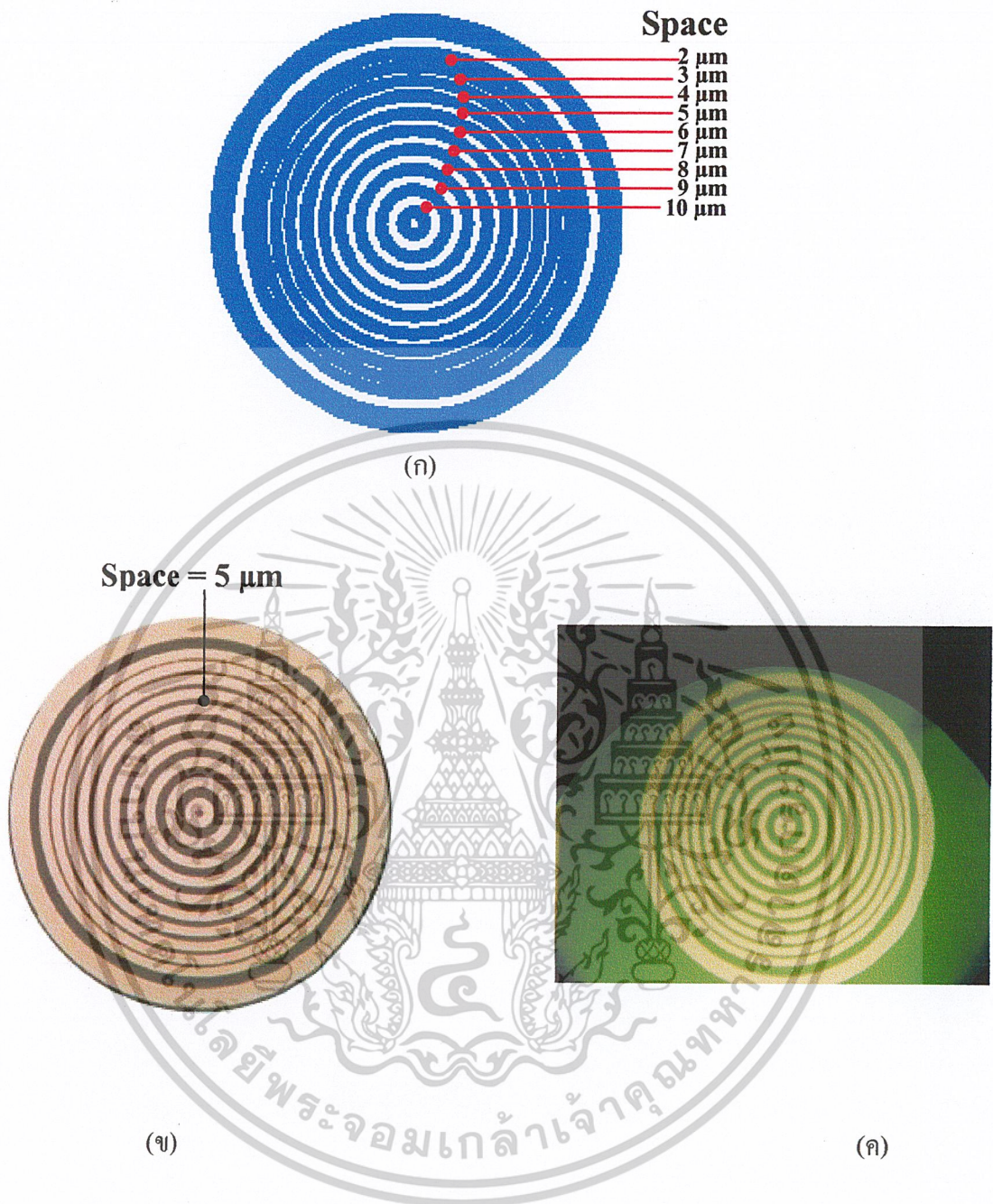
รูปที่ 5.7 ลวดลายตรวจสอบขนาด (Width) ของเส้น โค้งวงกลม

(ก) ลวดลายที่ออกแบบ

(ข) ลวดลายบนกระจกต้นแบบ กำลังขยาย 400 เท่า

(ค) ลวดลายบนแผ่นผลึกซิลิคอน กำลังขยาย 400 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 ลวดลายตรวจสอบช่องว่าง (Space) ของเส้นโค้งวงกลม

(ก) ลวดลายที่ออกแบบ

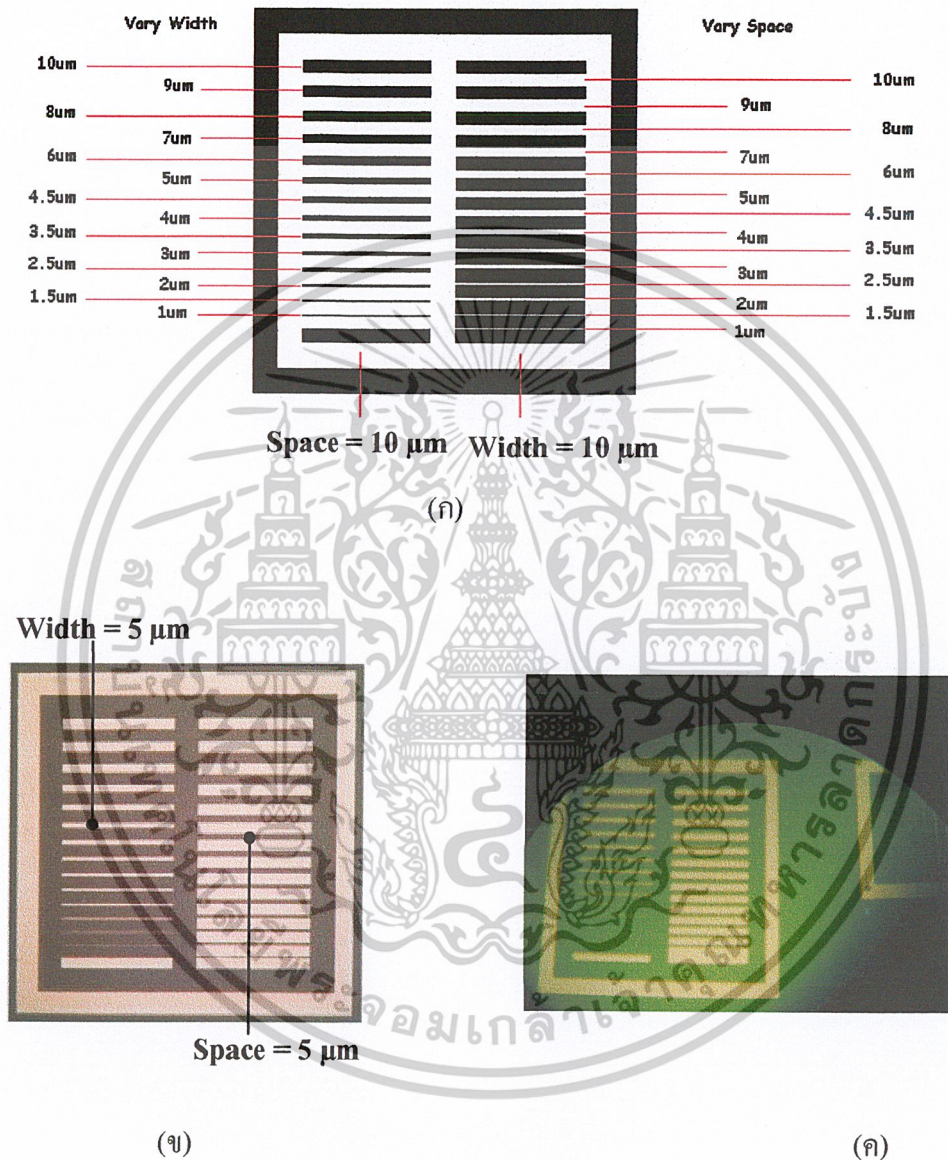
(ข) ลวดลายบนกระจกต้นแบบ กำลังขยาย 400 เท่า

(ค) ลวดลายบนแผ่นผลึกซิลิคอน กำลังขยาย 400 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.3 การตรวจสอบลักษณะของเส้นตรง

ทำการตรวจสอบขนาด (Width) และของช่องว่าง (Space) ด้วยลวดลายที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงแนวนอนและแนวตั้ง และแปรค่าของขนาดและช่องว่าง ดังแสดงในรูปที่ 5.9 และรูปที่ 5.10 ตามลำดับ



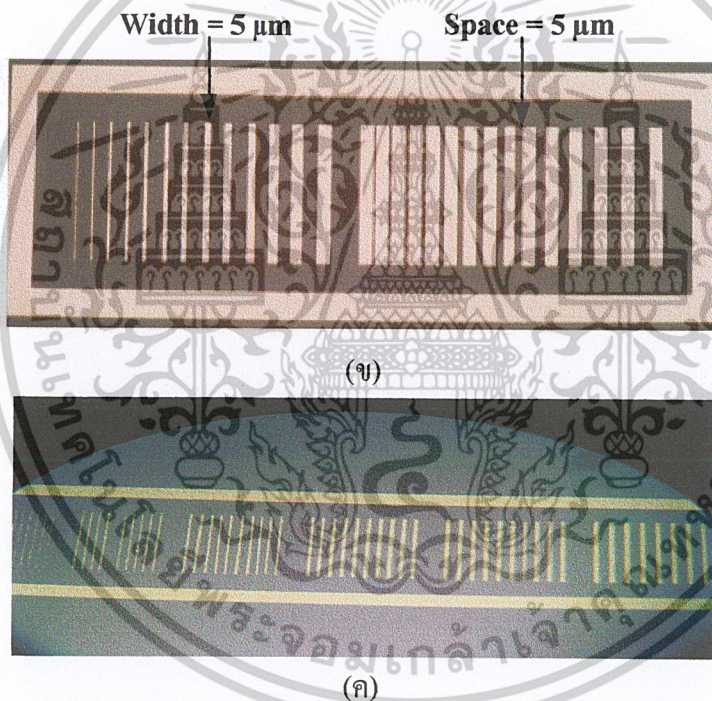
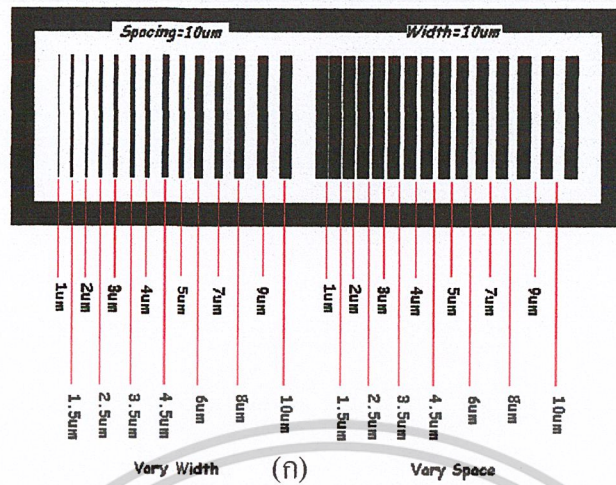
รูปที่ 5.9 ลวดลายตรวจสอบขนาดและช่องว่างของเส้นตรงแนวนอน

(ก) ลวดลายที่ออกแบบ

(ข) ลวดลายบนกระจกคั่นแบบ กำลังขยาย 400 เท่า

(ค) ลวดลายบนแผ่นผลึกซิลิคอน กำลังขยาย 400 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



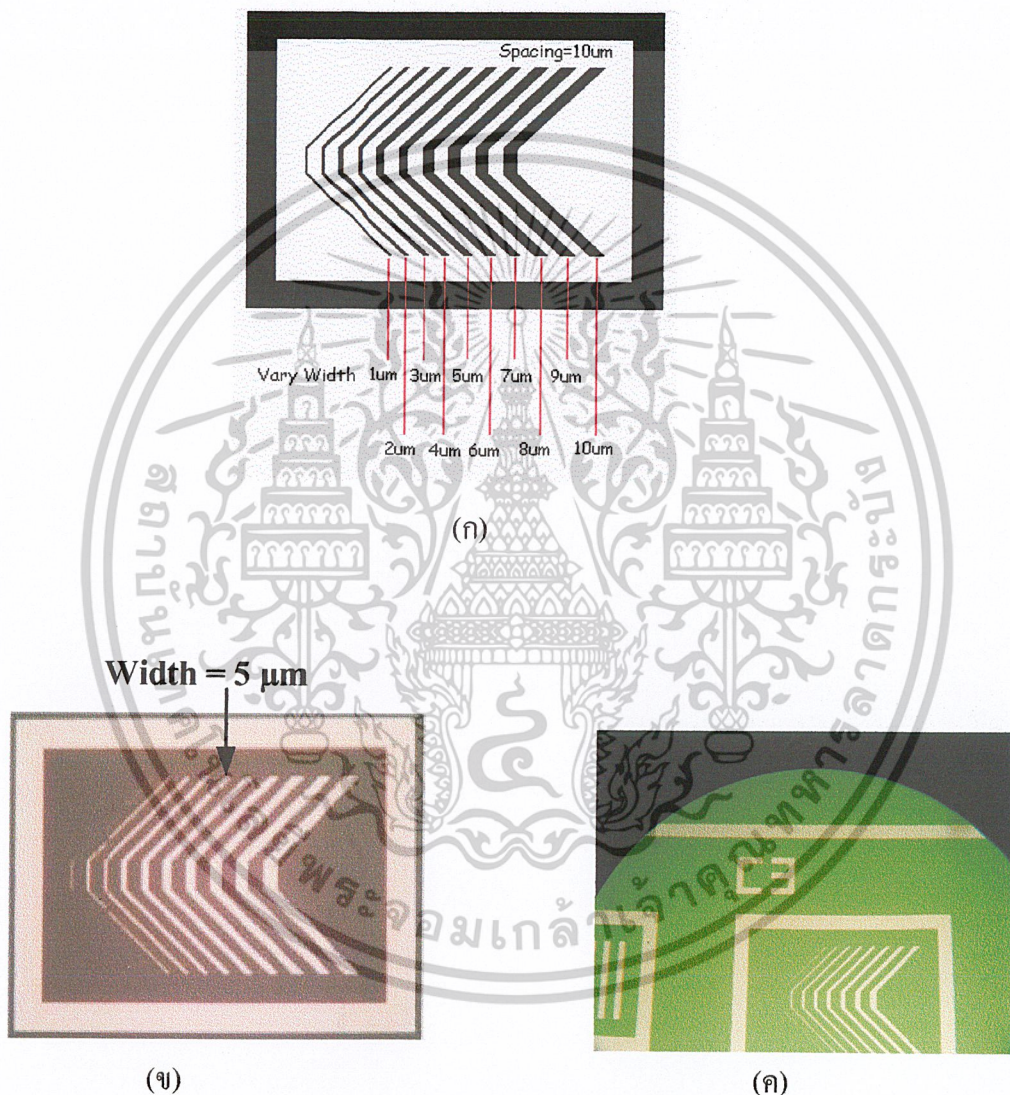
รูปที่ 5.10 ลวดลายตรวจสอบขนาด และช่องว่าง ของเส้นตรงแนวตั้ง

- (ก) ลวดลายที่ออกแบบ
- (ข) ลวดลายบนกระจกคืนแบบ กำลังขยาย 400 เท่า
- (ค) ลวดลายบนแผ่นผลึกซิลิคอน กำลังขยาย 400 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.4 การตรวจสอบลักษณะของเส้นตรงเอียง

ทำการตรวจสอบขนาด (Width) และช่องว่าง (Space) ของเส้นตรงเอียงทำมุม 45 องศา ด้วยลวดลายที่แปรค่าของขนาด และแปรค่าของช่องว่าง แสดงดังรูปที่ 5.11 และ รูปที่ 5.12 ตามลำดับ



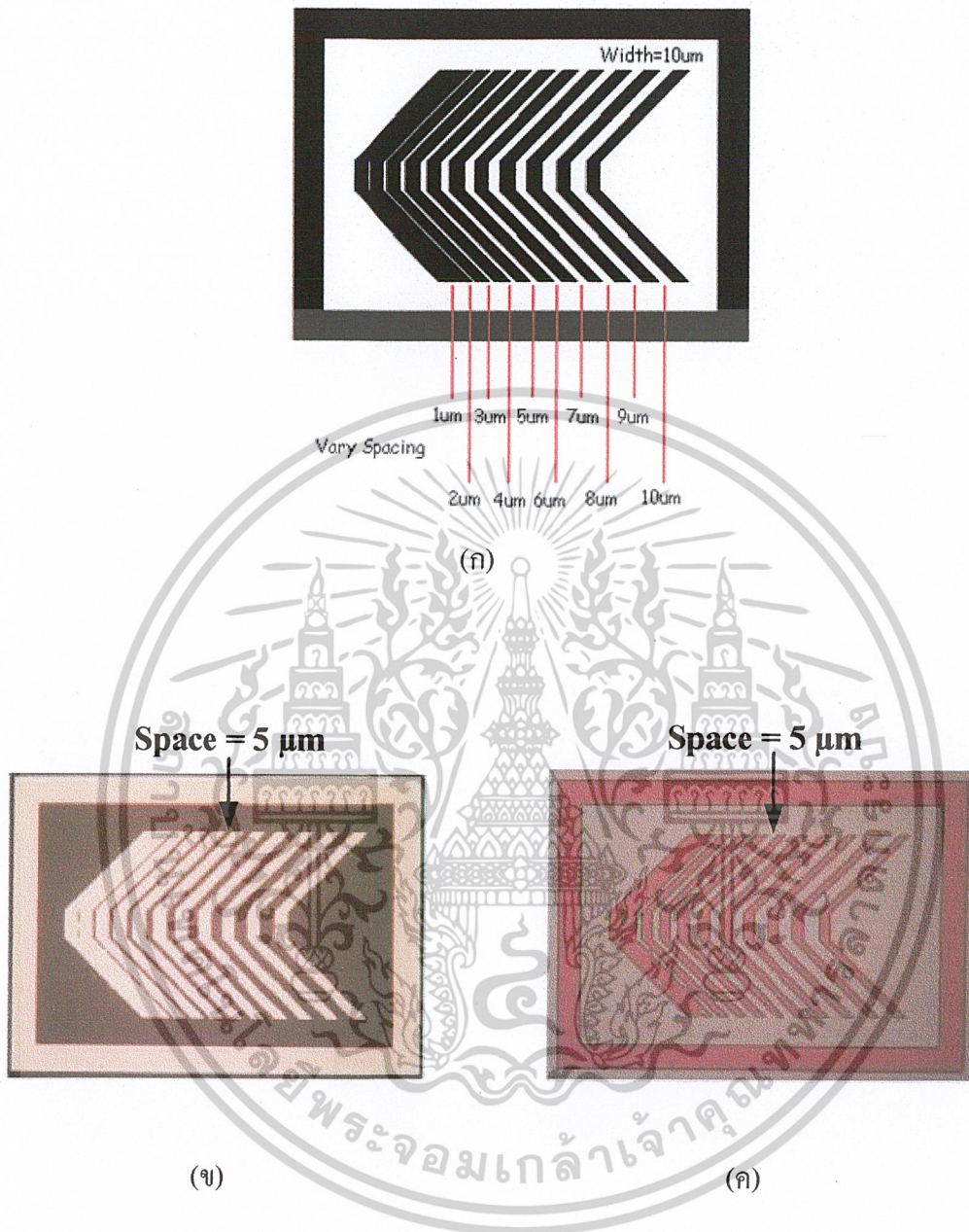
รูปที่ 5.11 ลวดลายตรวจสอบขนาดของเส้นตรงเอียง

(ก) ลวดลายที่ออกแบบ

(ข) ลวดลายบนกระจกต้นแบบ กำลังขยาย 400 เท่า

(ค) ลวดลายบนแผ่นผลึกซิลิคอน กำลังขยาย 400 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 ลวดลายตรวจสอบช่องว่างของเส้นตรงเอียง

(ก) ลวดลายที่ออกแบบ

(ข) ลวดลายบนกระจกต้นแบบ กำลังขยาย 400 เท่า

(ค) ลวดลายบนแผ่นผลึกซิลิคอน กำลังขยาย 400 เท่า

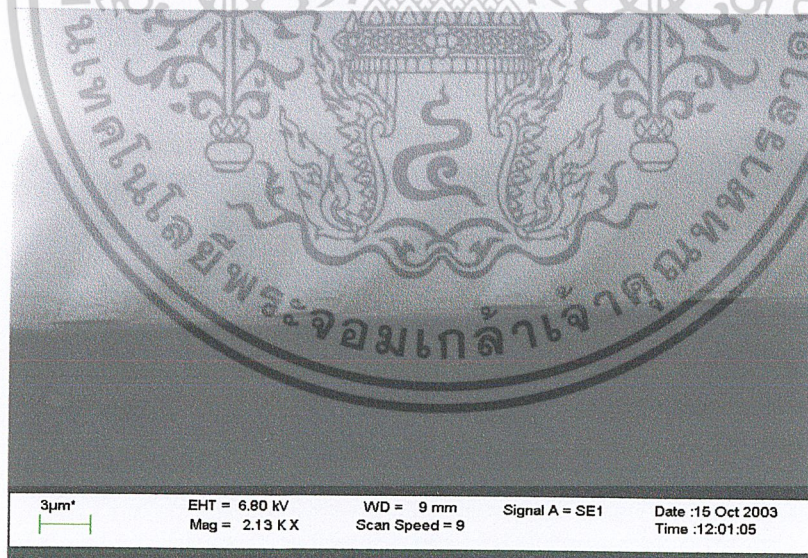
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการตรวจสอบลวดลายของชั้นซิลิโคนไดออกไซด์แบบต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูง ซึ่งได้ผลแสดงดังรูปที่ 5.3 ถึง รูปที่ 5.12 ข้างต้น จะเห็นได้ว่า ลวดลายที่มีขนาด $5\ \mu\text{m}$ แบบต่างๆ มีความสมบูรณ์คมชัดทั้งเส้นลายและช่องว่าง เพื่อเป็นการยืนยันว่าลวดลายที่ได้สร้างได้สามารถนำไปสร้างเป็นวงจรรวมแบบ ซิมอส ขนาด $5\ \mu\text{m}$ ได้จริง ดังนั้นจึงนำลวดลายที่ได้ไปทำการตรวจสอบด้วยวิธี SEM ซึ่งจะเห็นรายละเอียดของลวดลายมากยิ่งขึ้น

5.5 การวิเคราะห์ลักษณะของลวดลายที่ผ่านการสกัดชั้นสารโดยวิธี SEM

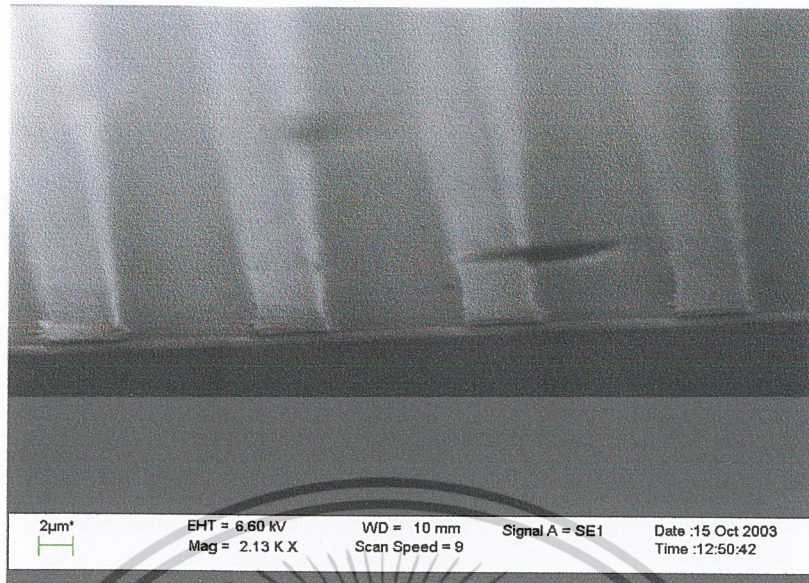
การทดลองนี้เป็นการตรวจสอบคุณลักษณะของลวดลายที่สร้างขึ้น โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope) ตรวจสอบคุณภาพตัดขวางของลวดลายเพื่อพิจารณาโครงสร้างและขนาดของลวดลายที่ละเอียดมากยิ่งขึ้นและสามารถที่จะวัดขนาดของลวดลายออกมาได้

ทำการทดลองโดยนำชิ้นงานแผ่นผลึกซิลิโคนที่สร้างลวดลายไว้ในการทดลอง มาตัดผ่านลวดลายขนาด $5\ \mu\text{m}$ แล้วนำชิ้นงานนี้ไป ส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด ซึ่งได้รายละเอียดของลวดลาย



รูปที่ 5.13 ลวดลายขนาด $5\ \mu\text{m}$ ที่อุณหภูมิเหนียวหนา $4231\ \text{Å}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

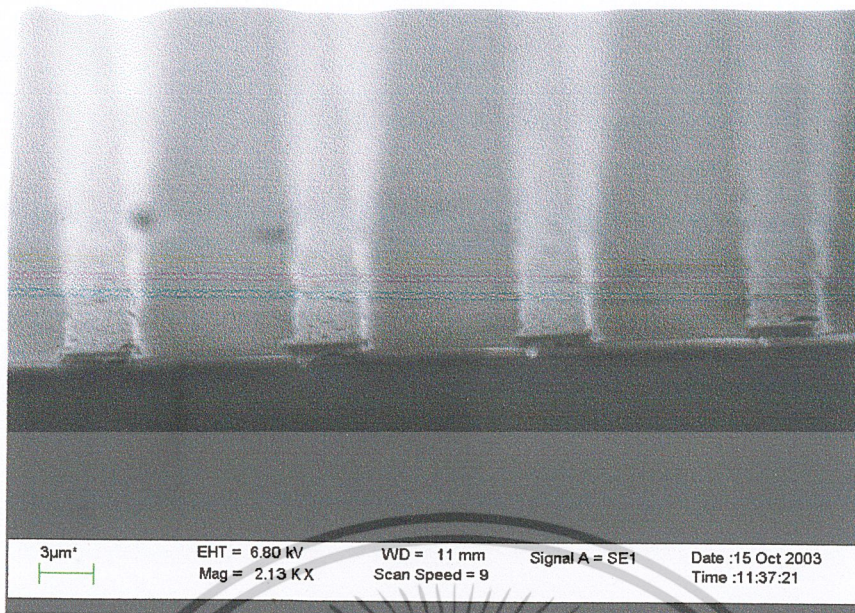


รูปที่ 5.14 ลวดลายขนาด 5 μ m ที่อุณหภูมิเย็บหนา 6100 Å



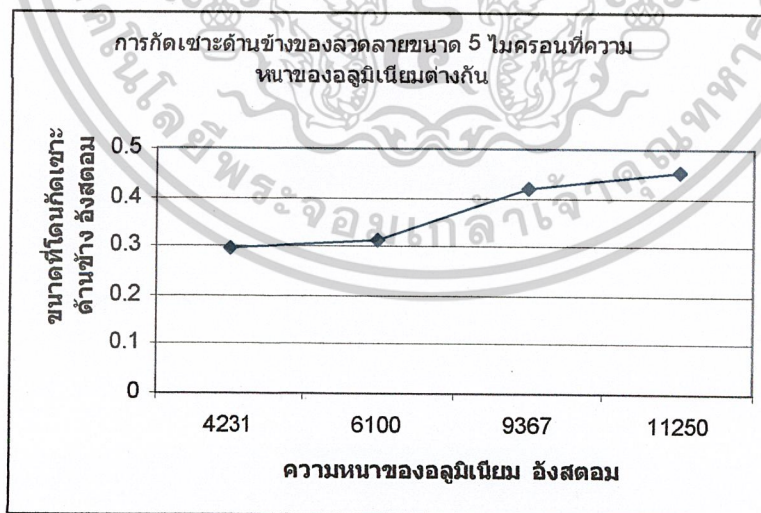
รูปที่ 5.15 ลวดลายขนาด 5 μ m ที่อุณหภูมิเย็บหนา 9367 Å

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 ลวดลายขนาด 5 μm ที่อลูมิเนียมหนา 11250 \AA

จากผลที่เราวิเคราะห์ของลวดลายด้วยวิธี SEM มีจากรูปจะเห็นได้ว่า ลวดลายอลูมิเนียม ขนาด 5 ไมครอน ที่สร้างได้มีความหนาขนาดต่าง ๆ ซึ่งจะมีการกัดเซาะด้านข้าง โดยศึกษาได้จากกราฟดังนี้



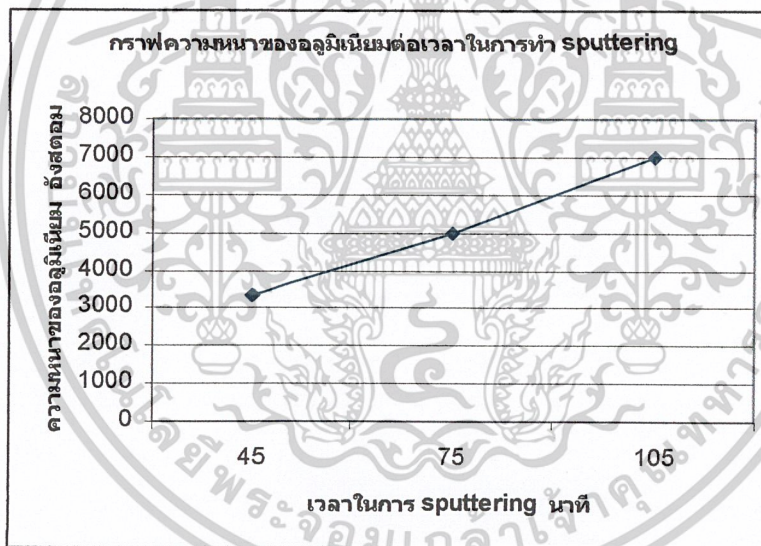
รูปที่ 5.17 การกัดเซาะด้านข้างของลวดลายขนาด 5 ไมครอน ที่ความหนาของอะลูมิเนียมต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และด้วยกระบวนการกัดแบบชื้น (wet etching) จะเห็นได้ว่าด้านข้างจะถูกกัดออกไปยิ่งเรามีความหนาของอลูมิเนียมมากเท่าไร เวลาในการทำ wet etching ก็จะใช้เวลาเพิ่มขึ้น จากกราฟ เราจะได้ว่ามี 5 μm ที่ 3 เส้นจะถูกกัดด้านข้าง 11.78% ที่ 5 เส้น จะถูกกัดด้านข้าง 12.62% ที่ 7 เส้นจะถูกกัดด้านข้าง 16.84% และที่ 10 เส้นจะถูกกัดด้านข้าง 18.06% ยิ่งความหนาขึ้น เปอร์เซ็นต์ของการกัดก็จะมากขึ้นด้วย

5.6 การทดลองโดยการ Sputtering

ในการ sputtering นี้เราจะศึกษาผลการความหนาของอลูมิเนียมที่โดนการกัดเซาะด้านข้างในกระบวนการ etching โดยทำการทดลองโดยการเคลือบอลูมิเนียม โดยในการทดลองได้กำหนดค่าของพารามิเตอร์ดังนี้ Base Pressure $< 6 \times 10^{-7}$ torr



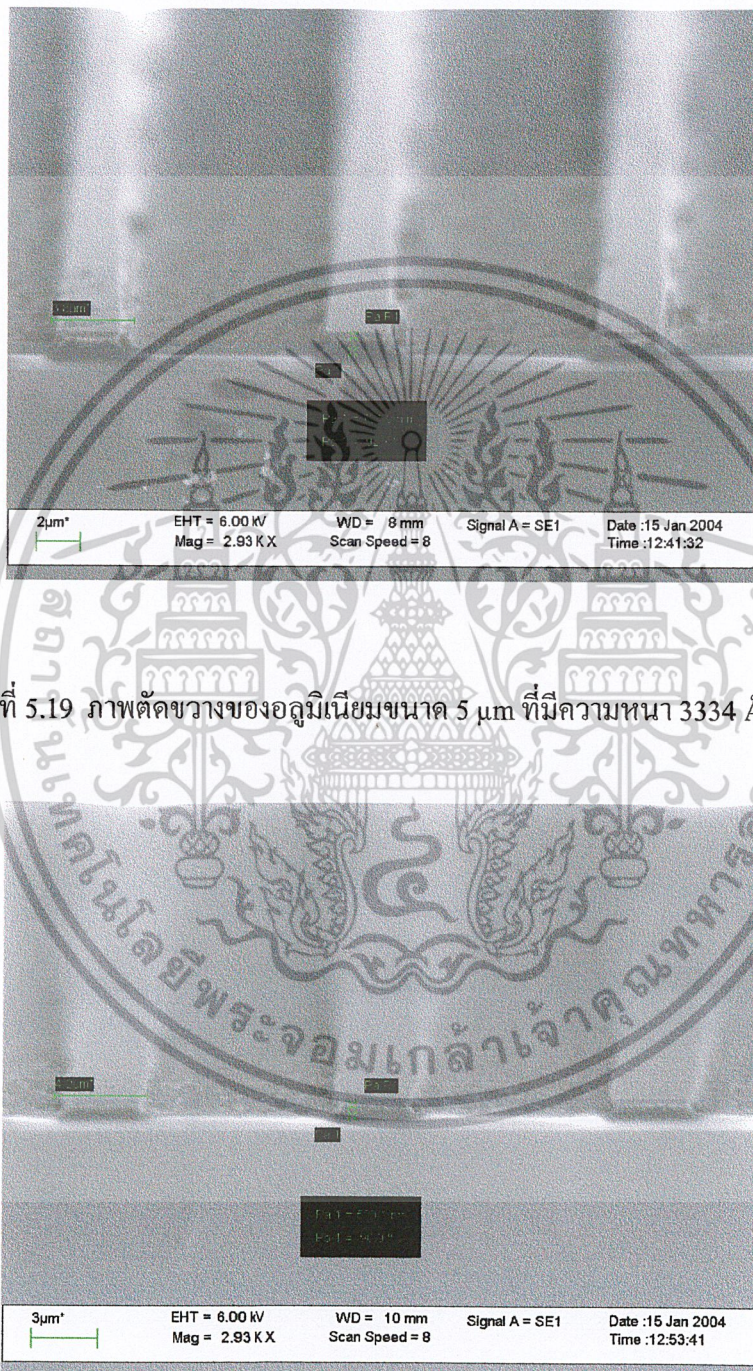
รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความหนาของอลูมิเนียมต่อเวลาในการทำ Sputtering

จากการศึกษาความหนาของชั้นอลูมิเนียมที่เริ่มแรกเราใช้เวลา 45 นาที เราจะได้ความหนาของอลูมิเนียมคือ 3334 Å และในการทดลองต่อมาเราได้เพิ่มเวลาในการทำ sputtering เพิ่มเป็น 75 นาที เราก็จะได้ความหนาของอลูมิเนียมคือ 5000 Å และ ในการทดลองครั้งที่ 3 ที่เราเพิ่มเวลาเป็น 105 นาที ก็จะได้ความหนาของอลูมิเนียมเพิ่มขึ้นเป็น 7010 Å จากกราฟเราจะเห็นได้ว่ายิ่งเราเพิ่มเวลาในการทำ sputtering เพิ่มมากขึ้น เราก็จะได้ความหนาของอลูมิเนียมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งในการทดลองนี้ เราได้ตรวจสอบความหนาของอลูมิเนียม โดยใช้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกาว (SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

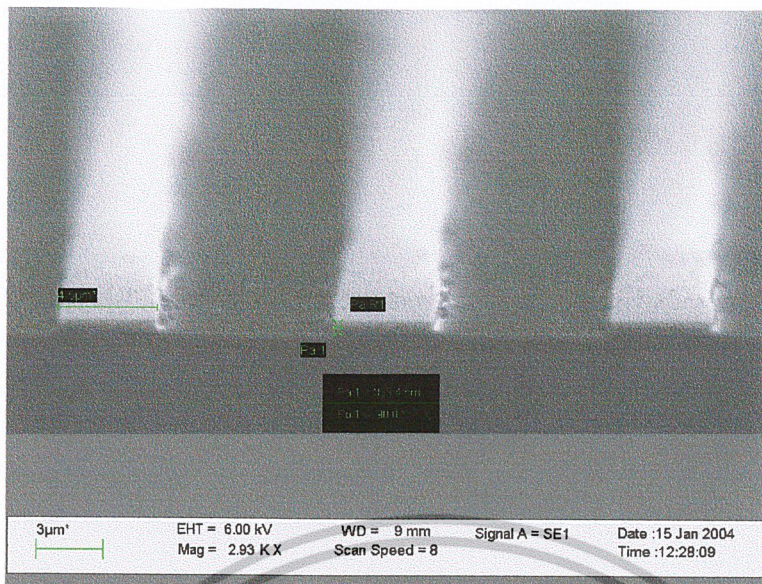
ตรวจสอบภาพตัดขวางของลวดลายเพื่อพิจารณาโครงสร้างและขนาดของลวดลายที่ละเอียดมาก ยิ่งขึ้นและสามารถที่จะวัดขนาดของลวดลายออกมาได้ โดยในการ etching เราทำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



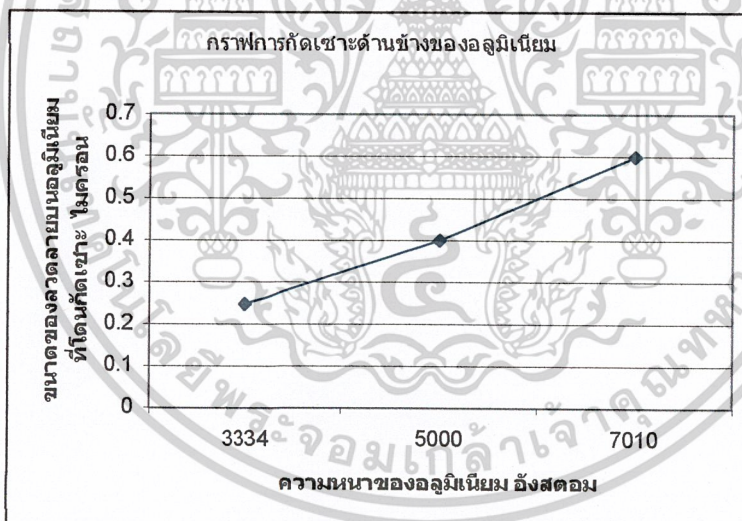
รูปที่ 5.19 ภาพตัดขวางของอคูมิเนียมขนาด 5 μm ที่มีความหนา 3334 Å

รูปที่ 5.20 ภาพตัดขวางของอคูมิเนียมขนาด 5 μm ที่มีความหนา 5000 Å

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.21 ภาพตัดขวางของอลูมิเนียมขนาด $5\ \mu\text{m}$ ที่มีความหนา $7010\ \text{Å}$



รูปที่ 5.22 กราฟแสดงการกัดเซาะด้านข้างของอลูมิเนียมที่มาจากกระบวนการ Sputtering

ด้วยกระบวนการกัดแบบชื้น (wet etching) ถ้ามีความหนาของอลูมิเนียมมีมาก ทำให้เวลาในการ wet etching เพิ่มขึ้น เราแสดงให้เห็นว่าลวดลายของอลูมิเนียมขนาด $5\ \mu\text{m}$ ที่มีความหนา $3334\ \text{Å}$ จะถูกกัดเซาะด้านข้างไป $0.25\ \mu\text{m}$ และลวดลายของอลูมิเนียมขนาด $5\ \mu\text{m}$ ที่มีความหนา $5000\ \text{Å}$ จะถูกกัดเซาะด้านข้างไป $0.4\ \mu\text{m}$ จะเห็นว่าขนาดลวดลายอลูมิเนียมที่เท่ากันแต่ความหนาของอลูมิเนียมต่างกันจะทำให้ระยะเวลาในการกัดเซาะไม่เท่ากัน ยิ่งลวดลายของอลูมิเนียมที่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่นเท่าไร ก็จะถูกกัดเซาะจากด้านข้างมากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นที่ลวดลายของอลูมิเนียมขนาด $5\ \mu\text{m}$ ที่มีความหนา $7010\ \text{\AA}$ จะถูกกัดเซาะจากด้านข้างของลวดลาย $0.6\ \mu\text{m}$ และจากการทดลองการเคลือบอลูมิเนียมโดยวิธีการ sputtering กับ การเคลือบอลูมิเนียมโดยวิธีการ evaporator นั้นการทดลองที่ผ่านมาจะเห็นว่าที่ลวดลายขนาด $5\ \mu\text{m}$ ความหนาของอลูมิเนียมที่จากระบวนการ evaporator และที่จากระบวนการ sputtering นั้น เป็นการเคลือบอลูมิเนียมที่ใช้ในกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีเหมือนกัน แต่คุณสมบัติของอลูมิเนียมที่ได้นั้นต่างกัน โดยอลูมิเนียมที่จากระบวนการ evaporator นั้นจะเป็นอลูมิเนียม 100% แต่อลูมิเนียมที่ใช้ในกระบวนการ sputtering นั้นจะเป็นอลูมิเนียม 98% และซิลิกอน 2% ซึ่งซิลิกอน 2% ที่ผสมอยู่นี้จะป้องกันการเกิดการ spike และที่ลวดลายขนาด $5\ \mu\text{m}$ ที่ความหนาของอลูมิเนียมเท่ากันระยะเวลาในการกัดอลูมิเนียมที่มาจากจากระบวนการ evaporator จะเร็วกว่าอลูมิเนียมที่จากระบวนการ sputtering ในการกัดที่อุณหภูมิที่เท่ากัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปและบทวิจารณ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการวิจัยเพื่อการวิจัยและพัฒนากระบวนการโฟโตลิโทกราฟี ในการสร้างลวดลายสำหรับวงจรรวมระดับ 5 ไมครอน ของศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยลวดลายที่สร้างขึ้นนี้ เป็นลวดลายบนชั้นของออลูมิเนียม และทำการสร้างจากออลูมิเนียมบนซิลิกอนไดออกไซด์ที่เคลือบอยู่บนซิลิกอน โดยเนื้อหานี้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

1) ส่วนที่เป็นผลการเพื่อศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ของกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี เช่น การ pre bake, expos , development และการ post bake เพื่อนำผลที่ได้มากำหนดเป็นเงื่อนไขในกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี

2 ส่วนที่เป็นการทดลองการสร้างลวดลายของออลูมิเนียมและทำการตรวจสอบลวดลายที่สร้างขึ้นและศึกษาความหนาของออลูมิเนียมที่สร้างขึ้นโดยวิธีการ evaporator และวิธีการ sputtering และศึกษาลวดลายที่โดนกัดเซาะด้านข้างที่จะมีผลในการสร้างวงจรรวมต่อไป

โดยในการทดลองในส่วนแรกจะได้ข้อมูลที่สำคัญสำหรับการทดลองในส่วนที่สอง โดยในรายละเอียดที่กล่าวมา สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

จากการทดลองในหัวข้อที่ 4.2 ,4.3, 4.4 และ 4.5 จะเห็นว่าผลการทดลองในกระบวนการของการ pre bake, expos , development และการ post bake คือ

กระบวนการ pre bake เพื่อให้ตัวทำละลายในสารไวแสงระเหยออกไปแล้วน้ำยาไวแสงจะเปลี่ยนลักษณะของเหลวไปสู่ของแข็งและมีสภาพการยึดติดผิวที่ดีขึ้น โดยใช้อุณหภูมิจากการทดลองคือ 90 องศาเซลเซียสโดยใช้เวลา 30 นาที

กระบวนการ expos เป็นกระบวนการฉายแสงผ่านโฟโตมาสก์ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีที่ชั้นของน้ำยาไวแสง ซึ่งในการทดลองเราใช้น้ำยาไวแสง AZ 6112 เป็นน้ำยาไวแสงชนิดบวกใช้เวลาในการฉายแสง 8 วินาที เพื่อให้ได้ลวดลายที่คมชัดที่สุด

กระบวนการ development เป็นการขจัดลวดลายของน้ำยาไวแสงซึ่งเป็นการกำจัดน้ำยาไวแสงในส่วนที่ไม่ต้องการออกไป และยังคงเหลือฟิล์มของน้ำยาไวแสงในส่วนที่ต้องการไว้ โดยเราใช้น้ำยา AZ 300 MIF ในการ Developer โดยในกระบวนการ development เราจะใช้อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 35 วินาที จึงทำให้ได้เป็น Normal developer

การ post bake เป็นกระบวนการให้ความร้อนเพื่อกำจัดตัวทำละลายหรือ โมเลกุลของน้ำที่เหลืออยู่บนชั้นฟิล์มของน้ำยาไวแสงออกไป ทำให้ชั้นฟิล์มของน้ำยาไวแสงที่อยู่บนผิวหน้าผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิลิกอนแข็งตัวมากขึ้น โดยใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 30 นาที เพื่อให้ฟิล์มแห้งสนิท และไม่มีผลต่อการยึดเกาะของฟิล์ม

ในการทดลองในหัวข้อที่ 5 จะเป็นการนำข้อมูลในการทดลองที่ 4.2,4.3,4.4และ4.5 ซึ่งในการทดลองในบทที่ 5.3 และ 5.6 นั้นเราจะมาศึกษาความหนาของอะลูมิเนียมที่ได้จากกระบวนการ evaporator กับกระบวนการ sputtering

เพื่อสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน ด้วยเครื่องมือภายในศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์สามารถสร้างได้โดยใช้กระบวนการกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีมาตรฐานดังต่อไปนี้

1. การเลือกน้ำยาไวแสง
 - AZ 6112 (ได้ความหนาประมาณ 1.8 ไมครอน)
 - ใช้ปริมาณ 0.75 ลบ.ซม. (1/2 หลอดหยด)
2. การอบไล่ความชื้นและเคลือบผิวหน้าด้วย HMDS
 - ใช้ไอระเหยของ HMDS ในภาชนะปิด เคลือบผิวหน้าของซิลิกอน ไดออกไซด์
 - เวลา 30 นาที
3. การเคลือบฟิล์มน้ำยาไวแสงด้วยเครื่องสปินเนอร์
 - First Speed : 500 รอบ/นาที
 - เวลา : 5 วินาที
 - Second Speed : 3000 รอบ/นาที
 - เวลา : 40 วินาที
4. การอบครั้งแรก (Pre bake)
 - ใช้แผ่นความร้อน
 - อุณหภูมิ : 90 °C
 - เวลา : 30 นาที
5. การฉายแสง
 - เวลา : 8 วินาที
6. การขึ้นลวดลาย
 - น้ำยา AZ 300 MIF
 - เวลา : 35 วินาที
7. การอบครั้งที่สอง (Post bake)
 - ใช้แผ่นความร้อน
 - อุณหภูมิ : 120 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เวลา : 30 วินาที
- 8. การตรวจสอบลวดลาย
 - ใช้กล้องจุลทรรศน์
- 9. ตรวจสอบความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง
 - ใช้เครื่องวัดความฟิล์มบาง TFM-120
- 10. การกัดแบบเปียก
 - P_3HO_4
- 11. การตรวจสอบลวดลาย
 - ใช้กล้องจุลทรรศน์

การพัฒนาการสร้างลวดลายด้วยกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีให้มีขนาดเล็กและมีความคมชัดจำเป็นจะต้องใช้กระจกต้นแบบ (Photo Mask) ที่มีคุณภาพดี มีความคมชัดสูง จึงจะทำให้ลวดลายที่ได้มีความคมชัด เมื่อผ่านกระบวนการสกัดชั้นอลูมิเนียม การเลือกใช้วิธีสกัดชั้นอลูมิเนียมแบบขึ้นจะทำให้เกิดการระยาะกัดด้านข้างประมาณเท่าๆ กับระยะการกัดในแนวตั้ง ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดของวิธีการกัดแบบขึ้น ทำให้เกิดปัญหาในการสร้างลวดลายที่มีขนาดเล็กๆ ในกรณีที่ลวดลายมีขนาดเล็กมากๆ ควรเปลี่ยนไปใช้วิธีการสกัดแบบแห้งซึ่งจะทำให้เกิดการกัดด้านข้างน้อยกว่า

ถึงแม้กระบวนการสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน ด้วยกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีจะได้ผลเป็นที่น่าพอใจ แต่ในกระบวนการสร้างวงจรรวมประกอบด้วยกระบวนการอื่นๆ อีกหลายขั้นตอน จำเป็นต้องมีการทดลองและศึกษาข้อมูลในแต่ละกระบวนการ

บรรณานุกรม

สมเกียรติ สุภเดช. 2545. เทคโนโลยีวงจรรวม.กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Hong Xiao. 2001. **Introduction to Semiconductor Manufacturing Technology.** Prentice Hall.

Jaeger, Richard C. 1988. **Introduction to Microelectronic Fabrication.** Addison-Wesley.

Peter Van Zant. 2000. **Microchip Fabrication.** McGraw-Hill.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้