

การสร้างลวดลายบนซิลิคอนไดออกไซด์ในกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี
สำหรับวงจรรวมแบบซีมอส ขนาด 5 ไมครอน

PATTERN TRANSFER OF PHOTOLITHOGRAPHY PROCESS
ON SILICON DIOXIDE FOR 5 MICRON CMOS IC



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 50393

วัน,เดือน,ปี 13 พ.ค. 2547

ปีการศึกษา 2545

b.....
.....
.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6/11/47

การสร้างลวดลายบนซิลิคอนไดออกไซด์ในกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี
สำหรับวงจรรวมแบบซีมอส ขนาด 5 ไมครอน

PATTERN TRANSFER OF PHOTOLITHOGRAPHY PROCESS
ON SILICON DIOXIDE FOR 5 MICRON CMOS IC



ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2545

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การสร้างลวดลายบนซิลิคอนไดออกไซด์ในกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี

สำหรับวงจรรวมแบบซีมอส ขนาด 5 ไมครอน

ผู้จัดทำ

1. นายมนัส เลิศสำราญ รหัส 42010264

2. นางสาวมานิตา คิ้วแสง รหัส 42010270



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การสร้างลวดลายบนซิลิคอนไดออกไซด์ในกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี
สำหรับวงจรรวมแบบซีมอส ขนาด 5 ไมครอน
PATTERN TRANSFER OF PHOTOLITHOGRAPHY PROCESS
ON SILICON DIOXIDE FOR 5 MICRON CMOS IC

ชื่อนักศึกษา 1. นายมนัส เลิศสำราญ รหัส 42010264
2. นางสาวมานิตา คีวงแสง รหัส 42010270

โครงการได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างลวดลายบนซิลิคอนไดออกไซด์ในกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี สำหรับวงจรรวมแบบซีมอส ขนาด 5 ไมครอน

นายมนัส เลิศตำราญ

นางสาวมานิดา ค้วงแสง

ผศ. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ (อาจารย์ที่ปรึกษา)

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ เป็นการสร้างลวดลายบนฟิล์มซิลิคอนไดออกไซด์ สำหรับวงจรรวมแบบซีมอส ขนาด 5 ไมครอน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาเทคโนโลยีวงจรรวมแบบซีมอสให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งแต่เดิมวงจรรวมแบบซีมอสที่สร้างในศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์จะสร้างลวดลายได้เล็กที่สุด 10 ไมครอน หนึ่งในกระบวนการที่สำคัญและถือเป็นหัวใจในการพัฒนาให้ได้วงจรรวมที่มีขนาดเล็กลงนี้ก็คือกระบวนการ โฟโตลิโทกราฟี ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาเน้นไปที่กระบวนการโฟโตลิโทกราฟีและกระบวนการอื่นๆที่เกี่ยวข้อง โดยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความหนาของน้ำยาไวแสง ได้แก่ ชนิดของน้ำยาไวแสง ปริมาณของน้ำยาไวแสงที่เหมาะสม ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุน เป็นต้น เพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาเลือกปัจจัยต่างๆให้ได้ความหนาของชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงที่เหมาะสมกับกระบวนการกัดชั้นฟิล์มของซิลิคอนไดออกไซด์ด้วยวิธีการกัดแบบชื้น ให้ได้ลวดลายที่มีลักษณะคมชัด จากการทดลองโดยใช้ลวดลายทดสอบแบบต่างๆพบว่า ลวดลายขนาด 5 ไมครอนที่ได้ มีความคมชัด และมีซิลิคอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการกัดออกทางด้านข้างเพียงข้างละ 0.4 ไมครอน หรือ 8 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงสามารถนำไปสร้างเป็นวงจรรวมแบบซีมอส ขนาด 5 ไมครอนได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PATTERN TRANSFER OF PHOTOLITHOGRAPHY PROCESS
ON SILICONDIOXIDE FOR 5 MICRON CMOS IC**

Mr. Manas Lerdsamran

Miss Manita Duangsang

Asst.Prof. Surasak Niemcharoen (Advisor)

Abstract

This thesis is the studied in creating patterns on silicondioxide films for 5 microns CMOS Integrated Circuits. It is the part of CMOS circuit technology development to reduce its size. At first, the CMOS Integrated Circuit created at electronics research center was created the smallest pattern of 10 microns. The photolithography process is the essential process and the main factor for reducing CMOS Integrated Circuit size. Therefore this study emphasize on many factors that effect to the thickness of photoresist film such as type of photoresist, quality of photoresist and the spin rate to choose each factors that make suitable thickness of photoresist for silicondioxide film etching process by using wet etching method. This method would create the clear pattern. By using the test pattern was found that 5 microns pattern was very clear and has silicondioxide each side from over etching only 0.4 microns or 8 percent. Thus it can use for creating 5 microns CMOS integrated circuit later.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ ขอขอบพระคุณ ผศ.สุรศักดิ์ เนียมเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ให้ความรู้ แนวความคิด และให้คำปรึกษาแก้ไขปัญหาในขณะทำการวิจัยมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือของศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ในระหว่างทำการวิจัย ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคน ที่เป็นกำลังใจให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ ผู้ให้กำเนิด ให้ความอุปการะ และสนับสนุนทางการศึกษามาโดยตลอด



.....
(นายมนัส เลิศสำราญ)

.....
(นางสาวมานิตา ค้วงแสง)

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 กระบวนการสร้างวงจรรวม

บทที่ 3 กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี

3.1 ขั้นตอนการทำความสะอาดแผ่นผลึกซิลิคอน.....	11
3.2 ขั้นตอนการเตรียมผิวหน้าของแผ่นผลึกซิลิคอน.....	12
3.2.1 ขั้นตอนการอบไล่ความชื้น.....	12
3.2.2 ขั้นตอนการอบไอระเหย.....	12
3.3 ขั้นตอนการเคลือบด้วยน้ำยาไวแสงบนแผ่นผลึกซิลิคอน.....	13
3.3.1 น้ำยาไวแสงหรือสารไวแสง.....	13
3.3.2 ชนิดของสารไวแสง.....	13
3.3.2.1 น้ำยาไวแสงชนิดลบ.....	14
3.3.2.2 น้ำยาไวแสงชนิดบวก.....	14
3.3.3 วิธีการเคลือบน้ำยาไวแสงบนแผ่นผลึกซิลิคอน.....	15
3.3.3.1 แบบสเปรย์.....	15
3.3.3.2 แบบลูกกลิ้ง.....	15
3.3.3.3 แบบสปินเนอร์.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 ขั้นตอนการปรับซ็อนมาส์กและฉายแสง.....	17
3.5.1 ขั้นตอนการปรับซ็อนมาส์ก.....	17
3.5.2 ขั้นตอนการฉายแสง.....	19
3.6 ขั้นตอนการขึ้นลวดลายของน้ำยาไวแสง.....	21
3.7 ขั้นตอนการตรวจสอบลวดลาย.....	22
3.8 ขั้นตอนการอบครั้งหลัง.....	22
บทที่ 4 ลวดลายและเครื่องมือสำหรับการทดสอบ	
4.1 ลวดลายสำหรับการทดสอบ.....	23
4.1.1 ลวดลายสำหรับตรวจสอบขนาดและช่องว่างของหน้าสัมผัส.....	23
4.1.2 ลวดลายสำหรับการทดสอบการตั้งฉากและความโค้ง.....	24
4.1.3 ลวดลายสำหรับทดสอบขนาดและช่องว่างของเส้นตรง.....	25
4.1.4 ลวดลายสำหรับทดสอบขนาดและช่องว่างของเส้นเอียง.....	26
4.2 เครื่องมือสำหรับการทดสอบ.....	26
4.2.1 กล้องจุลทรรศน์.....	26
4.2.2 เครื่องวัดความหนาฟิล์ม.....	27
4.2.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด.....	28
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	
5.1 การทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง.....	30
5.1.1 การศึกษาผลของความเร็วรอบของสปินเนอร์ และปริมาณน้ำยาไวแสงต่อความหนาของฟิล์ม น้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112.....	32
5.1.2 การศึกษาผลของความเร็วรอบของสปินเนอร์ และปริมาณน้ำยาไวแสงต่อความหนาของฟิล์ม น้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818.....	36
5.2 การสร้างลวดลายสำหรับตรวจสอบ.....	41
5.2.1 การสร้างลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไปอนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.2 การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์.....	42
5.2.2.1 การตรวจสอบลักษณะของหน้าสัมผัส.....	43
5.2.2.2 การตรวจสอบลักษณะการตั้งฉากและความโค้ง.....	45
5.2.2.3 การตรวจสอบลักษณะของเส้นตรง.....	49
5.2.2.4 การตรวจสอบลักษณะของเส้นตรงเอียง.....	51
5.2.3 การวิเคราะห์ลักษณะของลวดลายโดยวิธี SEM.....	53
บทที่ 6 สรุปและบทวิจารณ์	55
บรรณานุกรม	59
ภาคผนวก ก ตารางผลการทดลองกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี.....	60
ภาคผนวก ข กระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างลวดลาย.....	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	กระบวนการสร้างวงจรรวมแบบซิมอส ที่มีเกิดเป็น โพลีซิลิคอน และมีบ่อแยกชนิดพี...	4
3.1	ขั้นตอนของกระบวนการ โฟโตลิโทกราฟี.....	11
3.2	การให้ความร้อนเพื่อกำจัดความชื้นบนผิวหน้าแผ่นซิลิคอน.....	12
3.3	การเคลือบแผ่นด้วยชั้นบางๆ ของสารเฮกซะเมทิลไดซิลิเซน.....	13
3.4	ลวดลายที่ได้จากน้ำยาไวแสงชนิดลบและน้ำยาไวแสงชนิดบวก.....	15
3.5	การเคลือบน้ำยาไวแสงแบบสปินเนอร์.....	16
3.6	เครื่องปรับชั้นมาสก์.....	18
3.7	เครื่องมือปรับชั้นมาสก์.....	19
3.8	การฉายแสง.....	20
3.9	ผลที่ได้จากการล้างฟิล์มน้ำยาไวแสงแบบต่างๆ.....	21
3.10	ผลที่ได้จากการอบ.....	22
4.1	ลวดลายสำหรับตรวจสอบขนาดและช่องว่างของหน้าสัมผัส.....	23
4.2	ลวดลายสำหรับการทดสอบการตั้งฉากและความโค้งแบบต่างๆ.....	24
4.3	ลวดลายสำหรับการทดสอบขนาดและช่องว่างของเส้นตรง ที่แปรค่าขนาดของเส้นและขนาดของช่องว่าง.....	25
4.4	ลวดลายสำหรับการทดสอบขนาดและช่องว่างของเส้นเอียง.....	26
4.5	ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์.....	27
4.6	ภาพถ่ายของเครื่องวัดความหนาของฟิล์มรุ่น TFM-120.....	27
4.7	แผนภาพหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM).....	28
5.1	แผ่นผลึกซิลิคอนที่ถูกสร้างชั้นต่างๆ ไว้.....	31
5.2	ตำแหน่งบนแผ่นผลึกซิลิคอน 9 จุด ที่ใช้วัดความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง.....	32
5.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง AZ 6112 กับความเร็วรอบของสปินเนอร์.....	33
5.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเบี่ยงเบนความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 กับความเร็วรอบของสปินเนอร์ ในปริมาณต่างๆ	35
5.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเบี่ยงเบนความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 กับความเร็วรอบของสปินเนอร์ เมื่อน้ำยาไวแสง ปริมาณ 0.750 ลบ.ซม.	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง S 1818 กับความเร็วยอบของสปีนเนอร์.....	37
5.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเชิงเบนความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 กับความเร็วยอบของสปีนเนอร์ เมื่อน้ำยาไวแสง ปริมาณ 0.750 ลบ.ซม.	39
5.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเชิงเบนความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 กับความเร็วยอบของสปีนเนอร์ เมื่อน้ำยาไวแสง ปริมาณ 0.750 ลบ.ซม.	40
5.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงกับความเร็วยอบ ของสปีนเนอร์ เมื่อน้ำยาไวแสงแต่ละชนิด ในปริมาณ 0.750 ลบ.ซม.	41
5.10 ลวดลายบนกระจกต้นแบบที่ออกแบบไว้แล้ว.....	42
5.11 ลวดลายตรวจสอบหน้าสัมผัสวงกลม.....	43
5.12 ลวดลายตรวจสอบหน้าสัมผัสสี่เหลี่ยม.....	44
5.13 ลวดลายตรวจสอบขนาดของเส้นตรงมุมฉาก.....	45
5.14 ลวดลายตรวจสอบช่องว่างของเส้นตรงมุมฉาก.....	46
5.15 ลวดลายตรวจสอบขนาดของเส้นโค้งวงกลม.....	47
5.16 ลวดลายตรวจสอบช่องว่างของเส้นโค้งวงกลม.....	48
5.17 ลวดลายตรวจสอบขนาดและช่องว่างของเส้นตรงแนวนอน.....	49
5.18 ลวดลายตรวจสอบขนาดและช่องว่างของเส้นตรงแนวตั้ง.....	50
5.19 ลวดลายตรวจสอบขนาดของเส้นตรงเอียง.....	51
5.20 ลวดลายตรวจสอบช่องว่างของเส้นตรงเอียง.....	52
5.21 ภาพตัดขวางของลวดลายขนาด 5 μm ที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด	53
5.22 ภาพตัดขวางจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดแสดงให้เห็น ความหนาของฟิล์มซิลิคอนไดออกไซด์จากรูปเท่ากับ 5188 Å.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

จากอดีตถึงปัจจุบันอุตสาหกรรมทางด้านสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ได้ผ่านการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้กระบวนการใหม่ๆ และปรับปรุงกระบวนการที่มีอยู่เดิมให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นเป็นแรงผลักดันให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางวิทยาศาสตร์ และการพัฒนาต่างๆ ตามมา

กระบวนการพัฒนาทางด้านสารกึ่งตัวนำเกิดขึ้นใน 2 ลักษณะกว้างๆ คือ การพัฒนาทางด้านการออกแบบและการพัฒนาทางด้านกระบวนการสร้าง ในการพัฒนาทางด้านการออกแบบนั้นเป็นการพัฒนาการออกแบบวงจรที่มีความซับซ้อนมากขึ้นและมีขีดความสามารถในการทำงานมากขึ้น ส่วนการพัฒนาทางด้านกระบวนการสร้างนั้นเป็นการคิดค้นและพัฒนากระบวนการผลิตและเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อให้ได้ตัวอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กลง และตัวอุปกรณ์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การลดขนาดของอุปกรณ์ลงนั้นมีประโยชน์ในแง่ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ เมื่ออุปกรณ์มีตัวอุปกรณ์ขนาดเล็กลงจะทำให้ค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุภายในตัวอุปกรณ์มีค่าน้อยลงซึ่งจะทำให้ตัวอุปกรณ์มีความเร็วในการทำงานสูงขึ้น ในแง่ประสิทธิภาพโดยรวมของวงจรเมื่อนำขนาดของตัวอุปกรณ์ ลดลงจะทำให้อุปกรณ์แต่ละตัวกินพื้นที่บนชิปน้อยลง ซึ่งจะทำให้ชิปสามารถบรรจุจำนวนตัวอุปกรณ์ได้มากขึ้นและยังทำให้ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์แต่ละตัวบนวงจรมีค่าน้อยลงผลที่ตามมาคือระยะเวลาที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณมีค่าน้อยลงซึ่งจะทำให้วงจรมีประสิทธิภาพในการทำงานที่เร็วขึ้น นอกจากนี้ประโยชน์ในแง่การผลิตในเชิงอุตสาหกรรม ขนาดของอุปกรณ์ที่เล็กลงทำให้ได้จำนวนอุปกรณ์ต่อพื้นที่มีค่ามากขึ้นจึงสามารถสร้างชิปที่มีขนาดเล็กลงหรือสามารถสร้างชิปที่มีความซับซ้อนสูงได้

กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี (Photolithography) เป็นกระบวนการที่สำคัญมากกระบวนการหนึ่งในการสร้างวงจรรวมและอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ซึ่งกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีเป็นกระบวนการในการออกแบบสร้างลวดลายของวงจรรวม ซึ่งขนาดของลวดลายที่สร้างขึ้นจะส่งผลโดยตรงต่อขนาดของอุปกรณ์ จึงถือว่ากระบวนการโฟโตลิโทกราฟีเป็นหัวใจสำคัญที่จะพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตวงจรรวมให้มีขนาดเล็กลงได้

แต่เดิมนั้นห้องปฏิบัติการสารกึ่งตัวนำของศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีเทคโนโลยีที่สามารถสร้างวงจรรวมได้ในระดับขนาด 10 ไมครอน (ขนาดของส่วนเกต) และเป็นเกตแบบโลหะ ในปัจจุบันยังถือว่ามีขนาดไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใหญ่เกินในการสร้างวงจรรวมแบบซิมอส จึงได้มีแนวความคิดในการศึกษาการสร้างลวดลาย สำหรับวงจรรวมแบบซิมอสที่มีขนาดเกตลดลงเหลือ 5 ไมครอน ซึ่งสามารถลดขนาดลงได้ครั้งหนึ่งของความสามารถเดิมทำให้ ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ สามารถสร้างวงจรรวมที่มีขนาดเล็กลงกว่าเดิม ซึ่งจะเป็ประโยชน์ในแง่ประสิทธิภาพการทำงานที่มีเสถียรภาพ คีซึ้นกว่าเดิม มีความน่าเชื่อถือของวงจรรวมที่สูงขึ้น และสามารถสร้างวงจรรวมที่มีความซับซ้อนได้มากกว่าเดิม ได้ดังที่กล่าวไว้แล้ว และจะได้เป็นจุดเริ่มต้นของการเรียนรู้ การพัฒนาเทคโนโลยีทางสารกึ่งตัวนำของศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ในระดับไมครอนหรือเล็กกว่านี้ในโอกาสต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย

การทำวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการ โฟโตลิโทกราฟี ในการสร้างลวดลายสำหรับวงจรรวมแบบซิมอส ระดับ 5 ไมครอน โดยใช้แผ่นหลักซิลิคอนขนาด 2 นิ้ว เพื่อกำหนดเป็นกระบวนการมาตรฐานสำหรับกระบวนการ โฟโตลิโทกราฟีของศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งในการศึกษานี้ได้ทำการทดลองสร้างลวดลายบนฟิล์มของซิลิคอนไดออกไซด์ที่มีความหนาประมาณ 5000 Å

1.3 ขั้นตอนของการศึกษา

ในการทำงานวิจัยนี้มีขั้นตอนการศึกษา สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีของกระบวนการสร้างวงจรรวมแบบซิมอส โดยเน้นความสำคัญที่กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี
2. ศึกษาและทำความเข้าใจในขั้นตอนต่างๆ และเครื่องมือที่ใช้กับกระบวนการ โฟโตลิโทกราฟี สำหรับการสร้างวงจรรวมแบบซิมอส ระดับ 5 ไมครอน
3. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนาของชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสง โดยทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของสปินเนอร์กับความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง และความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณของน้ำยาไวแสงกับความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง เพื่อใช้เป็นข้อมูลกำหนดเงื่อนไข เช่น ความเร็วรอบของสปินเนอร์ และปริมาณของน้ำยาไวแสง เป็นต้น ในการสร้างชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงให้ได้ความหนาที่เหมาะสมกับกระบวนการสร้างในขั้นตอนต่อไป
4. ศึกษาขั้นตอน และตัวแปรต่างๆ ในการฉายแสง , การขึ้นลวดลาย (Development) และการกัดแบบชื้น (Wet Etching)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สร้างลวดลายสำหรับตรวจสอบ บนแผ่นผลึกซิลิคอน โดยใช้เงื่อนงำที่ได้จากชั้นคอนที่ 3 และชั้นคอนที่ 4 โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (Microscope) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope : SEM) เพื่อหาตัวแปรที่อาจทำให้เกิดข้อจำกัดกับกระบวนการนี้

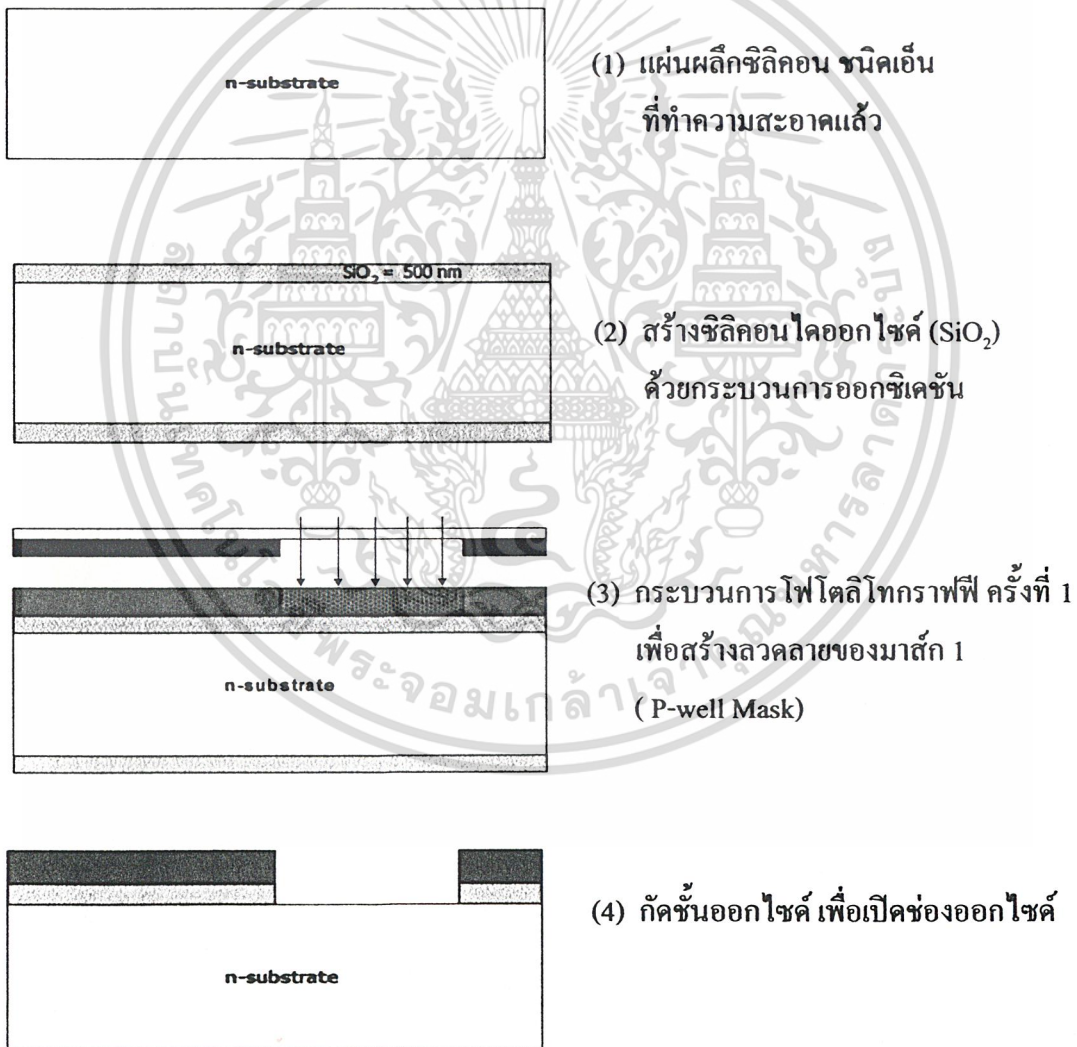


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

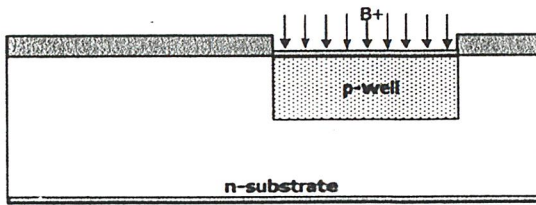
บทที่ 2

กระบวนการสร้างวงจรรวมแบบซีมอส

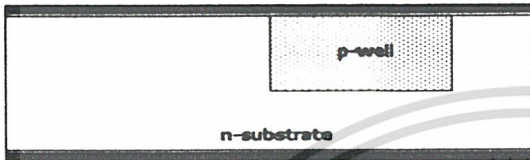
ในการสร้างวงจรรวมแบบซีมอส (Complementary Metal Oxide Semiconductor Integrated Circuit : CMOS IC) นั้นต้องผ่านกระบวนการต่างๆ หลายกระบวนการ ซึ่งในแต่ละกระบวนการนั้นจะประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆหลายขั้นตอนเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เป็นกระบวนการสร้างวงจรรวมแบบซีมอส ที่มีเกทเป็นโพลีซิลิคอน และมีบ่อแยกมอสทรานซิสเตอร์เป็นชนิดพี



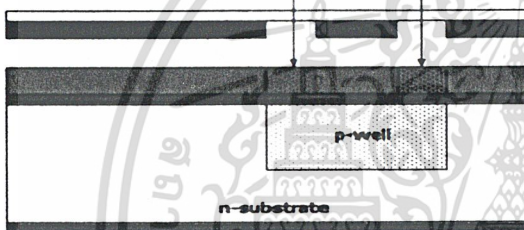
เอกสารนี้เป็นรูปที่ 2.1 กระบวนการสร้างวงจรรวมแบบซีมอส ที่มีเกทเป็น โพลีซิลิคอน และมีบ่อแยกมอสทรานซิสเตอร์เป็นชนิดพี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้นเป็นชนิดพี มิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



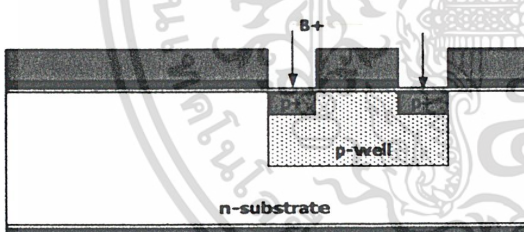
- (5) แพร่สารเจือโบรอน และทำการขั้ว
ลึกลง เพื่อสร้างบ่อแยกชนิดพี (P-well)



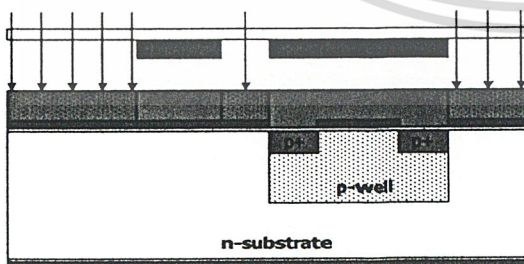
- (6) สร้างซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2)
หนา ประมาณ 500 Å และ
สร้างซิลิคอนไนไตรด์ (Si_3N_4)
หนาประมาณ 1000 Å



- (7) กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี ครั้งที่ 2
(Mask 2 # Nch Locos & Nch Stop)

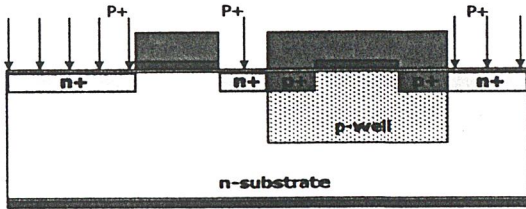


- (8) กัดชั้นออกไซด์ เพื่อเปิดช่องออกไซด์
แพร่สารเจือโบรอนสร้าง Nch Stop

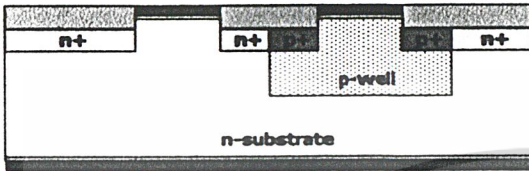


- (9) กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี ครั้งที่ 3
(Mask 3 # Pch Locos & Pch Stop)

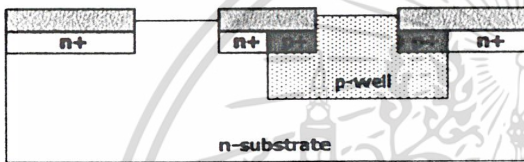
เอกสารนี้เป็นรูปที่ 2.1.1 ที่กระบวนการสร้างวงจรรวมแบบซีมอส ที่มีเกทเป็นโพลีซิลิคอน และมีบ่อแยกด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น เป็นชนิดพี (ต่อ) ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



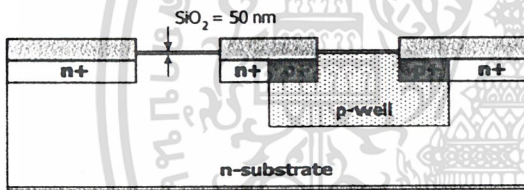
(10) กัดชั้นซิลิคอนไนไตรด์ออก
แพร่สารเจือฟอสฟอรัส (P+) สร้าง
Pch Stop



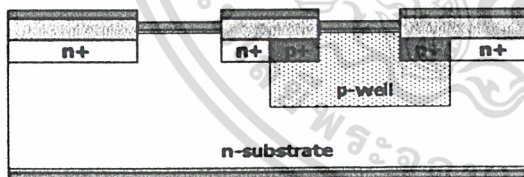
(11) สร้างซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO₂)
หนาประมาณ 8500 Å



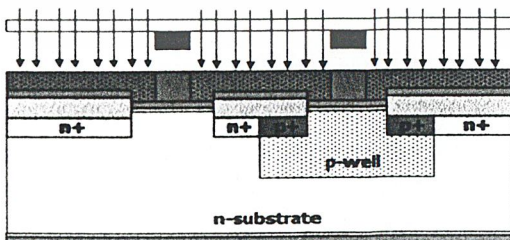
(12) กัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์บาง และ
ชั้นซิลิคอนไนไตรด์ออกทั้งหมด



(13) สร้างซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO₂) หนา
ประมาณ 500 Å

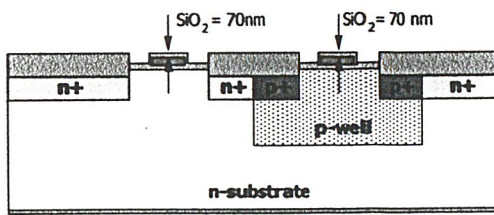


(14) สร้างโพลีซิลิคอน หนา 4500 Å

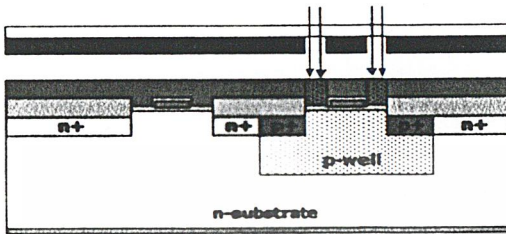


(15) กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี ครั้งที่ 4
(Mask 4 # Polysilicon Mask)

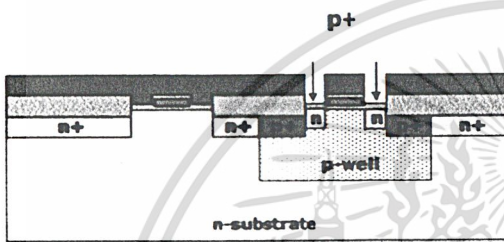
รูปที่ 2.1 กระบวนการสร้างวงจรรวมแบบซีมอส ที่มีเกตเป็น โพลีซิลิคอน และมีบ่อแยก
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่ภายนอก
เป็นชนิดพี (ต่อ)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



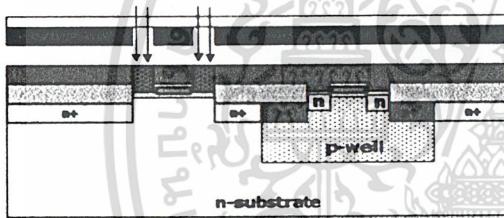
(16) สร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์หนา 700 Å



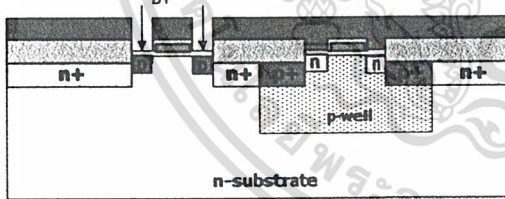
(17) กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี ครั้งที่ 5
(Mask 5 # NSD Mask)



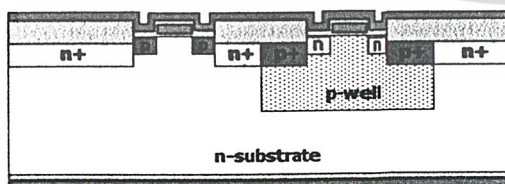
(18) แพร่สารเจือฟอสฟอรัส (P+) สร้าง
NSD



(19) กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี ครั้งที่ 6
(Mask 6 # PSD Mask)



(20) แพร่สารเจือโบรอน (B+) สร้าง PSD

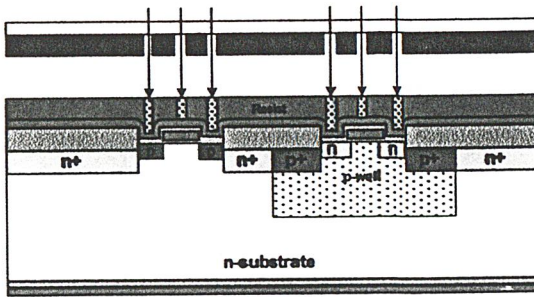


(21) สร้างชั้น ฟอสฟอรัส ซิลิเกต กลาส
(PSG) หนา 5000 Å

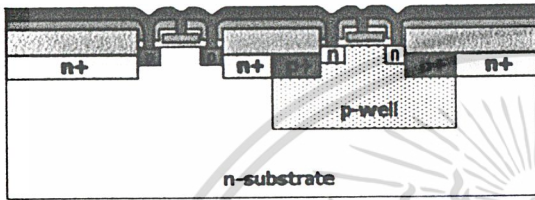
รูปที่ 2.1 กระบวนการสร้างวงจรรวมแบบซีมอส ที่มีเกตเป็นโพลีซิลิคอน และมีบ่อแยก

เป็นชนิดพี (ต่อ)

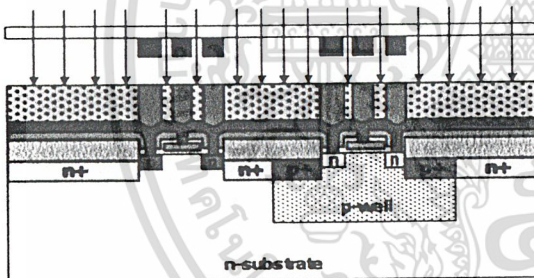
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



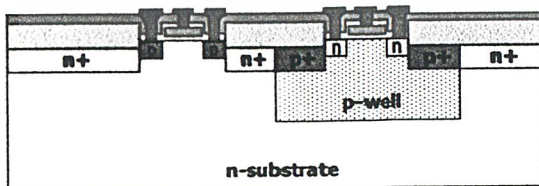
(22) กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี ครั้งที่ 7
(Mask 7 # Contact Mask)



(23) สร้างชั้นอลูมิเนียม (Al) หนา 5000 Å



(24) กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี ครั้งที่ 8
(Mask 8 # Metal Mask)



(25) กัดชั้นอลูมิเนียมออก

รูปที่ 2.1 กระบวนการสร้างวงจรรวมแบบซีมอส ที่มีเกตเป็น โพลีซิลิคอน และมีบ่อแยก
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เป็นชนิดพี (ต่อ)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าในกระบวนการสร้างวงจรรวมนั้นต้องผ่าน กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี เพื่อสร้างลวดลายของส่วนต่างๆ หลายครั้งด้วยกัน ดังเช่นในรูปที่ 2.1 เราต้องใช้กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี ถึง 8 ครั้ง ดังนั้นการพัฒนากระบวนการ โฟโตลิโทกราฟีจึงมีความสำคัญมากในการพัฒนาการสร้างวงจรรวมให้มีขนาดเล็ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี

กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี (photolithography process) หมายถึง กระบวนการสร้างลวดลาย และการกัดชั้นสาร หรือวัสดุใดๆ ในบางส่วนหรือบริเวณที่ต้องการ โดยใช้เทคนิคทางแสง ซึ่งเทคนิคดังกล่าวนี้ถูกนำมาใช้ในการสร้างวงจรรวมเพื่อเปิดชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์ในบางบริเวณเพื่อแพร่อะตอมสารเจือให้เกิดเป็นส่วนต่างๆ ของตัวอุปกรณ์ และนำมาใช้สักรัดชั้นของโลหะอลูมิเนียมให้เกิดเป็นลวดลายของแถบตัวนำ

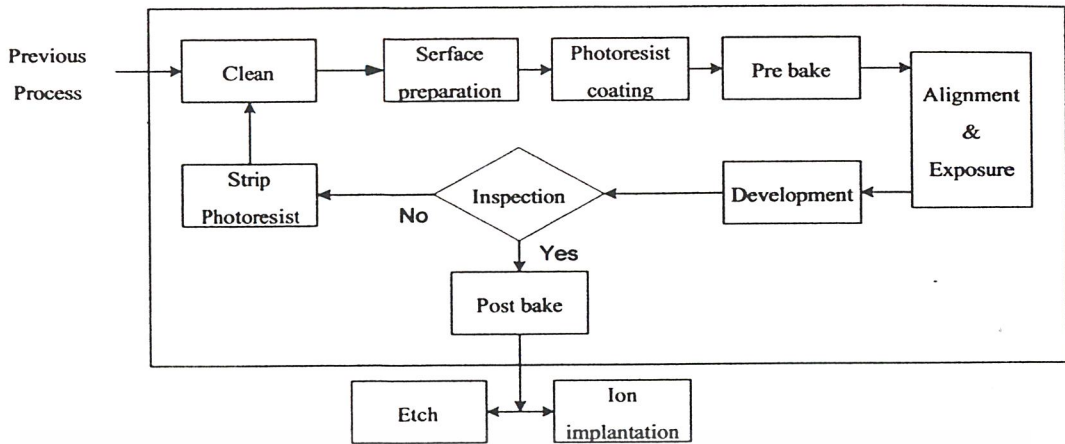
กระบวนการโฟโตลิโทกราฟีประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนการเคลือบด้วยน้ำยาไวแสง ขั้นตอนการฉายแสง และขั้นตอนการขึ้นลวดลายของน้ำยาไวแสง เพื่อให้ น้ำยาไวแสงยึดเกาะพื้นผิวได้ดียิ่งขึ้นกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีจึงจำเป็นต้องเพิ่มขั้นตอนการอบแผ่นผลึกซิลิคอน และขั้นตอนการทำให้เย็น (chilling)

ขั้นตอนของกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี ประกอบด้วยขั้นตอนทั้งหมด 8 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนการทำความสะอาดแผ่นผลึกซิลิคอน
2. ขั้นตอนการอบและการเตรียมผิวหน้า
4. ขั้นตอนการเคลือบด้วยน้ำยาไวแสง
5. ขั้นตอนการอบครั้งแรก (Pre bake)
6. ขั้นตอนการปรับชั้นมาร์กและการฉายแสง
7. ขั้นตอนการขึ้นลวดลายของน้ำยาไวแสง
8. ขั้นตอนการตรวจสอบลวดลาย
9. ขั้นตอนการอบครั้งหลัง (Post bake)

ถ้าแผ่นผลึกซิลิคอนอยู่ในขั้นตอนการตรวจสอบลวดลายแล้วพบว่าลวดลายมีความผิดปกติ แผ่นผลึกซิลิคอนนั้นจะถูกล้างไปลอกเอาฟิล์มน้ำยาไวแสงออกโดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการอบครั้งหลัง (Post bake) และเริ่มกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีใหม่ตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนกระทั่งผ่านในขั้นตอนการตรวจสอบลวดลาย ดังแสดงในแผนภาพขั้นตอนของกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี รูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนของกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี

3.1 ขั้นตอนการทำความสะอาดแผ่นผลึกซิลิคอน (Wafer Cleaning)

ก่อนจะนำแผ่นผลึกซิลิคอนเข้าสู่กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี แผ่นผลึกซิลิคอนมักจะผ่านกระบวนการอื่นมาก่อน เช่น การกัด (Etching) , การฝังไอออน (Ion implantation) , ออกซิเดชัน (Oxidation) และ ออกซิเดชันแบบซีวีดี (CVD : Chemical Vapor Deposition) ซึ่งอาจทำให้มีสิ่งแปลกปลอมตกค้างอยู่บนผิวหน้าของแผ่นผลึกซิลิคอน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอมเหล่านั้นให้เรียบร้อยก่อนที่จะนำแผ่นผลึกซิลิคอนเข้าสู่กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี ถึงแม้ว่าแผ่นผลึกซิลิคอนจะไม่มีสิ่งเจือปนตกค้างอยู่ แต่การทำความสะอาดจะช่วยให้น้ำยาไวแสงเกาะติดบนแผ่นผลึกซิลิคอนได้ดียิ่งขึ้น

ในการทำความสะอาดโดยทั่วไปมักจะใช้วิธีการทางเคมี โดยการใช้สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดเพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอมทั้งที่มีองค์ประกอบทางอินทรีย์และอนินทรีย์ หลังจากนั้นจะทำการล้างแผ่นให้สะอาดด้วยน้ำบริสุทธิ์ (Deionized water : DI water) ตามด้วยการเป่าด้วยอากาศแห้งหรือก๊าซไนโตรเจนเพื่อทำให้แผ่นผลึกซิลิคอนแห้ง

สิ่งแปลกปลอมที่อยู่บนแผ่นผลึกซิลิคอนอาจเป็นสาเหตุให้เกิดรูพรุน (pin hole) ในชั้นฟิล์มของน้ำยาไวแสง อีกทั้งยังอาจทำให้เกิดปัญหาการยึดเกาะผิวของน้ำยาไวแสง รวมถึงปัญหาของขนาดลวดลายของตัวอุปกรณ์ที่อาจผิดพลาดไป เป็นผลทำให้อุปกรณ์และ/หรือ วงจรไม่สมบูรณ์ ดังนั้นการกำจัดหรือทำให้สิ่งแปลกปลอมมีปริมาณน้อยที่สุดก่อนจะเข้าสู่กระบวนการโฟโตลิโทกราฟีจึงถือเป็นเรื่องสำคัญ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าลวดลายที่ได้จากกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีสามารถผ่านการตรวจสอบและนำไปสู่กระบวนการอื่นๆ ต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

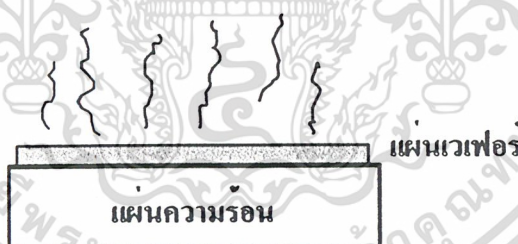
3.2 ขั้นตอนการเตรียมผิวหน้าของแผ่นผลึกซิลิคอน

โดยทั่วไปน้ำยาไวแสงจะถูกนำมาเคลือบบนผิวของวัสดุชนิดต่างๆ เช่น ชั้นออกไซด์ ชั้นซิลิคอน หรือชั้นอลูมิเนียม ขึ้นอยู่กับกระบวนการที่ต้องการ ซึ่งผิวหน้าชั้นออกไซด์จะดูดซับความชื้นจากอากาศได้ดี ความชื้นนี้จะทำให้เกิดปัญหาการยึดเกาะของน้ำยาไวแสง จึงจำเป็นต้องมีการเตรียมผิวหน้าของแผ่นผลึกซิลิคอนก่อนจะเคลือบด้วยน้ำยาไวแสง ในการเตรียมผิวหน้าของแผ่นผลึกซิลิคอนจะประกอบด้วยขั้นตอน 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการอบไล่ความชื้น และขั้นตอนการอบไอระเหยของ HMDS

3.2.1 ขั้นตอนการอบไล่ความชื้น (Dehydrate bake)

เป็นขั้นตอนการให้ความร้อนเพื่อกำจัดความชื้นบนผิวหน้าของแผ่นผลึกซิลิคอน แผ่นผลึกซิลิคอนที่มีผิวหน้าสะอาดและแห้งจะทำให้ น้ำยาไวแสงสามารถยึดเกาะพื้นผิวได้ดี ในการอบจะใช้การอบด้วยแผ่นความร้อน (hot plate) ที่อุณหภูมิ 150 - 200 °C ใช้เวลาในการอบ 1 - 2 นาที ดังแสดงใน รูปที่ 3.2

ระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้มีความสำคัญอย่างมาก ถ้าใช้เวลาน้อยและอุณหภูมิต่ำเกินไปจะทำให้กำจัดความชื้นออกไม่หมด ถ้าใช้เวลานานและอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เกิดการแยกออกของชั้นออกไซด์

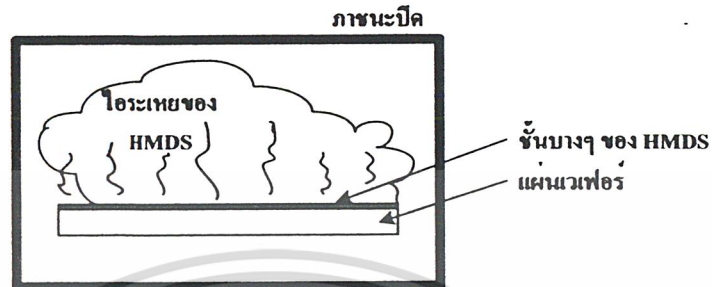


รูปที่ 3.2 การให้ความร้อนเพื่อกำจัดความชื้นบนผิวหน้าของแผ่นผลึกซิลิคอน
(Dehydration Bake)

3.2.2 ขั้นตอนการอบไอระเหย (Priming)

เป็นขั้นตอนการเคลือบแผ่นด้วยชั้นบางๆ ของสารเฮกซะเมทิลไดซิลิเซน (Hexamethyldisilazane : HMDS) ก่อนจะทำการเคลือบทับด้วยน้ำยาไวแสงดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยจะใช้ไอระเหยของ HMDS ที่แพร่อยู่ในภาชนะปิด ปกคลุมและเคลือบอยู่บนผิวหน้าของแผ่นผลึกซิลิคอน สาร HMDS มีคุณสมบัติในการกำจัดโมเลกุลของน้ำออกจากผิวของออกไซด์ และช่วยให้น้ำยาไวแสงยึดติดกับผิวหน้าได้ดี ข้อสำคัญหลังจากผ่านกระบวนการอบไอระเหยแล้ว

จะต้องทำการเคลือบด้วยน้ำยาไวแสงทันทีเพื่อป้องกันการเกิด Rehydration บนผิวหน้าของแผ่นผลึกซิลิคอน



รูปที่ 3.3 การเคลือบแผ่น (priming) ด้วยชั้นบางๆ ของสารเฮกซะเมทิล ไดซิลิเซน (Hexamethyldisilazane : HMDS)

3.3 ขั้นตอนการเคลือบน้ำยาไวแสงบนแผ่นผลึกซิลิคอน

3.3.1 น้ำยาไวแสงหรือสารไวแสง (Photoresist)

น้ำยาไวแสงเป็นวัสดุที่สามารถทำปฏิกิริยากับแสงได้โดยฟิล์มบางของสารไวแสงจะถูกนำมาใช้ทำหน้าที่เป็นชั้นป้องกัน ปฏิกิริยาเคมีที่จะเกิดขึ้นระหว่างวัสดุใดๆ กับสารเคมีที่เป็นตัวสกัด เพราะฟิล์มบางของสารไวแสงนี้ จะไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารเคมีนั้นๆ สมบัติดังกล่าว ถูกนำมาใช้กับการเปิดชั้นซิลิคอน ไดออกไซด์เพื่อการแพร่สารเจือในบางส่วน หากบริเวณใดที่ต้องการให้มีชั้นออกไซด์คงอยู่ ก็ใช้ฟิล์มบางของสารไวแสงนี้ปกคลุมไว้ ส่วนบริเวณใดที่ต้องการสกัด หรือละลายชั้นออกไซด์ออก ก็ไม่ต้องมีชั้นสารไวแสงปิดไว้ การทำหน้าที่ของสารไวแสง เพื่อป้องกันหรือต้านทานปฏิกิริยาเคมี ที่จะเกิดขึ้นกับชั้นฐานรอง (substrate) นี้ อาจถูกนำมาใช้เรียกชื่อของสารไวแสงนี้ว่า ชั้นต้านทานไวแสงหรือ photoresist และนิยมเรียกสั้นๆว่า resist

3.3.2 ชนิดของสารไวแสง

ในน้ำยาไวแสงที่นำมาใช้ กับกระบวนการ โฟโตลิโทกราฟี โดยทั่วไป จะประกอบด้วย สิ่งสำคัญต่างๆ คือ วัสดุที่เป็นสารไวแสง ส่วนที่เป็นสารละลาย และส่วนที่เป็นสาร เพื่อช่วยในการยึดติดกับผิวใดๆ และโดยการพิจารณาปฏิกิริยาทางเคมีและแสงของวัสดุไวแสงที่อยู่ในน้ำยาไวแสง ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญทำให้เราสามารถจำแนกน้ำยาไวแสง ออกเป็นชนิดใหญ่ๆ ได้ 2 ชนิด คือน้ำยาไวแสงชนิดลบ และ น้ำยาไวแสงชนิดบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.1 น้ำยาไวแสงชนิดลบ (Negative photoresist)

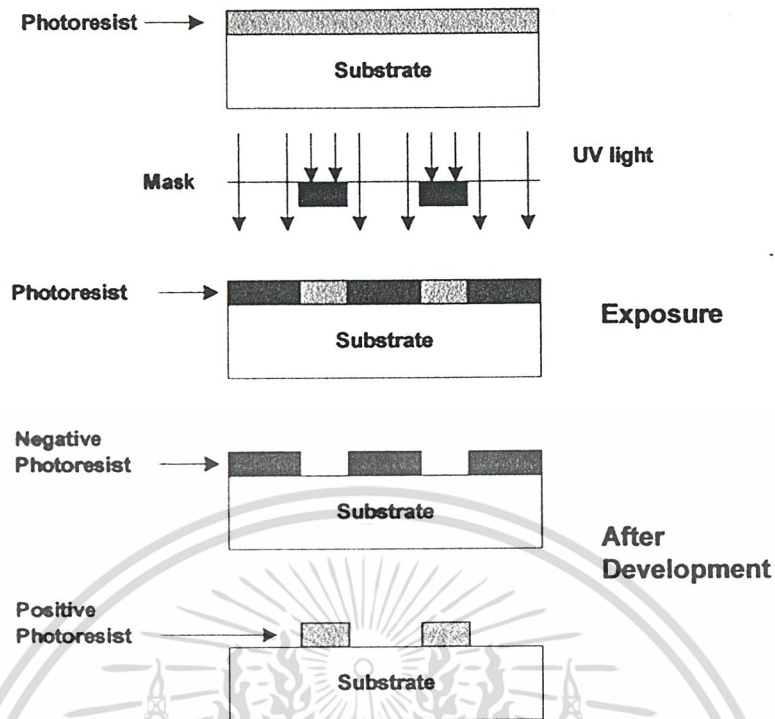
หมายถึง น้ำยาไวแสง ที่เมื่อถูกฉายด้วยแสง และมีปฏิกิริยาเคมี-แสง เกิดขึ้นแล้ว จะทำให้คุณสมบัติของการละลายในสารตัวทำละลาย ที่เรียกว่า น้ำยาล้างฟิล์ม (developer) หรือการขึ้นลวดลาย เปลี่ยนแปลงไป โดยขณะที่ยังไม่ทำปฏิกิริยากับแสงจะสามารถละลายได้ดีในสารตัวทำละลาย แต่เมื่อถูกแสงแล้ว จะมีสมบัติเปลี่ยนไป คือ ไม่สามารถละลายได้ น้ำยาไวแสงชนิดลบนี้ จะเป็นคล้ายกับที่ใช้ในฟิล์มถ่ายภาพทั่วไป ซึ่งภาพที่ปรากฏบนฟิล์มมีลักษณะเป็น ภาพเนกาทีฟ คือมีสภาพตรงข้ามกับภาพต้นแบบ เช่น เปลี่ยนจากขาวเป็นดำ หรือดำเป็นขาว ถ้าต้องการภาพที่เหมือนต้นแบบจริง จะต้องนำฟิล์มที่ได้ ไปพิมพ์หรืออัดภาพลงกระดาษอัดภาพอีกครั้งหนึ่ง จึงจะได้ภาพที่เหมือนต้นแบบ ผลของปฏิกิริยาเคมี-แสง ของน้ำยาไวแสง ซึ่งจะให้ภาพเนกาทีฟดังกล่าว ทำให้ถูกเรียกว่า น้ำยาไวแสงชนิดลบ

3.3.2.2 น้ำยาไวแสงชนิดบวก (Positive photoresist)

น้ำยาไวแสงชนิดนี้ประกอบด้วยสาร ไวแสง ซึ่งมีคุณสมบัติปฏิกิริยาเคมี-แสง ที่แตกต่างกับกรณีของน้ำยาไวแสงชนิดลบโดยให้ผลตรงกันข้าม กล่าวคือ เมื่อยังไม่ถูกแสง หรือเมื่อไม่มีปฏิกิริยาเคมีกับแสง จะมีคุณสมบัติไม่ละลายในสารตัวทำละลาย หรือน้ำยาล้างฟิล์ม แต่เมื่อถูกแสง หรือมีปฏิกิริยาแล้วสมบัติจะเปลี่ยนไป คือสามารถละลายได้ดีในน้ำยาล้าง น้ำยาไวแสงชนิดนี้ มีสมบัติเหมือนฟิล์มสไลด์หรือ ฟิล์มภาพยนตร์ ซึ่งจะให้ภาพบนฟิล์มมีลักษณะที่เป็น ภาพโพสิทีฟ ซึ่งเป็นภาพจริง เหมือนภาพต้นแบบ คือ ขาว หรือ ดำ เหมือนต้นแบบ ดังนั้นจึงเรียกว่าน้ำยาไวแสงชนิดบวก

ในรูปที่ 3.4 แสดงการสร้างลวดลายของกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี แสดงให้เห็นความแตกต่างของลวดลายที่ได้จากการใช้น้ำยาไวแสงแต่ละชนิด คือ ลวดลายที่ได้จากการใช้น้ำยาไวแสงชนิดบวกจะเหมือนลวดลายบนกระจกโฟโตมาส์ก ส่วนลวดลายที่ได้จากการใช้น้ำยาไวแสงชนิดลบจะเป็นภาพกลับตรงข้ามกับภาพลวดลายบนกระจกโฟโตมาส์ก

ในการสร้างวงจรรวม สามารถใช้น้ำยาไวแสงได้ทั้งชนิดบวกและชนิดลบและสมบัติที่สำคัญของน้ำยาไวแสงคือ ความละเอียด ซึ่งอาจหมายถึงความละเอียดของภาพที่จะสามารถทำได้ สำหรับงานวงจรรวมระดับสูง ที่มีขนาดเล็กมากๆ จะต้องมีความละเอียดสูง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของน้ำยาไวแสง นอกจากนี้อาจขึ้นอยู่กับ ชนิดของแสงที่ใช้ โดยแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นๆ จะทำให้ได้ภาพที่มีความละเอียดสูง



รูปที่ 3.4 ลวดลายที่ได้จากน้ำยาไวแสงชนิดลบ (negative photoresist) และน้ำยาไวแสงชนิดบวก (positive photoresist)

3.3.3 วิธีเคลือบน้ำยาไวแสงบนแผ่นผลึกซิลิคอน

การเคลือบน้ำยาไวแสงลงบนแผ่นผลึกซิลิคอนซึ่งมีชั้นซิลิคอนไดออกไซด์หรือชั้นวัสดุอยู่ที่ผิวด้านบนนั้น สามารถกระทำได้หลายวิธี ดังนี้คือ

3.3.3.1 แบบสเปรย์ (spray coating)

วิธีการนี้น้ำยาไวแสงจะถูกฉีด หรือพ่นออกมาเป็นละออง แล้วตกลงไปเกาะกับผิวหน้าของแผ่นผลึกและยึดเกาะกันเป็นฟิล์มบาง คล้ายกับการพ่นสีสเปรย์ซึ่งใช้ง่ายและสะดวก แต่เหมาะกับเฉพาะงานบางประเภท การควบคุมความหนาของฟิล์มที่ทำได้ยาก ปกติจะใช้ในบางขั้นตอนซึ่งไม่สำคัญ เช่น ใช้เคลือบสารไวแสงเพื่อป้องกัน ชั้นของออกไซด์ ด้านล่างของแผ่นผลึก

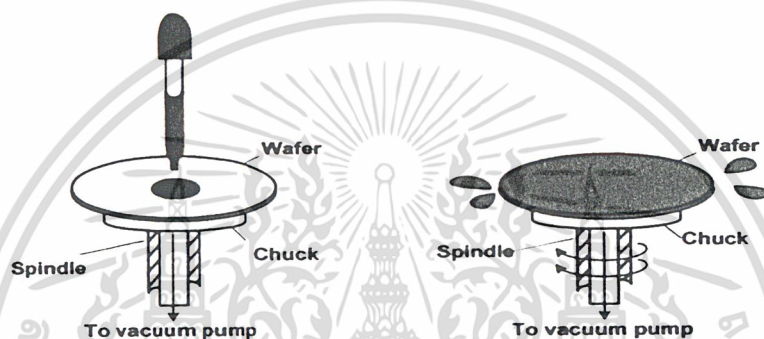
3.3.3.2 แบบใช้ลูกกลิ้ง (roller coating)

การเคลือบน้ำยาไวแสงด้วยวิธีแบบลูกกลิ้ง จะนิยมทำในขั้นตอนของการตัดแยกแผ่นผลึกซิลิคอนออกเป็นไดซ์ หรือชิพ โดยแผ่นผลึกจะถูกเคลือบน้ำยาไวแสงทั้งสองด้าน เพื่อป้องกันฝุ่นละออง หรือสิ่งสกปรกอื่นๆ ที่จะเกิดขึ้นขณะทำการตัดแยกชิพด้วยเลื่อย หรือแสงเลเซอร์ ปกติวิธีนี้จะใช้น้ำยาไวแสงชนิดบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.3 แบบสปินเนอร์ (spinner coating)

เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดในการเคลือบนำยาไวแสง วิธีการนี้จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าสปินเนอร์ (spinner) โดยมีแท่นหมุนที่สามารถปรับความเร็วได้ด้วยมอเตอร์ความเร็วสูง บนแท่นหมุนจะมีการยึดด้วยระบบสุญญากาศ ซึ่งจะสามารถยึดแผ่นผลึกซิลิคอนไว้ได้ในขณะที่หมุนแผ่นผลึกซิลิคอนความเร็วสูง แรงเหวี่ยงจากจุดศูนย์กลางที่เกิดจากการหมุนจะทำให้นำยาไวแสงซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวกระจายออกจนทั่วผิวหน้าของแผ่นผลึกซิลิคอนดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การเคลือบนำยาไวแสงแบบสปินเนอร์ (spinner coating)

แผ่นผลึกซิลิคอนจะถูกวางลงบนแท่นหมุน จากนั้นทำการหยดนำยาไวแสงลงตรงกลางแผ่นผลึกซิลิคอน เริ่มทำการหมุนด้วยความเร็วรอบต่ำราว 100-500 รอบ/นาที เป็นเวลา 5-10 วินาที เพื่อเป็นการเกลี่ยให้นำยาไวแสงกระจายทั่วทั้งแผ่น หลังจากนั้นทำการหมุนด้วยความเร็วรอบสูงราว 3000 – 6000 รอบ/นาที เป็นเวลา 30-40 วินาที เพื่อให้ นำยาไวแสงกระจายออกเหลือเป็นฟิล์มบาง ความหนาของชั้นฟิล์มนำยาไวแสงที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 5,000 ถึง 30,000 Å โดยความหนาของชั้นฟิล์มนำยาไวแสงจะขึ้นอยู่กับความหนืดของนำยาไวแสงและความเร็วรอบในการหมุน ถ้าหากใช้ความเร็วรอบต่ำจะได้ชั้นของนำยาไวแสงที่หนา ถ้าเพิ่มความเร็วรอบก็จะได้ชั้นฟิล์มนำยาไวแสงที่บางลง ชั้นฟิล์มนำยาไวแสงที่ดีจะต้องมีความหนาสม่ำเสมอเท่ากันทั้งแผ่น ในขั้นตอนนี้จะต้องระมัดระวังเรื่องฝุ่นละอองมากเป็นพิเศษ

3.4 ขั้นตอนการอบครั้งแรก (Pre bake)

หลังจากผ่านกระบวนการเคลือบผิวหน้าของแผ่นผลึกซิลิคอนด้วยนำยาไวแสงแล้วแผ่นผลึกซิลิคอนจะผ่านเข้าสู่กระบวนการให้ความร้อน เพื่อทำให้ตัวทำละลายที่อยู่ในนำยาไวแสงไม่ว่ากรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้หดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระเหยออกไป หลังจากให้ความร้อนแล้วน้ำยาไวแสงที่เคลือบอยู่บนผิวหน้าของแผ่นผลึกซิลิคอน จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง และมีสภาพการยึดเกาะพื้นผิวที่ดีขึ้น ซึ่งกระบวนการนี้ เรียกว่ากระบวนการอบ Pre bake หรือ Pre-exposure bake ซึ่งอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในกระบวนการนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำยาไวแสงที่เลือกใช้ โดยจะใช้อุณหภูมิราว 90 – 100 °C สำหรับน้ำยาไวแสงชนิดลบ และราว 80 – 90 °C สำหรับน้ำยาไวแสงชนิดบวก การอบที่ใช้เวลานานเกินไปหรืออุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจทำให้เกิดการเสียหายกับชั้นของน้ำยาไวแสง เช่น เกิดปฏิกิริยาเคมี-ความร้อน หรืออาจเกิดการไหม้ได้ หลังจากผ่านการอบแล้ว ความหนาของน้ำยาไวแสงลดลง 10-20 % และจะมีตัวทำละลายเหลืออยู่ประมาณ 5-20%

ในปัจจุบันการอบสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้เตาอบแบบพาความร้อน (convection oven) , เตาอบแบบอินฟราเรด (infrared oven) , เตาอบแบบไมโครเวฟ (microwave oven) และการใช้แผ่นความร้อน (hot plate) ซึ่งการใช้แผ่นความร้อนเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดและนิยมใช้กันโดยทั่วไป

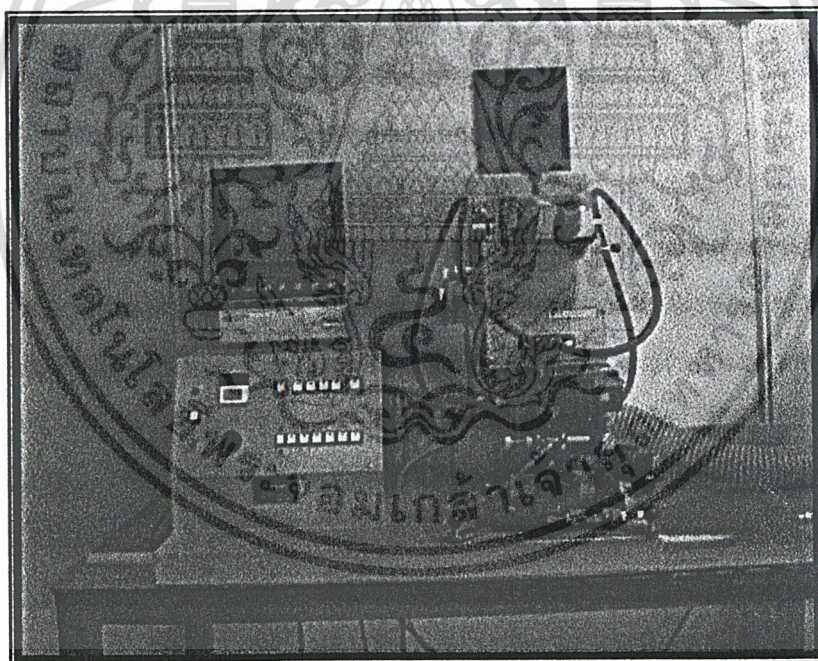
3.5 ขั้นตอนการปรับชั้นมาสก์และฉายแสง (Mask alignment and Exposure)

การปรับชั้นมาสก์และฉายแสง เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดของกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี ซึ่งเป็นขั้นตอนการถ่ายลวดลายบนกระจกโฟโตมาสก์ลง ไปบนชั้นฟิล์มของน้ำยาไวแสงที่ผิวของแผ่นผลึกซิลิคอน

3.5.1 ขั้นตอนการปรับชั้นมาสก์ (Mask alignment)

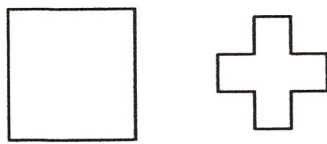
การฉายแสงผ่านกระจกโฟโตมาสก์ ซึ่งปกคลุมวางทาบทับลงไปบนแผ่นผลึก ที่เคลือบน้ำยาไวแสง ในกรณีที่เป็นกระจกโฟโตมาสก์ชิ้นแรก หรือมาสก์ที่ 1 สามารถทำได้โดยไม่ต้องมีการปรับชั้นมาสก์ ทั้งนี้เนื่องจาก ยังไม่ได้มีการสร้างส่วนหนึ่งส่วนใดของวงจรรวมบนแผ่นผลึกเลย แต่ในกรณีที่แผ่นผลึกนั้น ได้ผ่านการสร้างส่วนของวงจรรวมมาบ้างแล้ว การจะสร้างส่วนใหม่ต่อไป จำเป็นที่จะต้องสร้างให้อยู่ในตำแหน่งหรือบริเวณที่ถูกต้อง เพื่อให้ได้โครงสร้างของวงจรรวมตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังนั้นการใช้กระจกโฟโตมาสก์ ตั้งแต่มาสก์ที่ 2 เป็นต้นไป ก่อนการฉายแสงจะต้องมีการปรับชั้นมาสก์ เพื่อให้ได้ลวดลายบนกระจกมาสก์ซ้อนทับกับลวดลายที่มีอยู่บนแผ่นผลึกอย่างถูกต้อง ในที่สุดของกระบวนการ โฟโตลิโทกราฟี จะทำให้สามารถเปิดชั้นของออกไซด์ที่ตำแหน่งถูกต้อง โครงสร้างของวงจรรวมจึงเป็นไปตามที่ออกแบบ และถูกต้อง เนื่องจากภาพลวดลายของวงจรรวมมีขนาดเล็กมาก ดังนั้นการปรับชั้นจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ช่วย ซึ่งเรียกว่า เครื่องปรับชั้นมาสก์ (mask aligner) ซึ่งอาศัยหลักการง่ายๆ คือ แผ่นผลึกจะถูกล้างและติดกับแท่นเลื่อน ซึ่งสามารถปรับให้เลื่อนในแนวนอน (x) แนวตั้งฉาก (y) และแนวสูง (z) ได้ การปรับเลื่อนนี้ทำได้ด้วยทั้งแนว x, y และ z นอกจากนี้ยังปรับหมุนแผ่นผลึกได้โดยรอบ โดยใช้ไม่ว่างเว้นใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครมิเตอร์ที่มีความละเอียดสูง ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ส่วนกระจกโฟโตมาส์ถูกยึดให้อยู่นิ่งเหนือผลึกเล็กน้อย และการใช้กล้องจุลทรรศน์ ทำการสังเกตภาพลวดลาย ที่ปรากฏทั้งบนแผ่นผลึกและโฟโตมาส์ พร้อมทั้งทำการปรับเลื่อนทั้งแกน x , y , z และมุม θ จนกระทั่ง ภาพลวดลายที่ปรากฏบนแผ่นผลึก และบนโฟโตมาส์ซ้อนกันลงตรงตำแหน่งที่ต้องการ จากนั้นจึงปรับให้แผ่นผลึกเลื่อนสูงขึ้นในแนวแกน z จนแนบสนิท กับกระจกโฟโตมาส์ ในกรณีที่ลวดลายมีขนาดใหญ่พอที่จะสังเกตได้ การปรับซ้อนภาพนี้ จะสามารถทำได้โดยสังเกตจากลวดลายของวงจรรวมโดยตรง แต่โดยทั่วไป ภาพลวดลายของวงจรรวมมีขนาดเล็กมาก นอกจากนี้ยังมีจำนวนมากอีกด้วย จึงเป็นการยาก ที่จะทำการปรับซ้อน โดยสังเกตจากภาพลวดลายของวงจรรวม ในทางปฏิบัติ เพื่อให้การปรับซ้อนทำได้ง่าย จึงมีการใช้ภาพลวดลาย ซึ่งออกแบบขึ้นเพื่อใช้สำหรับการปรับซ้อนมาส์ โดยเฉพาะ และเรียกว่า เครื่องหมายปรับซ้อน (alignment mark) ซึ่งอาจเป็นภาพจตุรัสในกล่องสี่เหลี่ยม , กากบาทในสี่เหลี่ยม หรือสี่เหลี่ยมในกากบาท ดังแสดงในรูปที่ 3.7

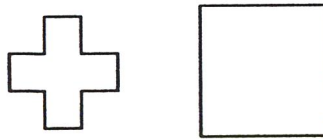


รูปที่ 3.6 เครื่องปรับซ้อนมาส์ (mask aligner)

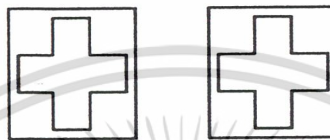
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.7 เครื่องหมายปรับช้อนมัสก์

(ก) สี่เหลี่ยม และ กากบาท บนแผ่นผลึกซิลิคอน

(ข) สี่เหลี่ยม และ กากบาท บนโฟโตมาส์

(ค) ภาพที่รวมกันขณะทำการปรับช้อนมัสก์

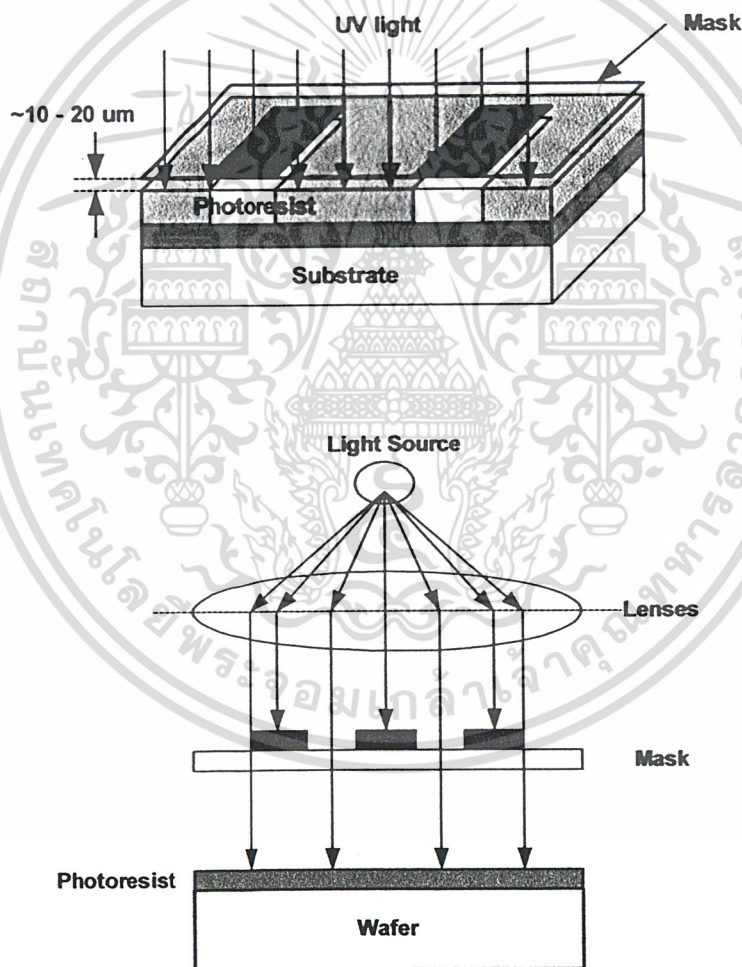
3.5.2 ขั้นตอนการฉายแสง (Exposure)

เมื่อทำการปรับช้อนภาพระหว่างกระจกโฟโตมาส์และแผ่นผลึกเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การฉายแสง ผ่านกระจกโฟโตมาส์ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมี-แสงขึ้นที่ชั้นน้ำยาไวแสง ดังแสดงในรูปที่ 3.8

ปกติน้ำยาไวแสงที่ใช้ในเทคนิคโฟโตลิโทกราฟี สำหรับกระบวนการสร้างวงจรรวมจะมีความไวต่อแสง ที่มีความยาวคลื่น (λ) ในช่วง 300-500 นาโนเมตร ซึ่งแสงที่เรามองเห็นเป็นสีม่วงและสีน้ำเงินนั่นเอง ดังนั้นในห้องปฏิบัติการเทคนิคโฟโตลิโทกราฟี จึงสามารถใช้แสงสีเหลืองได้ เพราะแสงสีเหลืองมีความยาวคลื่นมากกว่า 500 นาโนเมตร ซึ่งจะไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำยาไวแสง แต่ถ้าเป็นฟิล์มถ่ายรูปจะต้องใช้แสงในห้องที่มีสีแดงเท่านั้น แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้กัน โดยทั่วไปได้จากหลอดไอปรอท ซึ่งหลอดนี้ให้เส้นสเปกตรัมที่มีความเข้มสูง ที่ความยาวคลื่นราว 310, 365, 405 และ 440 นาโนเมตร ตามลำดับ และจากการศึกษา พบว่าน้ำยาไวแสงชนิดลบ จะมีความไวสูงสุด ใกล้กับเส้นสเปกตรัม 405 นาโนเมตร และน้ำยาไวแสงชนิดบวก จะมีความไวสูงสุด ใกล้กับเส้นสเปกตรัม 365 นาโนเมตร จากสเปกตรัมแสงความยาวคลื่นประมาณ 400 นาโนเมตร ถูกเรียกว่า

near ultraviolet wave lengths หรือ near UV ซึ่งเป็นแสงสำหรับเทคนิคโฟโตลิโทกราฟี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไป สำหรับความยาวคลื่นที่ต่ำกว่านี้ เราเรียกว่า far ultraviolet wave lengths หรือ far UV จากการศึกษาพบว่า การพิมพ์ภาพที่มีขนาดเล็กๆ จำเป็นต้องใช้แสงที่มีความยาวคลื่นสั้นๆ 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 น้ำยาไวแสงที่ใช้ต้องแตกต่างจากธรรมดา เพราะรังสีเอ็กซ์ และลำอิเล็กตรอน มีพลังงานสูงกว่าแสง near UV ที่ใช้กับน้ำยาไวแสงปกติ



รูปที่ 3.8 การฉายแสงผ่านกระจกต้นแบบลงบนแผ่นผลึกซิลิคอนที่เคลือบน้ำยาไวแสงแล้ว

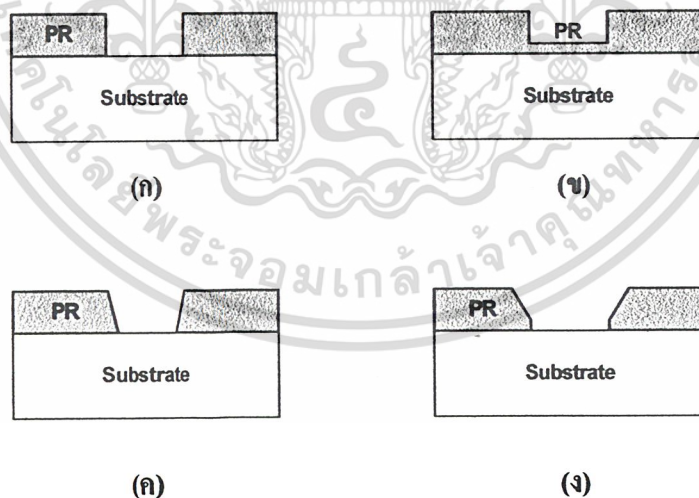
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ขั้นตอนการขึ้นลวดลายของน้ำยาไวแสง (Development)

หลังจากผ่านกระบวนการฉายแสงแล้ว จะทำการขึ้นลวดลายของน้ำยาไวแสงซึ่งจะเป็นการกำจัดน้ำยาไวแสงในส่วนที่ไม่ต้องการออกไปและคงเหลือฟิล์มน้ำยาไวแสงในส่วนที่ต้องการไว้ ลวดลายที่เหลืออยู่บนแผ่นผลึกซิลิคอนคือลวดลายที่ถูกกำหนดโดยกระจกโฟโตมาส์กนั่นเอง

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

น้ำยาไวแสงชนิดบวกเมื่อผ่านการล้างฟิล์มน้ำยาไวแสงแล้ว บริเวณที่ถูกแสงจะถูกล้างด้วยน้ำยาดีเวลอปเปอร์ออกไป ส่วนน้ำยาไวแสงชนิดลบ บริเวณที่ไม่ถูกแสงจะถูกล้างด้วยน้ำยาดีเวลอปเปอร์ออกไป น้ำยาไวแสงแต่ละชนิดจำเป็นต้องใช้น้ำยาดีเวลอปเปอร์ที่ต่างกัน และต้องใช้อุณหภูมิที่ต่างกันด้วย ซึ่งในกระบวนการล้างฟิล์มน้ำยาไวแสงนี้การควบคุมอุณหภูมิถือเป็นเรื่องสำคัญเนื่องจากการล้างฟิล์มน้ำยาไวแสงเป็นกระบวนการทางเคมี จึงมีความไวต่ออุณหภูมิทำให้ต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ในระหว่างกระบวนการ ถ้าอุณหภูมิสูงปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นเร็วทำให้เกิดการล้างฟิล์มมากเกินไปลวดลายจะเกิดความเสียหาย ถ้าอุณหภูมิต่ำปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นช้าทำให้เกิดการตกค้างของฟิล์มที่ไม่ต้องการ



รูปที่ 3.9 ผลที่ได้จากการล้างฟิล์มน้ำยาไวแสงแบบต่างๆ

(ก) Normal development (ข) Incomplete development

(ค) Under development (ง) Over development

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครู ใช้ระบบเพื่อการศึกษเท่านั้น ไปลงเอกสารไปลงใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ขั้นตอนการตรวจสอบลวดลาย

เป็นขั้นตอนการตรวจสอบลวดลายของฟิล์มน้ำยาไวแสงที่ได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ ถ้าลวดลายที่ได้ไม่สมบูรณ์หรือคาดเคลื่อนไปจากที่ต้องการ ถือว่าใช้การไม่ได้ ต้องทำการลอกเอาฟิล์มน้ำยาไวแสงบนแผ่นผลึกซิลิคอนออกทั้งหมด แล้วเริ่มกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีใหม่ตั้งแต่ขั้นตอนแรก

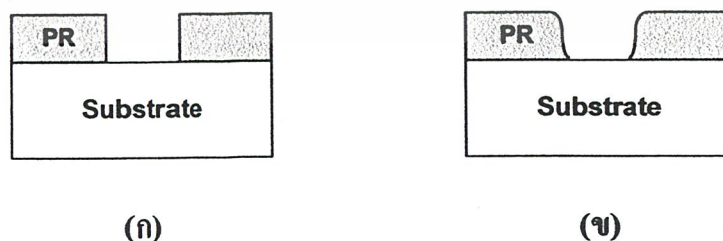
ขั้นตอนการตรวจสอบลวดลายถือเป็นขั้นตอนสำคัญขั้นตอนหนึ่งซึ่งถ้าหากตรวจพบในขั้นตอนนี้ว่าลวดลายไม่สมบูรณ์ตามที่ต้องการก็สามารถย้อนกลับไปเริ่มทำกระบวนการใหม่ทั้งหมดได้ แต่ถ้าหากไม่มีการตรวจสอบลวดลายแล้วทำกระบวนการอื่นต่อไปจนถึงขั้นตอนการกัด (etching) หรือ การฝังประจุ (ion implantation) แล้วจะไม่สามารถย้อนกลับมาแก้ไขลวดลายได้อีก

3.8 ขั้นตอนการอบครั้งหลัง (Post bake)

เป็นกระบวนการให้ความร้อนเพื่อกำจัดตัวทำละลายหรือ โมเลกุลของน้ำที่เหลืออยู่บนชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงออกไป ทำให้ชั้นฟิล์มของน้ำยาไวแสงที่อยู่บนผิวหน้าของแผ่นผลึกซิลิคอนแข็งตัวมากขึ้นและยึดติดกับผิวหน้าของแผ่นผลึกซิลิคอนดียิ่งขึ้น

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

การอบ Post bake จะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและเวลา เนื่องจากถ้าใช้อุณหภูมิต่ำและเวลาน้อยเกินไปจะมีผลต่อการยึดเกาะของน้ำยาไวแสง ความแข็งของน้ำยาไวไม่เพียงพอ ถ้าใช้อุณหภูมิสูงและเวลานานเกินไปจะทำให้น้ำยาไวแสงเสื่อมได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ผลที่ได้จากการอบ

(ก) Normal baking (ข) Over baking

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

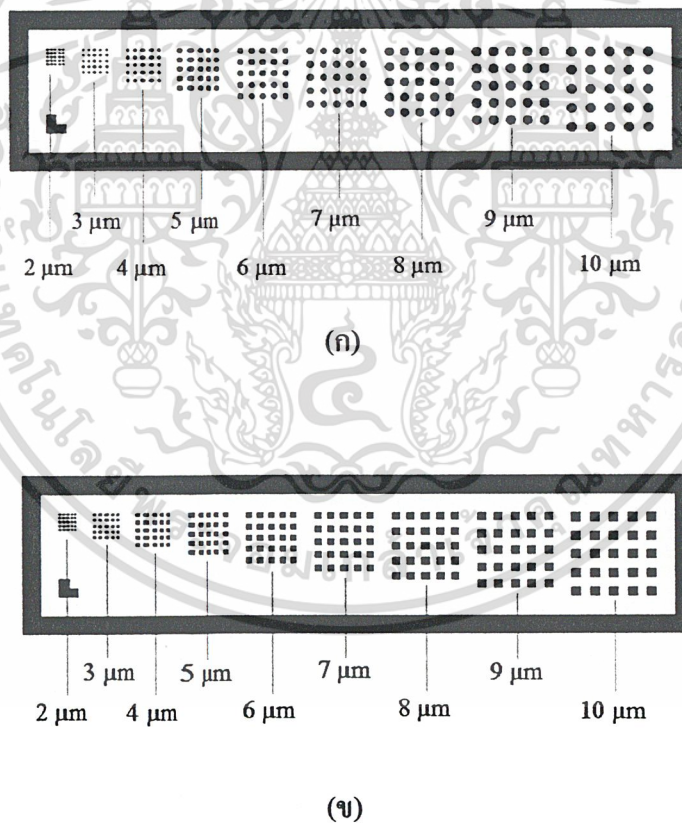
บทที่ 4

ลวดลายและเครื่องมือสำหรับการทดสอบ

4.1 ลวดลายสำหรับการทดสอบ

4.1.1 ลวดลายสำหรับตรวจสอบขนาดและช่องว่างของหน้าสัมผัส (contact)

การตรวจสอบขนาดและช่องว่างของหน้าสัมผัสทำได้โดยตรวจสอบดูความสมบูรณ์ของลักษณะวงกลม (หลุมหรือทรงกระบอก) ลักษณะสี่เหลี่ยม (เช่น Via, Pad, Contact Cut) ซึ่งมีลวดลายที่ใช้สำหรับทดสอบเป็นลวดลายของวงกลม และสี่เหลี่ยมขนาดต่างๆ ตั้งแต่ 2 μm ถึง 10 μm แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลวดลายสำหรับตรวจสอบขนาดและช่องว่างของหน้าสัมผัส (contact)

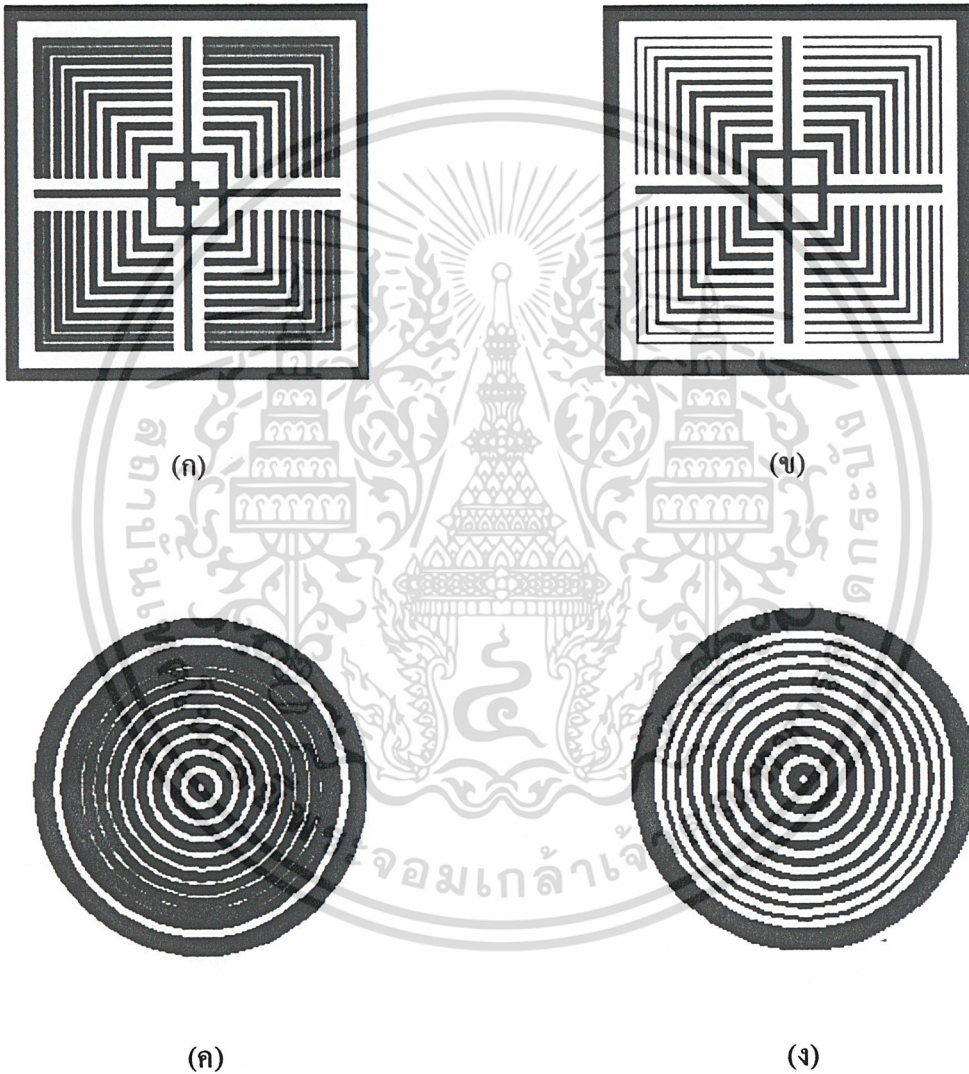
(ก) ลวดลายตรวจสอบลักษณะวงกลม

(ข) ลวดลายตรวจสอบลักษณะสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ลวดลายสำหรับตรวจสอบ การตั้งฉาก และความโค้ง

การตรวจสอบดูความสมบูรณ์และความคมชัดของลวดลายจะต้องดูลักษณะการตั้งฉากและความโค้งของลวดลายด้วย ซึ่งลวดลายที่จะใช้ตรวจสอบแสดงดังรูปที่ 4.2 เป็นลวดลายที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงมุมฉาก และเส้นโค้งวงกลม แบบต่างๆ ที่มีขนาดของลวดลาย และขนาดของช่องว่าง ตั้งแต่ 1 μm ถึง 10 μm



รูปที่ 4.2 ลวดลายสำหรับตรวจสอบการตั้งฉาก และความโค้ง แบบต่างๆ

(ก) เส้นตรงมุมฉากมีลวดลายขนาด 10 μm ขนาดช่องว่างแปรค่า 2-10 μm

(ข) เส้นตรงมุมฉากมีช่องว่างขนาด 10 μm ขนาดลวดลายแปรค่า 2- 10 μm

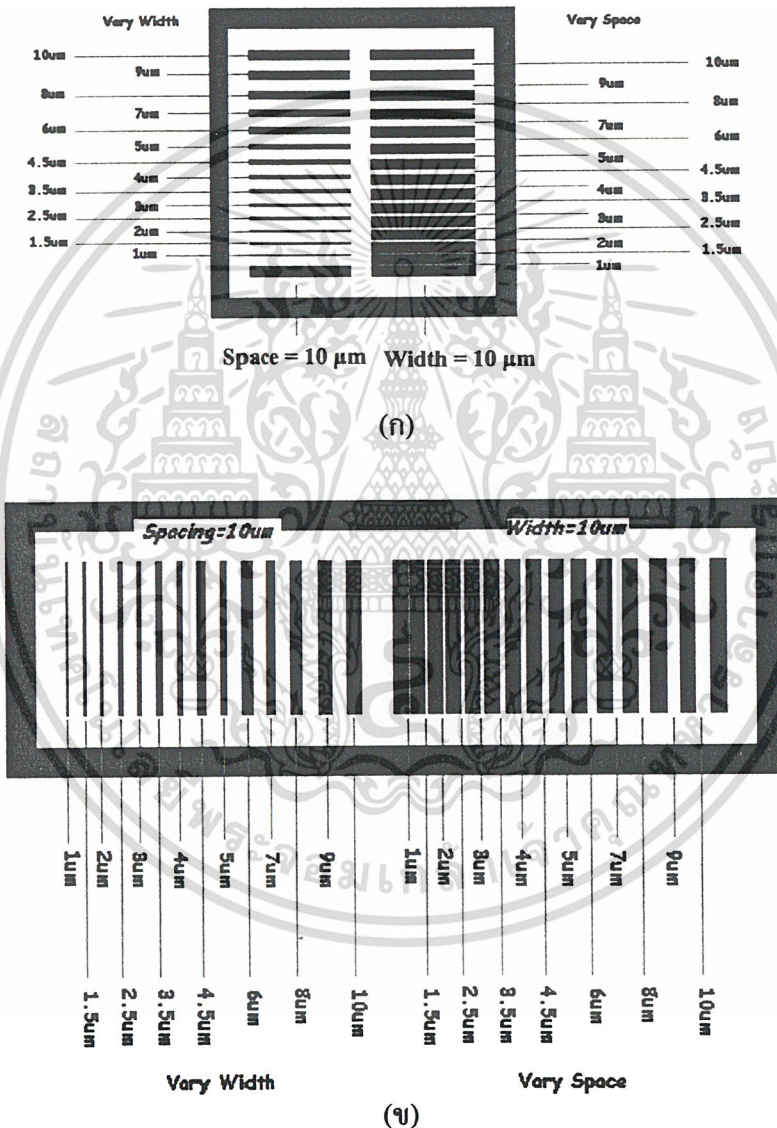
(ค) เส้น โค้งวงกลมมีลวดลายขนาด 10 μm ขนาดช่องว่างแปรค่า 2-10 μm

(ง) เส้น โค้งวงกลมมีช่องว่างขนาด 10 μm ขนาดลวดลายแปรค่า 2-10 μm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

4.1.3 ลวดลายสำหรับตรวจสอบขนาดและช่องว่างของเส้นตรง

การตรวจสอบขนาดและช่องว่างของเส้นตรง นั้นจะใช้ลวดลายสำหรับตรวจสอบเพื่อให้เห็นชัดว่าสามารถสร้างลวดลายที่มีความคมชัดสมบูรณ์ ได้เล็กที่สุดที่ระคับใด ลวดลายที่ใช้ตรวจสอบแสดงคังรูปที่ 4.3 เป็นลวดลายที่มีขนาดของลวดลาย และขนาดของช่องว่าง ซึ่งมีค่าต่างๆ คือ 1 μm , 1.5 μm , 2 μm , 2.5 μm , 3 μm , 3.5 μm , 4 μm , 4.5 μm , 5 μm , 6 μm , 7 μm , 8 μm , 9 μm และ 10 μm

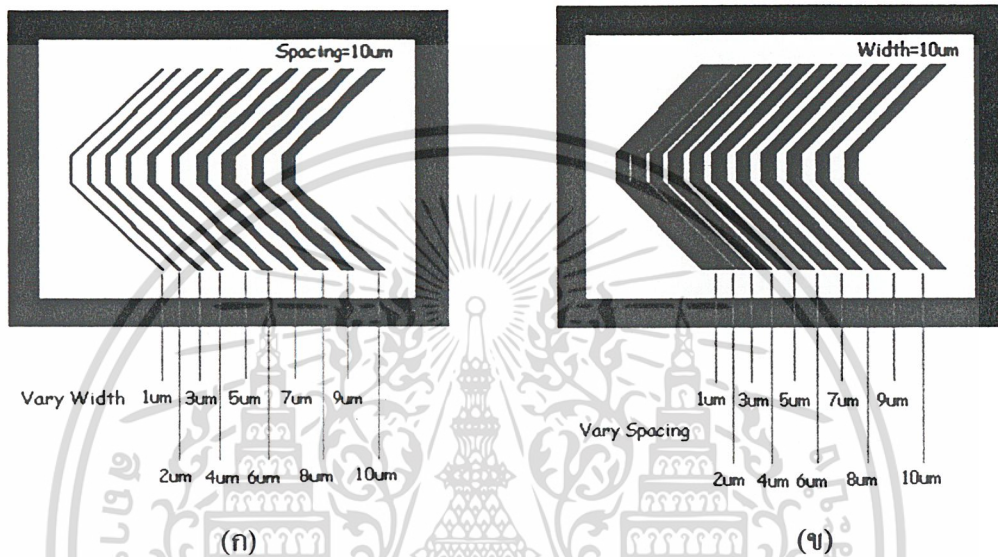


รูปที่ 4.3 ลวดลายสำหรับตรวจสอบขนาดและช่องว่างของเส้นตรง
ที่แปรค่าของขนาดของเส้นและขนาดของช่องว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่แจ้งเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ลวดลายสำหรับตรวจสอบขนาดและช่องว่างของเส้นตรงเอียง

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



รูปที่ 4.4 ลวดลายตรวจสอบขนาดและช่องว่างของเส้นตรงเอียง

(ก) ขนาดของลวดลายแปรค่าตั้งแต่ 2-10 μm ช่องว่างขนาดคงที่ 10 μm

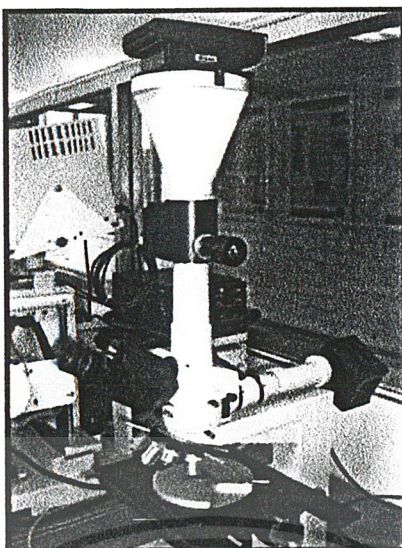
(ข) ขนาดของช่องว่างแปรค่าตั้งแต่ 2-10 μm ลวดลายขนาดคงที่ 10 μm

4.2 เครื่องมือสำหรับการทดสอบ

4.2.1 กล้องจุลทรรศน์ (microscope)

การตรวจสอบแผ่นผลึกซิลิคอนระหว่างทำกระบวนการ เพื่อตรวจสอบดูความสมบูรณ์และความคมชัดของลวดลายที่ได้ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงตรวจดูหลังจากผ่านขั้นตอนการขึ้นลวดลาย (development) , การกัด(etching) และ การลอกฟิล์มน้ำยาไวแสง (resist strip) ซึ่งกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ต้องตรวจสอบ แสดงดังรูปที่ 4.5

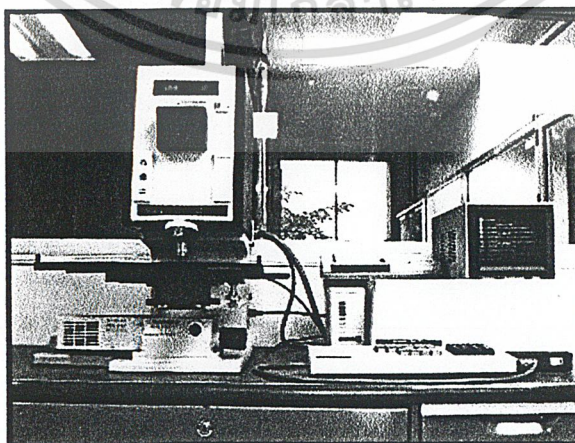
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์

4.2.2 เครื่องวัดความหนาของฟิล์ม

ในกระบวนการสร้างวงจรรวมนั้น ในบางขั้นตอนจะมีการวัดความหนาของชั้นฟิล์มบางชนิดต่างๆ เช่น ความหนาของชั้นออกไซด์ ความหนาของชั้นไนไตรด์ ความหนาของชั้นน้ำยาไวแสง เป็นต้น เพื่อตรวจสอบว่าได้ความหนาตามที่ต้องการหรือไม่ ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการตรวจสอบความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง ด้วยเครื่องวัดความหนาของฟิล์มบาง (Automatic Thin Film Measurement) รุ่น TFM-120 แสดงดังรูปที่ 4.6 ซึ่งเครื่องวัดความหนาของฟิล์มบางนี้อาศัยหลักการทางแสง และค่าดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางต่างๆ ในการคำนวณความหนาของฟิล์มบาง



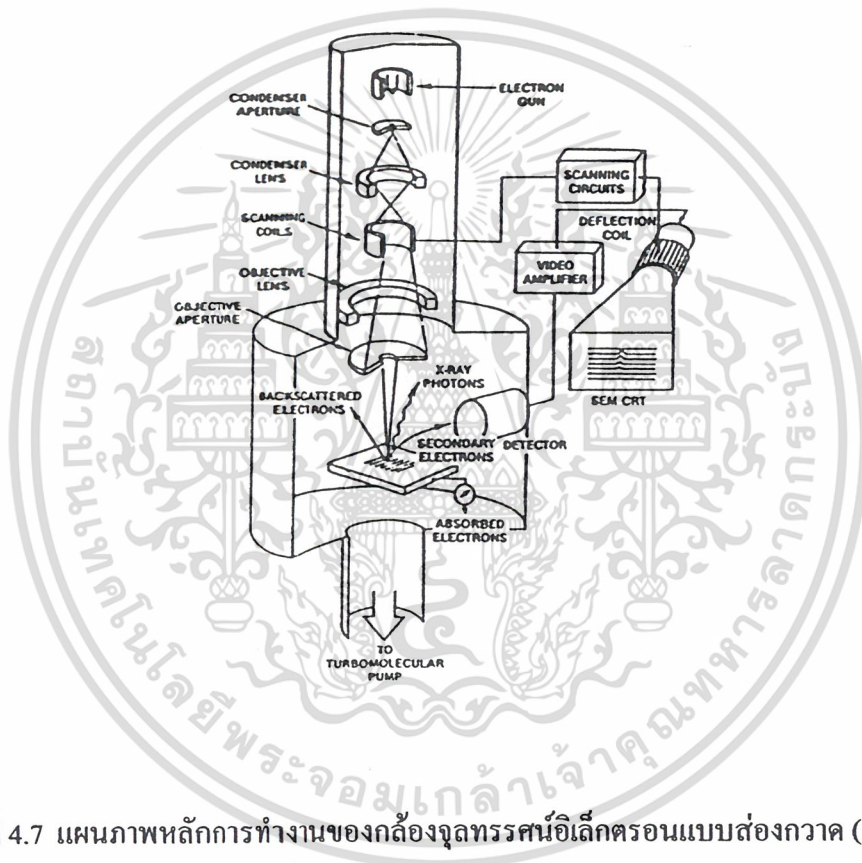
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายของเครื่องวัดความหนาของฟิล์มรุ่น TFM-120

4.2.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope : SEM)

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

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

ซึ่งส่วนประกอบและลักษณะการทำงานของเครื่อง SEM จะถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แผนภาพหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM)

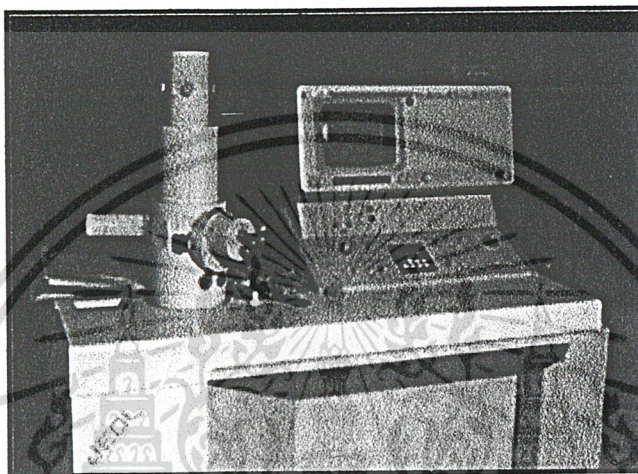
จากรูปข้างต้นจะเห็นได้ชัดว่าในส่วนบนสุดของรูปจะเป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (electron source) หรือที่เรียกว่า “ปืนอิเล็กตรอน” (electron gun) ซึ่งนับได้ว่าเป็นหัวใจของ SEM การทำงานจะเริ่มต้นจากการที่อิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่ลงมาตามคอลัมน์ด้วยความต่างศักย์ในช่วง 1-30 KV โดยทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะถูกควบคุมโดยเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic lens) จำนวน 2 ชุดหรือมากกว่า ส่วนปริมาณของอิเล็กตรอนจะถูกควบคุมโดย

แอฟเพอร์เจอร์ (aperture) ซึ่งเป็นช่องเปิดที่มีขนาดต่างๆ กันตามลักษณะการใช้งานเลนส์คอนเดนเซอร์อันแรก (first condenser lens) ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่บีบลำอิเล็กตรอน ที่ส่งมาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งกำเนิดให้มีพื้นที่หน้าตัดเล็กลง ส่วนเลนส์วัตถุ (objective lens) ซึ่งเป็นเลนส์อันสุดท้ายนั้นจะทำหน้าที่โฟกัสลำอิเล็กตรอนไปตกกระทบกับผิวของวัตถุเป้าหมาย โดยมีเลนส์คอยล์กวาดรูป (scanning coil) ทำหน้าที่กวาดลำอิเล็กตรอนบนผิววัสดุในกรอบสี่เหลี่ยมคล้ายกับการกวาดรูปบนจอโทรทัศน์ เมื่อลำอิเล็กตรอนไปตกกระทบกับผิวของวัสดุจะเกิดอันตรกิริยาขึ้นภายในวัสดุ และจะให้สัญญาณต่างๆ ออกมา ซึ่งสัญญาณต่างๆ เหล่านี้จะถูกตรวจจับและถูกนำไปแสดงผลในที่สุด



รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาทดลองออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่สำคัญในการเคลือบน้ำยาไวแสงบนแผ่นผลึกซิลิคอนด้วยสปีนเนอร์ให้ได้ชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงที่มีคุณภาพดีและได้ความหนาตามที่ต้องการ ส่วนที่สองทำการสร้างลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ โดยนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองส่วนแรกมากำหนดเงื่อนไขในการเคลือบน้ำยาไวแสงด้วยสปีนเนอร์ของกระบวนการ โฟโตลิโทกราฟี และสร้างเป็นลวดลายตรวจสอบแบบต่างๆ เพื่อใช้สำหรับพิจารณาว่าสามารถสร้างลวดลายที่มีความสมบูรณ์ และมีความคมชัดในระดับใด

5.1 การทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง

ในการทดลองนี้ แผ่นผลึกซิลิคอนขนาด 2 นิ้ว ที่ได้ทำกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation)สร้างเป็นชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์ หนา 5,000 Å ไว้ก่อนแล้ว จะถูกนำมาใช้ในกระบวนการ โฟโตลิโทกราฟี เพื่อสร้างชั้นฟิล์มของน้ำยาไวแสง โดยหลังจากที่แผ่นผลึกซิลิคอนผ่านกระบวนการอบด้วยไฮโรเซย (priming) ของเฮกซะเมทิลไดซิลิเซน (Hexamethyldisilazane : HMDS) ชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงจะถูกสร้างขึ้นบนแผ่นผลึกซิลิคอนโดยใช้วิธีการเคลือบน้ำยาไวแสงแบบสปีนเนอร์ ที่มีเงื่อนไขในการเคลือบน้ำยาไวแสง คือ ใช้ความเร็วรอบของสปีนเนอร์และปริมาณของน้ำยาไวแสงแตกต่างกัน ซึ่งในการทดลองจะใช้น้ำยาไวแสง 2 ชนิด คือ น้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 ของบริษัท CLARIANT และ น้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818 ของบริษัท MICRO RESIST TECHNOLOGY เคลือบลงบนแผ่นผลึกซิลิคอน ซึ่งจะได้แผ่นผลึกซิลิคอนที่มีชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ และชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงอยู่ด้านบนสุด ดังแสดงในรูปที่ 5.1 จากนั้นนำแผ่นผลึกซิลิคอนไปทำการวัดความหนาของชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสง

ในการวัดความหนาของชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสง จะใช้เครื่องมือวัดความหนาของฟิล์มบาง (Thin Film Measurement) TFM-120 ทำการวัดความหนาที่ตำแหน่งต่างๆ 9 จุด บนแผ่นผลึกซิลิคอน ดังแสดงในรูปที่ 5.2 แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยของ 9 ตำแหน่ง จากสมการ 5.1 เป็นความหนาของชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสง และหาค่าเบี่ยงเบนความหนาของชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสง จากสมการ 5.2 เพื่อดูความสม่ำเสมอของชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสง โดยใช้สมการดังนี้

$$T_{av} = \left[\sum_{i=1}^9 T_i \right] / 9 \quad (\text{Å}) \quad (5.1)$$

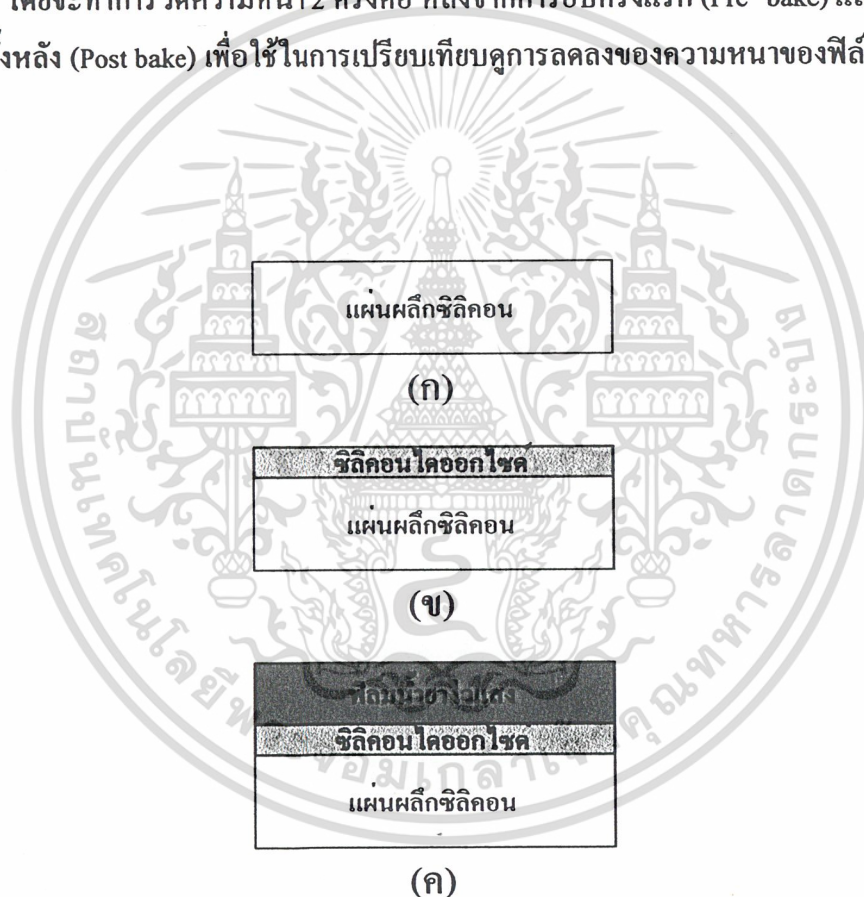
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก... งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Dev = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{av}} \times 100 \quad (\%) \quad (5.2)$$

โดยที่

- T_{av} : ความหนาเฉลี่ยของฟิล์มน้ำยาไวแสง (Å)
 T_i : ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงที่ตำแหน่ง i บนแผ่นผลึกซิลิคอน (Å)
 Dev : ค่าเบี่ยงเบนความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง (%)
 T_{max} : ค่าความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงที่มากที่สุด (Å)
 T_{min} : ค่าความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงที่น้อยที่สุด (Å)

โดยจะทำการวัดความหนา 2 ครั้งคือ หลังจากการอบครั้งแรก (Pre bake) และหลังจากการอบครั้งหลัง (Post bake) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการลดลงของความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง



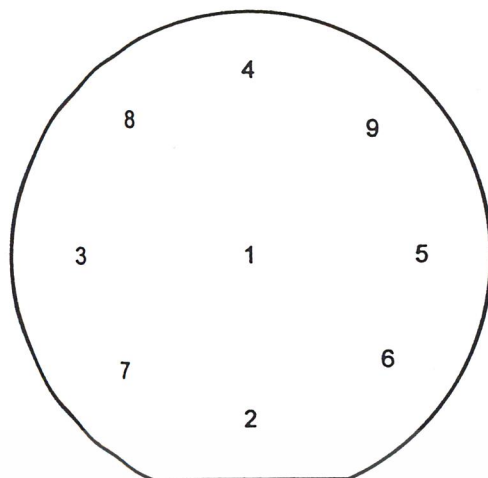
รูปที่ 5.1 แผ่นผลึกซิลิคอนที่ถูกสร้างชั้นต่างๆ ไว้

(ก) แผ่นผลึกซิลิคอนเปล่า

(ข) แผ่นผลึกซิลิคอนหลังผ่านกระบวนการออกไซด์ชั้น เพื่อสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์หนา 5,000 Å

(ค) แผ่นผลึกซิลิคอนหลังทำการเคลือบน้ำยาไวแสงแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



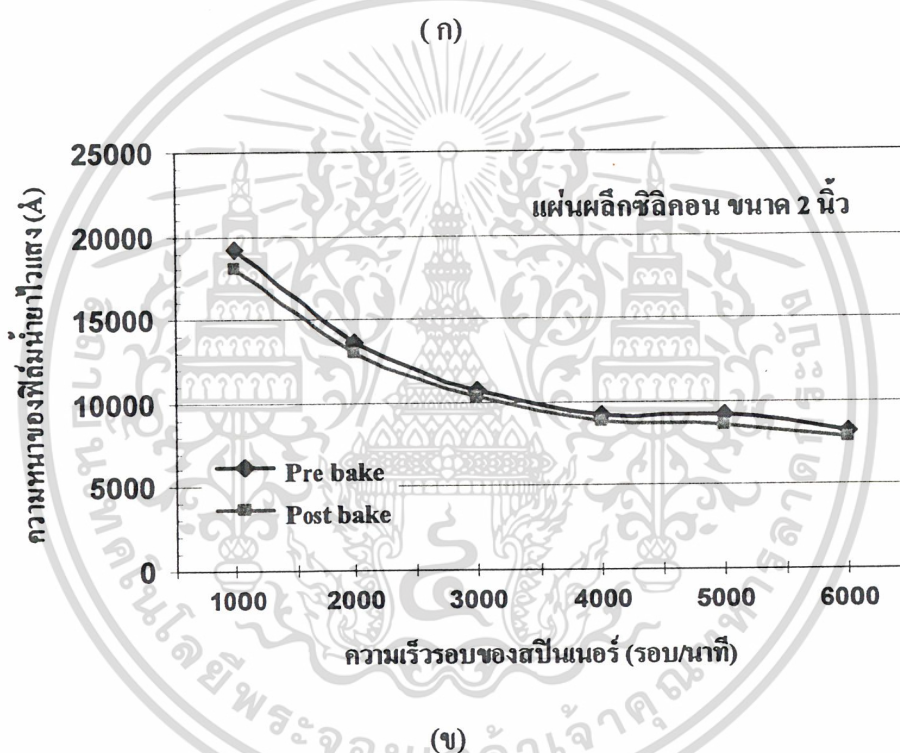
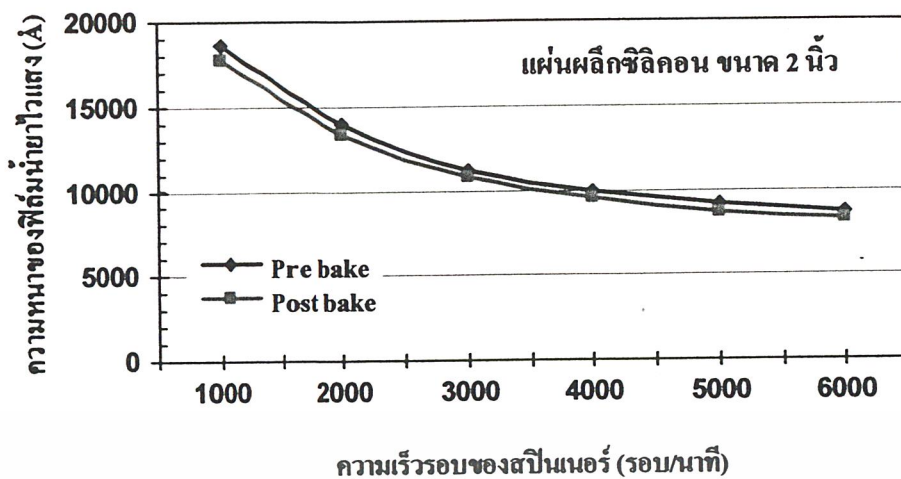
รูปที่ 5.2 ตำแหน่งบนแผ่นผลึกซิลิคอน 9 จุด ที่ใช้วัดความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง

5.1.1 การศึกษาผลของความเร็วยอบของสปินเนอร์และปริมาณน้ำยาไวแสงต่อความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112

การทดลองนี้จะทำการศึกษาผลของความเร็วยอบของสปินเนอร์และผลของปริมาณน้ำยาไวแสงที่มีต่อความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงเพื่อทำการวิเคราะห์หาช่วงของความเร็วยอบของสปินเนอร์และปริมาณน้ำยาไวแสงที่เหมาะสมในการเคลือบน้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 บนแผ่นผลึกซิลิคอนขนาด 2 นิ้ว เพื่อให้ได้ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงตามที่ต้องการและมีความหนาสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น

ทำการทดลองโดยเคลือบน้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 บนแผ่นผลึกซิลิคอน โดยทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วยอบของสปินเนอร์ คือ 1000 , 2000 , 3000 , 4000 , 5000 และ 6000 รอบต่อนาที ตามลำดับ เมื่อใช้น้ำยาไวแสงในปริมาณต่างๆ คือ 0.375 , 0.750 , 1.125 และ 1.500 ลูกบาศก์เซนติเมตร แผ่นผลึกซิลิคอนที่ผ่านการเคลือบน้ำยาไวแสงตามเงื่อนไขเหล่านี้จะถูกนำไปวัดความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงหลังอบครั้งแรก (Pre bake) และหลังจากอบครั้งหลัง (Post bake) ซึ่งค่าความหนาที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ภาคผนวก ก จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วยอบของสปินเนอร์และปริมาณน้ำยาไวแสงกับความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง แสดงดังรูปที่ 5.3 และจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วยอบของสปินเนอร์และปริมาณน้ำยาไวแสง กับค่าเบี่ยงเบนความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง แสดงดังรูปที่ 5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

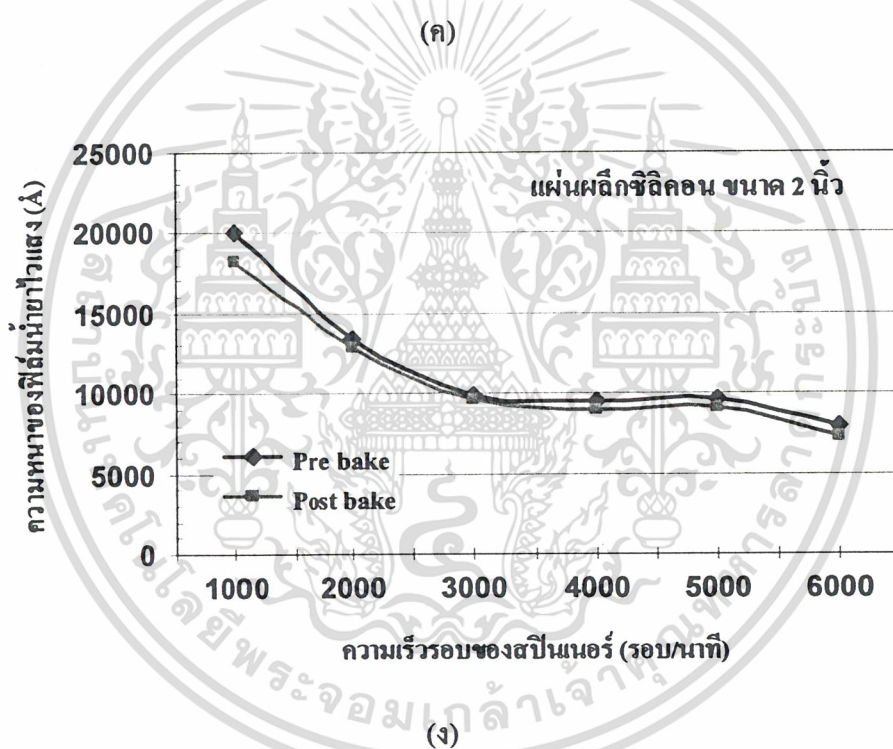
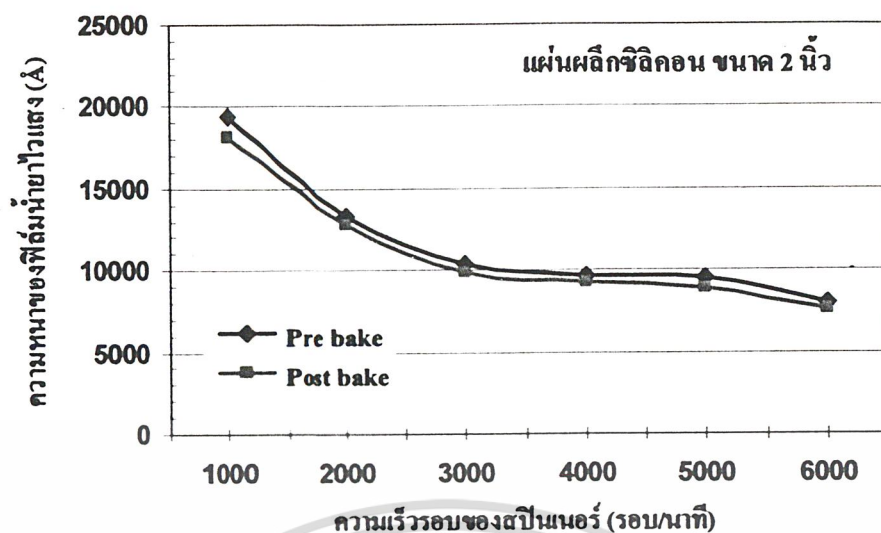


รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง AZ 6112

กับความเร็วยรอบของสปินเนอร์

- (ก) ปริมาณน้ำยาไวแสง 0.375 ลบ.ซม.
- (ข) ปริมาณน้ำยาไวแสง 0.750 ลบ.ซม.
- (ค) ปริมาณน้ำยาไวแสง 1.125 ลบ.ซม.
- (ง) ปริมาณน้ำยาไวแสง 1.500 ลบ.ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง AZ 6112

กับความเร็วยรอบของสปินเนอร์ (ต่อ)

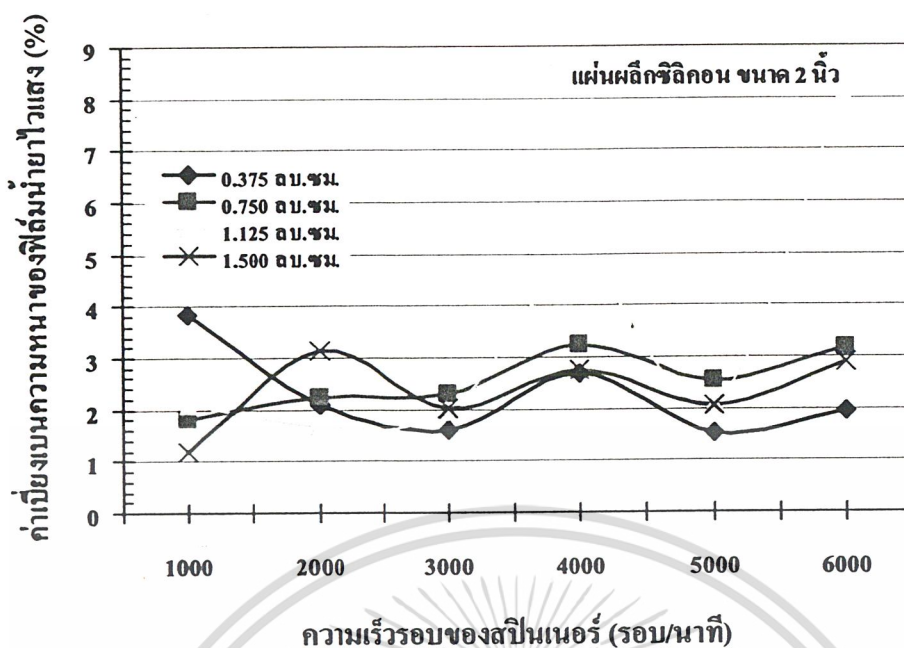
(ก) ปริมาณน้ำยาไวแสง 0.375 ลบ.ซม.

(ข) ปริมาณน้ำยาไวแสง 0.750 ลบ.ซม.

(ค) ปริมาณน้ำยาไวแสง 1.125 ลบ.ซม.

(ง) ปริมาณน้ำยาไวแสง 1.500 ลบ.ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



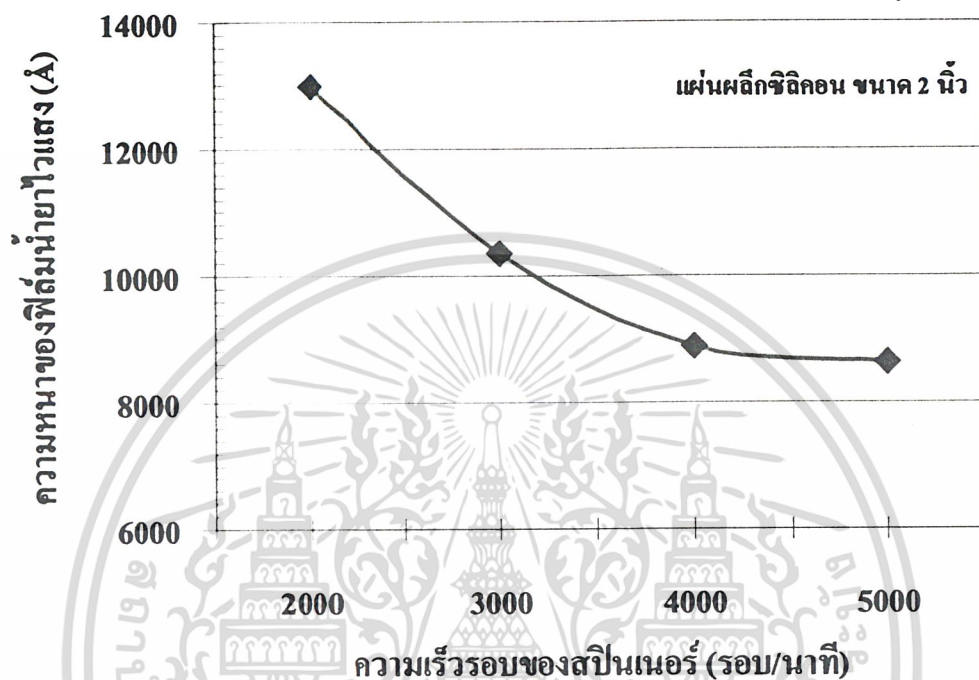
รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเบี่ยงเบนความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 กับความเร็วรอบของสปินเนอร์ ในปริมาณต่างๆ

จากผลการทดลองในกราฟรูปที่ 5.3 จะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มความเร็วรอบของสปินเนอร์ให้มีค่าตั้งแต่ 1,000 รอบ/นาที ไปจนถึง 6,000 รอบ/นาที จะมีผลทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงมีค่าลดลง คือ ประมาณตั้งแต่ 18,000 Å ลดลงไปถึง 8,000 Å และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างหลังอบครั้งแรก (Pre bake) กับหลังอบครั้งหลัง (Post bake) พบว่าการอบครั้งหลัง จะทำให้ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงลดลงจากการอบครั้งแรกเพียงเล็กน้อย คือไม่เกิน 5 % และจะเห็นว่าในช่วงความเร็วรอบของสปินเนอร์ตั้งแต่ 2,000 รอบต่อนาที ถึง 5,000 รอบต่อนาที จะมีการเปลี่ยนแปลงความชันของเส้นกราฟค่อนข้างคงที่กว่าช่วงความเร็วรอบค่าอื่นๆ ดังนั้นจะได้ว่าช่วงความเร็วรอบของสปินเนอร์ที่เหมาะสมคือ 2,000 – 5,000 รอบต่อนาที

จากผลการทดลองในกราฟรูปที่ 5.4 เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างค่าความเบี่ยงเบนความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงในช่วงความเร็วรอบของสปินเนอร์ที่เหมาะสม คือตั้งแต่ 2,000 รอบต่อนาที ถึง 5,000 รอบต่อนาที จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้น้ำยาไวแสงปริมาณ 0.75 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะได้เส้นกราฟของค่าความเบี่ยงเบนความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงค่อนข้างเรียบคงที่สม่ำเสมอกว่าเมื่อใช้น้ำยาไวแสงปริมาณอื่นๆ ดังนั้น จะได้ว่าปริมาณน้ำยาไวแสงที่เหมาะสมคือ 0.75 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งจะทำให้ได้ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงทั่วทั้งแผ่นผลึกซิลิคอน

จากผลการทดลองข้างต้นทำให้ได้เงื่อนไขที่จะนำมาใช้ในการเคลือบน้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 บนแผ่นผลึกซิลิคอนขนาด 2 นิ้ว ให้ได้ชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงที่มีคุณสมบัติที่ดีมีความหนาไม่วากรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมำเสมอ คือ ใช้น้ำยาไวแสงปริมาณ 0.750 ลูกบาศก์เซนติเมตร และใช้ความเร็วรอบของสปินเนอร์ให้เหมาะสมกับความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงที่ต้องการ โดยพิจารณาเลือกจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงกับความเร็วรอบของสปินเนอร์ดังแสดงในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 กับความเร็วรอบของสปินเนอร์ เมื่อใช้น้ำยาไวแสง ปริมาณ 0.750 ลบ.ซม.

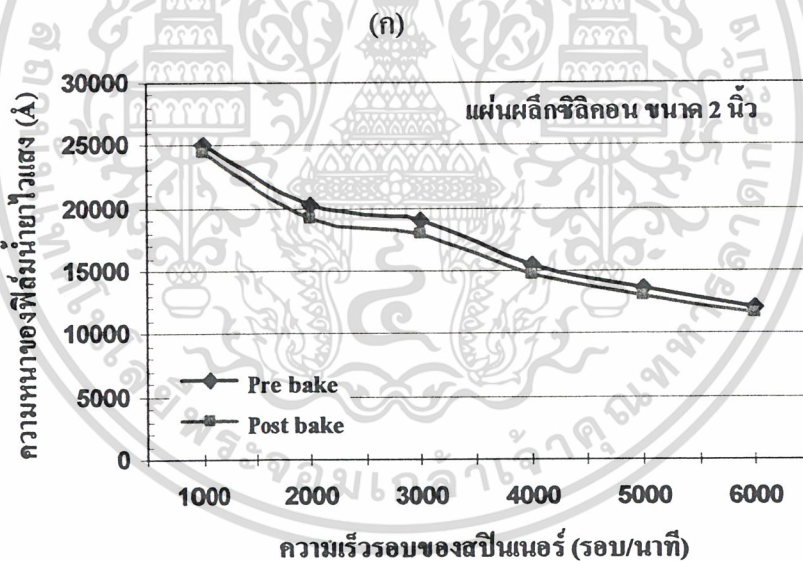
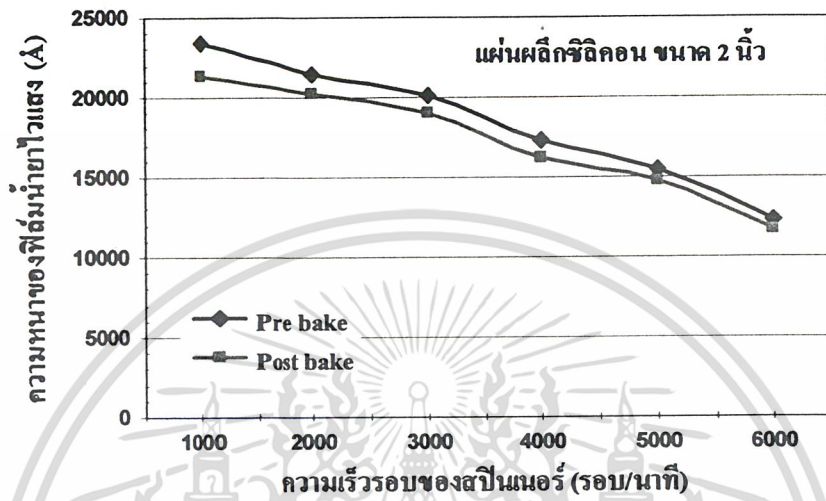
5.1.2 การศึกษาผลของความเร็วรอบของสปินเนอร์และปริมาณน้ำยาไวแสงต่อความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818

การทดลองนี้จะทำการศึกษาผลของความเร็วรอบของสปินเนอร์และผลของปริมาณน้ำยาไวแสงที่มีต่อความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงเพื่อทำการวิเคราะห์หาช่วงของความเร็วรอบของสปินเนอร์และปริมาณน้ำยาไวแสงที่เหมาะสมในการเคลือบน้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818 เพื่อให้ได้ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงตามที่ต้องการและมีความหนาสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น

ทำการทดลองโดยเคลือบน้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818 บนแผ่นผลึกซิลิคอนโดยทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของสปินเนอร์ คือ 1000 , 2000 , 3000 , 4000 , 5000 และ 6000 รอบต่อ นาที ตามลำดับ เมื่อใช้น้ำยาไวแสงในปริมาณ 0.375 , 0.750 , 1.125 และ 1.500 ลูกบาศก์เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำยาไวแสงหลังอบครั้งแรก และหลังจากอบครั้งหลัง ซึ่งค่าความหนาที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ภาคผนวก ก จะมีความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของสปินเนอร์และปริมาณน้ำยาไวแสงกับความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง แสดงดังรูปที่ 5.6 และจะมีความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของสปินเนอร์และปริมาณน้ำยาไวแสง กับค่าเบี่ยงเบนความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง แสดงดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง S 1818

กับความเร็วรอบของสปินเนอร์

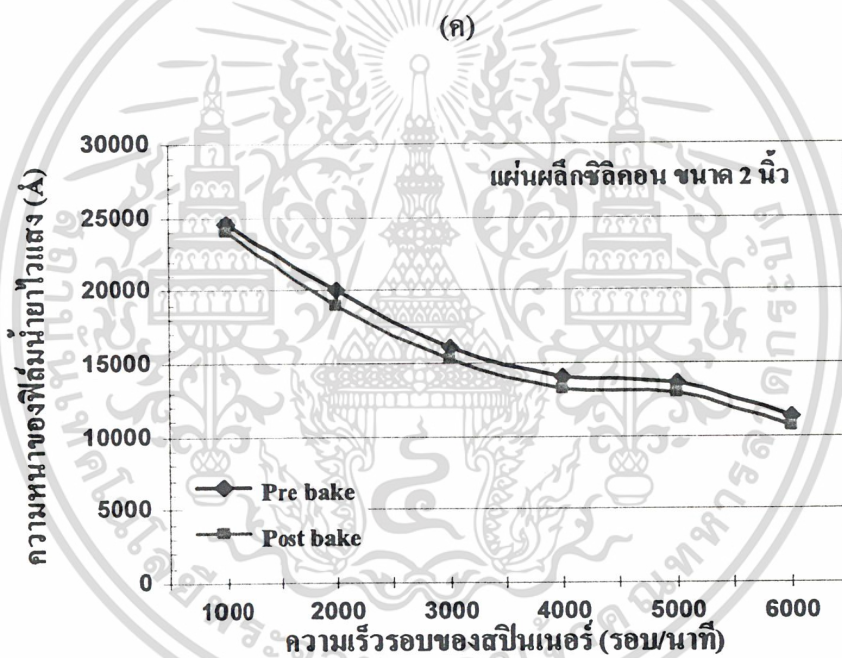
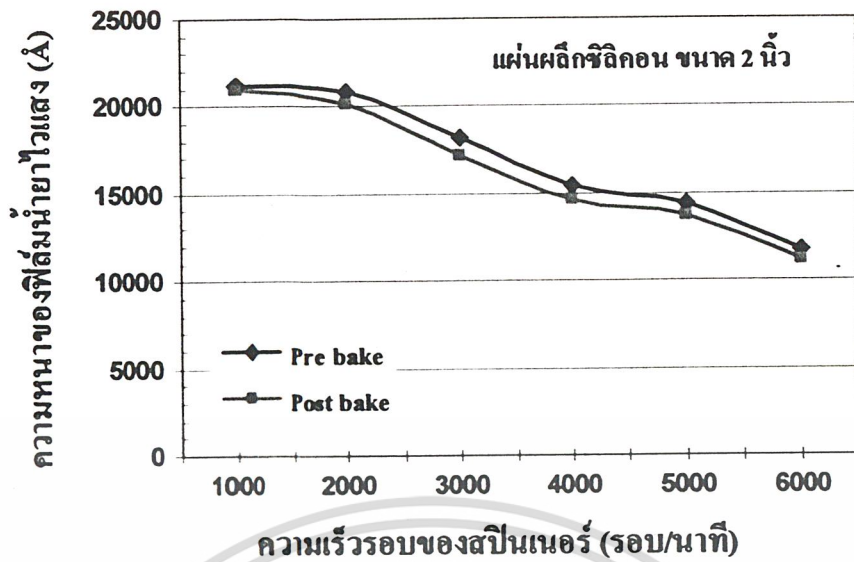
(ก) ปริมาณน้ำยาไวแสง 0.375 ลบ.ซม

(ข) ปริมาณน้ำยาไวแสง 0.750 ลบ.ซม.

(ค) ปริมาณน้ำยาไวแสง 1.125 ลบ.ซม

(ง) ปริมาณน้ำยาไวแสง 1.500 ลบ.ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง)

รูปที่ 5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง S 1818

กับความเร็วรอบของสปินเนอร์ (ต่อ)

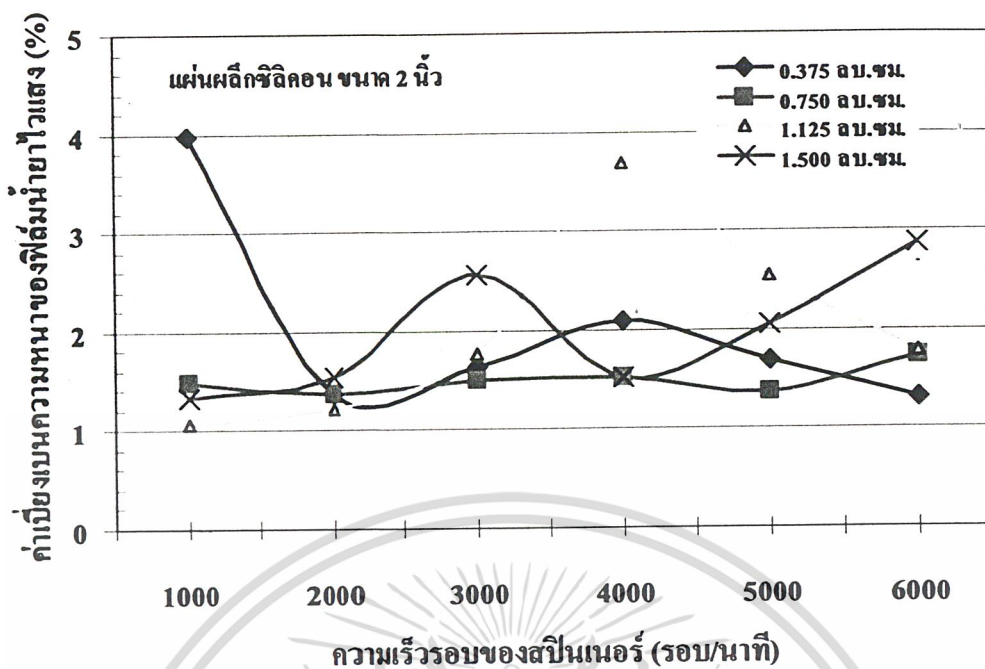
(ก) ปริมาณน้ำยาไวแสง 0.375 ลบ.ซม

(ข) ปริมาณน้ำยาไวแสง 0.750 ลบ.ซม.

(ค) ปริมาณน้ำยาไวแสง 1.125 ลบ.ซม

(ง) ปริมาณน้ำยาไวแสง 1.500 ลบ.ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



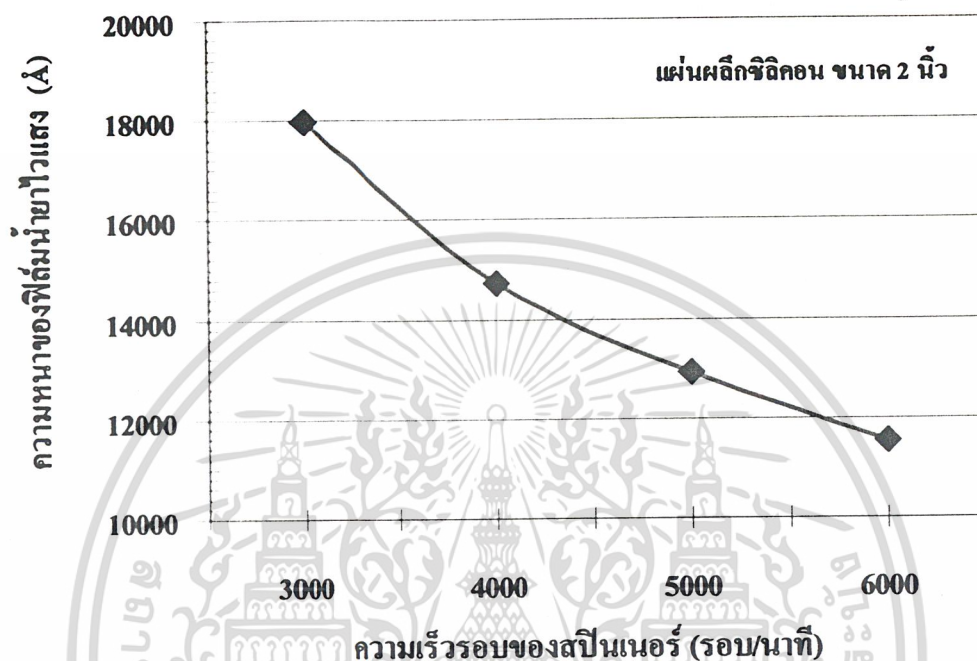
รูปที่ 5.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเบี่ยงเบนความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818 กับความเร็วรอบของสปินเนอร์ ในปริมาณต่างๆ

จากผลการทดลองที่แสดงในกราฟรูปที่ 5.6 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มความเร็วยรอบของสปินเนอร์ ตั้งแต่ 1,000 รอบต่อนาที ไปจนถึง 6,000 รอบต่อนาที จะมีผลทำให้ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงมีค่าลดลง คือ ตั้งแต่ประมาณ 22,000 Å ลดลงไปถึง 10,000 Å และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างหลังอบครั้งแรก (Pre bake) กับหลังอบครั้งหลัง (Post bake) พบว่าการอบครั้งหลังทำให้ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงลดลงจากอบครั้งแรกเล็กน้อยไม่เกิน 10 % และจะเห็นว่าในช่วงความเร็วรอบของสปินเนอร์ตั้งแต่ 3,000 รอบต่อนาที ถึง 5,000 รอบต่อนาที จะมีการเปลี่ยนแปลงความชันของเส้นกราฟค่อนข้างคงที่กว่าช่วงความเร็วรอบค่าอื่นๆ ดังนั้นจะได้ว่าช่วงความเร็วรอบของสปินเนอร์ที่เหมาะสมคือ 3,000 – 5,000 รอบต่อนาที

จากผลการทดลองในกราฟรูปที่ 5.7 เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างค่าความเบี่ยงเบนความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงในช่วงความเร็วรอบของสปินเนอร์ที่เหมาะสมคือตั้งแต่ 3,000 รอบต่อนาที ถึง 5,000 รอบต่อนาที จะเห็นได้ว่าการใช้น้ำยาไวแสงปริมาณ 0.75 ลูกบาศก์เซนติเมตร เส้นกราฟของค่าความเบี่ยงเบนความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงจะค่อนข้างเรียบคงที่สม่ำเสมอกว่าเมื่อใช้น้ำยาไวแสงปริมาณอื่นๆ ดังนั้นจะได้ว่าปริมาณน้ำยาไวแสงที่เหมาะสมคือ 0.75 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งจะทำให้ได้ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงที่มีความหนาสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นซิลิคอน

จากผลการทดลองนี้ทำให้ได้ได้เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับสร้างชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818 บนแผ่นผลึกซิลิคอนขนาด 2 นิ้ว ให้ได้ชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงที่มีคุณสมบัติที่ดีมีความ

หนาสม่ำเสมอ คือใช้ปริมาณน้ำยาไวแสง 0.750 ลูกบาศก์เซนติเมตร และใช้ความเร็วรอบของสปินเนอร์ให้เหมาะสมกับความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงตามที่ต้องการ โดยพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 5.8

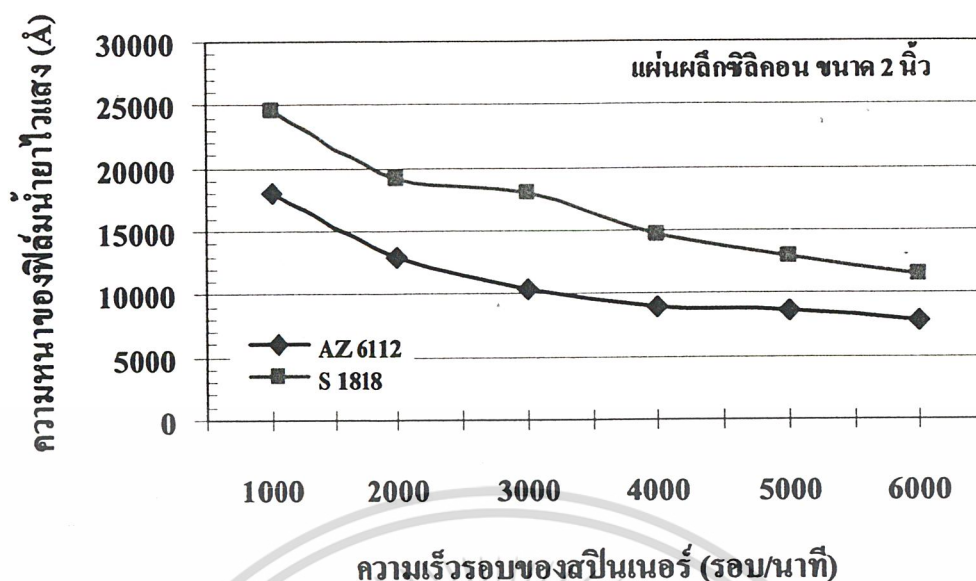


รูปที่ 5.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818 กับความเร็วรอบของสปินเนอร์ เมื่อใช้น้ำยาไวแสง ปริมาณ 0.750 ลบ.ซม.

5.1.3 ศึกษาผลของชนิดน้ำยาไวแสงต่อความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง

ในการทดลองนี้จะทำการศึกษาว่าน้ำยาไวแสงแต่ละชนิดจะให้ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงเหมือนกันหรือไม่ภายใต้เงื่อนไขความเร็วรอบของสปินเนอร์และปริมาณน้ำยาไวแสงเดียวกัน โดยทำการทดลองเปรียบเทียบกันระหว่างน้ำยาไวแสง 2 ชนิด คือ น้ำยาไวแสง เบอร์ AZ 6112 และน้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818 ซึ่งอาศัยผลการทดลองจากการทดลองของน้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 จากการทดลอง 5.1.1 และผลการทดลองของน้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818 จากการทดลอง 5.1.2 เมื่อทำการเปรียบเทียบกันระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงทั้ง 2 ชนิด ซึ่งแสดงค่าดังรูปที่ 5.9 จะเห็นได้ว่าชั้นความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงที่สร้างจากน้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818 จะมีความหนามากกว่าชั้นความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงที่สร้างจากน้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงกับความเร็วยรอบของสปินเนอร์ เมื่อใช้น้ำยาไวแสงแต่ละชนิด ในปริมาณ 0.75 ลบ.ซม.

5.2 การสร้างลวดลายสำหรับตรวจสอบ

ในการทดลองนี้ได้ทำการสร้างลวดลายสำหรับตรวจสอบแบบต่างๆ บนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ด้วยกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี เพื่อทำการตรวจสอบคุณลักษณะของลวดลายที่สร้างขึ้นว่าลวดลายขนาด 5 ไมครอนมีความคมชัดสมบูรณ์และมีขนาดตามที่ออกแบบไว้หรือไม่

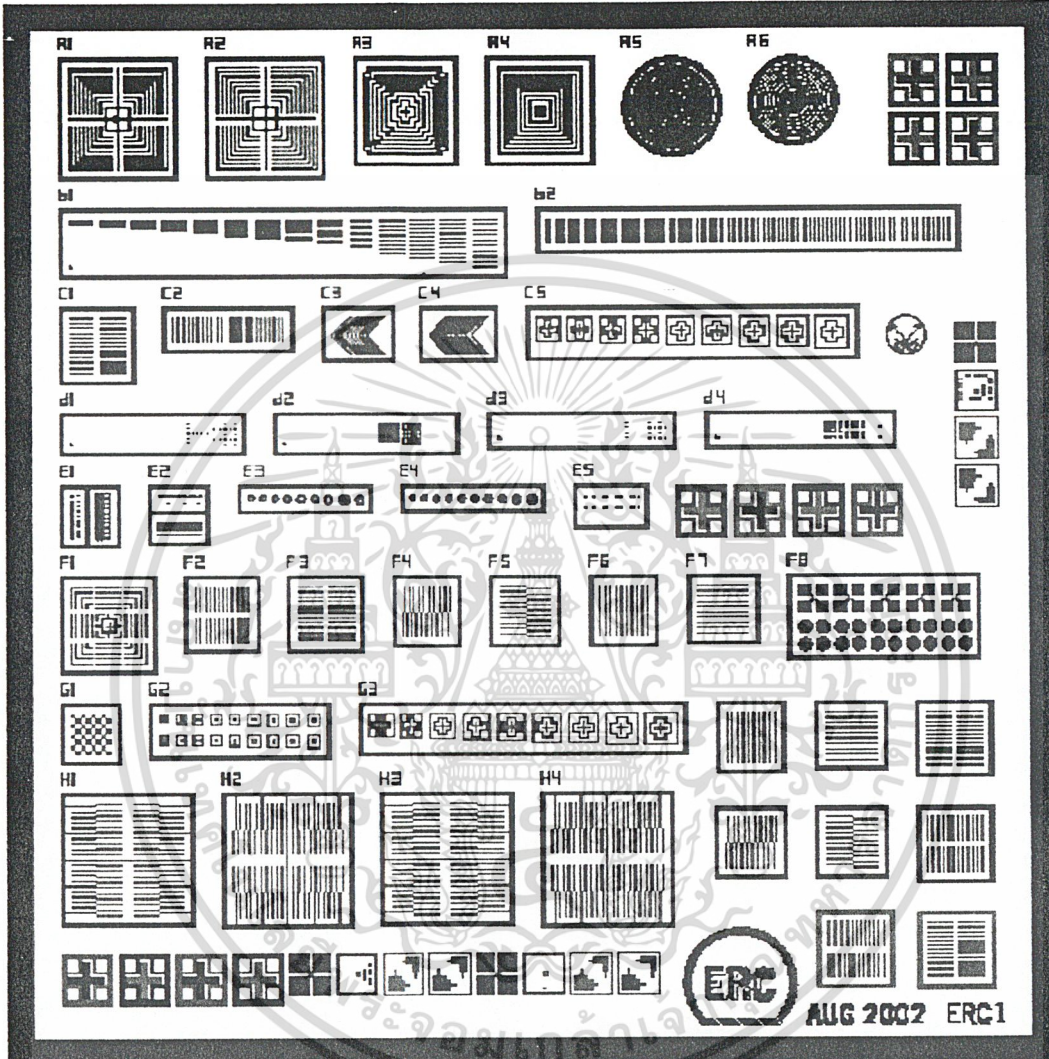
5.2.1 การสร้างลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

ในกระบวนการสร้างวงจรรวมในระดับ 5 ไมครอนนั้น ในส่วนของกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีต้องทำการสร้างชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงให้ได้ความหนามากกว่า 15,000 Å ดังนั้นต้องกำหนดเงื่อนไขต่างๆ ในการเคลือบน้ำยาไวแสงให้เหมาะสม คือ ความเร็วยรอบของสปินเนอร์, ปริมาณน้ำยาไวแสง และ ชนิดของน้ำยาไวแสง โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 5.1 จะได้ว่าต้องใช้น้ำยาไวแสงในปริมาณ 0.75 ลูกบาศก์เซนติเมตร และจากกราฟรูปที่ 5.5 และ กราฟรูปที่ 5.8 จะได้ว่าต้องเลือกใช้น้ำยาไวแสงเบอร์ S1818 และใช้ความเร็วยรอบของสปินเนอร์ 3,000 รอบต่อนาที จึงสามารถเคลือบน้ำยาไวแสงบนแผ่นผลึกซิลิคอน ได้ความหนามากกว่า 15,000 Å

เมื่อกำหนดเงื่อนไขในการเคลือบน้ำยาไวแสงได้แล้ว จะทำการสร้างชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ซึ่งสร้างไว้แล้วบนแผ่นผลึกซิลิคอน จากนั้นผ่านขั้นตอนการฉายแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านชั้นตอน การขึ้นลวดลายและการกัดชั้นซิลิคอน ไดออกไซด์ออกด้วย BHF ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 นาที (ด้วยอัตราการกัดประมาณ $750 \text{ \AA} / \text{นาที่}$) จะได้ลวดลายเป็นแบบต่างๆ ของชั้นซิลิคอน ไดออกไซด์บนแผ่นผลึกซิลิคอน ซึ่งจะนำไปตรวจสอบคุณลักษณะของลวดลายในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 5.10 แสดงลวดลายบนกระจกต้นแบบที่ออกแบบไว้แล้ว

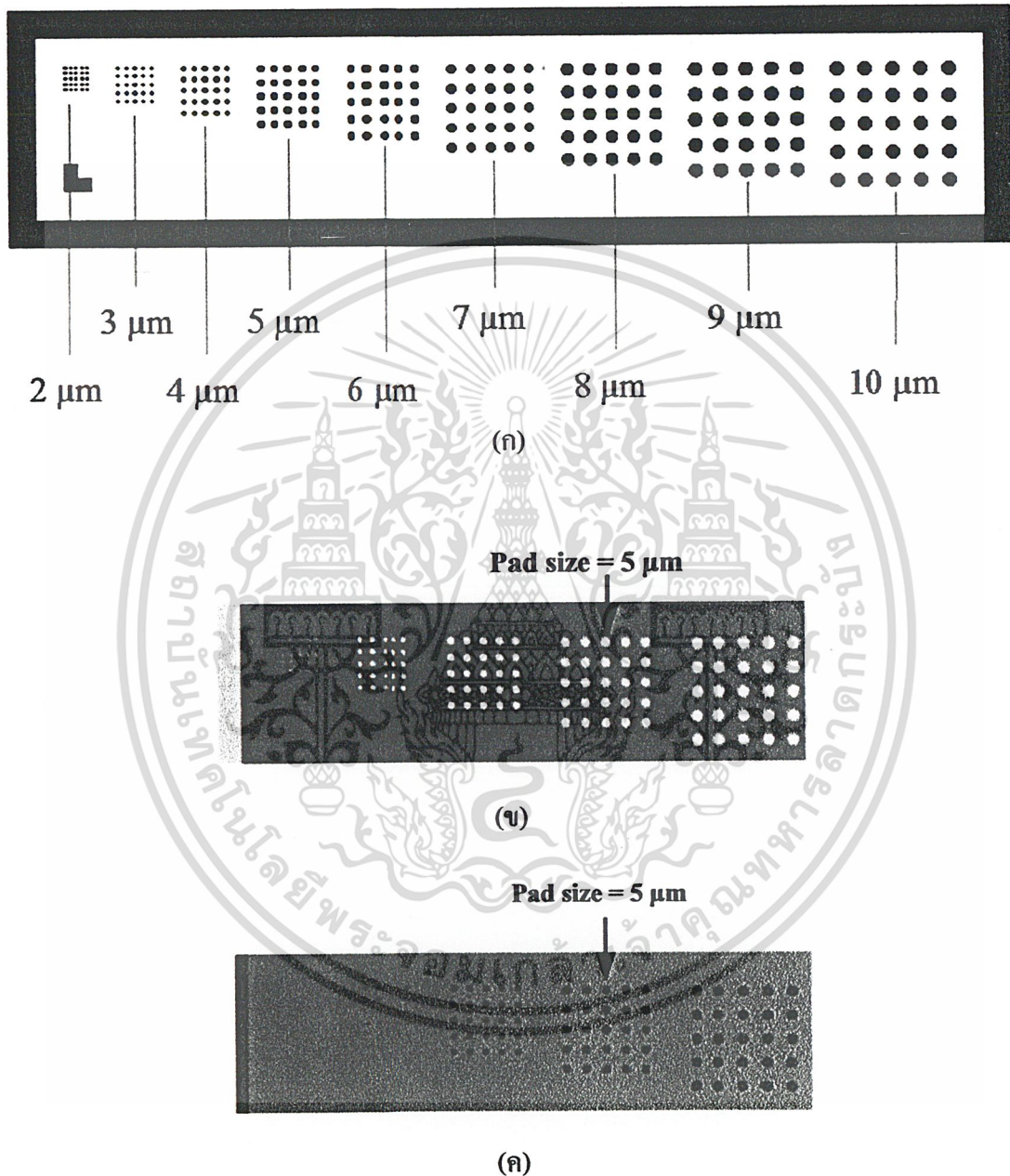
5.2.2 การตรวจสอบลวดลายด้วยกล้องจุลทรรศน์

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

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.1 การตรวจสอบลักษณะของหน้าสัมผัส (contact)

ทำการตรวจสอบขนาด ของหน้าสัมผัสที่มีลักษณะเป็นวงกลม และสี่เหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 5.11 และรูปที่ 5.12 ตามลำดับ



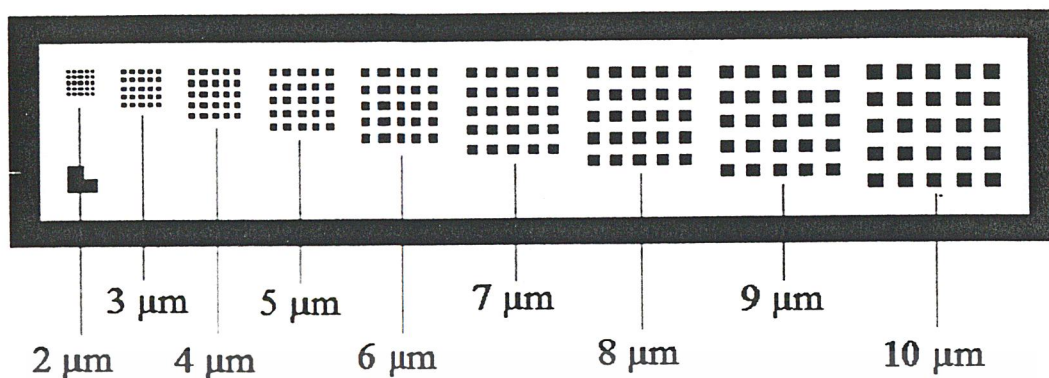
รูปที่ 5.11 ลวดลายตรวจสอบหน้าสัมผัสวงกลม

(ก) ลวดลายที่ออกแบบ

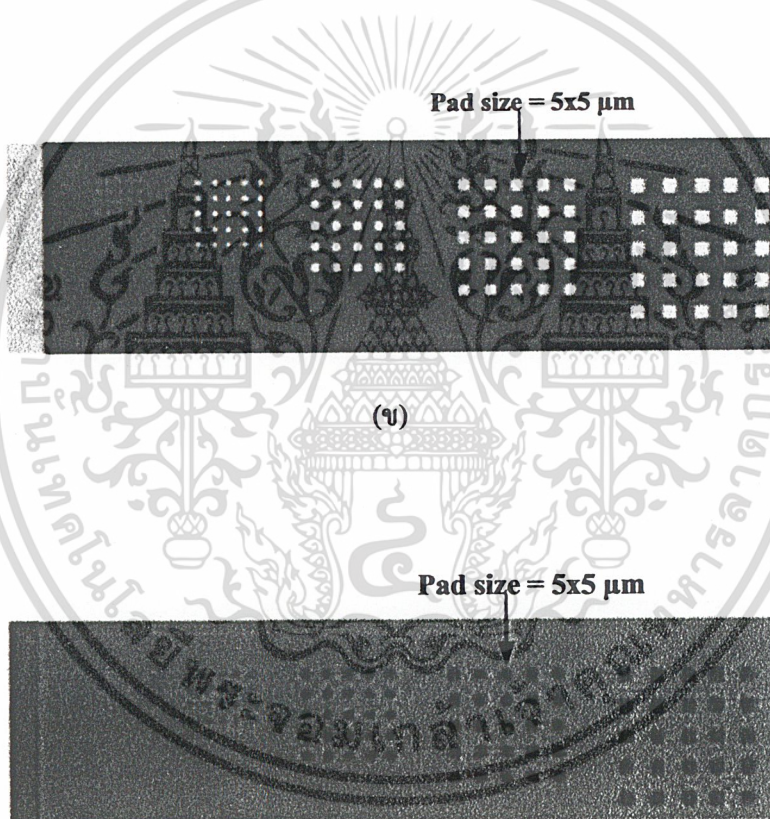
(ข) ลวดลายบนกระจกต้นแบบ กำลังขยาย 400 เท่า

(ค) ลวดลายบนแผ่นผลึกซิลิคอน กำลังขยาย 400 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานำไปประกอบในทำางใดที่ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ค)

รูปที่ 5.12 ลวดลายตรวจสอบหน้าสัมผัสสี่เหลี่ยม

(ก) ลวดลายที่ออกแบบ

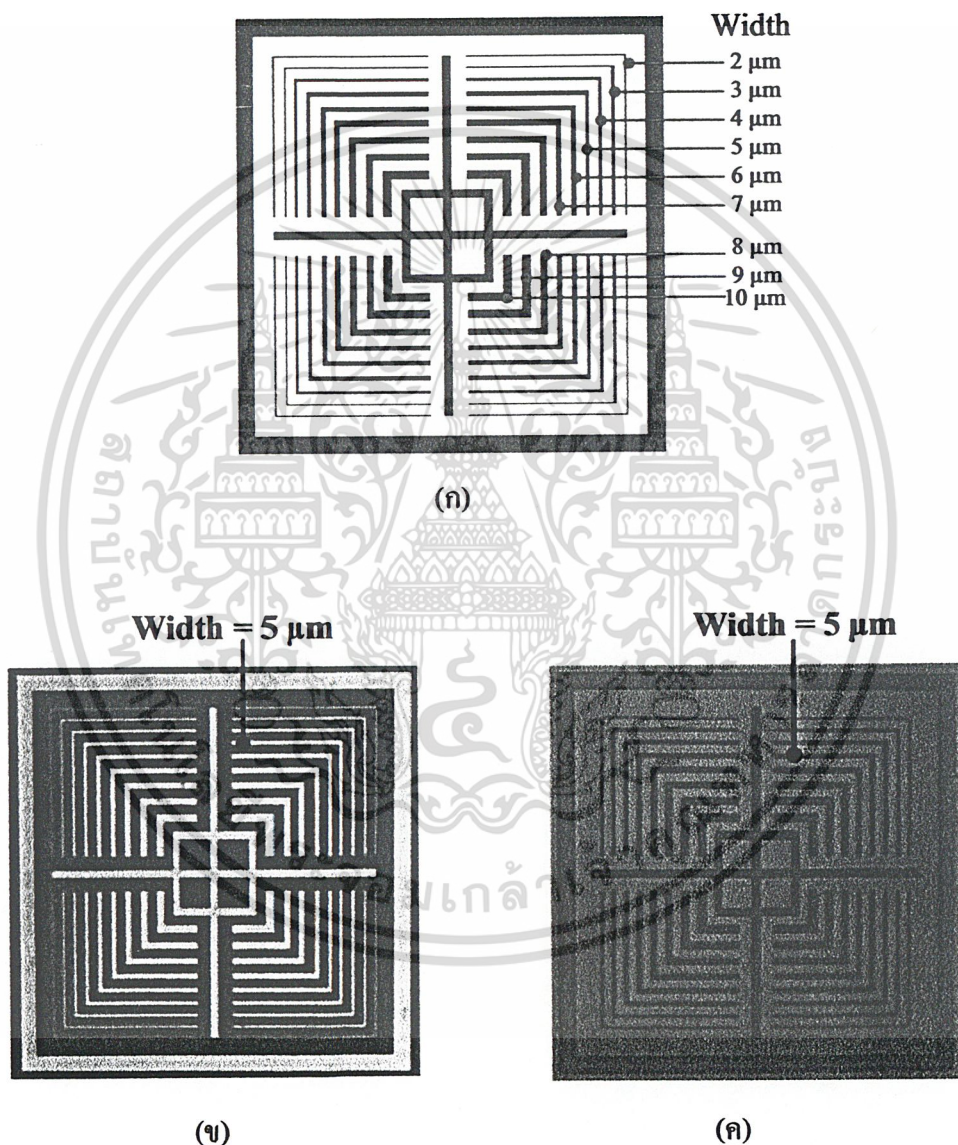
(ข) ลวดลายบนกระจกต้นแบบ กำลังขยาย 400 เท่า

(ค) ลวดลายบนแผ่นผลึกซิลิคอน กำลังขยาย 400 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเอาไปทำกำไรโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.2 การตรวจสอบลักษณะการตั้งฉาก และความโค้ง

ทำการตรวจสอบขนาด (Width) และช่องว่าง (Space) ของลวดลายที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงมุมฉาก ดังแสดงในรูปที่ 5.13 และรูปที่ 5.14 ตามลำดับ และทำการตรวจสอบขนาด และช่องว่าง ของลวดลายที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งวงกลม ดังแสดงในรูปที่ 5.15 และรูปที่ 5.16 ตามลำดับ



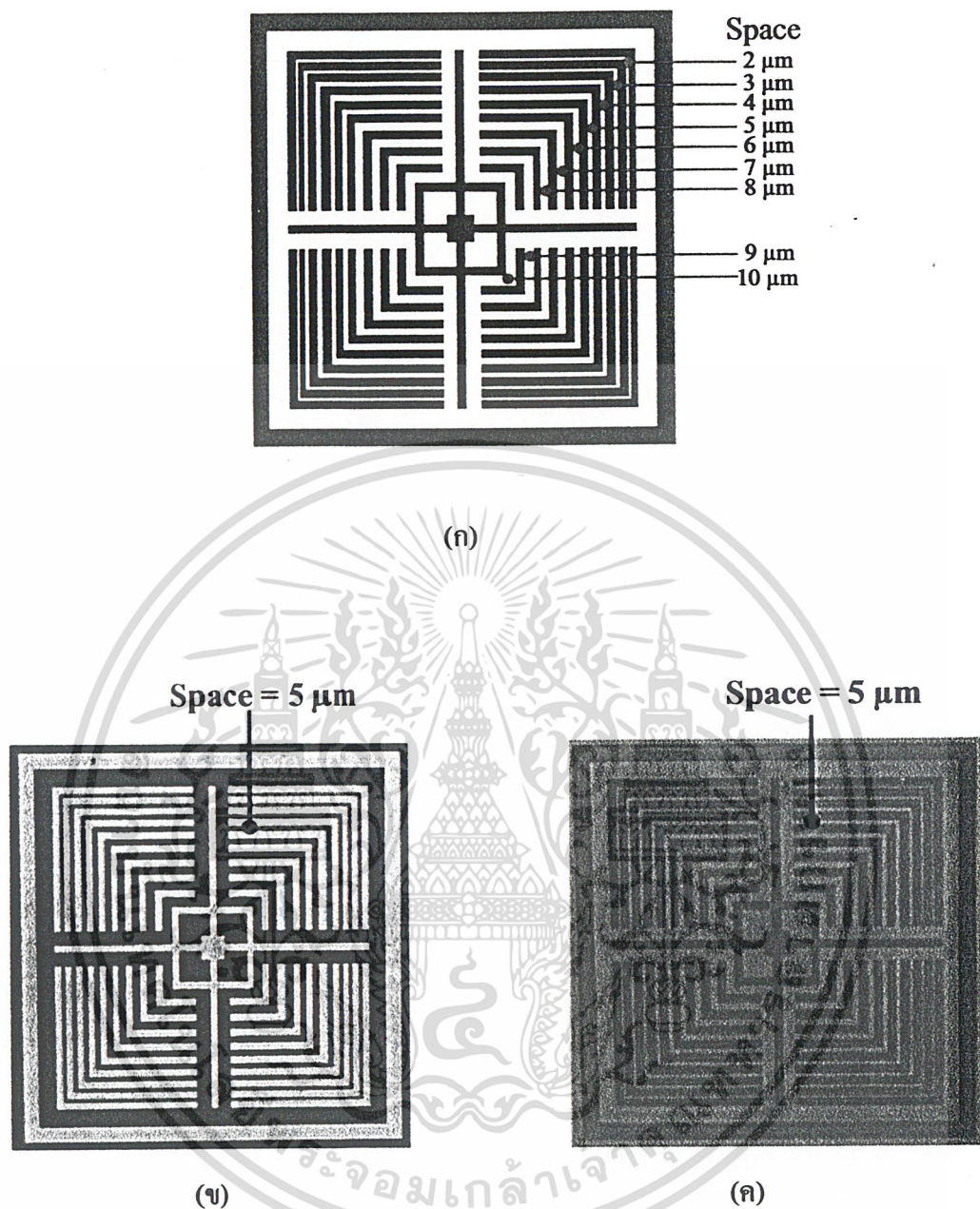
รูปที่ 5.13 ลวดลายตรวจสอบขนาด (Width) ของเส้นตรงมุมฉาก

(ก) ลวดลายที่ออกแบบ

(ข) ลวดลายบนกระจกต้นแบบ กำลังขยาย 400 เท่า

(ค) ลวดลายบนแผ่นสลักซิลิคอน กำลังขยาย 400 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประโยชน์ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีพิมพ์ลงนิตยสาร และต้องขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



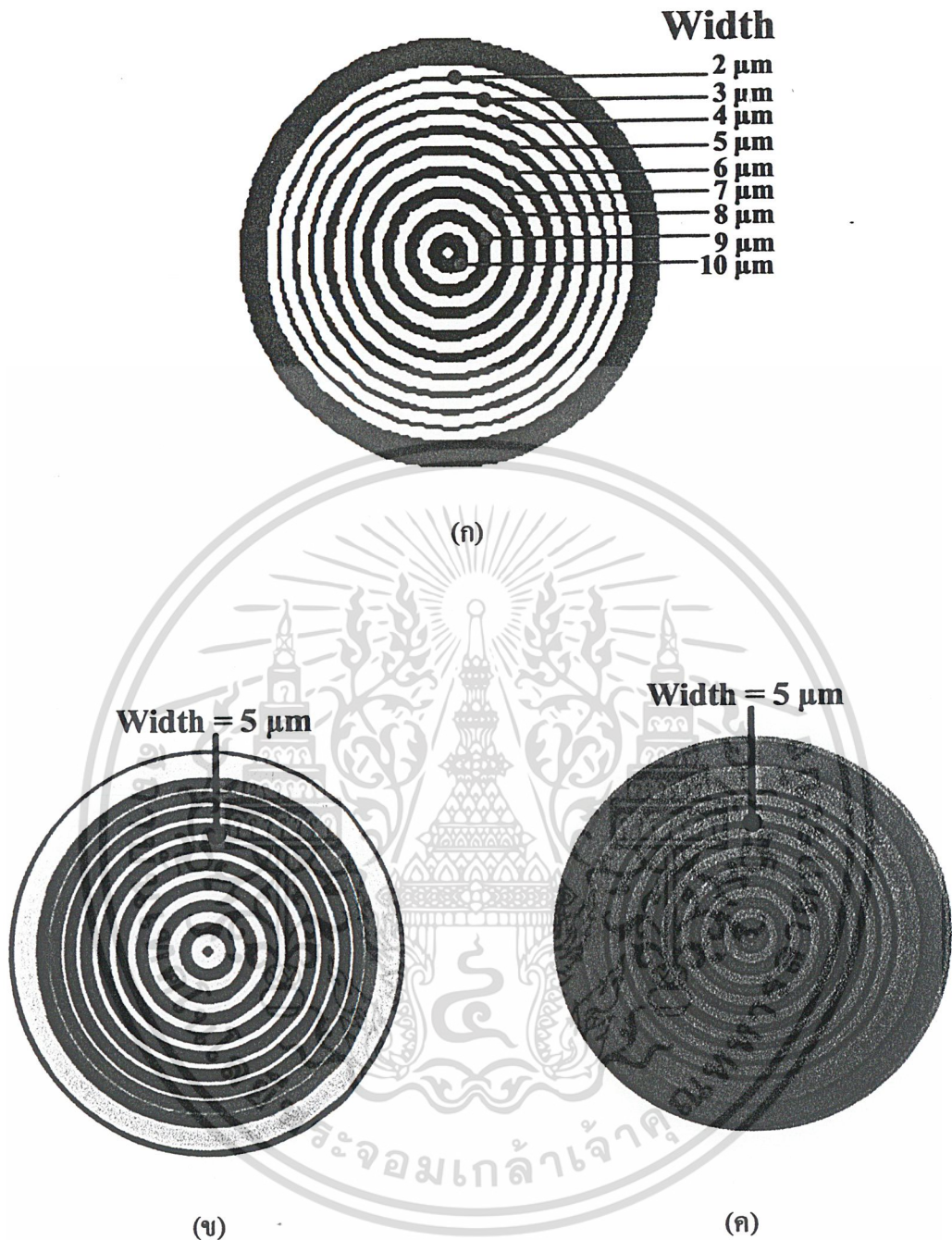
รูปที่ 5.14 ลวดลายตรวจสอบช่องว่าง (Space) ของเส้นตรงมุมฉาก

(ก) ลวดลายที่ออกแบบ

(ข) ลวดลายบนกระจกต้นแบบ กำลังขยาย 400 เท่า

(ค) ลวดลายบนแผ่นผลึกซิลิคอน กำลังขยาย 400 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



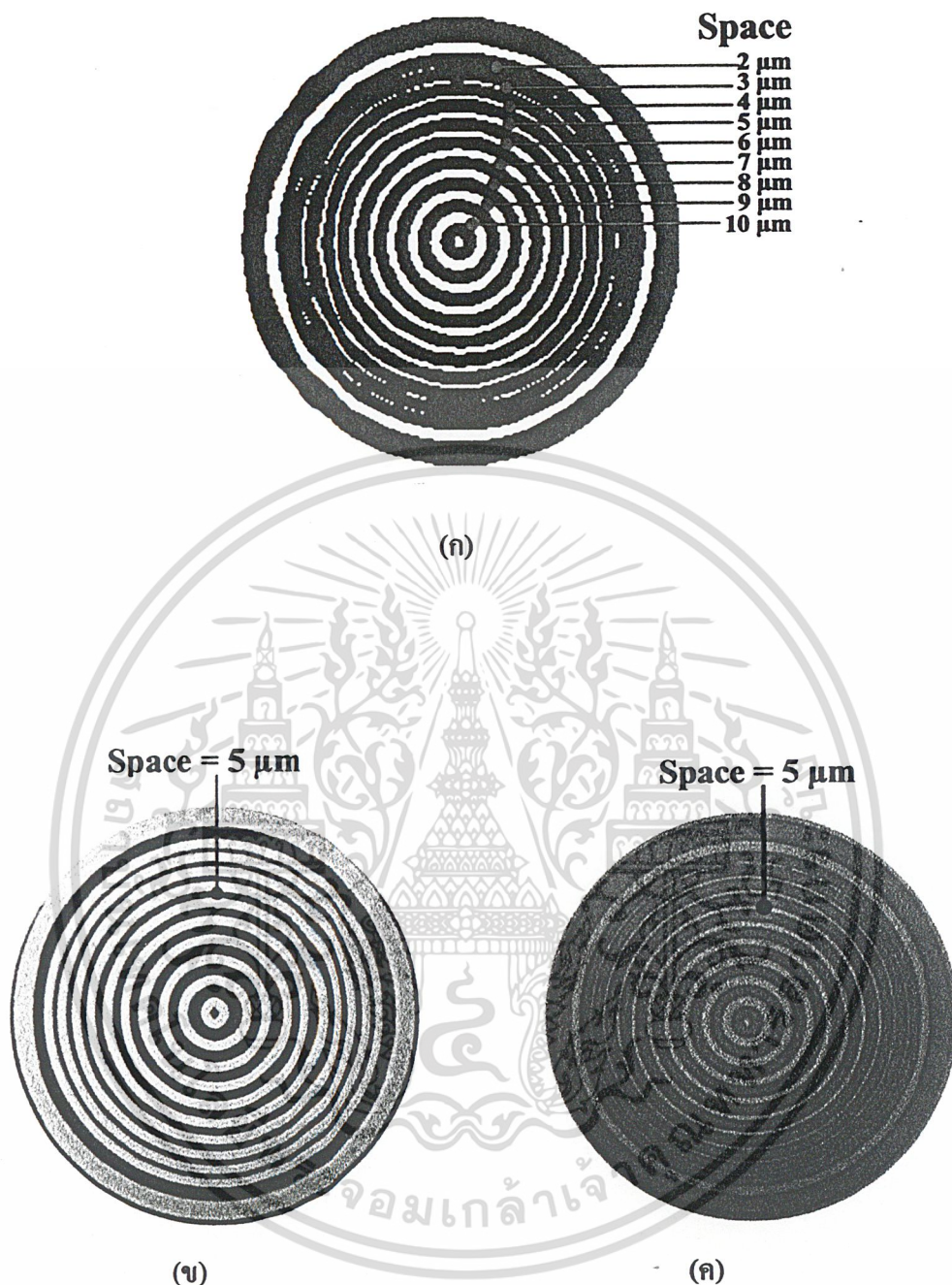
รูปที่ 5.15 ลวดลายตรวจสอบขนาด (Width) ของเส้น โค้งวงกลม

(ก) ลวดลายที่ออกแบบ

(ข) ลวดลายบนกระจกต้นแบบ กำลังขยาย 400 เท่า

(ค) ลวดลายบนแผ่นผลึกซิลิคอน กำลังขยาย 400 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 ลวดลายตรวจสอบช่องว่าง (Space) ของเส้นโค้งวงกลม

(ก) ลวดลายที่ออกแบบ

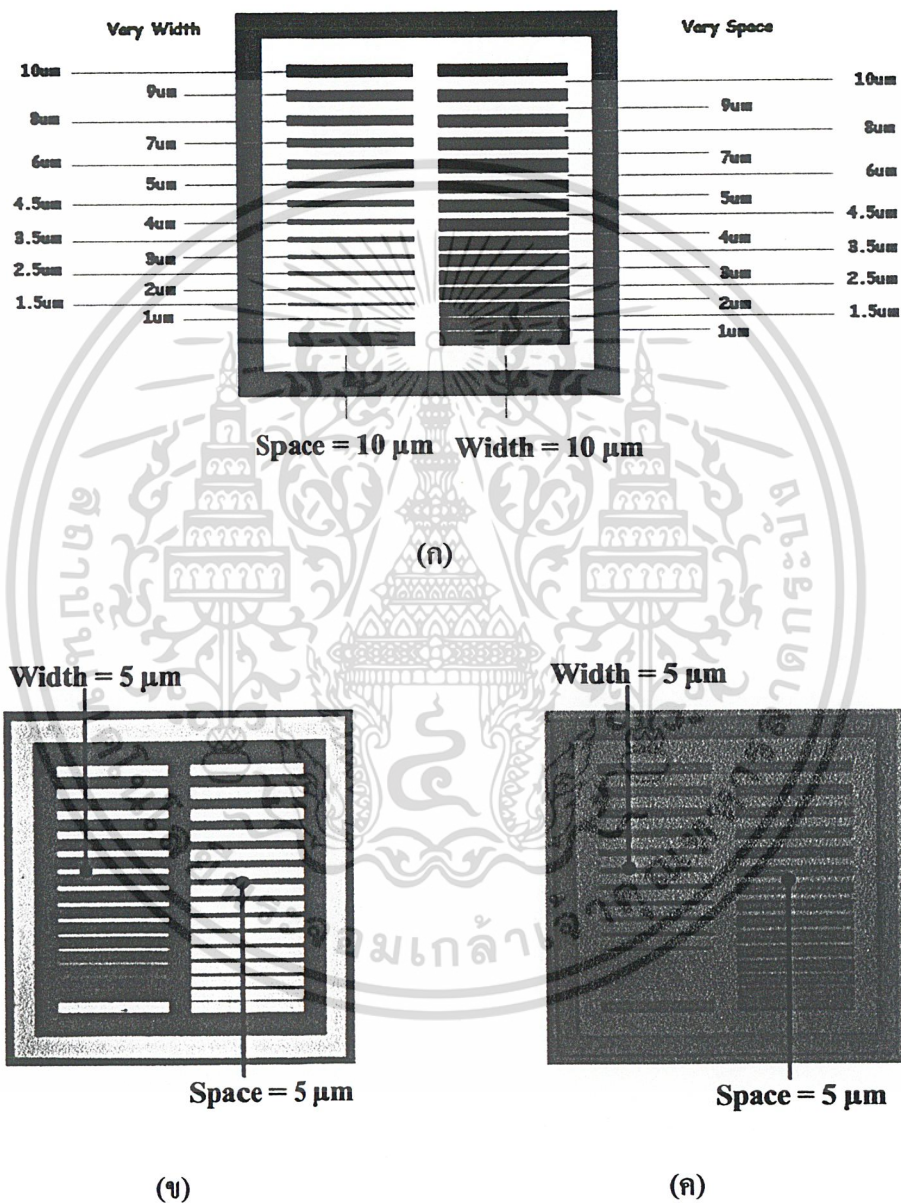
(ข) ลวดลายบนกระจกฉันทันแบบ กำลังขยาย 400 เท่า

(ค) ลวดลายบนแผ่นผลึกซิลิคอน กำลังขยาย 400 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.3 การตรวจสอบลักษณะของเส้นตรง

ทำการตรวจสอบขนาด (Width) และของช่องว่าง (Space) ด้วยลวดลายที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงแนวนอนและแนวตั้ง และแปรค่าของขนาดและช่องว่าง ดังแสดงในรูปที่ 5.17 และรูปที่ 5.18 ตามลำดับ

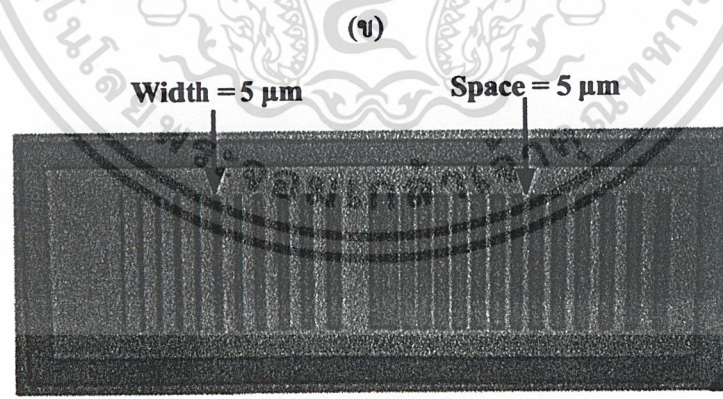
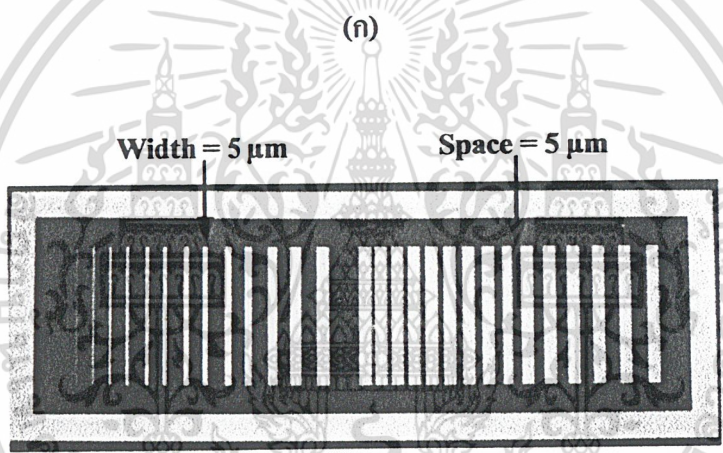
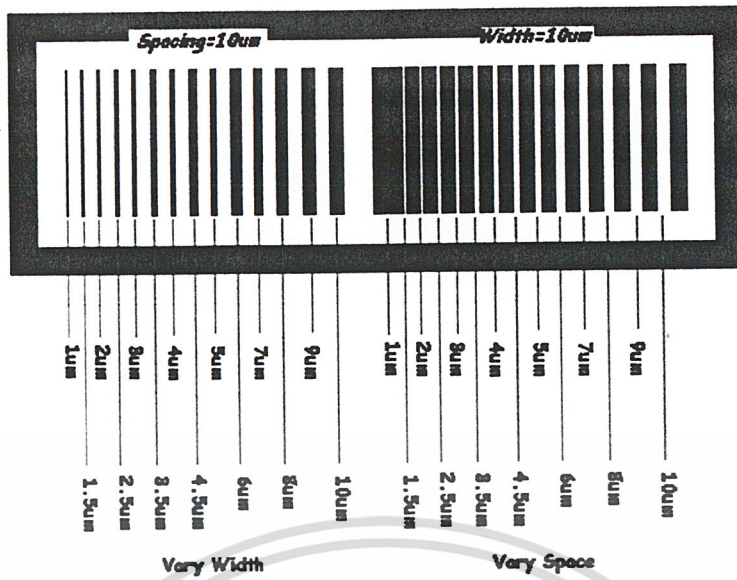


รูปที่ 5.17 ลวดลายตรวจสอบขนาดและช่องว่างของเส้นตรงแนวนอน
(ก) ลวดลายที่ออกแบบ

(ข) ลวดลายบนกระจกคั่นแบบ กำลังขยาย 400 เท่า

(ค) ลวดลายบนแผ่นผลึกซิลิคอน กำลังขยาย 400 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เรียนในเนื้อหาวิชาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



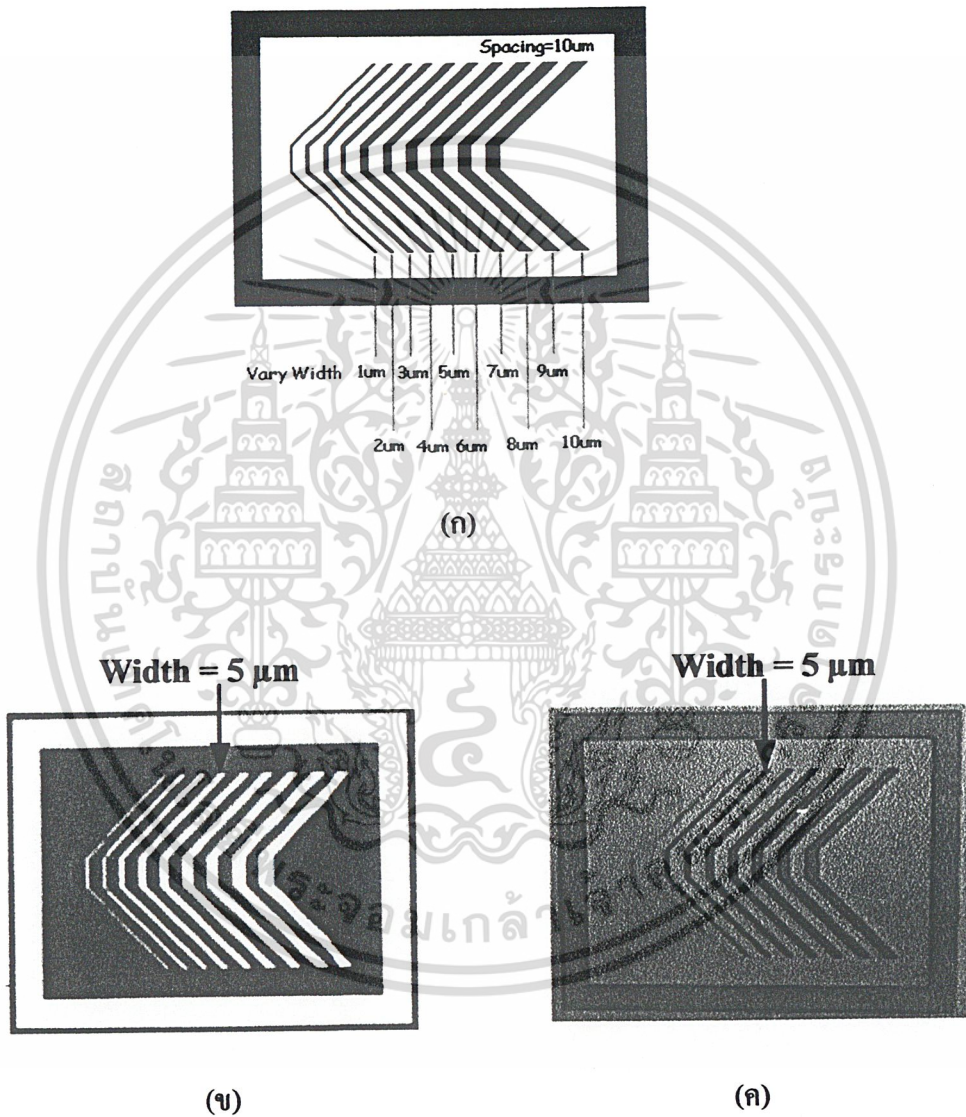
(ค)

รูปที่ 5.18 ลวดลายตรวจสอบขนาด และช่องว่าง ของเส้นตรงแนวตั้ง
 (ก) ลวดลายที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ (ข) ลวดลายบนกระจกต้นแบบ กำลังขยาย 400 เท่า ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิ (ค) ลวดลายบนแผ่นผลึกซิลิกอน กำลังขยาย 400 เท่า ครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.3 การตรวจสอบลักษณะของเส้นตรงเอียง

ทำการตรวจสอบขนาด (Width) และช่องว่าง (Space) ของเส้นตรงเอียงทำมุม 45 องศา ด้วยลวดลายที่แปรค่าของขนาด และแปรค่าของช่องว่าง แสดงดังรูปที่ 5.19 และ รูปที่ 5.20 ตามลำดับ



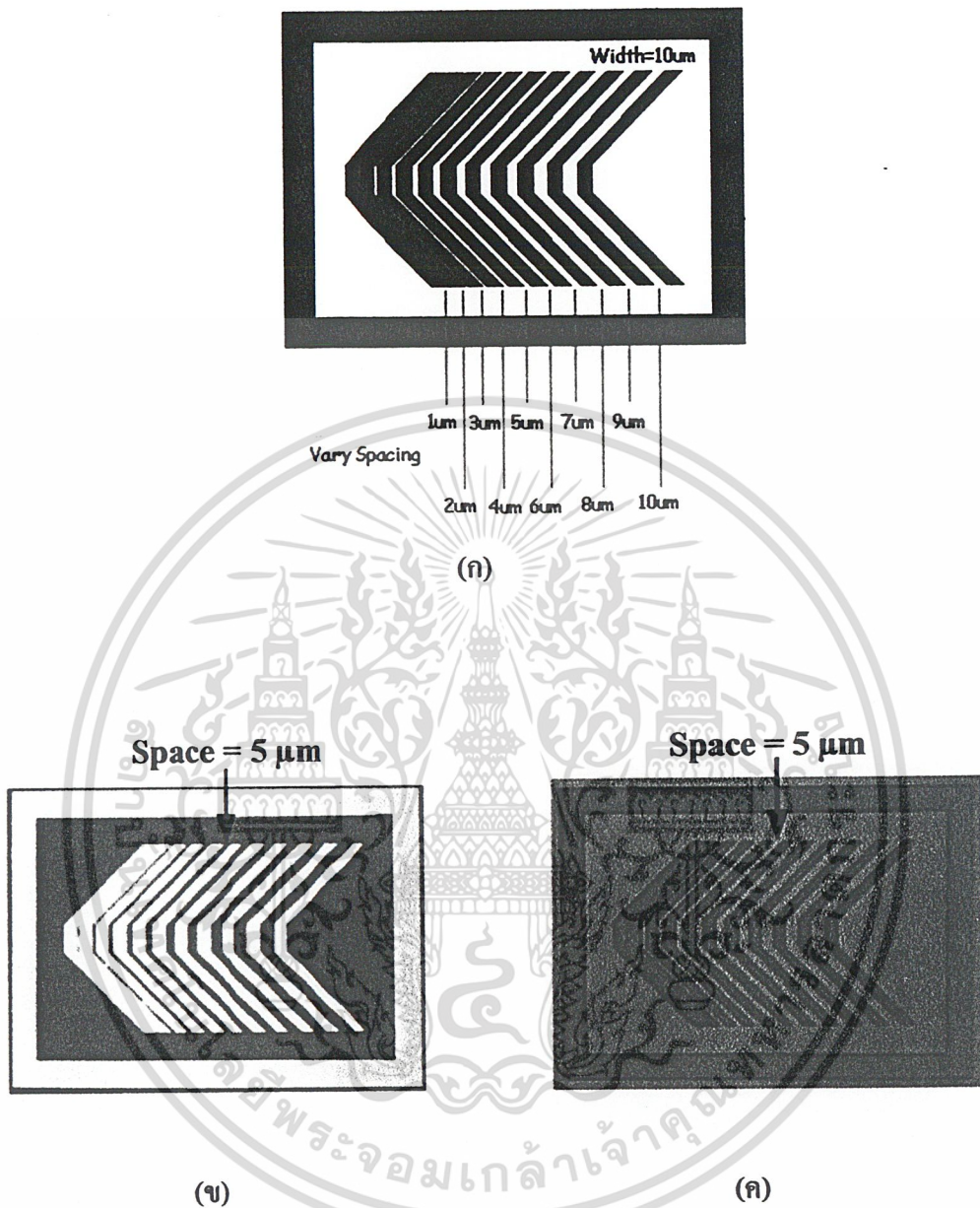
รูปที่ 5.19 ลวดลายตรวจสอบขนาดของเส้นตรงเอียง

(ก) ลวดลายที่ออกแบบ

(ข) ลวดลายบนกระจกคืนแบบ กำลังขยาย 400 เท่า

(ค) ลวดลายบนแผ่นผลึกซิลิคอน กำลังขยาย 400 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.20 ลวดลายตรวจสอบช่องว่างของเส้นตรงเอียง

(ก) ลวดลายที่ออกแบบ

(ข) ลวดลายบนกระจกต้นแบบ กำลังขยาย 400 เท่า

(ค) ลวดลายบนแผ่นผลึกซิลิคอน กำลังขยาย 400 เท่า

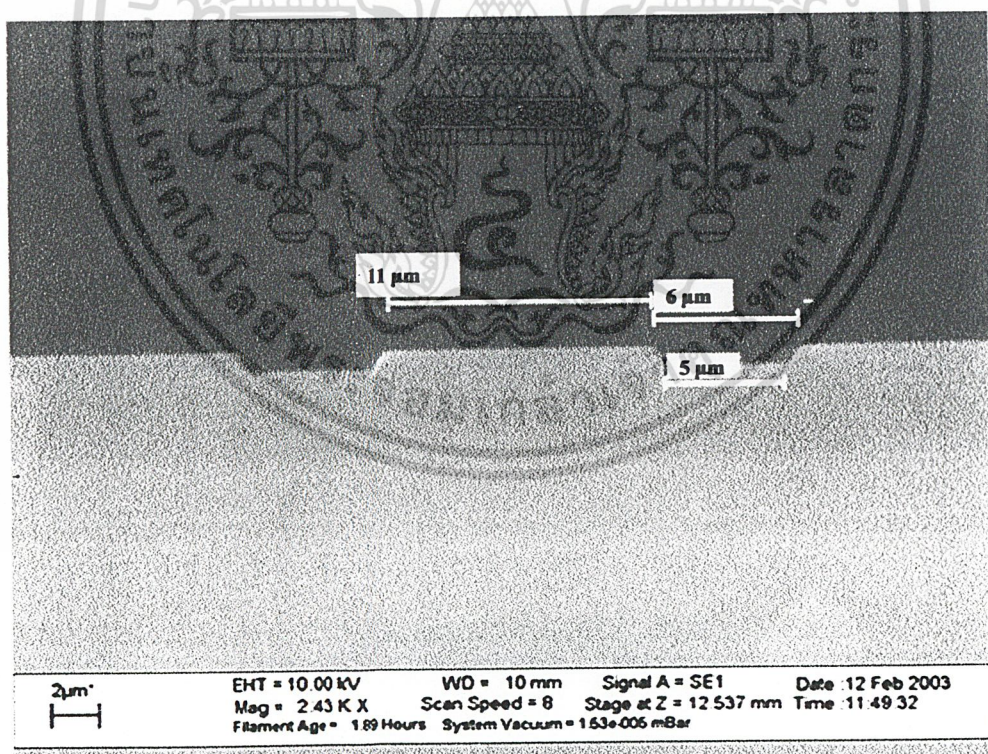
เอกสารนี้เป็นเอกสารผลการตรวจสอบลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์แบบต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์
ไมโครที่มีกำลังขยายสูง ซึ่งได้ผลแสดงดังรูปที่ 5.11 ถึง รูปที่ 5.20 ข้างต้น จะเห็นได้ว่า ลวดลายที่มีขนาด

5 μm แบบต่างๆ มีความสมบูรณ์คมชัดทั้งเส้นลายและช่องว่าง เพื่อเป็นการยืนยันว่าลวดลายที่ได้สร้างได้สามารถนำไปสร้างเป็นวงจรรวมแบบ ซีมอส ขนาด 5 μm ได้จริง ดังนั้นจึงนำลวดลายที่ได้ไปทำการตรวจสอบด้วยวิธี SEM ซึ่งจะเห็นรายละเอียดของลวดลายมากยิ่งขึ้น

5.2.3 การวิเคราะห์ลักษณะของลวดลายโดยวิธี SEM

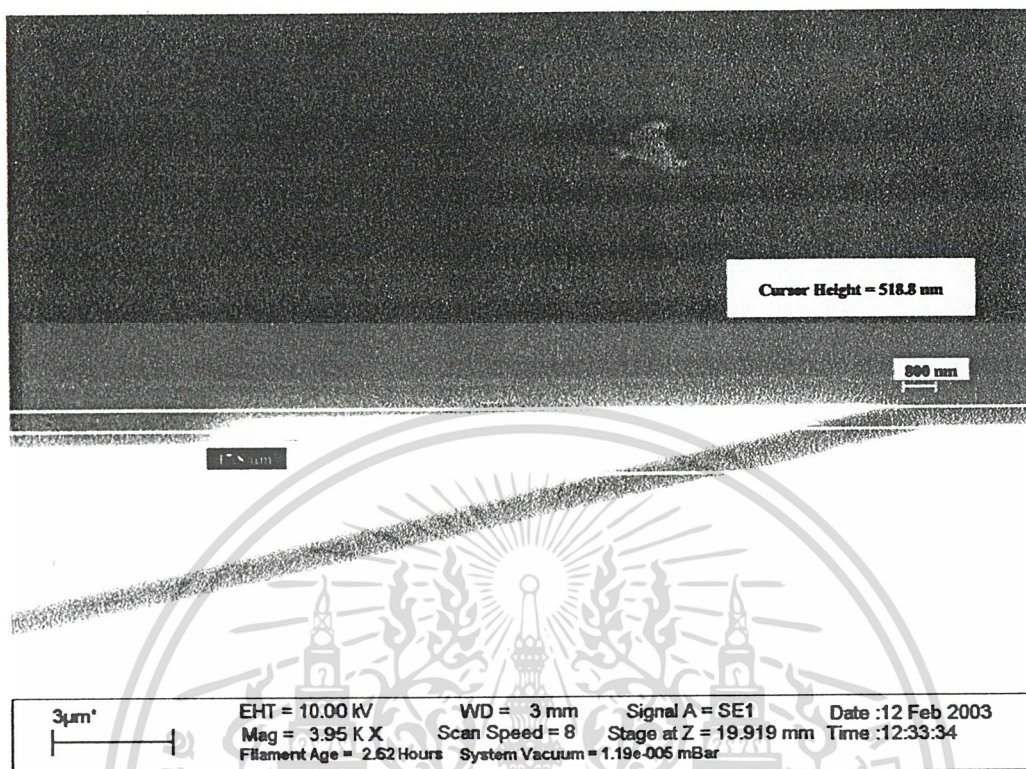
การทดลองนี้เป็นการตรวจสอบคุณลักษณะของลวดลายที่สร้างขึ้น โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope) ตรวจสอบคุณภาพตัดขวางของลวดลาย เพื่อพิจารณาโครงสร้างและขนาดของลวดลายที่ละเอียดมากยิ่งขึ้นและสามารถที่จะวัดขนาดของลวดลายออกมาได้

ทำการทดลองโดยนำชิ้นงานแผ่นผลึกซิลิคอนที่สร้างลวดลายไว้ในการทดลองที่ 5.2.1 มาตัดผ่านลวดลายขนาด 5 μm แล้วนำชิ้นงานนี้ไป ส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด ซึ่งได้รายละเอียดของลวดลาย ดังแสดงในรูปที่ 5.21 และรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.21 ภาพตัดขวางของลวดลายขนาด 5 μm ที่ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.22 ภาพตัดขวางจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดแสดงให้เห็นความหนาของฟิล์มซิลิคอนไดออกไซด์จากรูป เท่ากับ 5188 Å

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะของลวดลายด้วยวิธี SEM นี้จากรูปที่ 5.22 จะเห็นได้ว่าลวดลายของซิลิคอนไดออกไซด์ขนาด 5 ไมครอน ที่สร้างได้ มีความหนาประมาณ 5200 Å และด้วยกระบวนการกัดแบบชื้น (wet etching) จากรูปที่ 5.21 จะเห็นได้ว่าส่วนของด้านข้างจะถูกกัดเข้าไปประมาณข้างละ 0.4 ไมครอน ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

บทที่ 6

สรุปและบทวิจารณ์

ปริยญาพันธบัตรฉบับนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการโฟโตลิโทกราฟีในการสร้างลวดลาย สำหรับวงจรรวมแบบซีมอส ระดับ 5 ไมครอน ของศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยลวดลายที่สร้างขึ้นนี้เป็นลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ และทำการสร้างบนแผ่นผลึกซิลิคอนขนาด 2 นิ้ว โดยเนื้อหาการทดลองสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. ส่วนที่เป็นการทดลองเพื่อศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อความหนาของชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสง ในการเคลือบน้ำยาไวแสงบนแผ่นผลึกซิลิคอนแบบสปินเนอร์ ซึ่งได้เสนอไว้ในหัวข้อการทดลองที่ 5.1 และนำผลที่ได้มากำหนดเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมกับความหนาที่ต้องการ
2. ส่วนที่เป็นการทดลองสร้างลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ และทำการตรวจสอบลวดลายที่สร้างขึ้น ซึ่งเสนอไว้ในหัวข้อการทดลองที่ 5.2

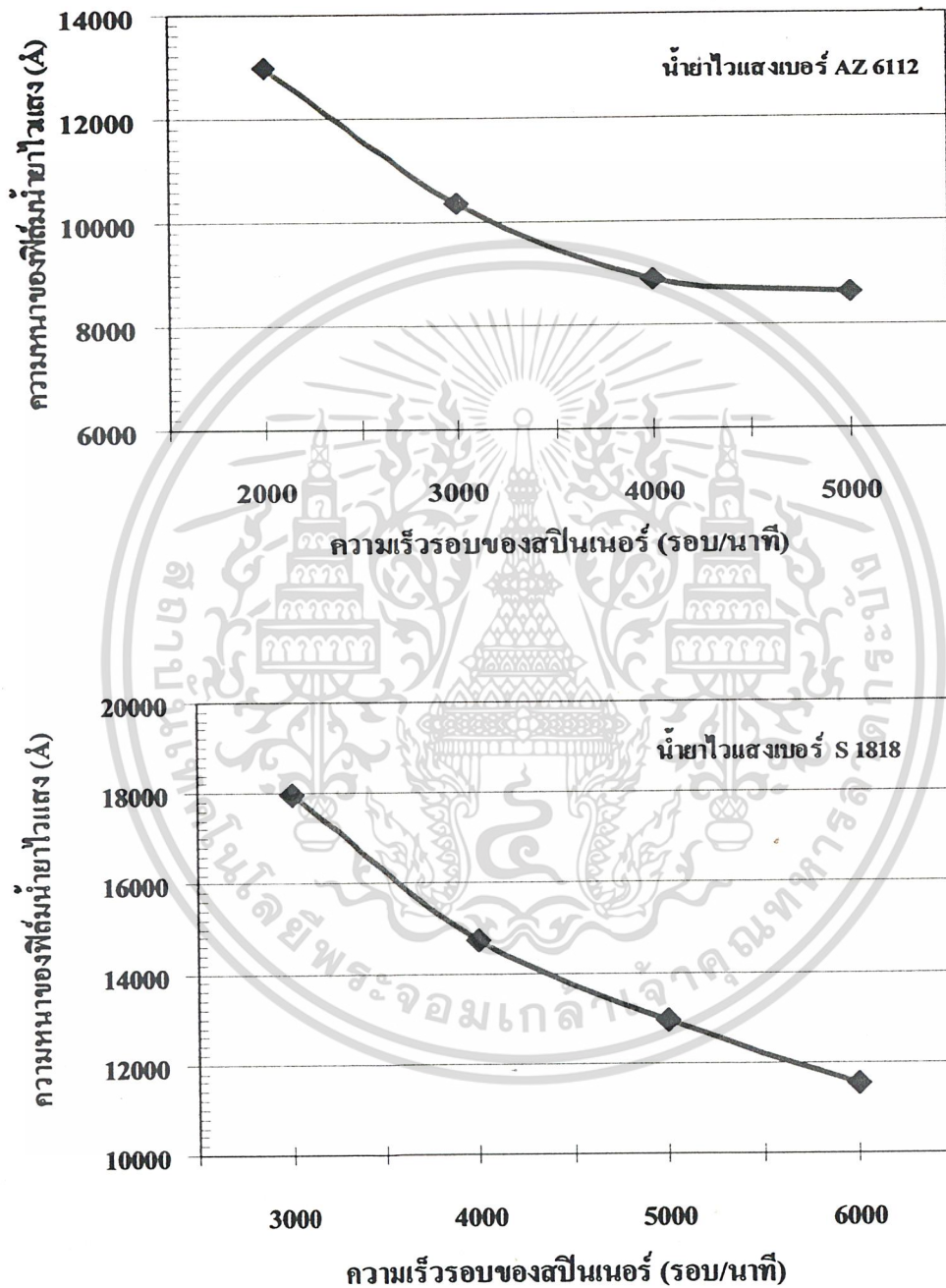
โดยในการทดลองส่วนแรก จะได้ข้อมูลที่สำคัญสำหรับทำการทดลองในส่วนที่สอง โดยรายละเอียดที่ได้กล่าวมานี้สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

จากการทดลองในหัวข้อที่ 5.1.1 5.1.2 และ 5.1.3 แสดงให้เห็นว่า เงื่อนไขในการเคลือบน้ำยาไวแสง อันได้แก่ ความเร็วรอบของสปินเนอร์, ปริมาณของน้ำยาไวแสง และ ชนิดของน้ำยาไวแสง ล้วนมีผลต่อความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง คือ

- ความเร็วรอบของสปินเนอร์ที่สูงขึ้นจะทำให้ได้ชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงมีความหนาลดลง และความเร็วที่เหมาะสมคือ 2000 – 5000 รอบ/นาที
- ปริมาณน้ำยาไวแสงที่น้อยเกินไปจะทำให้เคลือบแผ่นผลึกซิลิคอนไม่ทั่วทั้งแผ่น และจะให้ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงไม่สม่ำเสมอ ปริมาณน้ำยาไวแสงที่มากเกินไปจะเป็นการสิ้นเปลือง ปริมาณน้ำยาไวแสงที่เหมาะสมสำหรับแผ่นผลึกซิลิคอนขนาด 2 นิ้ว คือ 0.75 ลบ.ซม. จะทำให้ได้ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงสม่ำเสมอ
- น้ำยาไวแสงแต่ละชนิดให้ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงไม่เท่ากัน น้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 จะให้ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงอยู่ในช่วง 0.8 - 1.3 ไมครอน และน้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818 จะให้ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงอยู่ในช่วง 1.2 - 2.0 ไมครอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของสปินเนอร์กับความหนาของฟิล์ม น้ำยาไวแสง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดความเร็วรอบที่เหมาะสมกับความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง ในการเคลือบน้ำยาไวแสงบนแผ่นผลึกซิลิคอนขนาด 2 นิ้ว ได้ดังนี้



จากการทดลองในหัวข้อที่ 5.2.1 เป็นการนำข้อมูลจากการทดลองที่ 5.1 มากำหนดเป็น

เงื่อนไขของการสร้างฟิล์มน้ำยาไวแสงเพื่อสร้างลวดลายสำหรับวงจรรวมแบบซีมอส ระดับ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปประยุกต์ใช้ในการค้า
ไมครอน ซึ่งต้องการชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงที่มีความหนามากกว่า 15,000 Å ซึ่ง สรุปได้ว่า ต้องใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818 ในปริมาณ 0.75 ลบ.ซม. และใช้ความเร็วรอบของสปินเนอร์ 3,000 รอบ/นาที

จากการทดลองในหัวข้อที่ 5.2.2 และ 5.2.3 ซึ่งเป็นการตรวจสอบลวดลายที่สร้างขึ้นจากการทดลองหัวข้อ 5.2.1 แสดงให้เห็นว่า ลวดลายขนาด 5 ไมครอน ที่สร้างขึ้นมีความสมบูรณ์ของลวดลายและมีความคมชัดมาก และมีซิลิคอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการกักออกทางด้านข้างเพียงข้างละ 0.4 ไมครอน หรือ 8 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสามารถนำกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีที่ได้พัฒนาในการวิจัยนี้ กำหนดเป็นกระบวนการมาตรฐานในการสร้างลวดลายสำหรับวงจรรวมแบบซิมอส ในระดับ 5 ไมครอนของศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ได้ดังต่อไปนี้ คือ

กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี เพื่อสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน ด้วยเครื่องมือภายในศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์สามารถสร้างได้โดยใช้กระบวนการมาตรฐานดังต่อไปนี้

1. การเลือกน้ำยาไวแสง
 - MPS 1818 (ได้ความหนาประมาณ 1.8 ไมครอน)
 - ใช้ปริมาณ 0.75 ลบ.ซม. (1/2 หลอดหยด)
2. การอบไล่ความชื้นและเคลือบผิวหน้าด้วย HMDS
 - ใช้ไอระเหยของ HMDS ในภาชนะปิด เคลือบผิวหน้าของซิลิคอนไดออกไซด์
 - 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 : 60 วินาที
5. การฉายแสง
 - เวลา : 10 วินาที
6. การขึ้นลวดลาย
 - น้ำยา AZ 300 MIF
 - เวลา : 45 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การอบครั้งที่สอง (Post bake)
 - ใช้แผ่นความร้อน
 - อุณหภูมิ : 120 °C
 - เวลา : 60 วินาที
8. การตรวจสอบลวดลาย
 - ใช้กล้องจุลทรรศน์
9. ตรวจสอบความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง
 - ใช้เครื่องวัดความฟิล์มบาง TFM-120
10. การกัดแบบขึ้น
 - ใช้ BHF (อัตราการกัด : 750 Å/นาที)
11. การตรวจสอบลวดลาย
 - ใช้กล้องจุลทรรศน์

การพัฒนาการสร้างลวดลายด้วยกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีให้มีขนาดเล็กและมีความคมชัดจำเป็นจะต้องใช้กระจกต้นแบบ (Photo Mask) ที่มีคุณภาพดี มีความคมชัดสูง จึงจะทำให้ลวดลายที่ได้มีความคมชัด เมื่อผ่านกระบวนการกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ การเลือกใช้วิธีกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์แบบขึ้นจะทำให้เกิดระยะการกัดด้านข้างประมาณเท่าๆ กับระยะการกัดในแนวตั้ง (ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์หนา 0.5 ไมครอน จะเกิดการกัดด้านข้างประมาณ 0.5 ไมครอนเช่นกัน) ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดของวิธีการกัดแบบขึ้น ทำให้เกิดปัญหาในการสร้างลวดลายที่มีขนาดเล็กๆ ในกรณีที่ลวดลายมีขนาดเล็กมากๆ ควรเปลี่ยนไปใช้วิธีการกัดแบบแห้งซึ่งจะทำให้เกิดการกัดด้านข้างน้อยกว่า

ถึงแม้กระบวนการสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน ด้วยกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีจะได้ผลเป็นที่น่าพอใจ แต่ในกระบวนการสร้างวงจรรวมประกอบด้วยกระบวนการอื่นๆ อีกหลายขั้นตอน จำเป็นต้องมีการทดลองและศึกษาข้อมูลในแต่ละกระบวนการ จึงจะสามารถสรุปได้ว่าสามารถสร้างวงจรรวมแบบซีมอสขนาด 5 ไมครอนได้หรือไม่

บรรณานุกรม

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.

สมเกียรติ สุภเดช. 2545. เทคโนโลยีวงจรรวม. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดลองกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี

การทดลองที่ 5.1.1

น้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112

Wafer No.	Volume (cc)	Spin Coating		Bake		Thickness												
		Speed (rpm)	Time (s)	Pre (°C/T)	Post (°C/T)	1 (Å)	2 (Å)	3 (Å)	4 (Å)	5 (Å)	Ave. 5 (Å)	Dev. 5 (%)	6 (Å)	7 (Å)	8 (Å)	9 (Å)	Ave. 9 (Å)	Dev. 9 (%)
1	0.375	500	40	90/60	-	24641	23185	24666	25866	23391	24349.8	11.0104	22150	23044	24521	23253	23857.4	15.5759
1	0.375	1000	40	90/60	-	19206	19152	18896	18071	18266	18718.2	6.0636	18537	18984	18125	18356	18621.4	6.0951
1	0.375	2000	40	90/60	-	14037	14037	13899	13922	14176	14014.2	1.9766	14153	13945	13783	14083	14003.9	2.8064
1	0.375	3000	40	90/60	-	11239	11299	11179	11159	11259	11227.0	1.2470	11319	11239	11079	11179	11216.8	2.1397
1	0.375	4000	40	90/60	-	10023	10005	9875	9894	10005	9960.4	1.4859	10097	9949	9802	10005	9961.7	2.9614
1	0.375	5000	40	90/60	-	9169	9254	9101	9186	9190	9180.0	1.6667	9155	9169	9017	9243	9164.9	2.5860
1	0.375	6000	40	90/60	-	8578	8645	8511	8561	8594	8577.8	1.5622	8594	8578	8431	8594	8565.1	2.4985

Spin coating 1st speed : 500 rpm , 1st Time : 5 sec.

$$\text{Dev.} = \{(T_{\max} - T_{\min})/T_{\text{ave}}\} \times 100$$

$$\Delta T = \text{Ave. Pre bake} - \text{Ave. Post bake}$$

ตารางผลการทดลอง
กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี

การทดลองที่ 5.1.1

น้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112

Wafer No.	Volume (cc)	Spin Coating		Bake		Thickness												
		Speed (rpm)	Time (s)	Pre (°C/T)	Post (°C/T)	1 (Å)	2 (Å)	3 (Å)	4 (Å)	5 (Å)	Ave. 5 (Å)	Dev. 5 (%)	6 (Å)	7 (Å)	8 (Å)	9 (Å)	Ave. 9 (Å)	Dev. 9 (%)
1	0.375	500	40	90/60	120/60	22150	21619	22083	24639	21462	22390.6	14.1890	20594	21871	22017	21665	22011.1	18.3771
1	0.375	1000	40	90/60	120/60	18043	18015	17848	17363	17678	17789.4	3.8225	17759	17848	17565	17753	17763.6	3.8281
1	0.375	2000	40	90/60	120/60	13326	13304	13214	13326	13415	13317.0	1.5093	13348	13259	13137	13348	13297.4	2.0906
1	0.375	3000	40	90/60	120/60	10796	10796	10719	10738	10853	10780.4	1.2430	10834	10777	10680	10757	10772.2	1.6060
1	0.375	4000	40	90/60	120/60	9912	9838	9802	9783	9945	9856.0	1.6437	9986	9857	9721	9838	9853.6	2.6894
1	0.375	5000	40	90/60	120/60	8746	8763	8645	8696	8731	8716.2	1.3538	8714	8730	8628	8748	8711.2	1.5497
1	0.375	6000	40	90/60	120/60	8270	8302	8221	8253	8313	8271.8	1.1122	8334	8286	8173	8302	8272.7	1.9462

Spin coating 1st speed : 500 rpm , 1st Time : 5 sec.

$$\text{Dev.} = \{(T_{\max} - T_{\min})/T_{\text{ave}}\} \times 100$$

$$\Delta T = \text{Ave.Pre bake} - \text{Ave.Post bake}$$

ตารางผลการทดลอง
กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี

การทดลองที่ 5.1.1

น้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112

Wafer No.	Volume (cc)	Spin Coating		Bake		Thickness												
		Speed (rpm)	Time (s)	Pre (°C/T)	Post (°C/T)	1 (Å)	2 (Å)	3 (Å)	4 (Å)	5 (Å)	Ave. 5 (Å)	Dev. 5 (%)	6 (Å)	7 (Å)	8 (Å)	9 (Å)	Ave. 9 (Å)	Dev. 9 (%)
2	0.75	500	40	90/60	-	23357	23253	23979	21917	24939	23489.0	12.8656	22430	19350	23044	23148	22824.1	24.4873
2	0.75	1000	40	90/60	-	19017	19044	19152	19176	19326	19143.0	1.6142	19416	19071	19567	19236	19222.8	2.8612
2	0.75	2000	40	90/60	-	13645	13668	13504	13549	13760	13625.2	1.8789	13714	13552	13415	13615	13602.4	2.5363
2	0.75	3000	40	90/60	-	10757	10757	10623	10623	10834	10718.8	1.9685	10796	10661	10546	10707	10700.4	2.6915
2	0.75	4000	40	90/60	-	9190	9173	9135	9152	9243	9178.6	1.1767	9261	9152	9034	9173	9168.1	2.4760
2	0.75	5000	40	90/60	-	9173	9169	9068	9214	9385	9201.8	3.4450	9190	9068	9135	9042	9160.4	3.7444
2	0.75	6000	40	90/60	-	8189	8221	8076	8157	8302	8189.0	2.7598	8270	8173	8060	8173	8180.1	2.9584

Spin coating 1st speed : 500 rpm , 1st Time : 5 sec.

$$\text{Dev.} = \{(T_{\max} - T_{\min})/T_{\text{ave}}\} \times 100$$

$$\Delta T = \text{Ave.Pre bake} - \text{Ave.Post bake}$$

ตารางผลการทดลอง
กระบวนการโฟโตลิโกราฟี

การทดลองที่ 5.1.1

น้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112

Wafer No.	Volume (cc)	Spin Coating		Bake		Thickness												
		Speed (rpm)	Time (s)	Pre (°C/T)	Post (°C/T)	1 (Å)	2 (Å)	3 (Å)	4 (Å)	5 (Å)	Ave. 5 (Å)	Dev. 5 (%)	6 (Å)	7 (Å)	8 (Å)	9 (Å)	Ave. 9 (Å)	Dev. 9 (%)
2	0.75	500	40	90/60	120/60	20163	20126	21785	19359	21818	20650.2	11.9079	19356	18187	19386	19951	20014.6	18.1418
2	0.75	1000	40	90/60	120/60	17848	17993	18054	18121	18104	18024.0	1.5146	18073	17882	18175	17882	18014.7	1.8152
2	0.75	2000	40	90/60	120/60	13013	12991	12921	12946	13125	12999.2	1.5693	13058	12946	12835	13013	12983.1	2.2337
2	0.75	3000	40	90/60	120/60	10447	10444	10244	10300	10466	10380.2	2.1387	10447	10281	10226	10399	10361.6	2.3163
2	0.75	4000	40	90/60	120/60	8899	8899	8863	8831	9034	8905.2	2.2796	9000	8865	8745	8916	8894.7	3.2491
2	0.75	5000	40	90/60	120/60	8645	8679	8544	8694	8730	8658.4	2.1482	8662	8511	8611	8562	8626.4	2.5387
2	0.75	6000	40	90/60	120/60	7931	7946	7823	7885	8028	7922.6	2.5875	7947	7854	7777	7792	7887.0	3.1825

Spin coating 1st speed : 500 rpm , 1st Time : 5 sec.

$$\text{Dev.} = \{(T_{\max} - T_{\min})/T_{\text{ave}}\} \times 100$$

$$\Delta T = \text{Ave.Pre bake} - \text{Ave.Post bake}$$

ตารางผลการทดลอง
กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี

การทดลองที่ 5.1.1

น้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112

Wafer No.	Volume (cc)	Spin Coating		Bake		Thickness												
		Speed (rpm)	Time (s)	Pre (°C/T)	Post (°C/T)	1 (Å)	2 (Å)	3 (Å)	4 (Å)	5 (Å)	Ave. 5 (Å)	Dev. 5 (%)	6 (Å)	7 (Å)	8 (Å)	9 (Å)	Ave. 9 (Å)	Dev. 9 (%)
3	1.125	500	40	90/60	-	25537	24984	20810	23629	21884	23368.8	20.2278	23183	21951	23426	25790	23466.0	21.2222
3	1.125	1000	40	90/60	-	19152	19179	19076	19476	19926	19361.8	4.3901	19896	19506	19266	19434	19434.6	4.3737
3	1.125	2000	40	90/60	-	13415	13348	13281	13326	13415	13357.0	1.0032	13326	13304	13214	13370	13333.2	1.5075
3	1.125	3000	40	90/60	-	10410	10447	10447	10281	10466	10410.2	1.7771	10447	10355	10207	10300	10373.3	2.4968
3	1.125	4000	40	90/60	-	9491	9508	9243	9420	9668	9466.0	4.4898	9615	9367	9544	9597	9494.8	4.4761
3	1.125	5000	40	90/60	-	9597	9420	9561	9632	9650	9572.0	2.4028	9473	9455	9544	9703	9559.4	2.9604
3	1.125	6000	40	90/60	-	7995	7995	7961	7885	7995	7966.2	1.3808	7995	7979	7915	7931	7961.2	1.3817

Spin coating 1st speed : 500 rpm , 1st Time : 5 sec.

$$\text{Dev.} = \{(T_{\max} - T_{\min})/T_{\text{ave}}\} \times 100$$

$$\Delta T = \text{Ave.Pre bake} - \text{Ave.Post bake}$$

ตารางผลการทดลอง
กระบวนการโฟโตลิโกราฟี

การทดลองที่ 5.1.1

น้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112

Wafer No.	Volume (cc)	Spin Coating		Bake		Thickness												
		Speed (rpm)	Time (s)	Pre (°C/T)	Post (°C/T)	1 (Å)	2 (Å)	3 (Å)	4 (Å)	5 (Å)	Ave. 5 (Å)	Dev. 5 (%)	6 (Å)	7 (Å)	8 (Å)	9 (Å)	Ave. 9 (Å)	Dev. 9 (%)
3	1.125	500	40	90/60	120/60	24140	22171	19964	21518	19998	21558.2	19.3708	21450	19723	21642	24401	21667.4	21.5900
3	1.125	1000	40	90/60	120/60	18049	18063	17959	18110	18335	18103.2	2.0770	18256	18106	18048	18078	18111.6	2.0760
3	1.125	2000	40	90/60	120/60	12856	12835	12705	12727	12856	12795.8	1.1801	12813	12705	12641	12813	12772.3	1.6833
3	1.125	3000	40	90/60	120/60	9912	9912	9857	9802	9949	9886.4	1.4869	9948	9857	9756	9838	9870.1	1.9554
3	1.125	4000	40	90/60	120/60	9213	9213	9011	9194	9446	9215.4	4.7204	9446	9145	9211	9345	9247.1	4.7042
3	1.125	5000	40	90/60	120/60	8865	8949	8868	8797	8966	8889.0	1.9012	8865	8899	8780	8882	8874.6	2.0959
3	1.125	6000	40	90/60	120/60	7160	7731	7654	7562	7777	7576.8	8.1433	7777	7624	7593	7639	7613.0	8.1046

Spin coating 1st speed : 500 rpm , 1st Time : 5 sec.

$$\text{Dev.} = \{(T_{\max} - T_{\min})/T_{\text{ave}}\} \times 100$$

$$\Delta T = \text{Ave.Pre bake} - \text{Ave.Post bake}$$

ตารางผลการทดลอง
กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี

การทดลองที่ 5.1.1

น้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112

Wafer No.	Volume (cc)	Spin Coating		Bake		Thickness												
		Speed (rpm)	Time (s)	Pre (°C/T)	Post (°C/T)	1 (Å)	2 (Å)	3 (Å)	4 (Å)	5 (Å)	Ave. 5 (Å)	Dev. 5 (%)	6 (Å)	7 (Å)	8 (Å)	9 (Å)	Ave. 9 (Å)	Dev. 9 (%)
4	1.5	500	40	90/60	-	29970	24703	29859	27138	27712	27876.4	18.8941	29859	29896	29936	29970	28782.6	18.2993
4	1.5	1000	40	90/60	-	19710	19896	20204	20420	20482	20142.4	3.8327	19710	19807	19821	20104	20017.1	3.8567
4	1.5	2000	40	90/60	-	13527	13645	13304	13192	13598	13453.2	3.3672	13645	13527	13013	13326	13419.7	4.7095
4	1.5	3000	40	90/60	-	9968	9986	9873	9912	10041	9956.0	1.6874	10005	9931	9838	9968	9946.9	2.0408
4	1.5	4000	40	90/60	-	9261	9314	9367	9314	9190	9289.2	1.9054	9243	9349	9296	9243	9286.3	1.9060
4	1.5	5000	40	90/60	-	9894	9894	9797	9802	10152	9907.8	3.5830	10023	9774	9650	9931	9879.7	5.0811
4	1.5	6000	40	90/60	-	7547	7562	7439	7501	7670	7543.8	3.0621	7516	7501	7439	7516	7521.2	3.0713

Spin coating 1st speed : 500 rpm , 1st Time : 5 sec.

$$\text{Dev.} = \{(T_{\max} - T_{\min})/T_{\text{ave}}\} \times 100$$

$$\Delta T = \text{Ave.Pre bake} - \text{Ave.Post bake}$$

ตารางผลการทดลอง
กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี

การทดลองที่ 5.1.1

น้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112

Wafer No.	Volume (cc)	Spin Coating		Bake		Thickness												
		Speed (rpm)	Time (s)	Pre (°C/T)	Post (°C/T)	1 (Å)	2 (Å)	3 (Å)	4 (Å)	5 (Å)	Ave. 5 (Å)	Dev. 5 (%)	6 (Å)	7 (Å)	8 (Å)	9 (Å)	Ave. 9 (Å)	Dev. 9 (%)
4	1.5	500	40	90/60	120/60	26652	22094	26366	24981	25435	25105.6	18.1553	26375	26071	27110	27404	25832.0	20.5559
4	1.5	1000	40	90/60	120/60	18206	18292	18349	18367	18377	18318.2	0.9335	18163	18182	18263	18343	18282.4	1.1705
4	1.5	2000	40	90/60	120/60	12960	13091	12849	12709	12987	12919.2	2.9568	13039	12929	12687	12849	12900.0	3.1318
4	1.5	3000	40	90/60	120/60	9579	9632	9544	9561	9703	9603.8	1.6556	9703	9579	9508	9579	9598.7	2.0315
4	1.5	4000	40	90/60	120/60	9078	9094	9079	9081	8845	9035.4	2.7558	8994	9011	8999	9044	9025.0	2.7590
4	1.5	5000	40	90/60	120/60	9152	9169	9068	9034	9190	9122.6	1.7100	9203	9017	9051	9118	9111.3	2.0414
4	1.5	6000	40	90/60	120/60	7269	7269	7167	7240	7363	7261.6	2.6991	7269	7211	7152	7269	7245.4	2.9122

Spin coating 1st speed : 500 rpm , 1st Time : 5 sec.

$$\text{Dev.} = \{(T_{\max} - T_{\min})/T_{\text{ave}}\} \times 100$$

$$\Delta T = \text{Ave. Pre bake} - \text{Ave. Post bake}$$

ตารางผลการทดลอง
กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี

การทดลองที่ 5.1.2

น้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818

Wafer No.	Volume (cc)	Spin Coating		Bake		Thickness												
		Speed (rpm)	Time (s)	Pre (°C/T)	Post (°C/T)	1 (Å)	2 (Å)	3 (Å)	4 (Å)	5 (Å)	Ave. 5 (Å)	Dev. 5 (%)	6 (Å)	7 (Å)	8 (Å)	9 (Å)	Ave. 9 (Å)	Dev. 9 (%)
1	0.375	500	40	90/60	-	20525	20810	20905	20842	20557	20727.8	1.8333	20589	20842	20747	20589	20711.8	1.8347
2	0.375	1000	40	90/60	-	23461	23496	23357	23461	23391	23433.2	0.5932	23461	23357	23322	23461	23418.6	0.7430
3	0.375	2000	40	90/60	-	21414	21479	21382	21414	21511	21440.0	0.6017	21479	21414	21349	21447	21432.1	0.7559
3	0.375	3000	40	90/60	-	20112	20081	20081	20019	20173	20093.2	0.7664	20266	20112	19988	20112	20104.9	1.3827
4	0.375	4000	40	90/60	-	17259	17259	17125	17286	17377	17261.2	1.4599	17377	17259	17179	17321	17271.3	1.4591
1	0.375	5000	40	90/60	-	15437	15538	15437	15488	15589	15497.8	0.9808	15646	15437	15462	15513	15505.2	1.3479
4	0.375	6000	40	90/60	-	12404	12360	12317	12360	12468	12381.8	1.2195	12447	12317	12270	12429	12374.7	1.6000

Spin coating 1st speed : 500 rpm , 1st Time : 5 sec.

$$\text{Dev.} = \{(T_{\max} - T_{\min})/T_{\text{ave}}\} \times 100$$

$$\Delta T = \text{Ave. Pre bake} - \text{Ave. Post bake}$$

ตารางผลการทดลอง
กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี

การทดลองที่ 5.1.2

น้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818

Wafer No.	Volume (cc)	Spin Coating		Bake		Thickness												
		Speed (rpm)	Time (s)	Pre (°C/T)	Post (°C/T)	1 (Å)	2 (Å)	3 (Å)	4 (Å)	5 (Å)	Ave. 5 (Å)	Dev. 5 (%)	6 (Å)	7 (Å)	8 (Å)	9 (Å)	Ave. 9 (Å)	Dev. 9 (%)
1	0.375	500	40	90/60	120/60	21752	21984	22150	22050	21818	21950.8	1.8131	22150	21785	22183	21951	21980.3	1.9608
2	0.375	1000	40	90/60	120/60	21221	20462	21126	20494	20399	20740.4	3.9633	20494	20462	21126	20430	20690.4	3.9728
3	0.375	2000	40	90/60	120/60	20112	20297	20173	20204	20358	20228.8	1.2161	20389	20235	20112	20235	20235.0	1.3689
3	0.375	3000	40	90/60	120/60	18958	19076	18958	18871	19105	18993.6	1.2320	19153	19017	18841	19017	18999.6	1.6421
4	0.375	4000	40	90/60	120/60	16248	16327	16170	16248	16405	16279.6	1.4435	16484	16274	16143	16196	16277.2	2.0950
1	0.375	5000	40	90/60	120/60	14753	14706	14634	14729	14858	14736.0	1.5201	14858	14658	14610	14753	14728.8	1.6838
4	0.375	6000	40	90/60	120/60	11740	11730	11699	11709	11813	11738.2	0.9712	11792	11709	11659	11813	11740.4	1.3117

Spin coating 1st speed : 500 rpm , 1st Time : 5 sec.

$$\text{Dev.} = \{(T_{\max} - T_{\min})/T_{\text{ave}}\} \times 100$$

$$\Delta T = \text{Ave. Pre bake} - \text{Ave. Post bake}$$

ตารางผลการทดลอง
กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี

การทดลองที่ 5.1.2

น้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818

Wafer No.	Volume (cc)	Spin Coating		Bake		Thickness												
		Speed (rpm)	Time (s)	Pre (°C/T)	Post (°C/T)	1 (Å)	2 (Å)	3 (Å)	4 (Å)	5 (Å)	Ave. 5 (Å)	Dev. 5 (%)	6 (Å)	7 (Å)	8 (Å)	9 (Å)	Ave. 9 (Å)	Dev. 9 (%)
1	0.75	500	40	90/60	-	22050	19416	21984	19476	22117	21008.6	12.8566	20683	20652	21984	20747	21012.1	12.8545
2	0.75	1000	40	90/60	-	24195	24340	24195	24267	23114	24022.2	5.1036	23148	24304	24267	24414	24027.1	5.4106
3	0.75	2000	40	90/60	-	20173	20389	20204	20112	20389	20253.4	1.3677	20420	20235	20112	20235	20252.1	1.5208
3	0.75	3000	40	90/60	-	19046	19076	18871	18812	19076	18976.2	1.3912	19134	19017	18753	18988	18974.8	2.0079
4	0.75	4000	40	90/60	-	15531	15564	15474	15449	15564	15516.4	0.7412	15589	15513	15425	15462	15507.9	1.0575
4	0.75	5000	40	90/60	-	13621	13668	13527	13621	13737	13634.8	1.5402	13714	13598	13460	13668	13623.8	2.0332
4	0.75	6000	40	90/60	-	12145	12166	12042	12104	12229	12137.2	1.5407	12208	12104	12042	12125	12129.4	1.5417

Spin coating 1st speed : 500 rpm , 1st Time : 5 sec.

$$\text{Dev.} = \{(T_{\max} - T_{\min})/T_{\text{ave}}\} \times 100$$

$$\Delta T = \text{Ave. Pre bake} - \text{Ave. Post bake}$$

**ตารางผลการทดลอง
กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี**

การทดลองที่ 5.1.2

น้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818

Wafer No.	Volume (cc)	Spin Coating		Bake		Thickness												
		Speed (rpm)	Time (s)	Pre (°C/T)	Post (°C/T)	1 (Å)	2 (Å)	3 (Å)	4 (Å)	5 (Å)	Ave. 5 (Å)	Dev. 5 (%)	6 (Å)	7 (Å)	8 (Å)	9 (Å)	Ave. 9 (Å)	Dev. 9 (%)
1	0.75	500	40	90/60	120/60	20778	20778	20905	21917	22282	21332.0	7.0504	22050	21984	20715	20936	21371.7	7.3321
2	0.75	1000	40	90/60	120/60	24412	24775	24558	24594	24703	24608.4	1.4751	24630	24594	24594	24775	24626.1	1.4740
3	0.75	2000	40	90/60	120/60	19134	19153	19134	19076	19251	19149.6	0.9139	19251	19105	18988	19153	19138.3	1.3742
3	0.75	3000	40	90/60	120/60	17978	18035	17846	17959	18063	17976.2	1.2072	18063	18015	17793	17978	17970.0	1.5025
4	0.75	4000	40	90/60	120/60	14777	14809	14682	14682	14682	14726.4	0.8624	14809	14706	14586	14777	14723.3	1.5146
4	0.75	5000	40	90/60	120/60	12991	12964	12856	12956	12965	12946.4	1.0428	12991	12942	12813	12946	12936.0	1.3760
4	0.75	6000	40	90/60	120/60	11539	11599	11459	11459	11659	11543.0	1.7327	11579	11619	11539	11529	11553.4	1.7311

Spin coating 1st speed : 500 rpm , 1st Time : 5 sec.

$$\text{Dev.} = \{(T_{\max} - T_{\min})/T_{\text{ave}}\} \times 100$$

$$\Delta T = \text{Ave. Pre bake} - \text{Ave. Post bake}$$

ตารางผลการทดลอง
กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี

การทดลองที่ 5.1.2

น้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818

Wafer No.	Volume (cc)	Spin Coating		Bake		Thickness													
		Speed (rpm)	Time (s)	Pre (°C/T)	Post (°C/T)	1 (Å)	2 (Å)	3 (Å)	4 (Å)	5 (Å)	Ave. 5 (Å)	Dev. 5 (%)	6 (Å)	7 (Å)	8 (Å)	9 (Å)	Ave. 9 (Å)	Dev. 9 (%)	
1	1.125	500	40	90/60	-	25537	24984	20810	23629	21884	23368.8	20.2278	23183	21951	23426	25790	23466.0	21.2222	
2	1.125	1000	40	90/60	-	19152	19179	19076	19476	19926	19361.8	4.3901	19896	19506	19266	19434	19434.6	4.3737	
3	1.125	2000	40	90/60	-	13415	13348	13281	13326	13415	13357.0	1.0032	13326	13304	13214	13370	13333.2	1.5075	
3	1.125	3000	40	90/60	-	10410	10447	10447	10281	10466	10410.2	1.7771	10447	10355	10207	10300	10373.3	2.4968	
4	1.125	4000	40	90/60	-	9491	9508	9243	9420	9668	9466.0	4.4898	9615	9367	9544	9597	9494.8	4.4761	
3	1.125	5000	40	90/60	-	9597	9420	9561	9632	9650	9572.0	2.4028	9473	9455	9544	9703	9559.4	2.9604	
4	1.125	6000	40	90/60	-	7995	7995	7961	7885	7995	7966.2	1.3808	7995	7979	7915	7931	7961.2	1.3817	

Spin coating 1st speed : 500 rpm , 1st Time : 5 sec.

$$\text{Dev.} = \{(T_{\max} - T_{\min}) / T_{\text{ave}}\} \times 100$$

$$\Delta T = \text{Ave. Pre bake} - \text{Ave. Post bake}$$

ตารางผลการทดลอง
กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี

การทดลองที่ 5.1.2

น้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818

Wafer No.	Volume (cc)	Spin Coating		Bake		Thickness												
		Speed (rpm)	Time (s)	Pre (°C/T)	Post (°C/T)	1 (Å)	2 (Å)	3 (Å)	4 (Å)	5 (Å)	Ave. 5 (Å)	Dev. 5 (%)	6 (Å)	7 (Å)	8 (Å)	9 (Å)	Ave. 9 (Å)	Dev. 9 (%)
1	1.125	500	40	90/60	120/60	22083	22050	20715	22083	21785	21743.2	6.2916	20175	22183	22050	22050	21686.0	9.2594
2	1.125	1000	40	90/60	120/60	20589	20620	20715	20715	20620	20651.8	0.6101	20175	20652	20652	20581	20591.0	2.6225
3	1.125	2000	40	90/60	120/60	21414	21349	21285	21317	21414	21355.8	0.6041	21447	21852	21317	21382	21419.7	2.6471
3	1.125	3000	40	90/60	120/60	18434	18434	18121	18121	18263	18274.6	1.7128	18292	18263	18035	18235	18244.2	2.1870
4	1.125	4000	40	90/60	120/60	15326	15449	15351	15538	15462	15425.2	1.3744	15499	15449	15277	15499	15427.8	1.6918
3	1.125	5000	40	90/60	120/60	14443	14443	14371	14300	14634	14438.2	2.3133	14634	14538	14276	14467	14456.2	2.4764
4	1.125	6000	40	90/60	120/60	11751	11782	11699	11730	11875	11767.4	1.4957	11855	11751	11688	11834	11773.9	1.5883

Spin coating 1st speed : 500 rpm , 1st Time : 5 sec.

$$\text{Dev.} = \{(T_{\max} - T_{\min})/T_{\text{ave}}\} \times 100$$

$$\Delta T = \text{Ave.Pre bake} - \text{Ave.Post bake}$$

ตารางผลการทดลอง
กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี

การทดลองที่ 5.1.2

น้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818

Wafer No.	Volume (cc)	Spin Coating		Bake		Thickness												
		Speed (rpm)	Time (s)	Pre (°C/T)	Post (°C/T)	1 (Å)	2 (Å)	3 (Å)	4 (Å)	5 (Å)	Ave. 5 (Å)	Dev. 5 (%)	6 (Å)	7 (Å)	8 (Å)	9 (Å)	Ave. 9 (Å)	Dev. 9 (%)
1	1.5	500	40	90/60	-	18476	19567	20810	20620	19506	19795.8	11.7904	20715	20620	20589	20905	20200.9	12.0242
2	1.5	1000	40	90/60	-	24412	24159	24304	24304	24251	24286.0	1.0418	26758	24231	24267	24195	24542.3	10.5899
3	1.5	2000	40	90/60	-	20204	20142	19988	20019	20142	20099.0	1.0747	20173	20050	19896	20142	20084.0	1.5336
3	1.5	3000	40	90/60	-	16196	16196	16065	16047	16222	16145.2	1.0839	16301	16143	15996	16143	16145.4	1.8891
4	1.5	4000	40	90/60	-	14083	14014	13945	13991	14083	14023.2	0.9841	14130	13968	13876	14107	14021.9	1.8115
4	1.5	5000	40	90/60	-	13783	13552	13460	13552	13668	13603.0	2.3745	13668	13552	13527	13549	13590.1	2.3767
4	1.5	6000	40	90/60	-	11279	11339	11179	11239	11439	11295.0	2.3019	11359	11239	11119	11319	11279.0	2.8371

Spin coating 1st speed : 500 rpm , 1st Time : 5 sec.

$$\text{Dev.} = \{(T_{\max} - T_{\min})/T_{\text{ave}}\} \times 100$$

$$\Delta T = \text{Ave. Pre bake} - \text{Ave. Post bake}$$

ตารางผลการทดลอง
กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี

การทดลองที่ 5.1.2

น้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818

Wafer No.	Volume (cc)	Spin Coating		Bake		Thickness												
		Speed (rpm)	Time (s)	Pre (°C/T)	Post (°C/T)	1 (Å)	2 (Å)	3 (Å)	4 (Å)	5 (Å)	Ave. 5 (Å)	Dev. 5 (%)	6 (Å)	7 (Å)	8 (Å)	9 (Å)	Ave. 9 (Å)	Dev. 9 (%)
1	1.5	500	40	90/60	120/60	22382	22349	21851	22183	22249	22202.8	2.3916	22282	22382	22150	22216	22227.1	2.3890
2	1.5	1000	40	90/60	120/60	24811	24521	24558	24594	24630	24622.8	1.1778	24558	24521	24485	24558	24581.8	1.3262
3	1.5	2000	40	90/60	120/60	19076	18988	18812	18871	19017	18952.8	1.3929	19105	18929	18812	18929	18948.8	1.5463
3	1.5	3000	40	90/60	120/60	15375	15351	15178	15277	15474	15331.0	1.9307	15474	15277	15080	15326	15312.4	2.5731
4	1.5	4000	40	90/60	120/60	13281	13237	13192	13237	13326	13254.6	1.0110	13304	13259	13125	13281	13249.1	1.5171
4	1.5	5000	40	90/60	120/60	12921	12969	12770	12878	13036	12914.8	2.0597	12991	12878	12878	12924	12916.1	2.0594
4	1.5	6000	40	90/60	120/60	10509	10661	10604	10642	10815	10646.2	2.8743	10738	10661	10565	10700	10655.0	2.8719

Spin coating 1st speed : 500 rpm , 1st Time : 5 sec.

$$\text{Dev.} = \{(T_{\max} - T_{\min}) / T_{\text{ave}}\} \times 100$$

$$\Delta T = \text{Ave. Pre bake} - \text{Ave. Post bake}$$

ภาคผนวก ข

รายละเอียดของกระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างลวดลาย

1. การทำความสะอาดแผ่นผลึกเบื้องต้น (Initial cleaning)

- ทำความสะอาดผิวด้วยน้ำบริสุทธิ์ (Deionized water) ในเครื่องสั่นความถี่สูง (supersonic cleaning)
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- กัดผิวหน้าของแผ่นผลึกด้วยกรดกัดแก้ว HF 5% 2 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- คั้มในกรดไนตริก (HNO₃) เป็นเวลา 10 นาที เพื่อกำจัดเศษ โลหะที่ผิว
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- คั้มน้ำบริสุทธิ์ 5 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- คั้มใน ไตร โคล โรเอททีลีน (Trichloroethylene) 5 นาทีเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกประเภทไขมัน
- ล้างด้วยอะซิโตน (Acetone) ในเครื่องสั่นความถี่สูง 3 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- จุ่มใน HF 5% 20 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

2. กระบวนการออกซิเดชันครั้งแรก (First Oxidation)

เพื่อสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ ให้ที่ความหนาไม่น้อยกว่า 4000 Å จึงต้องทำกระบวนการออกซิเดชันโดยนำแผ่นผลึกซิลิคอนที่ทำความสะอาดแล้ว ทิ้งไว้ในบรรยากาศของออกซิเจนที่อุณหภูมิ 1100 °C แล้วทำการ

- ทำออกซิเดชันแบบแห้งเป็นเวลา 120 นาที โดยมีอัตราการไหลผ่านของก๊าซออกซิเจน 1.2 ลิตร/นาที
- ทำออกซิเดชันแบบชื้นเป็นเวลา 60 นาที โดยมีอัตราการไหลผ่านของก๊าซออกซิเจน 1.0 ลิตร/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำออกซิเดชันแบบแห้งเป็นเวลา 120 นาที โดยมีอัตราการไหลผ่านของก๊าซออกซิเจน 1.2 ลิตร/นาที

3. กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี (Photolithography)

กระบวนการโฟโตลิโทกราฟีเป็นกระบวนการหลักที่ใช้สำหรับสร้างลวดลายบนแผ่นผลึกซิลิคอน โดยในการสร้างลวดลายสำหรับวงจรรวมในระดับ 5 ไมครอน จะใช้น้ำยาไวแสงชนิดบวกคือ S 1818 ซึ่งมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ทำความสะอาดผิวหน้าของแผ่นผลึกซิลิคอน
- ทำการอบไอร่ะเหย เพื่อกำจัดโมเลกุลของน้ำออกจากผิวออกไซด์ (วางแผ่นผลึกซิลิคอนในภาชนะปิดที่มีไอร่ะเหยของสารเฮกซะเมทริลไดซิเลเซน (Hexamethydisilazane : HMDS) เป็นเวลา 30 นาที
- เคลือบน้ำยาไวแสงด้วยใช้สปินเนอร์ โดยใช้ความเร็วแรก 500 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 วินาที และความเร็วที่สอง 3000 รอบ/นาที เป็นเวลา 40 วินาที ใช้น้ำยาไวแสงปริมาณ 0.75 ลบ.ซม. ครั้งหลอดหยด (สำหรับแผ่นผลึกซิลิคอนขนาด 2 นิ้ว)
- อบครั้งแรก (Pre bake) เพื่อให้ตัวทำละลายน้ำยาไวแสงระเหยไปด้วยแผ่นความร้อน ที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 60 วินาที
- ฉายแสงผ่านกระจกต้นแบบด้วยเครื่องปรับจูนมาส์ก ฉายแสงเป็นเวลา 10 วินาที
- ขึ้นลวดลายของน้ำยาไวแสง โดยใช้น้ำยาคีเวลลอปเปอร์ เบอร์ AZ 300 MIF เป็นเวลา 45 วินาที แล้วล้างออกด้วยน้ำบริสุทธิ์ เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- อบครั้งหลัง (Post bake) เพื่อให้น้ำยาไวแสงแห้งและแข็งตัวยึดติดกับผิวหน้าของแผ่นผลึกซิลิคอนดียิ่งขึ้น โดยใช้แผ่นความร้อน ที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 60 วินาที
- กัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ด้วยกระบวนการสกัดชั้นสาร (Etching) โดยใช้สารละลาย BHF เวลาในการกัดขึ้นกับความหนาของออกไซด์ โดยใช้อัตราการกัด 750 Å/นาที ทำการทดสอบเบื้องต้นว่าสกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ออกหมดแล้ว โดยการนำไปจุ่มลงในน้ำจากนั้นยกขึ้นสังเกตว่าไม่มีน้ำเกาะอยู่ที่ผิวหน้าของแผ่นผลึกซิลิคอน
- ลอกชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงโดยจุ่มในสารละลายกรดซัลฟูริกผสมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (อัตราส่วน 1:3) เป็นเวลา 5 นาที นำไปล้างน้ำบริสุทธิ์ 5 นาที แล้วจุ่มลงในสารละลายกรดซัลฟูริกผสมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อีก 5 นาที จากนั้นล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และขอให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้