

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

กระบวนการโฟโตลิโธกราฟีสำหรับสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน
บนซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียม

PHOTOLITHOGRAPHY PROCESS ON SILICON DIOXIDE AND ALUMINIUM
FOR 5 μ m PATTERN TRANSFER



ชลิดา คูหาเรือง
CHALIDA KUHARAUNG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
บัณฑิตวิทยาลัย

ฉบับ
5251 ก
2547

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

ISBN 974-15-1187-6

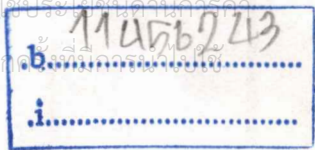
เลขหมู่.....

58639

เลขทะเบียน.....

31 ส.ค. 2549

วัน,เดือน,ปี.....



PHOTOLITHOGRAPHY PROCESS ON SILICON DIOXIDE AND ALUMINIUM
FOR 5 μm PATTERN TRANSFER



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRONICS ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2004

ISBN 974-15-1187-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ กระบวนการโฟโตลิโธกราฟีสำหรับสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน บน
ซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียม
นักศึกษา นางสาวชลิตา คุหาเรือง
รหัสประจำตัว 45061135
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ. 2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.สุรศักดิ์ เนียมเจริญ

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันนี้ ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทำให้วงจรรวมมีแนวโน้มที่ขนาดจะเล็กลงเรื่อยๆ และหัวใจสำคัญในการสร้างวงจรรวม คือ กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี ซึ่งเป็นกระบวนการสร้างลวดลายบนชั้นฟิล์ม วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอ กระบวนการมาตรฐานในการสร้างลวดลาย ขนาด 5 ไมครอน บนแผ่นซิลิคอนขนาด 2 นิ้ว เพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาการสร้างลวดลายวงจรรวมของห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ให้มีขนาดเล็กลง ที่แต่เดิมสามารถสร้างลวดลายวงจรรวมได้ขนาด 10 ไมครอน โดยเลือกน้ำยาไวแสง เบอร์ S 1818 สำหรับสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน บนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ และเลือกน้ำยาไวแสง เบอร์ AZ 6112 สำหรับสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน บนชั้นอลูมิเนียม ในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นหาตัวแปรต่างๆกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี ได้แก่ การหาปัจจัยในการเคลือบฟิล์มน้ำยาไวแสง การฉายแสง การขึ้นลวดลาย การกัดชั้นฟิล์ม เป็นต้น จากนั้นนำตัวแปรที่ได้ไปทดสอบลวดลายโดยโฟโตมาส์กโลหะโครเมียมสร้างลวดลายทดสอบบนชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสง จากการทดสอบลวดลายบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียม พบว่า ลวดลายขนาด 5 ไมครอน ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์มีความคมชัดและการทดสอบการปรับชั้นมาส์ก พบว่า สามารถปรับชั้นลวดลายวงจรรวมได้ตรงกับลวดลายที่ได้ออกแบบไว้บนโฟโตมาส์ก ดังนั้น ข้อมูลจากผลการทดลองทั้งหมดสามารถนำไปกำหนดเป็นกระบวนการมาตรฐานได้

Thesis Title Photolithography Process on Silcondioxide and Aluminium for 5 μm Pattern Transfer

Student Miss. Chalida Kuharaung

Student ID. 45061135

Degree Master of Engineering

Programme Electronics Engineering

Year 2004

Thesis Advisor Assist.Prof. Surasak Niemcharoen

ABSTRACT

At the present, the advance of technology caused the integrated circuit to have a tendency of smaller size. The most important in creating integrated circuit is the photolithography process which is the procedure of creating the pattern on thin film. This thesis proposed the standard process in creating the 5 μm pattern transfer on 2 inches silicon wafer. This is the objective of developing the creation of pattern of Electronics Research Center (ERC) to have a smaller size. In the past, it can be creating 10 μm pattern. The S 1818 photoresist was selected to creating 5 μm pattern on silcondioxide and The AZ 6112 photoresist was selected to creating 5 μm pattern on Aluminium. This thesis intended to study of photolithography various parameters which is seeking the factor of photoresist coating, exposure, development and etching for example. After that, test pattern from photolithography parameters With using cromium-metal photomask for creating test pattern on positive photoresist film. From investigating the sharpness of pattern on silcondioxide and aluminium by using microscope found that the obtained 5 μm pattern is sharp and alignment pattern testing found that able to alignment circuit pattern to correspond circuit pattern designed on photomask. From the experiment, this can be brought to apply for standard process.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเป็นรูปเล่มโดยสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ.สุรศักดิ์ เนียมเจริญ ผู้ให้คำปรึกษา วางแนวทาง ตลอดจนชี้แนะให้งานวิจัยนี้บรรลุเป้าหมาย

ขอขอบคุณ รศ.ดร. สมเกียรติ ศุภเดช และ ผศ.ดร. เต็มพงษ์ เพ็ชรกุล กรรมการพิจารณาหัวข้อที่ให้คำชี้แนะที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ คุณ วีระ เพ็งจันทร์ คุณ นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง และคุณ โยธิน วงศ์ประเสริฐ เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ ที่ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์และช่วยเหลือในการปฏิบัติงาน

ขอขอบคุณ ดร. ภาวัน สยามชัย นักวิจัยจากศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ที่ช่วยสร้างลวดลายต้นแบบบนโฟโตมาส์กด้วยเครื่อง DWL สำหรับนำมาใช้ในงานวิจัย และ ขอขอบคุณ ดร. Kazuo Imai และ ดร. Kazuhito Sakuma จาก NTT-AT ในการถ่ายทอดเทคโนโลยีทางด้านโฟโตลิโธกราฟี และขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ซึ่งเป็นผู้ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณของ โครงการ “การพัฒนาเทคโนโลยีกระบวนการสร้างวงจรรวมแบบซีมอส ระดับ 5 ไมครอน”

ขอขอบคุณ คุณ อนุชา เรืองพานิช นักวิจัยจากศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ และ คุณ เสกสรร ธิมากุล ที่ช่วยออกแบบลวดลายทดสอบ สำหรับใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยเครื่อง SEM และ เจ้าหน้าที่ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์การใช้กล้องจุลทรรศน์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจทางด้าน การเรียนมาโดยตลอด

ชลิตา คุหาเรือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูป.....	X
ศัพท์เทคนิค.....	XVIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ไฟโตลิโกราฟี.....	6
2.1 น้ำยาไวแสง	7
2.1.1 ชนิดของสารไวแสง.....	7
2.1.1.1 น้ำยาไวแสงชนิดลบ	7
2.1.1.2 น้ำยาไวแสงชนิดบวก	8
2.1.2 ส่วนประกอบของน้ำยาไวแสง	9
2.1.2.1 โพลีเมอร์.....	9
2.1.2.2 สารไวแสง	9
2.1.2.3 สารละลาย	9
2.1.2.4 อื่นๆ.....	9
2.2 กระบวนการไฟโตลิโกราฟี.....	10
2.3 การเตรียมผิวหน้าแผ่น	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3.2 การเคลือบผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์	13
2.3.3 ขั้นตอนการอบไล่ความชื้น	14
2.4 วิธีเคลือบนำยาไวแสงบนแผ่นเวเฟอร์	14
2.4.1 แบบสเปรย์	14
2.4.2 แบบใช้ลูกกลิ้ง	14
2.4.3 แบบสปินเนอร์	15
2.5 ขั้นตอนการอบครั้งแรก	16
2.6 ขั้นตอนการปรับชั้นมาร์กและฉายแสง	17
2.6.1 ขั้นตอนการปรับชั้นมาร์ก	17
2.6.2 ขั้นตอนการฉายแสง	19
2.7 ขั้นตอนการขึ้นลวดลายนำยาไวแสง	20
2.8 ขั้นตอนการอบครั้งหลัง	21
2.9 ขั้นตอนการตรวจสอบลวดลายครั้งแรก	22
2.10 ขั้นตอนการกัด	23
2.10.1 อัตราการกัด	23
2.10.2 การกัดที่ไม่สมบูรณ์	23
2.10.3 การกัดที่มากเกินไปหรือการกัดเซาะด้านข้าง	24
2.10.4 การกัดแบบเปียก	25
2.10.4.1 การกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์	25
2.10.4.2 การกัดชั้นอลูมิเนียม	26
2.11 การล้างฟิล์มนำยาไวแสง	26
2.11.1 กรดซัลฟูริกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	26
2.11.2 อะซิโตน	26
2.12 ขั้นตอนการตรวจสอบลวดลายครั้งสุดท้าย	26
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างโฟโตมาส์สำหรับทดสอบ	27
3.1 การออกแบบลวดลายทดสอบ	27
3.2 กระบวนการสร้างโฟโตมาส์	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2.1 การสร้างฟิล์มโลหะโครเมียม.....	29
3.2.2 การสร้างลวดลายของฟิล์มโลหะโครเมียม.....	31
บทที่ 4 ฟิล์มบางและเครื่องมือทดสอบ	35
4.1 ซิลิคอนไดออกไซด์.....	35
4.1.1 ประโยชน์ของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์	36
4.1.2 การออกซิเดชันแบบขึ้น.....	37
4.2 อลูมิเนียม	38
4.2.1 การสร้างฟิล์มอลูมิเนียมแบบระเหยในสุญญากาศ	39
4.2.2 การสร้างฟิล์มอลูมิเนียมด้วยการสปัตเตอร์.....	39
4.3 เครื่องมือสำหรับทดสอบ.....	40
4.3.1 กล้องจุลทรรศน์	40
4.3.2 เครื่องวัดความหนาฟิล์ม.....	40
4.3.3 กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด.....	41
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง.....	42
5.1 การเลือกน้ำยาไวแสงมาใช้ในการทดลอง.....	42
5.2 ศึกษาปัจจัยที่สำคัญในการเคลือบน้ำยาไวแสง	43
5.2.1 ศึกษาผลของเวลาในการเคลือบน้ำยาไวแสงของสปีนเนอร์	45
5.2.1.1 การเลือกเวลาในการเคลือบฟิล์มน้ำยาไวแสงของสปีนเนอร์.....	48
5.2.2 ศึกษาผลของความเร็วยอบของสปีนเนอร์และปริมาณน้ำยาไวแสง.....	49
5.2.3 การเลือกน้ำยาไวแสงเพื่อนำไปใช้งาน	52
5.3 การศึกษาการสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน บนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์	54
5.3.1 การศึกษาเวลาในการฉายแสง สำหรับการสร้างลวดลายบนชั้นซิลิคอนได ออกไซด์.....	54
5.3.2 การศึกษาเวลาในการขึ้นลวดลาย สำหรับสร้างลวดลายบนชั้นซิลิคอนได ออกไซด์.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.3.3 การศึกษาอุณหภูมิในการขึ้นลวดลายที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาด ของ ลวดลาย.....	58
5.3.4 การศึกษาอุณหภูมิที่ในการอบครั้งหลังของน้ำยาไวแสง เบอร์ S 1818	59
5.3.6 การศึกษาการกัดลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์	62
5.3.6.1 การศึกษาอัตราการกัดของบัพเฟออร์.....	62
5.3.6.2 การศึกษาระยะการกัดด้านข้างของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์	63
5.3.7 การตรวจสอบลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์	68
5.4 การศึกษาการสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน บนชั้นอลูมิเนียม.....	70
5.4.1 การศึกษาเวลาในการฉายแสง สำหรับการสร้างลวดลายบนชั้นอลูมิเนียม ..	71
5.4.2 การศึกษาเวลาในการขึ้นลวดลาย สำหรับสร้างลวดลายบนชั้นอลูมิเนียม....	72
5.4.3 การศึกษาอุณหภูมิที่ในการอบครั้งหลังของน้ำยาไวแสง เบอร์ AZ 6112.....	73
5.4.4 การศึกษาการกัดลวดลายของชั้นอลูมิเนียม	75
5.4.4.1 การศึกษาระยะการกัดด้านข้างของชั้นอลูมิเนียม ที่สร้างด้วย เครื่องสร้างฟิล์มอลูมิเนียมแบบสุญญากาศ	76
5.4.4.2 การศึกษาการกัดลวดลายของชั้นอลูมิเนียม ที่สร้างด้วย เครื่องสปีดเตออร์.....	78
5.4.5 การตรวจสอบลวดลายของชั้นอลูมิเนียม	81
5.5 การตรวจสอบการปรับชั้นอนมาส์ก.....	83
5.5.1 มาส์กที่ 1 P-Well	85
5.5.2 มาส์กที่ 2 Nch Stop	86
5.5.3 มาส์กที่ 3 Pch Stop.....	87
5.5.4 มาส์กที่ 4 Poly.....	88
5.5.5 มาส์กที่ 5 NSD.....	89
5.5.6 มาส์กที่ 6 Contact.....	90
5.5.7 มาส์กที่ 7 Metal.....	93
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง.....	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	96
ภาคผนวก ก.....	98
ภาคผนวก ข.....	104
ภาคผนวก ค.....	113
ประวัติผู้เขียน.....	124



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
6.1 แสดงกระบวนการมาตรฐานของกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี ในการสร้างลวดลาย ขนาด 5 ไมครอน ของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียม.....	95
ข.1 คุณสมบัติอลูมิเนียม.....	111
ข.2 คุณสมบัติซิลิคอนไดออกไซด์.....	112



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสงการผ่านกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี ถึง 8 ครั้งของกระบวนการผลิตไอซี	6
2.2 ลวดลายที่ได้จากน้ำยาไวแสงชนิดลบและน้ำยาไวแสงชนิดบวก	8
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำยาไวแสงชนิดลบ	10
2.4 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำยาไวแสงชนิดบวก	10
2.5 กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี 10 ขั้นตอน ที่ใช้น้ำยาไวแสงชนิดบวก ในการสร้างลวดลาย	11
2.6 ขนาดของสิ่งแปลกปลอมเมื่อเทียบกับลวดลายของวงจรรบนแผ่นเวเฟอร์	12
2.7 การเคลือบน้ำยาไวแสงไม่เต็มแผ่น เนื่องจากผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์เกิดความสกปรก	13
2.8 การเคลือบแผ่นด้วยชั้นบางๆ ของสารเฮกซะเมทริลไดซิลิเซน	14
2.9 การเคลือบน้ำยาไวแสงแบบสปินเนอร์	
(ก) การหยดน้ำยาไวแสงลงบนแผ่นเวเฟอร์	
(ข) การหมุนแผ่นเวเฟอร์บนแท่นหมุนเพื่อเคลือบน้ำยาไวแสง	15
2.10 แสดงการหยดน้ำยาไวแสงและลักษณะฟิล์มน้ำยาไวแสง หลังจากเคลือบน้ำยาไวแสงด้วย สปินเนอร์ โดยใช้ปริมาณน้ำยาไวแสงที่แตกต่างกัน	16
2.11 แสดงแผนผังอุปกรณ์เครื่องปรับชั้นอนมาส์ก แบบถ่ายภาพลวดลายแบบสัมผัส	18
2.12 ภาพลวดลายของเครื่องปรับชั้นอนมาส์ก	
(ก) ภาพลวดลายสีเหลืองและกากบาทบนโฟโตมาส์ก	
(ข) ภาพลวดลายบนแผ่นเวเฟอร์	
(ค) ภาพลวดลายที่รวมกันขณะทำการปรับชั้นอนมาส์กแล้ว	18
2.13 แสดงการฉายแสง ผ่านโฟโตมาส์กลงบนแผ่นเวเฟอร์	20
2.14 ผลที่ได้จากการขึ้นลวดลายน้ำยาไวแสงแบบต่างๆ	
(ก) Normal development (ข) Incomplete development	
(ค) Under development (ง) Over development	20
2.15 การหลุดลอกของน้ำยาไวแสงระหว่างการขึ้นลวดลาย เนื่องจากใช้เวลาและอุณหภูมิ ในการอบ ครั้งแรกน้อยเกินไป	21
2.16 ผลที่ได้จากการอบครั้งหลัง	
(ก) Normal baking (ข) Over baking	22
2.17 การกัดที่ไม่สมบูรณ์ ของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.18 การกัดที่ไม่สมบูรณ์เนื่องจากขนาดของช่องว่างแตกต่างกัน.....	24
2.19 ชั้นฟิล์มที่เหลืออยู่ เนื่องจากลวดลายที่มีขนาดเล็กจะมีอัตราการกัดที่ต่ำกว่าลวดลายที่มี ขนาดใหญ่.....	24
2.20 ระดับของการกัดเซาะของลวดลาย.....	25
3.1 ลวดลายต้นแบบ ขนาด 4X4 mm ² เพื่อใช้ในการตรวจสอบ ขนาด ช่องว่าง และความคมชัด ของลวดลาย.....	28
3.2 ภาพถ่ายลวดลายภาคตัดขวางของชั้นฟิล์มโลหะโครเมียมบนกระจก เพื่อตรวจสอบความหนา ของชั้นฟิล์ม.....	30
3.3 กราฟผลการวิเคราะห์ฟิล์มโลหะโครเมียม จากการแยกองค์ประกอบของธาตุ ด้วยเครื่อง EDS.....	31
3.4 กระบวนการสร้างโฟโตมาส์กโลหะโครเมียม.....	32
3.5 เครื่อง Direct Write Laser Pattern Generator รุ่น DWL 2.0.....	33
3.6 ภาพถ่ายลวดลายทดสอบ ที่ได้จากการใช้พลังงานแสงเลเซอร์ ในการเขียนลวดลายที่แตกต่าง กัน (ก) พลังงานที่ 25 mJ (ข) พลังงานที่ 40 mJ.....	33
3.7 ภาพถ่ายแผ่นโฟโตมาส์กโลหะโครเมียมที่พร้อมนำไปใช้งาน.....	34
3.8 ลวดลายทดสอบบนโฟโตมาส์กโลหะโครเมียม ซึ่งสร้างเสร็จแล้ว.....	34
4.1 กระบวนการออกซิเดชัน เพื่อสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์.....	36
4.2 ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ที่ทำหน้าที่เป็นชั้นป้องกันการแพร่สารเจือ.....	36
4.3 ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ที่ใช้งานกับการฝังประจุแบบไอออน.....	37
4.4 อุปกรณ์ระบบไอน้ำของกระบวนการออกซิเดชัน แบบขึ้น.....	37
4.5 การเกิดอลูมิเนียม สไปรท์.....	38
4.6 ระบบการสับเตอร์แบบ อาร์เอฟไดโอด.....	39
4.7 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์.....	40
4.8 ภาพถ่ายของเครื่องวัดความหนาของฟิล์ม รุ่น TFM-120.....	41
4.9 ภาพถ่ายอิเล็กทรอนิกส์แบบส่องกวาด ของศูนย์เครื่องมือคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	41
5.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบ โดยการสร้างชั้นต่างๆ ลงบนผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์	

(ก) แผ่นซิลิคอนเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่

หน้า

(ข) แผ่นซิลิคอนหลังผ่านกระบวนการออกซิเดชัน เพื่อสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

หนา 5000 Å

(ค) แผ่นซิลิคอนหลังทำการเคลือบน้ำยาไวแสงแล้ว 43

5.2 ตำแหน่งทั้ง 9 จุด บนแผ่นซิลิคอน ที่ใช้วัดความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงด้วยเครื่องวัด

ความหนา TFM-120 44

5.3 แผ่นเวเฟอร์ที่เคลือบฟิล์มน้ำยาไวแสงไม่สม่ำเสมอ

(ก) ฟิล์มน้ำยาไวแสงที่บริเวณขอบหนากว่าบริเวณอื่น เนื่องจากใช้เวลาในการ
สปินเนอร์ต่ำ

(ข) หลังจากการขึ้นลวดลายฟิล์มน้ำยาไวแสงที่หนามากเกินไปบริเวณขอบจะ
ยังเหลืออยู่..... 45

5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง AZ 6112 กับ เวลาในการเคลือบ
น้ำยาไวแสงของสปินเนอร์ ที่ความเร็วรอบแตกต่างกัน..... 46

5.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง S 1818 กับ เวลาในการเคลือบ
น้ำยาไวแสงของสปินเนอร์ ที่ความเร็วรอบแตกต่างกัน..... 46

5.6 กราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง AZ 6112 กับ เวลาในการ
เคลือบ น้ำยาไวแสงของสปินเนอร์ ที่ความเร็วรอบแตกต่างกัน..... 47

5.7 กราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง S 1818 กับ เวลาในการ
เคลือบ น้ำยาไวแสงของสปินเนอร์ ที่ความเร็วรอบแตกต่างกัน..... 48

5.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง AZ 6112 กับความเร็วรอบ
ของสปินเนอร์ ที่ปริมาณน้ำยาไวแสงที่แตกต่างกัน 49

5.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง S 1818 กับความเร็วรอบ
ของสปินเนอร์ ที่ปริมาณน้ำยาไวแสงที่แตกต่างกัน 50

5.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเบี่ยงเบนความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสง AZ 6112 กับ ความเร็ว
รอบของสปินเนอร์ เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณการหยดน้ำยาไวแสง..... 51

5.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเบี่ยงเบนความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสง S 1818 กับ ความเร็ว
รอบของสปินเนอร์ เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณการหยดน้ำยาไวแสง..... 51

5.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง กับความเร็วรอบของสปินเนอร์
ที่ปริมาณน้ำยาไวแสง 0.750 ลูกบาศก์เซนติเมตร 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารหลวงวิไลหรือการใช้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่

หน้า

5.13 แสดงการเปรียบเทียบขนาดและความคมชัดของลวดลายที่มีขนาด 1.5 ไมครอน เมื่อให้ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงเปลี่ยนแปลงโดยที่ (ก) ความหนาหน้ายาไวแสง 1.5 ไมครอน (ข) ความหนาหน้ายาไวแสง 2.4 ไมครอน.....	53
5.14 การเปรียบเทียบลวดลายบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์กับลวดลายบนโฟโตมาส์กเมื่อเปลี่ยน แปลงเวลาในการฉายแสง เมื่อใช้ น้ำยาไวแสง S 1818 โดย (ก) ลวดลายบนโฟโตมาส์ก (ข) เมื่อใช้เวลาฉายแสง 10 วินาที (ค) เมื่อใช้เวลาฉายแสง 20 วินาที (ง) เมื่อใช้เวลาฉายแสง 30 วินาที.....	55
5.15 ฟิล์มน้ำยาไวแสงที่ล้างออกไม่หมดหลังผ่านกระบวนการขึ้นลวดลาย เนื่องจากใช้เวลา ในการขึ้นลวดลายน้อยเกินไป.....	56
5.16 ความเสียหายของลวดลายหน้าสัมผัสแบบดีเลย์มเมื่อใช้เวลาขึ้นลวดลายมากเกินไป ทำให้สูญเสียความคมชัดจากลวดลายดีเลย์มกลายเป็นวงกลมขนาดใหญ่.....	56
5.17 ภาพตัดขวางของลวดลายน้ำยาไวแสง S 1818 ที่ได้จากกล้อง SEM (ก) เมื่อใช้เวลาขึ้นลวดลาย 20 วินาที (ข) เมื่อใช้เวลาขึ้นลวดลาย 30 วินาที (ค) เมื่อใช้เวลาขึ้นลวดลาย 40 วินาที (ง) เมื่อใช้เวลาขึ้นลวดลาย 50 วินาที.....	58
5.18 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดลวดลาย 5 ไมครอน เมื่ออุณหภูมิในการขึ้นลวดลาย เปลี่ยนแปลง.....	59
5.19 ฟิล์มน้ำยาไวแสงหลุดออกเมื่อจุ่มลงในบัฟเฟอร์ เนื่องจากการอบที่น้อยเกินไป.....	60
5.20 หลังจากทำความสะอาดแผ่นเวเฟอร์แล้ว คราบฟิล์มน้ำยาไวแสงที่ใหม่ยังเหลืออยู่.....	60
5.21 ลวดลายของน้ำยาไวแสง S 1818 โดยอบที่ (ก) 90 °C (ข) 120 °C (ค) 140 °C.....	61
5.22 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิในการกัดและอัตราการกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์โดย การกัดแบบเปียก.....	63
5.23 แสดงวิธีการวัดระยะการกัดด้านข้างของลวดลาย หลังจากกัดด้วยกระบวนการกัด แบบเปียก.....	63
5.24 แสดงการวัดขนาดของลวดลายเพื่อหาระยะการกัดด้านข้างของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ ด้วยภาพตัดขวางจากกล้อง SEM.....	64
5.25 ภาพตัดขวางลวดลายขนาด 5 μm ของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์จากกล้อง SEM (ก) ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์หนา 2500 Å (ข) ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์หนา 3600 Å	

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวทศ.สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่

หน้า

(ค) ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์หนา 4800 Å (ง) ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์หนา 7200 Å.....	65
5.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และระยะเวลาการกัด	
ด้านข้างของลวดลาย ขนาด 5 ไมครอน โดยการกัดแบบเปียก.....	67
5.27 ลวดลายที่ใช้ทดสอบ ขนาด และ เส้นตั้งฉากของลวดลาย	
(ก) ลวดลายบนโฟโตมาส์ก (ข) ลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์	68
5.28 ลวดลายตรวจสอบขนาดเส้นโค้ง	
(ก) ลวดลายบนโฟโตมาส์ก (ข) ลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์	68
5.29 ลวดลายที่ใช้ทดสอบ ขนาด และ ช่องว่างของเส้นตรง	
(ก) ลวดลายบนโฟโตมาส์ก (ข) ลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์	69
5.30 ลวดลายที่ใช้ทดสอบขนาดของเส้นตรงในลักษณะทำมุม 45 องศา	
(ก) ลวดลายบนโฟโตมาส์ก (ข) ลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์	69
5.31 ลวดลายที่ใช้ทดสอบหน้าสัมผัสแบบสี่เหลี่ยม	
(ก) ลวดลายบนโฟโตมาส์ก (ข) ลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์	70
5.32 การเปรียบเทียบลวดลายบนชั้นอลูมิเนียมกับลวดลายบนโฟโตมาส์กเมื่อเปลี่ยนแปลง	
เวลาในการฉายแสง เมื่อใช้ น้ำยาไวแสง AZ 6112 โดย	
(ก) ลวดลายบนโฟโตมาส์ก (ข) ลวดลายเมื่อฉายแสง 8 วินาที	
(ค) ลวดลายเมื่อฉายแสง 15 วินาที (ง) ลวดลายเมื่อฉายแสง 25 วินาที	71
5.33 ภาพตัดขวางของลวดลายน้ำยาไวแสง AZ 6112 ที่ได้จากกล้อง SEM	
(ก) เมื่อใช้เวลาขึ้นลวดลาย 10 วินาที (ข) เมื่อใช้เวลาขึ้นลวดลาย 20 วินาที	
(ค) เมื่อใช้เวลาขึ้นลวดลาย 30 วินาที (ง) เมื่อใช้เวลาขึ้นลวดลาย 35 วินาที	72
5.34 ลวดลายของน้ำยาไวแสง AZ 6112 โดยอบที่	
(ก) 90 °C (ข) 120 °C (ค) 140 °C.....	73
5.35 फिल्मน้ำยาไวแสงที่ใหม่ติดอยู่บนชั้นอลูมิเนียม หลังจากทำความสะอาด	75
5.36 การวัดขนาดลวดลายด้วยเครื่อง SEM เพื่อหาระยะการกัดด้านข้างของชั้นอลูมิเนียม.....	75
5.37 ภาพตัดขวางลวดลายอลูมิเนียมขนาด 5 ไมครอน ที่ได้จากกล้อง SEM	
(ก) ชั้นอลูมิเนียมหนา 4360 Å (ข) ชั้นอลูมิเนียมหนา 6656 Å	

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
(ค) ชั้นอนุลิเนียมหนา 9475 Å (ง) ชั้นอนุลิเนียมหนา 11253 Å	77
5.38 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นอนุลิเนียมและระยะการกัดด้านข้าง ของลวดลายอนุลิเนียม ขนาด 5 ไมครอน โดยการกัดแบบเปียก	77
5.39 ภาพตัดขวางของลวดลายอนุลิเนียมขนาด 5 ไมครอน ที่ได้จากกล้อง SEM (ก) ชั้นอนุลิเนียมหนา 3000 Å (ข) ชั้นอนุลิเนียมหนา 5000 Å (ค) ชั้นอนุลิเนียมหนา 7000 Å	79
5.40 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นอนุลิเนียมและระยะการกัดด้านข้าง ของลวดลายอนุลิเนียม ขนาด 5 ไมครอน โดยการกัดแบบเปียก	79
5.41 การเกิดปรากฏการณ์ขาดออกจากกันของลวดลายอนุลิเนียม เนื่องจากสร้าง ชั้นอนุลิเนียมบางเกินไป	80
5.42 ลวดลายที่ใช้ทดสอบ ขนาด และ เส้นตั้งฉากของลวดลาย (ก) ลวดลายบนโฟโตมาสก์ (ข) ลวดลายของชั้นอนุลิเนียม	81
5.43 ลวดลายที่ใช้ทดสอบขนาดของเส้นตรงในลักษณะทำมุม 45 องศา (ก) ลวดลายบนโฟโตมาสก์ (ข) ลวดลายของชั้นอนุลิเนียม	81
5.44 ลวดลายที่ใช้ทดสอบ ขนาด และ ช่องว่างของเส้นตรง (ก) ลวดลายบนโฟโตมาสก์ (ข) ลวดลายของชั้นอนุลิเนียม	82
5.45 ลวดลายที่ใช้ทดสอบ ขนาด และ ช่องว่างของเส้นตรง (ก) ลวดลายบนโฟโตมาสก์ (ข) ลวดลายของชั้นอนุลิเนียม	82
5.46 ลวดลายที่ใช้ทดสอบหน้าสัมผัส (ก) ลวดลายบนโฟโตมาสก์ (ข) ลวดลายของชั้นอนุลิเนียม	83
5.47 ขั้นตอนการทดสอบการปรับชั้นมาสก์บนแผ่นซิลิคอนขนาด 2 นิ้ว	84
5.48 ลวดลายปรับชั้นมาสก์ที่ 1 บนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ (ก) ลวดลาย NMOS (ข) ลวดลายปรับชั้นมาสก์	85
5.49 ลวดลายปรับชั้นมาสก์ที่ 2 บนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ (ก) ลวดลาย NMOS (ข) ลวดลายปรับชั้นมาสก์	86
5.50 ลวดลายปรับชั้นมาสก์ที่ 3 บนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ (ก) ลวดลาย NMOS (ข) ลวดลายปรับชั้นมาสก์	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.51 ลวดลายปรับข้อนมาส์กที่ 4 บนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์	
(ก) ลวดลาย NMOS (ข) ลวดลายปรับข้อนมาส์ก	88
5.52 ลวดลายปรับข้อนมาส์กที่ 5 บนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์	
(ก) ลวดลาย NMOS (ข) ลวดลายปรับข้อนมาส์ก	89
5.53 ลวดลายปรับข้อนมาส์กที่ 6 บนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์	
(ก) ลวดลาย NMOS (ข) ลวดลายปรับข้อนมาส์ก	90
5.52 ลวดลายปรับข้อนมาส์กที่ 7 บนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์	
(ก) ลวดลาย NMOS (ข) ลวดลายปรับข้อนมาส์ก	91
ก.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของการสปินเนอร์กับความหนาของฟิล์ม น้ำยาไวแสง เบอร์ AZ 6112	99
ก.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของการสปินเนอร์กับความหนาของฟิล์ม น้ำยาไวแสง เบอร์ S 1818	102
ข.1 การทำความสะอาดผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ ด้วยวิธี piranha	105
ข.2 การเตรียมผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ด้วยวิธีอบโอโซน	105
ข.3 การเคลือบน้ำยาไวแสงชนิดบวก ด้วยเครื่องสปินเนอร์	106
ข.4 การอบแผ่นเวเฟอร์ให้น้ำยาไวแสงแห้งด้วยแผ่นความร้อน	106
ข.5 การฉายแสงผ่านกระจกต้นแบบด้วยเครื่องปรับข้อนมาส์ก	107
ข.6 การขึ้นลวดลาย จุ่มแผ่นเวเฟอร์ลงในน้ำยาขึ้นลวดลาย AZ 300 MIF	107
ข.7 แผนภาพแสดงการเลือกทำงานระหว่าง wet oxidation หรือ dry oxidation	108
ข.8 เครื่องสปีดเตอร์ รุ่น SPE – 120	109
ข.9 Sputtering System Diagram ของเครื่อง SPE-120 Diode Sputtering System	110
ข.10 เครื่องเคลือบฟิล์มโลหะแบบระเหยในสุญญากาศ	110
ค.1 ลวดลายสำหรับตรวจสอบขนาด และ ช่องว่างของหน้าสัมผัส	
(ก) ลวดลายตรวจสอบลักษณะวงกลม (ข) ลวดลายตรวจสอบลักษณะสี่เหลี่ยม	113
ค.2 ลวดลายสำหรับตรวจสอบการตั้งฉาก และ ความโค้งแบบต่างๆ	
(ก) เส้นตรงมุมฉากมีลวดลายขนาด 10 μm ขนาดช่องว่างแปรค่า 2-10 μm	
(ข) เส้นตรงมุมฉากมีช่องว่างขนาด 10 μm ขนาดลวดลายแปรค่า 2-10 μm	
(ค) เส้นโค้งวงกลมมีลวดลายขนาด 10 μm ขนาดช่องว่างแปรค่า 2-10 μm	

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวทศสำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
(ง) เส้นโค้งวงกลมมีลวดลายขนาด 10 μm ขนาดลวดลายแปรค่า 2-10 μm	114
ค.3 ลวดลายสำหรับตรวจสอบขนาดและช่องว่างของเส้นตรงที่แปรค่าของขนาดเส้น และขนาดช่องว่าง	
(ก) เส้นตรงแนวนอน (ข) เส้นตรงแนวตั้ง.....	115
ค.4 ลวดลายตรวจสอบขนาดและช่องว่างของเส้นตรงเอียง	
(ก) ขนาดของลวดลายแปรค่าตั้งแต่ 2-10 μm ช่องว่างขนาดคงที่ 10 μm	
(ข) ขนาดของช่องว่างแปรค่าตั้งแต่ 2-10 μm ลวดลายขนาดคงที่ 10 μm	116
ค.5 ลวดลายทั้งหมดของโฟโตมาส์กที่ใช้ทดสอบ	117
ค.6 ลวดลายของโฟโตมาส์กที่ 1 P-Well	117
ค.7 ลวดลายของโฟโตมาส์กที่ 2 N-CH Stop	118
ค.8 ลวดลายของโฟโตมาส์กที่ 3 P-CH Stop	118
ค.9 ลวดลายของโฟโตมาส์กที่ 4 Poly Gate	118
ค.10 ลวดลายของโฟโตมาส์กที่ 5 NSD	118
ค.11 ลวดลายของโฟโตมาส์กที่ 6 PSD	120
ค.12 ลวดลายของโฟโตมาส์กที่ 7 Contact	120
ค.13 ลวดลายของโฟโตมาส์กที่ 8 Metal.....	121
ค.14 ลวดลายเครื่องหมายปรับชั้นมาส์กทั้งหมดของโฟโตมาส์กทดสอบ	121
ค.15 เครื่องหมายปรับชั้นมาส์กที่ 1 P-Well	122
ค.16 เครื่องหมายปรับชั้นมาส์กที่ 2 N-CH Stop	122
ค.17 เครื่องหมายปรับชั้นมาส์กที่ 3 P-CH Stopl.....	122
ค.18 เครื่องหมายปรับชั้นมาส์กที่ 4 Poly Gate	122
ค.19 เครื่องหมายปรับชั้นมาส์กที่ 5 NSD	123
ค.20 เครื่องหมายปรับชั้นมาส์กที่ 6 PSD.....	123
ค.21 เครื่องหมายปรับชั้นมาส์กที่ 7 Contact	123
ค.22 เครื่องหมายปรับชั้นมาส์กที่ 6 Metal.....	123

ศัพท์เทคนิค

ภาษาไทย

กระบวนการแบบระเหยในสุญญากาศ

กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี

กระบวนการสปัตเตอร์

กล้องจุลทรรศน์

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด

การกัดเกินขนาด

การกัดแบบเปียก

การกัดแบบแห้ง

การกัดที่ไม่สมบูรณ์

การกัดเซาะด้านข้าง

การขึ้นลวดลาย

การเคลือบด้วยสปินเนอร์

การฉายแสง

การตรวจสอบลวดลาย

การเตรียมผิวหน้า

การปรับชั้นมาสก์

การฝังประจุแบบไอออน

การแพร่สารเจือ

การล้างฟิล์มน้ำยาไวแสง

การอบด้วยไอระเหย

การอบไล่ความชื้น

การอบครั้งแรก

การอบครั้งหลัง

การออกซิเดชันด้วยความร้อน

การออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์

การออกแบบลวดลาย

เครื่องเขียนลวดลายด้วยเลเซอร์

เครื่องหมายปรับชั้นมาสก์

ภาษาอังกฤษ

evaporate

photolithography process

sputtering

microscope

scanning electron microscope

over etching

wet etching

dry etching

incomplete etch

under cutting

developer

spinner coating

exposure

inspection

surface preparation

mask alignment

ion implantation

diffusion

resist removal

vapor priming

dehydrate bake

prebake

post bake

thermal oxidation

CAD system

layout design

direct Write Laser

alignment mask

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศัพท์เทคนิค

ภาษาไทย

เตาอบแบบพาความร้อน

น้ำบริสุทธิ์

น้ำยาไวแสงชนิดบวก

น้ำยาไวแสงชนิดลบ

แผ่นความร้อน

แผ่นไมลาร์ลามิเนต

โฟโตมาส์กโลหะโครเมียม

หน้าสัมผัส

รอยต่อโอห์มิก

ลวดลายวงจร

วงจรรวม

อัตราการกัด

อัลตราโซนิค

อลูมิเนียมสไปร์ค

ออกซิเดชัน

ภาษาอังกฤษ

convection oven

deionized water

positive photoresist

negative photoresist

hot plate

milarlamine sheet

chromium metal photomask

contact

ohmic contact

device pattern

Integrated Circuit

etching rate

ultra sonics

aluminium spikes

oxidation



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ถือเป็นหลักสำคัญของการพัฒนาประเทศ หัวใจสำคัญของงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์สมัยใหม่ก็คืออุปกรณ์ที่เรียกกันว่า ไอซี (Integrated Circuits) หรือ วงจรรวม ที่ภายในมีชิ้นส่วนสารกึ่งตัวนำประกอบเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ไดโอด ทรานซิสเตอร์ ซีโมส เป็นต้น ซึ่งหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องได้ทำการวิจัยและพัฒนาวงจรรวมให้มีขนาดตัวอุปกรณ์ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อช่วยให้ประสิทธิภาพในการทำงานสูงและสิ้นเปลืองพลังงานน้อย อีกทั้งลดราคาต้นทุนในการผลิต โดยในปี ค.ศ. 2000 สามารถสร้างวงจรรวมที่มีขนาด 0.18 ไมครอนได้ [1] แต่เป็นที่น่าเสียดายที่ในประเทศไทยยังไม่สามารถทำได้เนื่องจากงานวิจัยที่สนับสนุนการสร้างลวดลายวงจรรวมขนาดเล็กและอุตสาหกรรมการผลิตไอซีภายในประเทศยังมีไม่มาก จึงทำให้การพัฒนาการสร้างวงจรรวมที่มีขนาดเล็กและมีความซับซ้อนสูงภายในประเทศยังทำได้ล่าช้า

จากความสำคัญดังกล่าว เพื่อเป็นจุดเริ่มต้นในการปรับปรุงเทคโนโลยีในการผลิตและเป็นแนวทางพัฒนางจรรวมในประเทศไทยให้ก้าวหน้ายิ่งขึ้น งานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดที่จะพัฒนากระบวนการสร้างลวดลายวงจรรวมให้มีขนาดเล็กลง โดยมุ่งศึกษากระบวนการโฟโตลิโธกราฟี เพราะเป็นการสร้างลวดลายวงจรรวมชั้นฟิล์มและขนาดของลวดลายที่สร้างขึ้นจะส่งผลโดยตรงต่อขนาดของอุปกรณ์ การสร้างชิพ (Chip) ของวงจรรวมจำเป็นต้องผ่านกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี ตั้งแต่ 3 ครั้งขึ้นไปหรือประมาณ 40%-50% ของกระบวนการสร้างชิพทั้งหมด เนื่องจากมีการปรับลวดลายวงจรรวมชั้นฟิล์ม ให้ได้ลวดลายวงจรตามที่ออกแบบไว้ จึงถือได้ว่ากระบวนการโฟโตลิโธกราฟีเป็นหัวใจสำคัญของเทคโนโลยีการสร้างวงจรรวม [2]

ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ สามารถสร้างลวดลายวงจรรวมได้ขนาดเล็กที่สุด 10 ไมครอน ซึ่งในปัจจุบันนี้ ถือว่า มีขนาดใหญ่เกินไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดที่จะศึกษากระบวนการโฟโตลิโธกราฟีสำหรับการสร้างลวดลายให้มีขนาด 5 ไมครอน โดยมุ่งเน้นที่การสร้างลวดลายบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียม เพราะกระบวนการสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำของห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ เกือบทุกชนิดต้องผ่านการสร้างลวดลายบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียม แทบทั้งสิ้น นอกจากนี้ได้ใช้น้ำยาไวแสงชนิดบวก เบอร์ AZ 6112 และ S 1818 ซึ่งมีคุณสมบัติในการสร้างลวดลายที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ได้เป็นอย่างดี แต่น้ำยาไวแสงทั้งสองเป็นน้ำยาไวแสงตัวใหม่ซึ่งยังไม่ได้ถูกนำมาใช้ในห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้น จึงต้องทำการทดลองเพื่อศึกษาข้อมูลของน้ำยาไวแสงทั้งสอง เช่น ความหนา เอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิล์มน้ำยาไวแสง ความสม่ำเสมอของฟิล์ม การฉายแสง การขึ้นลวดลาย เป็นต้น เพื่อให้การสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอนมีความผิดพลาดน้อยที่สุด ส่วนกระจกโฟโตมาส์กที่นำมาใช้ทดสอบลวดลายขนาด 5 ไมครอน จะใช้โฟโตมาส์กที่เป็นแบบฟิล์มโลหะโครเมียม ที่สร้างลวดลายจากเครื่องเขียนลวดลายโดยตรงด้วยเลเซอร์ (Direct Write Laser (DWL))[3] ที่สามารถสร้างลวดลายขนาดเล็กได้ถึง 1 ไมครอน โดยวิธีการนี้เป็นวิธีการสร้างกระจกโฟโตมาส์กแบบใหม่ที่ไม่เคยสร้างในห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์มาก่อน แต่มีความทนทานและยังสามารถสร้างลวดลายขนาดเล็กได้ ประสิทธิภาพของโฟโตมาส์กจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน ดังนั้น งานวิจัยนี้นอกจากจะทำการพัฒนาการสร้างลวดลายให้มีขนาดเล็กได้แล้ว ยังเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของโฟโตมาส์กแบบใหม่ที่สร้างขึ้นอีกด้วย ข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการทดลองจะถูกนำไปกำหนดเป็นกระบวนการมาตรฐานในการสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอนภายในห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์

ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้นอกจากจะได้กระบวนการมาตรฐานในการสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอนแล้ว ยังได้มีการนำเทคโนโลยีและอุปกรณ์ใหม่ๆ มาเริ่มใช้ในงานวิจัย เช่น น้ำยาไวแสงชนิดใหม่ การสร้างโฟโตมาส์กจากเครื่อง DWL เพื่อเป็นแนวทางใหม่ในการพัฒนากระบวนการสร้างอุปกรณ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ และวงจรรวม ให้เกิดขึ้นภายในห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์อีกด้วย ถึงแม้ว่าการสร้างลวดลายที่ 5 ไมครอน ถือว่า ล้ำสมัยและใหญ่เกินไปเมื่อเทียบกับลวดลายที่สามารถสร้างได้ในปัจจุบันนี้ แต่นั่นแสดงให้เห็นว่า ทางศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์มีแนวความคิดและมีการเตรียมความพร้อมที่จะพัฒนาการสร้างวงจรรวมให้มีขนาดเล็กลงไปเรื่อยๆ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาและทำความเข้าใจในขั้นตอนการทำงานและเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี สำหรับการสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน
2. เพื่อปรับปรุงกระบวนการโฟโตลิโธกราฟีที่ได้ทำการศึกษาให้มีความเหมาะสมกับเครื่องมือที่มีอยู่ภายในห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์
3. เพื่อศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี เช่น ชนิดของน้ำยาไวแสง ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง ความสม่ำเสมอของฟิล์มน้ำยาไวแสง เวลาในการฉายแสง การขึ้นลวดลายน้ำยาไวแสง การกัดชั้นฟิล์ม ความสะอาดและความคมชัดของลวดลาย เป็นต้น จากนั้นนำตัวแปรที่ได้เหล่านี้กำหนดเป็นกระบวนการมาตรฐานในการสร้าง ลวดลายขนาด 5 ไมครอน
4. เพื่อศึกษาการสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน ด้วยเครื่องปรับชั้นมาส์ก (Mask Aligner)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบถ่ายภาพลดลายแบบสัมผัส (contact print) ด้วยกระจกโฟโตมาส์กแบบโลหะโครเมียม (Chromium metal photomask)

5. เพื่อศึกษาความคมชัดของลดลายทดสอบหลังกระบวนการกัดชั้นฟิล์มบางแบบเปียก ด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Microscope) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope (SEM))
6. เพื่อศึกษาการปรับชั้นมาส์กด้วยเครื่องปรับชั้นมาส์ก ตั้งแต่ 2 มาส์ก ขึ้นไป
7. เพื่อนำกระบวนการโฟโตลิโธกราฟีที่ได้จากการศึกษาทั้งหมด นำมาใช้ในกระบวนการสร้าง อุปกรณ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ในห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์
8. เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้สนใจนำไปศึกษาและพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นไป

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

สมมติฐานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ

1. ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงจะมีค่าลดลงเมื่อใช้เวลาและค่าความเร็วรอบในการเคลือบฟิล์มน้ำยาไวแสงมากขึ้น
2. ความไม่สม่ำเสมอของน้ำยาไวแสงบนแผ่นเวเฟอร์มีผลต่อการสร้างลดลาย
3. ความผิดพลาดของขนาดลดลายจะเกิดขึ้น เมื่อขั้นตอนในการฉายแสงและการขึ้นลดลาย ใช้เวลามากหรือ น้อยจนเกินไป
4. กระบวนการกัดแบบเปียก จะทำให้เกิดระยะการกัดเซาะด้านข้าง (side etching)
5. ระยะการกัดด้านข้างของลดลายที่มีขนาดมากเกินไป (over etching) อาจขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการกัด
6. ความสกปรกบนผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ จะทำให้เกิดการผิดพลาดในการสร้างลดลายขนาดเล็ก
7. กระบวนการโฟโตลิโธกราฟีบนผิวหน้าฟิล์มบางที่แตกต่างกันก็ย่อมจะมีความแตกต่างกัน
8. การอบแผ่นเวเฟอร์ในอุณหภูมิและเวลาที่ไม่เหมาะสมจะทำให้การสร้างลดลายไม่มีประสิทธิภาพ

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย

ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี ซึ่งขั้นตอนที่สำคัญในการสร้างลดลาย คือ การเคลือบน้ำยาไวแสง การฉายแสง การขึ้นลดลาย การกัดชั้น

ฟิล์ม นอกจากนี้ต้องศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อขั้นตอนเหล่านี้ด้วย เช่น อุณหภูมิหรือเวลา เป็นต้น จากนั้นขั้นตอนเหล่านี้จะถูกนำมาใช้ให้เหมาะสมกับเครื่องมือและวัสดุที่จะนำมาใช้ในงานวิจัย

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยนี้อยู่ที่การสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน บนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ และอลูมิเนียม โดยมุ่งเน้นที่การหาตัวแปรต่างๆในกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี เช่น การเคลือบ น้ำยาไวแสง การฉายแสง การขึ้นลวดลาย การกัดชั้นฟิล์ม เพื่อให้ได้ตัวแปรที่ดีที่สุดในการสร้างลวดลายและมีความผิดพลาดของขนาดลวดลายน้อยที่สุด โดยใช้น้ำยาไวแสง เบอร์ AZ 6112 และ S 1818 มาใช้สร้างลวดลายที่ได้จากกระจกโฟโตมาส์กแบบโลหะโครเมียม ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจากการทดลองจะถูกกำหนดเป็นกระบวนการมาตรฐานของการสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน ให้เหมาะสมกับเครื่องมือและวัสดุที่มีอยู่ของห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษากระบวนการสร้างวงจรรวมโดยเน้นที่กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี
2. ศึกษาการใช้เครื่องมือในกระบวนการโฟโตลิโธกราฟีภายในห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์
3. ศึกษากระบวนการสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์
4. ศึกษากระบวนการสร้างชั้นอลูมิเนียมแบบระเหยในสุญญากาศ (Evaporate) และแบบสปัตเตอร์ (Sputtering)
5. ศึกษาคุณสมบัติของน้ำยาไวแสงและเลือกน้ำยาไวแสงที่มีอยู่มาทดลอง
6. ศึกษาตัวแปรต่างๆในการเคลือบน้ำยาไวแสง เบอร์ AZ 6112 และ S 1818 เพื่อให้ได้ความหนาฟิล์มที่สม่ำเสมอและเหมาะสมกับการใช้งาน
7. ศึกษาเวลาในการฉายแสง (Exposure) เพื่อให้ได้ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน
8. ศึกษาเวลาในการขึ้นลวดลาย (Development) เพื่อให้ได้ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน โดยใช้น้ำยาขึ้นลวดลาย AZ 300MIF
9. ศึกษาการกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียมด้วยการกัดแบบเปียก (wet etching) เพื่อหาระยะการกัดด้านข้างของลวดลายขนาด 5 ไมครอน
10. ตรวจสอบลวดลายด้วยกล้องจุลทรรศน์และตรวจสอบลวดลายด้านข้างด้วยกล้อง SEM เพื่อดูความคมชัดของลวดลาย
11. ศึกษาการปรับซ็อนมาส์กตั้งแต่ 2 มาส์ก ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเนื้อหาในวิทยานิพนธ์จะแบ่งเป็นบทต่างๆ ตามรายละเอียด ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ เป็นการกล่าวนำถึงประเด็นของปัญหา วัตถุประสงค์ สมมติฐาน ขั้นตอนการศึกษาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เพื่อทำความเข้าใจภาพรวมทั้งหมดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 โฟโตลิโธกราฟี กล่าวถึง ทฤษฎีของกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี ที่ใช้ในงานวิจัยทุกขั้นตอน เช่น น้ำยาไวแสง การเคลือบน้ำยาไวแสง การอบ การฉายแสง เป็นต้น

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างโฟโตมาสก์ทดสอบ กล่าวถึง การออกแบบลวดลายของโฟโตมาสก์ที่ใช้ทดสอบ วัตถุประสงค์ในการออกแบบและการนำไปใช้งาน และกระบวนการสร้างโฟโตมาสก์แบบโลหะโครเมียม

บทที่ 4 फिल्मบางและเครื่องมือทดสอบ กล่าวถึง ทฤษฎีของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียม ประโยชน์และกระบวนการสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียม

บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง กล่าวถึง การทดลองเพื่อเป็นการศึกษาการสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอนได้ โดยใช้กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี ที่ได้กล่าวไว้ใน บทที่ 2 มาเป็นแนวทางในการทดลอง เริ่มจากการศึกษาน้ำยาไวแสง การเคลือบน้ำยาไวแสง การอบ การฉายแสง ไปจนถึงการกัดชั้นฟิล์ม โดยสร้างลวดลายบนซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียม

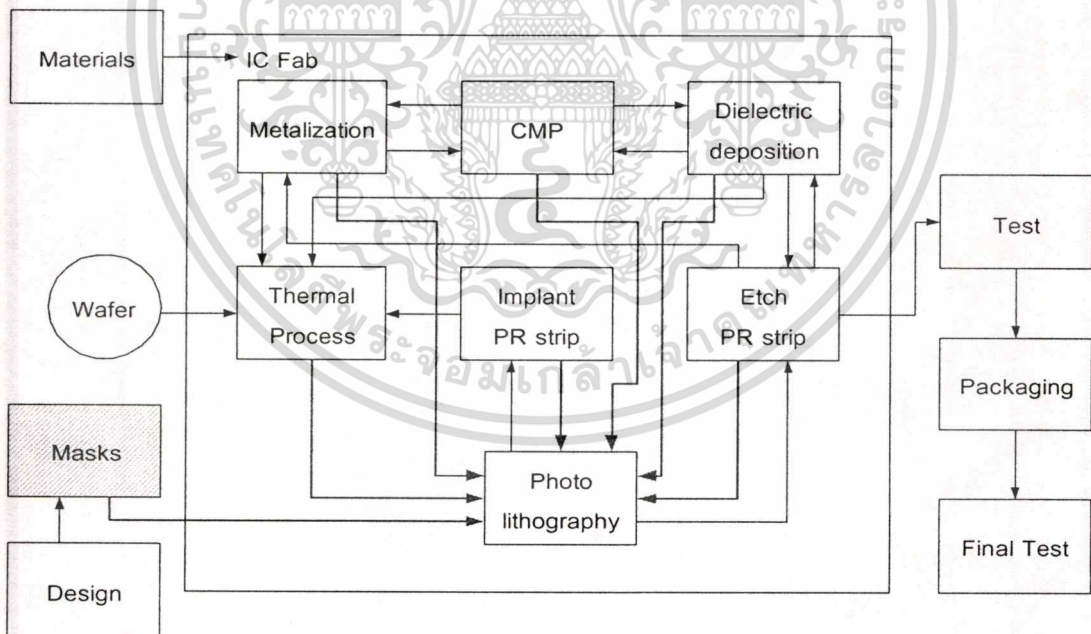
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง เป็นการสรุปผลการทดลองที่ได้จาก บทที่ 5 โดยนำผลการทดลองทั้งหมดมาสรุปเป็นกระบวนการมาตรฐาน ของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียม

บทที่ 2

โฟโตลิโธกราฟี

กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี (Photolithography Process) ถูกใช้ในทางอุตสาหกรรมเป็นเวลานานแล้ว โดยเริ่มจากอุตสาหกรรมการพิมพ์และการพิมพ์ลวดลายบนแผ่นวงจร แต่ปรับใช้ในอุตสาหกรรมทางด้านสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) สำหรับสร้างวงจรรวม เมื่อปี ค.ศ. 1950

กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี [4-7] เป็นกระบวนการสร้างลวดลายโดยถ่ายทอดภาพลวดลายที่ออกแบบไว้จากโฟโตมาสก์ลงบนฟิล์มน้ำยาไวแสงที่เคลือบอยู่บนผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ โดยใช้กระบวนการทางแสง หลังจากนั้น แผ่นเวเฟอร์จะถูกนำไปผ่านการกัด (Etching) หรือการฝังประจุแบบไอออน (Ion implantation)* ผ่านลวดลายที่กำหนดบนชั้นน้ำยาไวแสง กระบวนการผลิตไอซี ดังรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า เกือบทุกขั้นตอนการผลิตจะต้องผ่านการสร้างลวดลายของกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี หรืออาจกล่าวได้ว่า การผลิตไอซีต้องผ่านกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี มากกว่า 50% ของกระบวนการทั้งหมด ดังนั้น กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี จึงเป็นหัวใจสำคัญในกระบวนการผลิตวงจรรวม



รูปที่ 2.1 แสดงการผ่านกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี ของกระบวนการผลิตไอซี

* การฝังประจุแบบไอออน (Ion implantation) เป็นการเจือสารแบบใช้การยิงประจุ จากแหล่งกำเนิดไปฝังบนผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดมุ่งหมายของกระบวนการโฟโตลิโธกราฟีมีอยู่ 2 ส่วน ส่วนแรก คือ การสร้างลวดลายบนผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ซึ่งขนาดของลวดลายวงจรต้องตรงกับที่ได้ออกแบบไว้ โดยใน ส่วนนี้ขนาดของลวดลายที่ได้เป็นสิ่งสำคัญ ส่วนที่สอง คือ การจัดตำแหน่งลวดลายบนแผ่นเวเฟอร์ ลวดลายทั้งหมดของวงจรในแต่ละส่วนควรจะต้องถูกจัดวางตำแหน่งให้ถูกต้องและการจัดวางลำดับของลวดลายวงจรบนผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ ต้องมีความสัมพันธ์กัน ถ้าผลของการวางตำแหน่งลวดลายผิดพลาด อาจเป็นสาเหตุทำให้อุปกรณ์เสียหาย ในกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี มีขั้นตอนที่สำคัญแบ่งได้ 3 ขั้นตอน คือ การเคลือบน้ำยาไวแสง, การปรับชั้นมาสก์และการฉายแสง, การขึ้นลวดลายน้ำยาไวแสง ซึ่งวัสดุที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนหลักเหล่านี้ คือ น้ำยาไวแสง ที่จะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2.1 น้ำยาไวแสง

น้ำยาไวแสง (Photoresist) เป็นวัสดุที่ทำปฏิกิริยากับแสง โดยถูกนำมาใช้ในการเคลือบที่ผิวหน้าของแผ่นเวเฟอร์ เพื่อทำหน้าที่เป็นชั้นป้องกัน ปฏิกิริยาเคมีที่จะเกิดขึ้นระหว่างชั้นฟิล์มบางกับสารเคมี โดยทำการถ่ายลวดลายวงจร ลงบนผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ด้วยกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี คล้ายกับวัสดุที่ไวต่อแสงบนพลาสติกของฟิล์มถ่ายรูป ซึ่งถ่ายภาพลวดลายที่ตามองเห็นด้วยเลนส์ของกล้องลงบนผิวหน้าฟิล์ม แต่แตกต่างกับน้ำยาไวแสงตรงที่ น้ำยาไวแสงจะมีปฏิกิริยากับแสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet light) และไม่มีปฏิกิริยากับแสงที่ตามองเห็น (Visible light) หรือแสงสีเหลือง ดังนั้นการใช้น้ำยาไวแสงในกระบวนการโฟโตลิโธกราฟีจะกระทำในพื้นที่แสงสีเหลือง

2.1.1 ชนิดของสารไวแสง

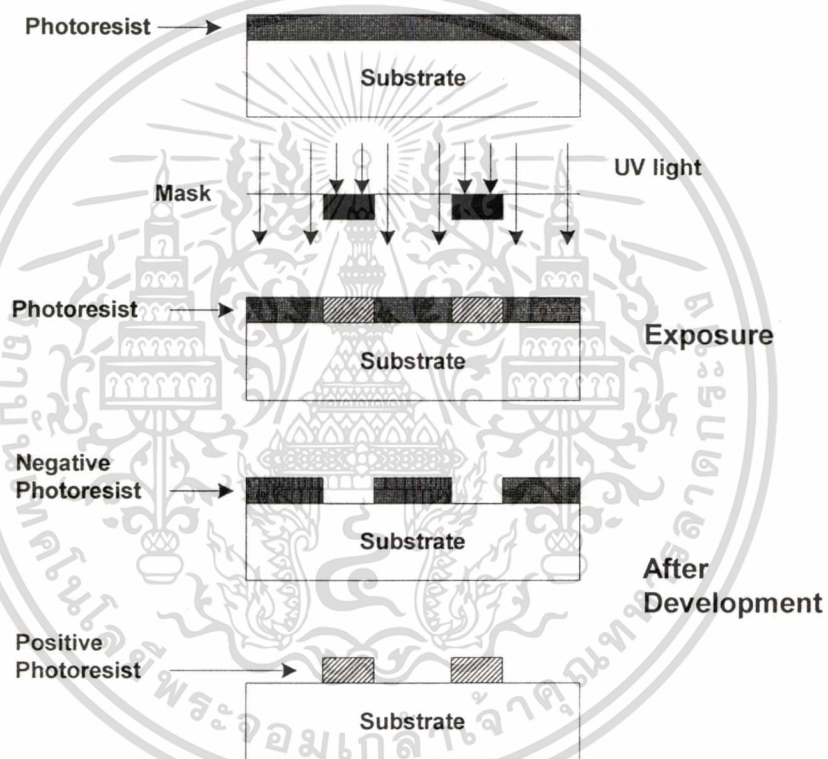
น้ำยาไวแสงที่นำมาใช้กับกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี เมื่อพิจารณาจากปฏิกิริยาเคมี-แสง (Chemical-photo reaction) ของวัสดุที่อยู่ในน้ำยาไวแสง สามารถแบ่งน้ำยาไวแสงออกเป็นชนิดใหญ่ๆ ได้ 2 ชนิด คือน้ำยาไวแสงชนิดลบ และ น้ำยาไวแสงชนิดบวก

2.1.1.1 น้ำยาไวแสงชนิดลบ

น้ำยาไวแสงชนิดลบ (Negative photoresist) คือ น้ำยาไวแสง ขณะที่ยังไม่ทำปฏิกิริยากับแสงจะสามารถละลายได้ดีในสารตัวทำละลายหรือน้ำยาขึ้นลวดลาย แต่เมื่อถูกแสงแล้ว จะมีคุณสมบัติเปลี่ยนไป คือ ไม่สามารถละลายได้ น้ำยาไวแสงชนิดลบนี้ จะคล้ายกับที่ใช้ในฟิล์มถ่ายรูปทั่วไป ซึ่งภาพที่ปรากฏบนฟิล์มมีลักษณะเป็น ภาพเนกาทีฟ คือ มีสภาพตรงข้ามกับภาพต้นแบบ เช่น เปลี่ยนจากขาวเป็นดำ หรือดำเป็นขาว ถ้าต้องการภาพที่เหมือนต้นแบบจริง จะต้องนำฟิล์มที่ได้ ไปพิมพ์หรืออัดภาพลงกระดาษอัดภาพอีกครั้งหนึ่ง จึงจะได้ภาพที่เหมือนต้นแบบ ผลของปฏิกิริยาเคมี-แสง ของน้ำยาไวแสง ซึ่งจะให้ภาพเนกาทีฟ ดังกล่าว ทำให้ถูกเรียกว่า น้ำยาไวแสงชนิดลบ

2.1.1.2 น้ำยาไวแสงชนิดบวก

น้ำยาไวแสงชนิดบวก (Positive photoresist) [8-11] จะประกอบด้วย วัสดุสารไวแสงซึ่งมีคุณสมบัติปฏิกิริยาเคมี-แสง ที่แตกต่างกับกรณีของน้ำยาไวแสงชนิดลบ โดยให้ผลตรงกันข้าม กล่าวคือ เมื่อยังไม่ถูกแสง หรือเมื่อไม่มีปฏิกิริยาเคมีกับแสง จะมีคุณสมบัติไม่ละลายในสารตัวทำละลาย หรือน้ำยาล้างฟิล์ม แต่เมื่อถูกแสงหรือมีปฏิกิริยาแล้วสมบัติจะเปลี่ยนไป คือสามารถละลายได้ดีในน้ำยาล้าง น้ำยาไวแสงชนิดนี้ มีสมบัติเหมือนฟิล์มสไลด์ หรือ ฟิล์มภาพยนตร์ ซึ่งจะให้ภาพบนฟิล์มมีลักษณะที่เป็น ภาพโพสิทีฟ (Positive image) ซึ่งเป็นภาพจริง เหมือนภาพต้นแบบ คือ ขาว หรือ ดำ เหมือนต้นแบบ ดังนั้นจึงเรียกว่า น้ำยาไวแสงชนิดบวก



รูปที่ 2.2 ลวดลายที่ได้จากน้ำยาไวแสงชนิดลบ และน้ำยาไวแสงชนิดบวก

ในรูปที่ 2.2 แสดงการสร้างลวดลายของกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี โดยใช้น้ำยาไวแสงชนิดลบและชนิดบวก เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของลวดลายที่ได้หลังจากใช้น้ำยาไวแสงแต่ละชนิด คือ ลวดลายที่ได้จากการใช้น้ำยาไวแสงชนิดบวกจะเหมือนลวดลายบนกระจกโฟโตมาส์ก ส่วนลวดลายที่ได้จากการใช้น้ำยาไวแสงชนิดลบจะเป็นภาพกลับตรงข้ามกับภาพลวดลายบนกระจกโฟโตมาส์ก

ในการสร้างวงจรรวม สามารถใช้น้ำยาไวแสงได้ทั้งชนิดบวกและชนิดลบ โดยคุณสมบัติที่สำคัญของน้ำยาไวแสง คือ ความละเอียด (Resolution) ซึ่งหมายถึงความละเอียดของภาพที่จะสามารถทำได้ สำหรับงานวงจรรวมระดับสูงที่มีขนาดเล็กมากๆ จะต้องมีความละเอียดสูง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของน้ำยาไวแสง นอกจากนี้อาจขึ้นอยู่กับ ชนิดของแสงที่ใช้ โดยแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นๆ จะทำให้ได้ภาพที่มีความละเอียดสูง

2.1.2 ส่วนประกอบของน้ำยาไวแสง

การใช้งานน้ำยาไวแสง จะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของน้ำยาไวแสงในแต่ละชนิด เช่น การตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสงจากแหล่งกำเนิดแสง, คุณภาพของน้ำยาไวแสง, ส่วนผสมของสารเคมีที่ผสมในน้ำยาไวแสง น้ำยาไวแสงมีส่วนประกอบพื้นฐาน 4 ส่วน ดังนี้

2.1.2.1 โพลีเมอร์

โพลีเมอร์ (Polymer) เป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบเป็นของแข็งที่ยึดเกาะผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ และทนต่อกระบวนการกัดและกระบวนการฝังประจุแบบไอออน มีโมเลกุลของคาร์บอนไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ (Carbon hydrogen C_xH_y) โดยทั่วไป โพลีเมอร์ของน้ำยาไวแสงชนิดบวก คือ ฟีนอล ฟอर्मัลดีไฮด์ (Phenol-formaldehyde) หรือ โนวอลแลค เรซิน (Novolac resin) ส่วนโพลีเมอร์ของน้ำยาไวแสงชนิดลบ คือ โพลีไอโซพรีน รับเบอร์ (Polyisoprene rubber)

2.1.2.2 สารไวแสง

สารไวแสง (Sensitizer) เป็นสารประกอบที่มีความไวต่อแสง ซึ่งควบคุมและแก้ไขปฏิกิริยาเคมีของน้ำยาไวแสงระหว่างการฉายแสง สารไวแสงของน้ำยาไวแสงชนิดบวกจะช่วยให้การสลายตัวของเรซิน ระหว่างกระบวนการฉายแสง ซึ่งทำให้บริเวณที่ถูกแสง เรซินจะละลายได้ในน้ำยาล้างฟิล์ม ส่วนสารไวแสงของน้ำยาไวแสงชนิดลบ จะช่วยทำให้เกิดการยึดเหนี่ยวกันของโมเลกุลรับเบอร์ ทำให้พื้นที่รับแสงน้ำยาไวแสงเกิดการแข็งตัวและต้านทานสารเคมีได้

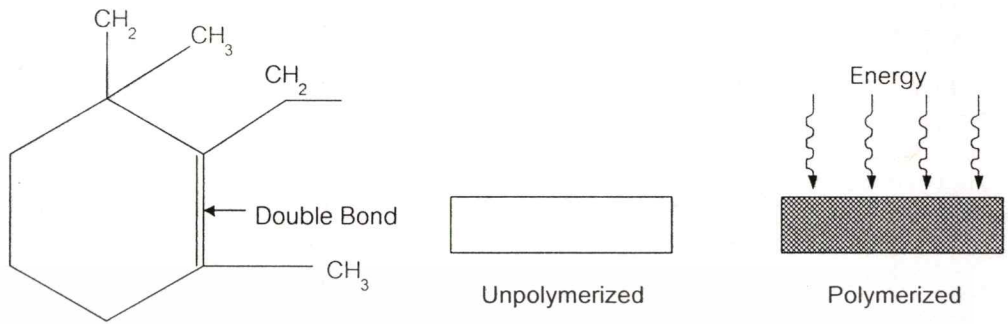
2.1.2.3 สารละลาย

สารละลาย (Solvent) เป็นของเหลวที่ใช้ละลายโพลีเมอร์และสารไวแสง ช่วยให้น้ำยาไวแสงถูกนำมาใช้เคลือบเป็นฟิล์มบางๆได้ง่าย ประมาณ 75% ของน้ำยาไวแสง คือ สารละลาย โดยทั่วไป สารละลายที่ใช้ในน้ำยาไวแสงชนิดบวก คือ สารละลายอะซิเตท (Acetate solvents) และ สารละลายที่ใช้ในน้ำยาไวแสงชนิดลบ คือ ไกลซีน (Xylene (C_8H_{10}))

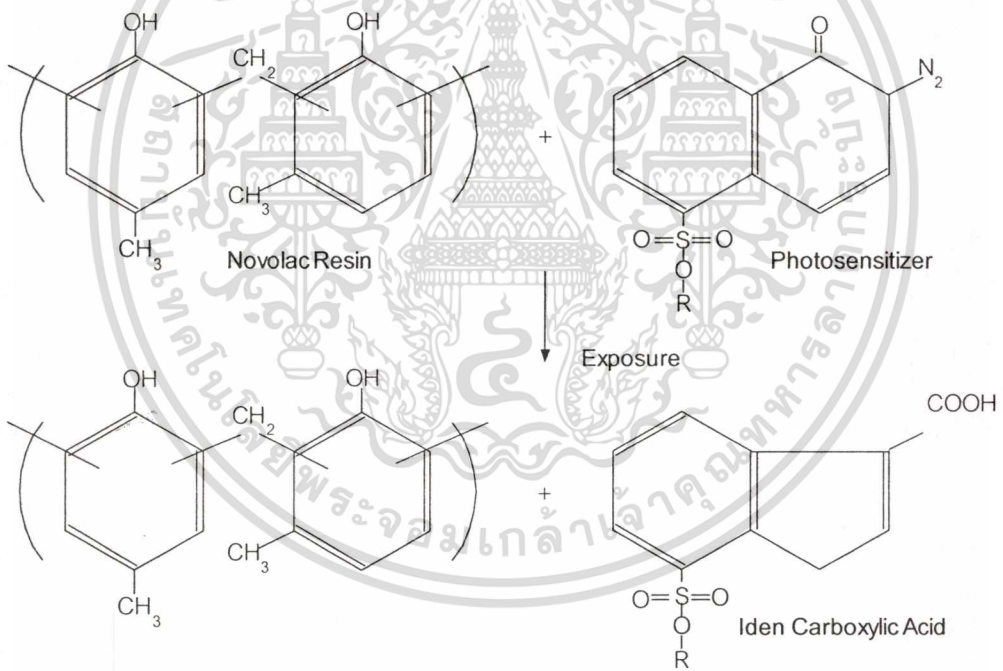
2.1.2.4 อื่นๆ

มักจะเป็นสิ่งที่ใส่เพิ่มเข้ามาในน้ำยาไวแสง เพื่อใช้ในการควบคุมและปรับปรุงปฏิกิริยาเคมีของน้ำยาไวแสงระหว่างการฉายแสง เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น เช่น ใส่สีย้อม เพื่อจุดมุ่งหมายในการช่วยดูดกลืนแสงในฟิล์มน้ำยาไวแสง หรือ อาจเป็นการเติมสารบางอย่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งการละลายในส่วนที่ไม่ถูกแสง ในกระบวนการล้างฟิล์ม

ปฏิกิริยาเคมีของน้ำยาไวแสงชนิดลบและน้ำยาไวแสงชนิดบวก ก่อนการฉายแสงและหลังได้รับพลังงานจากการฉายแสง แสดงดังรูปที่ 2.3 และ 2.4



รูปที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำยาไวแสงชนิดลบ

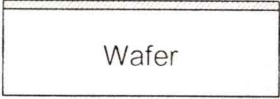
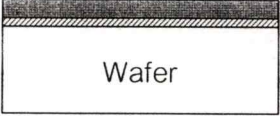
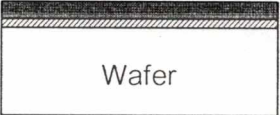
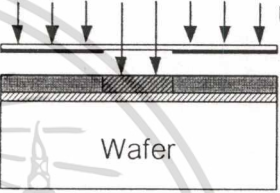

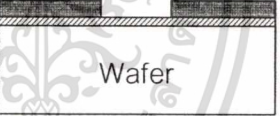

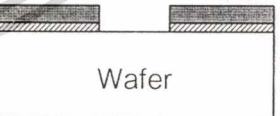
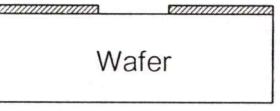



รูปที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำยาไวแสงชนิดบวก

2.2 กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี

กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี มีทั้งหมด 10 ขั้นตอน จากรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นถึงกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี ที่ใช้น้ำยาไวแสงชนิดบวกในการสร้างลวดลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROCESS	PURPOSE	
Surface preparation	Clean and dry wafer surface	 <p style="text-align: right;">SiO₂</p>
Photoresist apply	Spin coat a thin layer of photoresist on surface	 <p style="text-align: right;">Resist</p>
Pre bake	Partial evaporation of photoresist solvents by heating	
Alignment and Exposure	Precise alignment of mask to wafer and exposure of photoresist	 <p style="text-align: right;">UV</p>
Development	Removal of photoresist	
Post bake	Additional evaporation of solvents	
Develop inspect	Inspect surface for alignment and defects	
Etch	Top layer of wafer in removed through opening in resist layer	
Photoresist removal	Remove photoresist layer from wafer	
Final inspection	Surface inspection for etch and other problems	

รูปที่ 2.5 กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี 10 ขั้นตอน ที่ใช้น้ำยาไวแสงชนิดบวกในการสร้างลวดลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การเตรียมผิวหน้าแผ่น

การเตรียมผิวหน้าแผ่น (Surface Preparation) เป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญเพราะในกระบวนการต่างๆ สิ่งแปลกปลอมจะเกิดขึ้นได้อย่างง่ายดาย และสิ่งแปลกปลอมมีอยู่เป็นจำนวนมาก แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ รูปแบบแรก คือ อนุภาค (Particulates) ได้แก่ ฝุ่นที่อยู่ในบรรยากาศ ผงของซิลิคอน ผงที่เกิดจากการขัดแผ่นเวเฟอร์ เป็นต้น และรูปแบบที่สอง คือ ฟิล์ม (Film) ได้แก่ ตัวทำละลาย น้ำยาไวแสง น้ำยาล้างฟิล์ม น้ำมัน ซึ่งจะตกค้างอยู่ที่ผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์

ผลกระทบของสิ่งแปลกปลอมบนผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ สามารถสร้างความเสียหายให้กับการผลิตวงจรรวม เนื่องจาก ปัจจุบันนี้ สิ่งแปลกปลอมมักมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับลวดลายวงจรมีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ขนาดของสิ่งแปลกปลอมเมื่อเทียบกับลวดลายวงจรมบนแผ่นเวเฟอร์

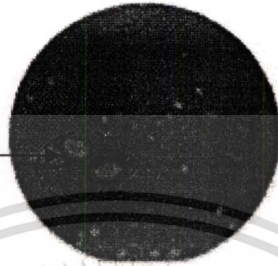
2.3.1 ขั้นตอนการทำความสะอาดแผ่นเวเฟอร์

ขั้นตอนการทำความสะอาดแผ่นเวเฟอร์ (Cleaning Process) เป็นขั้นตอนก่อนจะนำแผ่นเวเฟอร์เข้าสู่กระบวนการโฟโตลิโกราฟี ในบางครั้งแผ่นเวเฟอร์มักจะผ่านกระบวนการอื่นมาก่อน เช่น การกัด, การฝังประจุแบบไอออน, ออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งอาจทำให้มีสิ่งแปลกปลอมตกค้างอยู่บนผิวหน้าของแผ่นเวเฟอร์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำความสะอาดผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์เพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอมเหล่านั้นให้เรียบร้อยก่อนที่จะนำแผ่นเวเฟอร์เข้าสู่กระบวนการโฟโตลิโกราฟี เนื่องจากสิ่งสกปรกที่ติดอยู่อาจทำให้เกิดความผิดพลาดในกระบวนการโฟโตลิโกราฟี ดังรูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นว่า ถ้าผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์สกปรก เมื่อทำการเคลือบน้ำยาไวแสง บริเวณที่มีสิ่งสกปรกติดอยู่จะทำให้เคลือบน้ำยาไวแสงไม่ติด ถึงแม้ว่าผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์จะไม่มีสิ่งเจือปนตกค้างอยู่ แต่การทำความสะอาดจะช่วยให้น้ำยาไวแสงเกาะติดบนแผ่นเวเฟอร์ได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำความสะอาดโดยทั่วไปมักจะใช้วิธีการทางเคมี โดยการใช้สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดเพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอมทั้งที่มีองค์ประกอบทางอินทรีย์และอนินทรีย์ หลังจากนั้นจะทำการล้างแผ่นให้สะอาดด้วยน้ำบริสุทธิ์ (Deionized water (DI)) ตามด้วยการเป่าด้วยก๊าซไนโตรเจนเพื่อให้แผ่นผลึกซิลิคอนแห้ง

บริเวณที่มีสิ่งสกปรก



รูปที่ 2.7 การเคลือบน้ำยาไวแสงได้ไม่เต็มแผ่น เนื่องจากผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์เกิดความสกปรก

การทำความสะอาดแบบง่าย ๆ อีกวิธี คือ การอัลตราโซนิก (Ultra sonics) ที่ใช้พลังงานคลื่นเสียง โดยจุ่มแผ่นเวเฟอร์ลงในสารละลาย ที่บรรจุอยู่ในเครื่องกำเนิดอัลตราโซนิก จากนั้นทำการสั่น ทำให้เกิดพลังงานในรูปแบบฟองอากาศปะทะผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ แล้วจึงจัดสิ่งแปลกปลอมที่ผิวหน้าแผ่นออกไป

หลังจากทำความสะอาดผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์แล้ว ไม่ควรวางแผ่นทิ้งไว้นานกว่า 30 นาที หลังจากที่ทำความสะอาด เพราะอาจเกิดการออกซิไดซ์ ที่ผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์

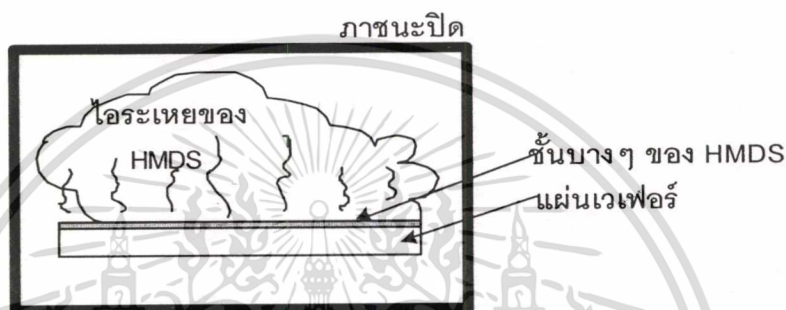
2.3.2 การเคลือบผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์

การเคลือบผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ (Wafer Priming) เป็นการเคลือบผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ด้วยสารเฮกซะเมทิลไดซิลิเซน (Hexamethyldisilazane (HMDS)) เป็นสารที่ใช้โดยทั่วไปในการเคลือบผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ มีคุณสมบัติในการกำจัดโมเลกุลของน้ำออกจากผิวของออกไซด์ และช่วยให้น้ำยาไวแสงยึดติดกับผิวหน้าได้ดีและลดจำนวนการกัดเซาะด้านข้างของกระบวนการกัด โดยการใช้งานมีทั้งหมด 3 วิธี คือ

- การจุ่มลงในสาร (Immersion Priming) เป็นวิธีการนำแผ่นเวเฟอร์จุ่มลงใน HMDS
- การสปิน (Spin Priming) เป็นวิธีการหยด HMDS ลงบนผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ จากนั้นสปินด้วยความเร็วสูงเพื่อให้ HMDS แข็งตัว
- การอบด้วยไอระเหย (Vapor priming) เนื่องจากวิธีการจุ่มและสปิน เป็นการสัมผัส

โดยตรงกับ HMDS ที่เป็นของเหลวกับผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ ถ้าหากภายในของเหลวมีสิ่งสกปรกนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลกปลอม เช่น ฝุ่นละออง อาจทำความเสียหายให้กับผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์และสิ่งๆ ที่ควรพิจารณาอีกประการ คือ ของเหลว HMDS ต้องแห้งสนิทก่อนที่จะทำการเคลือบน้ำยาไวแสง เนื่องจาก HMDS สามารถละลายชั้นน้ำยาไวแสงได้ ถ้าไม่แห้งพอ ดังนั้น วิธีอบด้วยไอรระเหยของ HMDS จึงเป็นวิธีที่ช่วยลดปัญหาเหล่านี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยวางแผ่นในภาชนะปิด แรงดันภายในภาชนะ จะทำให้ของเหลวกลายเป็นไอและระเหยเคลือบโดยตรงที่ผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ วิธีอบไอรระเหยจะไม่สิ้นเปลืองของเหลว เหมือนวิธีการจุ่มและสปิน อีกทั้งยังสามารถทำได้ครั้งละหลายแผ่นอีกด้วย ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้กระบวนการเคลือบผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ด้วย HMDS ด้วยวิธีอบไอรระเหย



รูปที่ 2.8 การเคลือบแผ่นด้วยชั้นบางๆ ของสารเฮกซะเมทิลไดซิลไซเลน

2.4 วิธีเคลือบน้ำยาไวแสงบนแผ่นเวเฟอร์

การเคลือบน้ำยาไวแสงลงบนแผ่นเวเฟอร์ ซึ่งมีชั้นซิลิคอนไดออกไซด์หรือชั้นวัสดุอยู่ที่ผิวด้านบนนั้น สามารถกระทำได้หลายวิธี ดังนี้คือ

2.4.1 แบบสเปรย์

แบบสเปรย์ (Spray coating) วิธีการนี้ น้ำยาไวแสงจะถูกฉีด หรือพ่นออกมาเป็นละออง แล้วตกลงไปเกาะกับผิวหน้าของแผ่นและยึดเกาะกันเป็นฟิล์มบาง คล้ายกับการพ่นสีสเปรย์ซึ่งใช้ง่ายและสะดวก แต่เหมาะกับเฉพาะงานบางประเภท การควบคุมความหนาของฟิล์มที่ทำได้ยาก ปกติจะใช้ในบางขั้นตอนซึ่งไม่สำคัญ เช่น ใช้เคลือบสารไวแสงเพื่อป้องกัน ชั้นของออกไซด์ด้านล่างของแผ่นเวเฟอร์

2.4.2 แบบใช้ลูกกลิ้ง

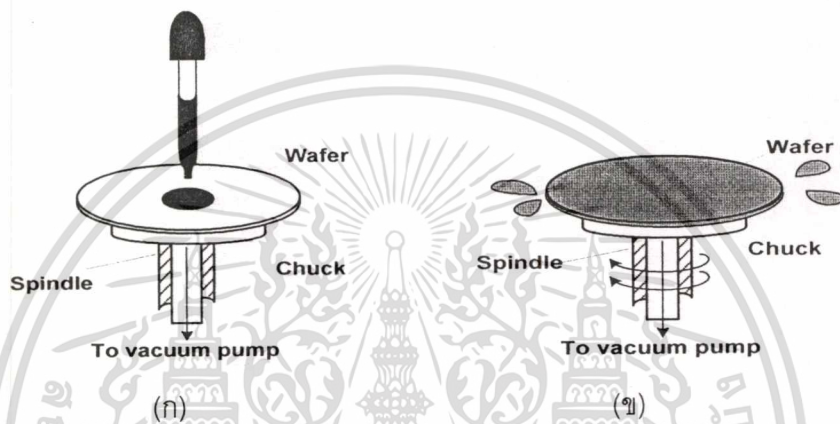
แบบใช้ลูกกลิ้ง (Roller coating) เป็นการเคลือบน้ำยาไวแสงด้วยวิธีแบบลูกกลิ้ง จะนิยมทำในขั้นตอนของการตัดแยกแผ่นผลึกซิลิคอนออกเป็นไดซ์ หรือชิพ โดยแผ่นผลึกจะถูกเคลือบน้ำยาไวแสงทั้งสองด้าน เพื่อป้องกันฝุ่นละออง หรือสิ่งสกปรกอื่นๆ ที่จะเกิดขึ้นขณะทำการตัดแยกชิพด้วยเลเซอร์ หรือแสงเลเซอร์ ปกติวิธีนี้จะใช้น้ำยาไวแสงชนิดบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 แบบสปินเนอร์

แบบสปินเนอร์ (Spinner coating) เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดใน การเคลือบน้ำยาไวแสง เนื่องจากให้ความสม่ำเสมอของฟิล์มน้ำยาไวแสงมากกว่าวิธีอื่น วิธีการนี้จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า สปินเนอร์ (Spinner) โดยมีแท่นหมุนที่สามารถปรับความเร็วได้ด้วยมอเตอร์ความเร็วสูง บนแท่น หมุนจะระบบสุญญากาศ ซึ่งใช้สำหรับยึดแผ่นเวเฟอร์ ในขณะที่หมุนแผ่นเวเฟอร์ความเร็วสูง แรงเหวี่ยงจากจุดศูนย์กลางที่เกิดจากการหมุนจะทำให้ น้ำยาไวแสงซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวกระจาย ออกจนทั่วผิวหน้าของแผ่นเวเฟอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.9

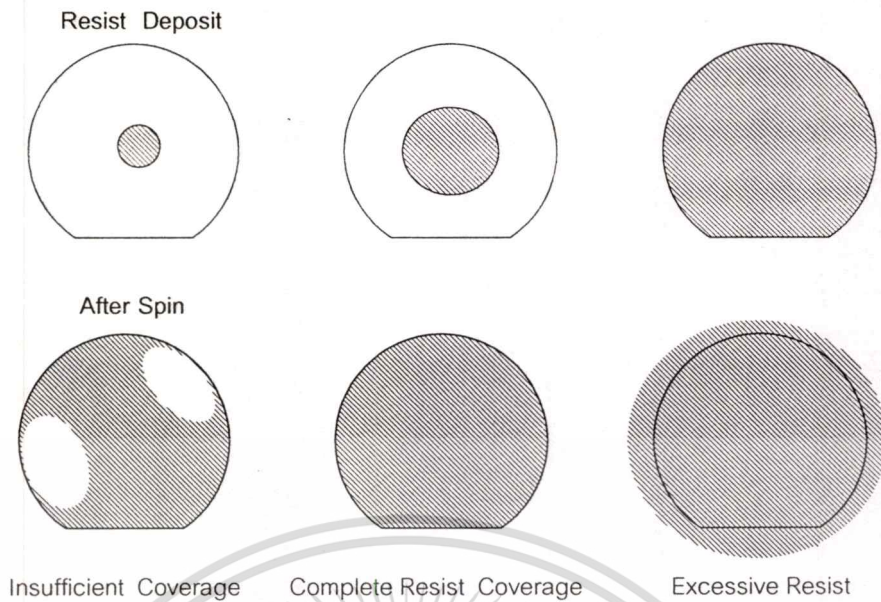


รูปที่ 2.9 การเคลือบน้ำยาไวแสงบนแผ่นเวเฟอร์แบบสปินเนอร์

(ก) การหยดน้ำยาไวแสงบนแผ่นเวเฟอร์

(ข) การหมุนแผ่นเวเฟอร์บนแท่นหมุนเพื่อเคลือบน้ำยาไวแสง

จากรูปแผ่นเวเฟอร์จะถูกวางลงบนแท่นหมุน จากนั้นทำการหยดน้ำยาไวแสงลงให้ตรง กลางแผ่นเวเฟอร์ เริ่มทำการหมุนด้วยความเร็วรอบต่ำประมาณ 500 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 วินาที เพื่อเป็นการเกลี่ยให้น้ำยาไวแสงที่หยดลงไปนั้นกระจายทั่วทั้งแผ่น [4] หลังจากนั้นทำการหมุน แท่นหมุนด้วยความเร็วรอบสูงประมาณ 3000 – 6000 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 - 40 วินาที เพื่อให้ น้ำยาไวแสงกระจายออกเหลือเป็นฟิล์มบาง ความหนาของชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงที่ได้จากการสปิน- เนอร์ โดยทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 5,000 ถึง 30,000 Å ความหนาของชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงจะขึ้นอยู่กับ ความหนืดของน้ำยาไวแสงและความเร็วรอบในการหมุน ถ้าหากใช้ความเร็วรอบต่ำจะได้ชั้น ของน้ำยาไวแสงที่หนา ถ้าเพิ่มความเร็วรอบก็จะได้ชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงที่บางลงกว่าเดิม ชั้นฟิล์ม น้ำยาไวแสงที่ดีจะต้องมีความหนาสม่ำเสมอเท่ากันทั้งแผ่น ในขั้นตอนนี้จะต้องระมัดระวังเรื่องฝุ่น ละอองมากเป็นพิเศษ



รูปที่ 2.10 แสดงการหยดน้ำยาไวแสงและลักษณะฟิล์มน้ำยาไวแสงหลังจากเคลือบน้ำยาไวแสง ด้วยสปินเนอร์ โดยใช้ปริมาณน้ำยาไวแสงที่แตกต่างกัน

สำหรับการหยดน้ำยาไวแสงบนแผ่นเวเฟอร์ ปริมาณน้ำยาไวแสงที่เหมาะสมเป็นสิ่งที่สำคัญ ดังรูป 2.10 ถ้าหยดน้ำยาไวแสงด้วยปริมาณที่น้อยเกินไป น้ำยาไวแสงจะถูกเคลือบไม่เต็มแผ่นเวเฟอร์ ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ต้องนำแผ่นเวเฟอร์ไปทำความสะอาดอีกครั้งและถ้าใช้ปริมาณน้ำยาไวแสงมากเกินไป จะทำให้น้ำยาไวแสงล้นจนเปื้อนด้านหลังแผ่นเวเฟอร์และทำให้เกิดความลึนเปื้อน

2.5 ขั้นตอนการอบครั้งแรก

หลังจากผ่านกระบวนการเคลือบผิวหน้าของแผ่นเวเฟอร์ด้วยน้ำยาไวแสงแล้วแผ่นเวเฟอร์จะผ่านเข้าสู่กระบวนการให้ความร้อน เพื่อทำให้ตัวทำละลายที่อยู่ในน้ำยาไวแสงระเหยออกไป หลังจากให้ความร้อนแล้วน้ำยาไวแสงที่เคลือบอยู่บนผิวหน้าของแผ่นเวเฟอร์จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง และมีสภาพในการยึดเกาะพื้นผิวหน้าที่ดีขึ้น ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่ากระบวนการอบครั้งแรก (Pre bake) ซึ่งอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในกระบวนการนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำยาไวแสงที่เลือกใช้ โดยจะใช้อุณหภูมิราว $90 - 100^{\circ}\text{C}$ สำหรับน้ำยาไวแสงชนิดลบ และราว $80 - 90^{\circ}\text{C}$ สำหรับน้ำยาไวแสงชนิดบวก การอบที่ใช้เวลานานเกินไปหรืออุณหภูมิที่สูงเกินไป อาจทำให้เกิดการเสียหายกับชั้นของน้ำยาไวแสง เช่น เกิดปฏิกิริยาเคมี-ความร้อน หรืออาจเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหม้ได้ หลังจากผ่านการอบแล้ว ความหนาของน้ำยาไวแสงลดลง 20%-25% และจะมีตัวทำละลายเหลืออยู่ประมาณ 5 - 20%

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

สำหรับการอบแผ่นเวเฟอร์ของห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์จะใช้เตาอบแบบพาความร้อนและแผ่นความร้อน

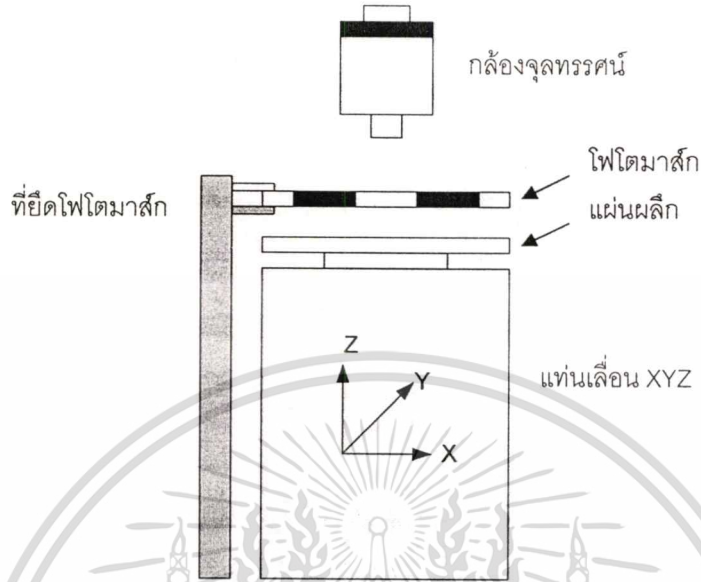
2.6 ขั้นตอนการปรับชั้นมาสก์และฉายแสง

การปรับชั้นมาสก์และฉายแสง (Mask alignment and Exposure) เป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งของกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี ซึ่งเป็นขั้นตอนการถ่ายลวดลายลงบนกระจกโฟโตมาสก์ลงไปในชั้นฟิล์มของน้ำยาไวแสงที่ผิวของแผ่นเวเฟอร์

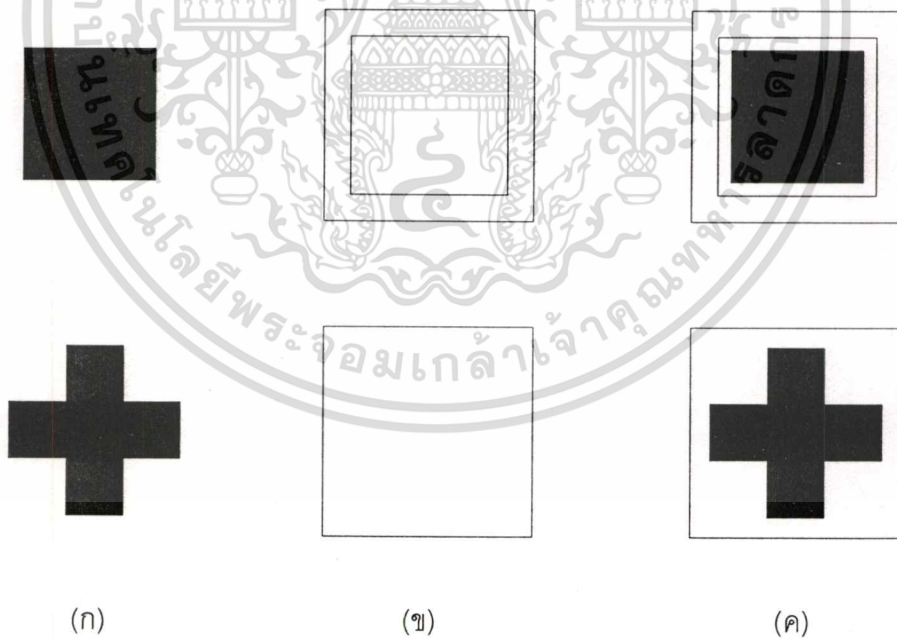
2.6.1 ขั้นตอนการปรับชั้นมาสก์

การฉายแสงผ่านกระจกโฟโตมาสก์ ซึ่งปกติถูกวางทาบทับลงไปบนแผ่นผลึกที่เคลือบน้ำยาไวแสง ในกรณีที่เป็นกระจกโฟโตมาสก์ชิ้นแรก หรือมาสก์ที่ 1 สามารถทำได้โดยไม่ต้องมีการปรับชั้นมาสก์ ทั้งนี้เนื่องจาก ยังไม่ได้มีการสร้างส่วนหนึ่งของวงจรรวมบนแผ่นเวเฟอร์เลย แต่ในกรณีที่แผ่นเวเฟอร์นั้น ได้ผ่านการสร้างส่วนของวงจรรวมมาบ้างแล้ว การจะสร้างส่วนใหม่ต่อไป จำเป็นที่จะต้องสร้างให้อยู่ในตำแหน่งหรือบริเวณที่ถูกต้อง เพื่อให้ได้โครงสร้างของวงจรรวมตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังนั้นการใช้กระจกโฟโตมาสก์ ตั้งแต่มาสก์ที่ 2 เป็นต้นไป ก่อนการฉายแสง จะต้องมีการปรับชั้นมาสก์ (Mask alignment) เพื่อให้ได้ลวดลายบนกระจกมาสก์ซ้อนทับกับลวดลายที่มีอยู่บนแผ่นเวเฟอร์อย่างถูกต้อง ในที่สุดของกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี จะทำให้สามารถเปิดชั้นของออกไซด์ที่ตำแหน่งถูกต้อง โครงสร้างของวงจรรวมจึงเป็นไปตามที่ออกแบบและถูกต้อง เนื่องจากภาพลวดลายของวงจรรวมมีขนาดเล็กมาก ดังนั้นการปรับชั้นจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ช่วย ซึ่งเรียกว่า เครื่องปรับชั้นมาสก์ (Mask aligner) ซึ่งอาศัยหลักการง่ายๆ คือ แผ่นเวเฟอร์จะถูกวาง และติดกับแท่นเลื่อน ซึ่งสามารถปรับให้เลื่อนในแนวนอน (x) แนวตั้งจาก (y) และแนวสูง (z) ได้ การปรับเลื่อนนี้ทำได้ด้วยทั้งแนว x, y และ z นอกจากนี้ยังปรับหมุนแผ่นเวเฟอร์ได้โดยรอบ โดยใช้ไมโครมิเตอร์ที่มีความละเอียดสูง ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ส่วนกระจกโฟโตมาสก์ถูกยึดให้อยู่นิ่งเหนือแผ่นเวเฟอร์เล็กน้อย และการใช้กล้องจุลทรรศน์ ทำการสังเกตภาพลวดลายที่ปรากฏทั้งบนแผ่นเวเฟอร์และโฟโตมาสก์ พร้อมทั้งทำการปรับเลื่อนทั้งแกน x, y, z และมุม θ

จนกระทั่ง ภาพลวดลายที่ปรากฏบนแผ่นผลึก และบนโฟโตมาส์กซ้อนกันลงตรงตำแหน่งที่ถูกต้อง จากนั้นจึงปรับให้แผ่นเวเฟอร์เลื่อนสูงขึ้นในแนวแกน z จนแนบสนิท กับกระจกโฟโตมาส์ก



รูปที่ 2.11 แสดงแผนผังอุปกรณ์เครื่องปรับชั้นมาส์ก แบบถ่ายภาพลวดลายแบบสัมผัส



รูปที่ 2.12 ภาพลวดลายของเครื่องหมายปรับชั้นมาส์ก

(ก) ภาพลวดลายสี่เหลี่ยม และ กากบาท บนโฟโตมาส์ก

(ข) ภาพลวดลาย บนแผ่นเวเฟอร์

(ค) ภาพลวดลายที่รวมกันขณะทำการปรับชั้นมาส์กแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ลวดลายมีขนาดใหญ่พอที่จะสังเกตได้ การปรับข้อบกพร่องนี้ จะสามารถทำได้โดยสังเกตจากลวดลายของวงจรรวมโดยตรง แต่โดยทั่วไป ภาพลวดลายของวงจรรวมมีขนาดเล็กมาก นอกจากนี้ยังมีจำนวนมากอีกด้วย จึงเป็นการยาก ที่จะทำการปรับข้อบกพร่องโดยสังเกตจากภาพลวดลายของวงจรรวม ในทางปฏิบัติ เพื่อให้การปรับข้อบกพร่องทำได้ง่าย จึงมีการใช้ภาพลวดลาย ซึ่งออกแบบขึ้นเพื่อใช้สำหรับการปรับข้อบกพร่องมาส์กโดยเฉพาะ และเรียกว่า เครื่องหมายปรับข้อบกพร่อง (Alignment mark) ซึ่งอาจเป็นภาพจัตุรัสในกล่องสี่เหลี่ยม , กากบาทในสี่เหลี่ยม หรือสี่เหลี่ยมในกากบาท ดังแสดงในรูปที่ 2.12

การปรับข้อบกพร่องทำได้โดยการปรับเลื่อนแผ่นเวเฟอร์ ให้อยู่ในตำแหน่งที่ภาพลวดลายบนแผ่นเวเฟอร์และภาพลวดลายบนโฟโตมาส์กซ้อนทับกันพอดี ลวดลายวงจรถัดไปจะตรงตามทีออกแบบไว้ทุกประการ

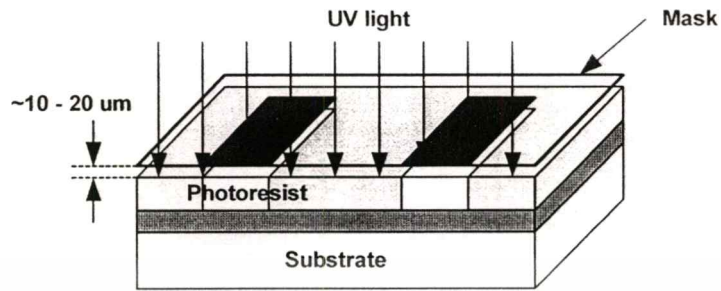
2.6.2 ขั้นตอนการฉายแสง

เมื่อทำการปรับข้อบกพร่องระหว่างกระจกโฟโตมาส์กและแผ่นเวเฟอร์เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การฉายแสง (Exposure) ผ่านกระจกโฟโตมาส์ก เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมี-แสงขึ้นที่ชั้นน้ำยาไวแสง ซึ่งการสร้างลวดลายในงานวิจัยนี้จะใช้ วิธีการวางทับโฟโตมาส์กและแผ่นเวเฟอร์ให้แนบสนิทแล้วฉายแสง (Contact print) ดังแสดงในรูปที่ 2.13

ปกติน้ำยาไวแสงที่ใช้ในเทคนิคโฟโตลิโธกราฟี สำหรับกระบวนการสร้างวงจรรวมจะมีความไวต่อแสง ที่มีความยาวคลื่น (λ) ในช่วง 300-500 nm ซึ่งแสงที่เรามองเห็นเป็นสีม่วงและสีน้ำเงินนั่นเอง ดังนั้นในห้องปฏิบัติการเทคนิคโฟโตลิโธกราฟี จึงสามารถใช้แสงสีเหลืองได้ เพราะแสงสีเหลืองมีความยาวคลื่นมากกว่า 500 nm ซึ่งจะไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำยาไวแสง แต่ถ้าเป็นฟิล์มถ่ายรูปจะต้องใช้แสงในห้องที่มีสีแดงเท่านั้น แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้กัน โดยทั่วไปได้จากหลอดไฮปรอท (Mercury Vapor lamp) ซึ่งหลอดนี้ให้เส้นสเปกตรัมที่มีความเข้มสูง ที่ความยาวคลื่นราว 310, 365, 405 และ 440 nm ตามลำดับ และจากการศึกษา พบว่าน้ำยาไวแสงชนิดลบ จะมีความไวสูงสุดใกล้กับเส้นสเปกตรัม 405 nm และน้ำยาไวแสงชนิดบวก จะมีความไวสูงสุด ใกล้กับเส้นสเปกตรัม 365 nm จากสเปกตรัมแสงความยาวคลื่นประมาณ 400 nm ถูกเรียกว่า ความยาวคลื่นใกล้อัลตราไวโอเล็ต (near ultraviolet wave lengths หรือ near UV) ซึ่งเป็นแสงสำหรับเทคนิคโฟโตลิโธกราฟี โดยทั่วไป สำหรับความยาวคลื่นที่ต่ำกว่านี้ เราเรียกว่า ความยาวคลื่นไกลอัลตราไวโอเล็ต (far ultraviolet wave lengths หรือ far UV) จากการศึกษ พบว่าการพิมพ์ภาพที่มีขนาดเล็กๆ จำเป็นต้องใช้แสงที่มีความยาวคลื่นสั้นๆ เช่น ขนาดราว 2 ไมโครเมตร ต้องใช้คลื่น far UV ราว 100-200 นาโนเมตร นอกจากนี้ ยังสามารถใช้คลื่นรังสีเอ็กซ์ (X-ray) และลำอิเล็กตรอน (Electron beam) มาใช้แทนแสงได้ด้วย ทำให้สามารถพิมพ์ภาพลวดลาย วงจรรวมที่มีขนาดเล็กมากได้ ซึ่งเทคนิคนี้ถูกเรียกว่า เอ็กซ์เรย์โฟโตลิโธกราฟี (x-ray photolithography) และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

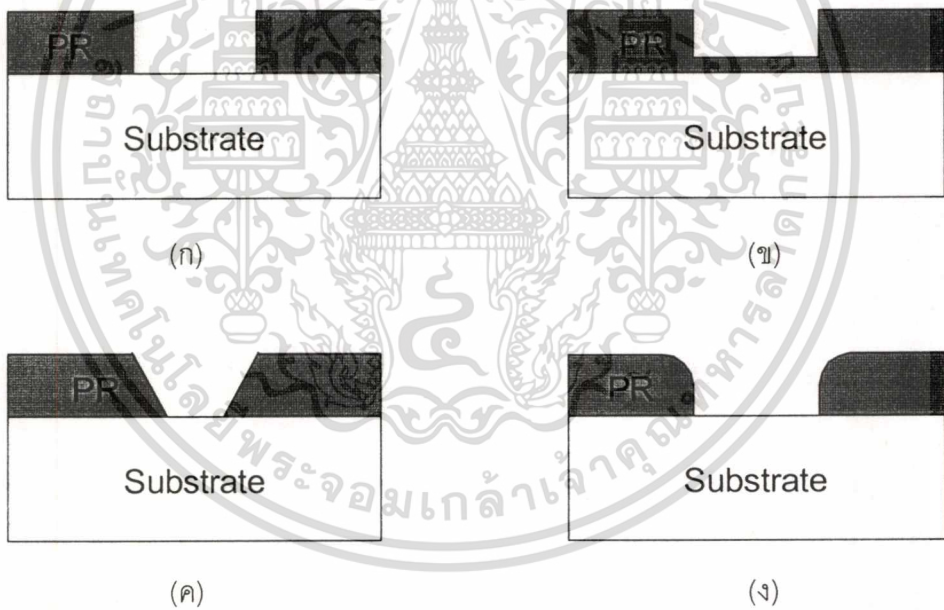
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำอิเล็กตรอนลิโทกราฟี (electron beam lithography) แต่นำยาไวแสงที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติแตกต่างจากธรรมดา เพราะรังสีเอ็กซ์ และลำอิเล็กตรอน มีพลังงานสูงกว่าแสง near UV ที่ใช้กับนำยาไวแสงปกติ



รูปที่ 2.13 แสดงการฉายแสง ผ่านโฟโตมาสก์ลงบนแผ่นเวเฟอร์

2.7 ขั้นตอนการขึ้นลวดลายของนำยาไวแสง



รูปที่ 2.14 ผลที่ได้จากการขึ้นลวดลายนำยาไวแสงแบบต่างๆ

- (ก) Normal development (ข) Incomplete development
- (ค) Under development (ง) Over development

หลังจากผ่านกระบวนการฉายแสงแล้ว จะทำการขึ้นลวดลายของนำยาไวแสง (Development) ซึ่งจะเป็นการกำจัดนำยาไวแสงในส่วนที่ไม่ต้องการออกไปและคงเหลือฟิล์มนำยาไวแสงในส่วนที่ต้องการไว้ ลวดลายที่เหลืออยู่บนแผ่นเวเฟอร์ คือ ลวดลายที่ถูกกำหนดโดยเอกสารเป็นเอกสารทลวงนเวสสาหรบการเซงานเพอการศกษาเทานน ไมออนุญาตเนาไปเซประยเชนดานการค้ไมว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกรั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจกโฟโตมาส์กนั่นเอง กระบวนการขึ้นลวดลายของน้ำยาไวแสงทำได้โดย การล้างด้วยน้ำยาขึ้นลวดลาย หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ เพื่อหยุดการล้างฟิล์ม แล้วเป่าเพื่อทำแผ่นเวเฟอร์ให้แห้ง

น้ำยาไวแสงชนิดบวกเมื่อผ่านการล้างฟิล์มน้ำยาไวแสงแล้ว บริเวณที่ถูกแสงจะถูกล้างด้วยน้ำยาขึ้นลวดลายออกไป ส่วนน้ำยาไวแสงชนิดลบ บริเวณที่ไม่ได้ถูกแสงจะถูกล้างด้วยน้ำยาขึ้นลวดลายออกไป น้ำยาไวแสงแต่ละชนิดจะต้องใช้น้ำยาขึ้นลวดลายที่แตกต่างกัน ในการขึ้นลวดลายผลของลวดลายที่ได้มีรูปแบบที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 2.14 ผลของการขึ้นลวดลายที่สมบูรณ์จะเป็นดังรูป 2.14 (ก) ส่วนผลของการขึ้นลวดลายที่ไม่สมบูรณ์จะเป็นดังรูป (ข) (ค) และ (ง) ซึ่งเกิดจากการใช้เวลาและอุณหภูมิในการขึ้นลวดลายที่ไม่เหมาะสม

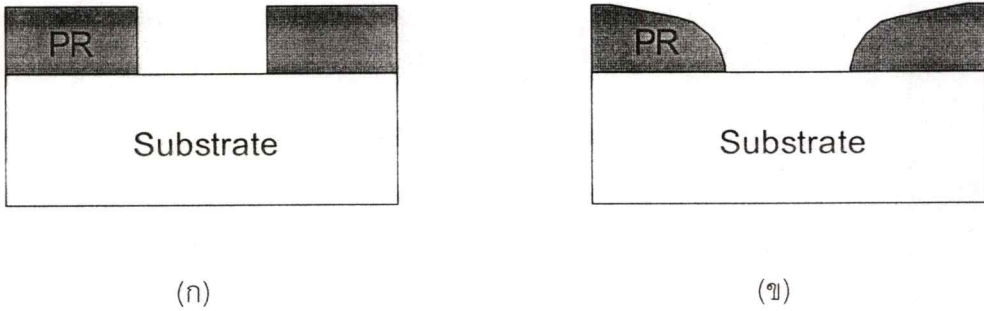
สาเหตุของการขึ้นลวดลายของน้ำยาไวแสงที่ไม่สมบูรณ์ อีกกรณีหนึ่งอาจมีสาเหตุมาจากกระบวนการก่อนหน้าที่ไม่ได้มาตรฐาน เช่น ฟิล์มน้ำยาไวแสงยึดติดผิวหน้าไม่ดี การอบครั้งแรกและการฉายแสงที่ไม่เหมาะสม ดังรูปที่ 2.15 แสดงการอบครั้งแรกที่เวลาและอุณหภูมिन้อยเกินไป ทำให้ความชื้นยังหลงเหลืออยู่ที่ฟิล์มน้ำยาไวแสง เมื่อนำไปขึ้นลวดลายจึงทำให้น้ำยาไวแสงบางส่วนหลุดออกไป



รูปที่ 2.15 การหลุดลอกของน้ำยาไวแสงระหว่างการขึ้นลวดลาย เนื่องจากใช้เวลาและอุณหภูมิในการอบครั้งแรกน้อยเกินไป

2.8 ขั้นตอนการอบครั้งหลัง

เป็นกระบวนการให้ความร้อนเพื่อกำจัดตัวทำละลายหรือโมเลกุลของน้ำที่เหลืออยู่บนชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงออกไป ทำให้ชั้นฟิล์มของน้ำยาไวแสงที่อยู่บนผิวหน้าของแผ่นเวเฟอร์แข็งตัวมากขึ้นและยึดติดกับผิวหน้าของแผ่นเวเฟอร์ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 2.16 ผลที่ได้จากการอบครั้งหลัง

(ก) Normal baking (ข) Over baking

ขั้นตอนการอบครั้งหลัง (Post bake) เหมือนกับขั้นตอนการอบครั้งแรกและวิธีที่นิยมใช้คือการใช้แผ่นความร้อนเช่นเดียวกับการอบครั้งแรก แต่จะแตกต่างกันตรงที่อุณหภูมิที่ใช้ในการอบครั้งหลังจะสูงกว่า คือ อบที่อุณหภูมิประมาณ $100 - 130^{\circ}\text{C}$ ซึ่งทั้งอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบจะขึ้นกับชนิดของน้ำยาไวแสงที่เลือกใช้

การอบครั้งหลัง จะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและเวลา เนื่องจากถ้าใช้อุณหภูมิต่ำและเวลาน้อยเกินไปทำให้ความแข็งของฟิล์มน้ำยาไวแสงไม่เพียงพอ ซึ่งมีผลต่อการยึดเกาะของน้ำยาไวแสงบนผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ ถ้าใช้อุณหภูมิสูงและเวลานานเกินไปจะทำให้น้ำยาไวแสงเสื่อมและไหม้ได้ [12] ดังแสดงในรูปที่ 2.16

2.9 ขั้นตอนการตรวจสอบลวดลายครั้งแรก

ขั้นตอนการตรวจสอบลวดลายครั้งแรก (Development Inspection) เป็นการตรวจสอบคุณภาพและความถูกต้องของลวดลายน้ำยาไวแสง หลังจากขั้นตอนการขึ้นลวดลายและอบครั้งหลังก่อนที่จะทำการกัดลวดลายชั้นฟิล์ม เพื่อควบคุมจำนวนของชั้นงานที่จะเสียหาย อีกทั้งคุณสมบัติของลวดลายยังคงเป็นลวดลายของน้ำยาไวแสง ดังนั้น เมื่อลวดลายไม่สมบูรณ์ก็สามารถลอกน้ำยาไวแสงทิ้งได้ง่ายและไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพฟิล์มบาง

โดยทั่วไปการนำกลับมาทำลวดลายใหม่ของแผ่นเวเฟอร์ มักเกิดจากลวดลายไม่สมบูรณ์ เพราะขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการตรวจสอบลวดลายด้วยตาจากกล้องจุลทรรศน์ ส่วนใหญ่ลวดลายที่มักจะถูกนำกลับมาสร้างลวดลายใหม่ ก็คือ ลวดลายที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อของชั้นอลูมิเนียม เนื่องจากถ้าไม่ตรวจสอบให้ดี เมื่อนำไปสร้างเป็นอุปกรณ์อาจเกิดการลัดวงจรได้ สาเหตุที่ลวดลายไม่สมบูรณ์มักเกิดจาก การฉายแสงมากเกินไป การขึ้นลวดลายที่อุณหภูมิสูง คุณภาพของโฟโตมาส์ก ความหนาแน่นน้ำยาไวแสงมากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 ขั้นตอนการกัด

หลังจากการตรวจสอบลวดลาย พบว่า ลวดลายที่ได้มีความสมบูรณ์แล้ว จะเริ่มเข้าสู่ขั้นตอนการกัด ซึ่งเป็นการเปิดผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ โดยผ่านการเปิดลวดลายของชั้นน้ำยาไวแสง โดยที่ขั้นตอนการกัด (Etching) มี 2 รูปแบบ คือ การกัดแบบเปียก (Wet etching) และ การกัดแบบแห้ง (Dry etching)

2.10.1 อัตราการกัด

อัตราการกัด (Etch rate) คือ การหารระยะเวลาที่ชั้นฟิล์มจะถูกกัดออกไปในขั้นตอนการกัด สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$\text{Etch rate} = \frac{\text{Thickness before etch} - \text{Thickness after etch}}{\text{Etch time}} \quad (2.1)$$

โดยที่

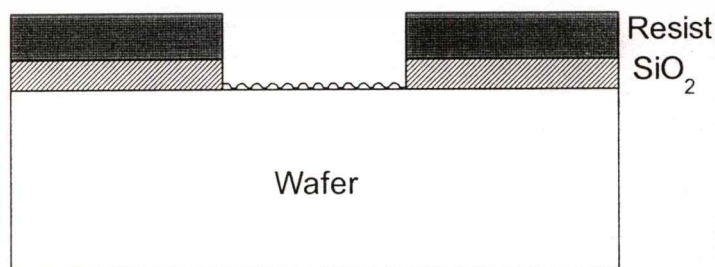
Thickness before etch : ความหนาของชั้นฟิล์มก่อนการกัด (Å)

Thickness after etch : ความหนาของชั้นฟิล์มหลังการกัด (Å)

Etch time : เวลาในการกัด (นาที)

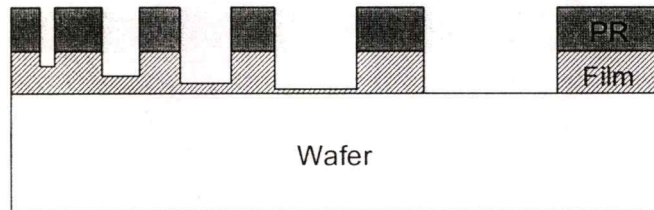
2.10.2 การกัดที่ไม่สมบูรณ์

การกัดที่ไม่สมบูรณ์ (Incomplete etch) คือ การที่ส่วนของชั้นฟิล์มยังคงอยู่ในลวดลายบนแผ่นเวเฟอร์ ดังรูปที่ 2.17 สาเหตุของการกัดไม่สมบูรณ์เกิดจากการใช้เวลาในการกัดไม่เหมาะสม หรือ ชั้นฟิล์มที่ไม่สม่ำเสมอก็มีผลทำให้การกัดไม่สมบูรณ์ในตำแหน่งที่มีความหนามากกว่าส่วนอื่น อัตราการกัดจะขึ้นอยู่กัคุณสมบัติด้วย ดังนั้นบัพเฟออร์ที่ใช้กัดมีคุณสมบัติที่ต่ำอาจทำให้การคำนวณอัตราการกัดเปลี่ยนแปลง หรือถ้าบัพเฟออร์ที่ใช้เจือจางมากเกินไปอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการกัดที่ไม่สมบูรณ์

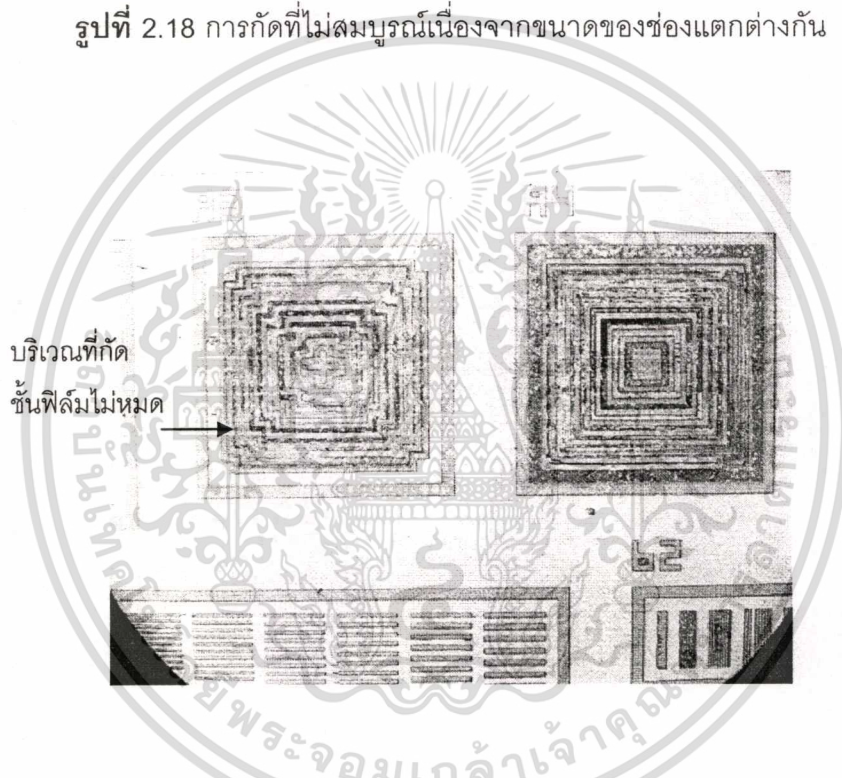


รูปที่ 2.17 การกัดที่ไม่สมบูรณ์ของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

สำหรับลวดลายที่เป็นช่องหรือหน้าสัมผัส (Contact) ยิ่งช่องมีขนาดเล็กมากๆ จะทำให้เกิดการกัดไม่สมบูรณ์ได้ง่าย เนื่องจากอัตราการกัดจะต่ำกว่าช่องที่มีขนาดใหญ่ ดังรูป 2.18 และ 2.19



รูปที่ 2.18 การกัดที่ไม่สมบูรณ์เนื่องจากขนาดของช่องแตกต่างกัน

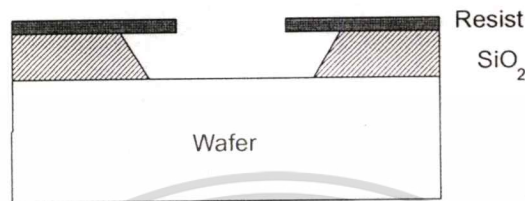


รูปที่ 2.19 ชั้นฟิล์มที่ยังเหลืออยู่ เนื่องจากลวดลายที่มีขนาดเล็กจะมีอัตราการกัดที่ต่ำกว่าลวดลายที่มีขนาดใหญ่

2.10.3 การกัดที่มากเกินไปหรือการกัดเซาะด้านข้าง

การกัดที่มากเกินไป (Over etch or under cutting) คือ การที่ชั้นฟิล์มถูกกัดเซาะภายใต้ขอบของน้ำยาไวแสง เป้าหมายของขั้นตอนการกัด ก็คือ ควบคุมการกัดเซาะของลวดลายในขั้นตอนการกัด การออกแบบลวดลายวงจรควรจะพิจารณาระดับของการกัดเซาะ โดยเฉพาะลวดลายที่ใกล้กันมากๆ เพื่อป้องกันการลัดวงจรของอุปกรณ์

การเกิดการกัดที่มากจนเกินไป เนื่องจากใช้เวลาในการกัดมาก การใช้อุณหภูมิในการกัดที่สูงมาก หรือส่วนผสมของบัฟเฟอร์ที่เข้มข้นเกินไป สาเหตุอีกประการ ก็คือ การยึดเกาะระหว่างน้ำยาไวแสงและผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ไม่ดีพอ เนื่องมาจากผลของกระบวนการอบครั้งหลัง ไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งการยึดเกาะของน้ำยาไวแสงที่ไม่ดีนั้นในกระบวนการกัดอาจทำให้เกิดการหลุดลอกของน้ำยาไวแสงออกจากผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ ดังรูปที่ 2.20



Over etch



Over etch and Resist lifting

รูปที่ 2.20 ระดับของการกัดเซาะของลวดลาย

2.10.4 การกัดแบบเปียก

การกัดแบบเปียก (Wet etching) [13-14] คือ การใช้สารเคมีที่เป็นสารละลายในการกัด ลวดลายบนผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ ในบริเวณที่ไม่มีน้ำยาไวแสงปกคลุม เพื่อให้ได้ลวดลายตรงกับที่ได้ ออกแบบไว้ ขั้นตอนการกัดแบบเปียกมี 3 ขั้นตอน คือ การจุ่มในสารละลาย, การล้างและ การเป่าแห้ง

2.10.4.1 การกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

การกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide wet etching) จะใช้กรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric acid หรือ HF) ผสมกับแอมโมเนียม ฟลูออไรด์ (Ammonium fluoride หรือ NH₄F) เรียกสารละลายนี้ว่า บัฟเฟอร์ออกไซด์ (Buffer oxide etching หรือ BHF) อัตราความเข้มข้นของ บัฟเฟอร์จะมีผลต่อการกัด ถ้าใช้อัตราส่วน 1:1 ความเข้มข้นจะสูงมาก (ประมาณ 3000 Å/min) ซึ่ง อัตราการกัดนี้เร็วมาก เมื่อเทียบกับความหนาของซิลิคอนไดออกไซด์ที่นำไปใช้งานส่วนใหญ่จะใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาไม่เกิน 5000 Å ถ้าอัตราการกัดเร็วมากจะเป็นการยากที่จะควบคุม ดังนั้นการกัดโดยทั่วไป จึงใช้อัตราส่วนของบัฟเฟอร์ ($\text{NH}_4\text{F}:\text{HF}$) ที่ 4:1, 6 :1, 10:1 เพื่อให้ได้อัตราการกัดอยู่ที่ประมาณ 900 - 1500 Å/min [1]

2.10.4.2 การกัดชั้นอลูมิเนียม

การกัดชั้นอลูมิเนียม (Aluminium wet etching) จะใช้สารละลายที่ผสมกันระหว่าง กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid (H_3PO_4)) กรดอะซิติก (Acetic acid (CH_3COOH)) กรดไนตริก (Nitric acid (HNO_3)) และ น้ำ (Water (H_2O)) ในอัตราส่วน 80:5:5:10 ซึ่งอัตราส่วนนี้จะได้อัตราการกัดอยู่ที่ 3000 Å /min ที่ 45 °C [1]

2.11 การล้างฟิล์มน้ำยาไวแสง

หลังจากกระบวนการกัดแล้ว ส่วนของน้ำยาไวแสงต้องถูกลอกออกทั้งหมด (Resist-Removal) เพื่อนำลวดลายที่ได้หลังจากขั้นตอนการกัด ไปตรวจสอบ โดยทั่วไป การลอกชั้นน้ำยาไวแสงจะใช้การจุ่มลงในสารละลายเพื่อให้ น้ำยาไวแสงหลุดออกไป สารเคมีที่ใช้ลอกน้ำยาไวแสงชนิดบวก ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีดังนี้

2.11.1 กรดซัลฟูริก ต่อ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

การลอกน้ำยาไวแสง จะใช้สารละลายที่ผสมกันระหว่างกรดซัลฟูริก ต่อ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Sulfuric acid/Hydrogen Peroxide) ในอัตราส่วน 1:4 โดยการจุ่มแผ่นเวเฟอร์ลงในสารละลายที่อุณหภูมิ 120 °C เมื่อน้ำยาไวแสงหลุดออกหมดแล้ว ล้างแผ่นเวเฟอร์ด้วยน้ำบริสุทธิ์ จากนั้นเป่าให้แห้ง สารละลายนี้ใช้กับแผ่นเวเฟอร์ที่สร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์เท่านั้น

2.11.2 อะซิโตน

อะซิโตน (Acetone) มีคุณสมบัติในการลอกน้ำยาไวแสงชนิดบวก ซึ่งการใช้งานจะใช้ที่อุณหภูมิห้อง และการจุ่มแผ่นเวเฟอร์ในอะซิโตนเพื่อลอกชั้นน้ำยาไวแสง ต้องจุ่มอะซิโตน 2 ครั้ง เพื่อให้สิ่งแปลกปลอมจากฟิล์มของน้ำยาไวแสงหลุดออกให้หมด อะซิโตนสามารถใช้ได้กับแผ่นเวเฟอร์ที่สร้างฟิล์มซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียม

2.12 ขั้นตอนการตรวจสอบลวดลายครั้งสุดท้าย

ขั้นตอนนี้เหมือนกับขั้นตอนการตรวจสอบครั้งแรกหลังจากการขึ้นลวดลายน้ำยาไวแสง ด้วยกล้องจุลทรรศน์ อาจเกิดความไม่สมบูรณ์ของลวดลาย ที่ได้ผ่านการกัดชั้นฟิล์มบางไปแล้ว สาเหตุของความไม่สมบูรณ์ของลวดลายอาจเกิดจากการกัดเซาะที่มากเกินไป การอบครั้งหลังไม่เหมาะสม ถ้าลวดลายไม่สมบูรณ์จะต้องทำการกัดชั้นฟิล์มบางทิ้งทั้งหมดและทำการสร้างใหม่

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้างโฟโตมาส์กสำหรับทดสอบ

การออกแบบ (Layout design) และการสร้างโฟโตมาส์ก (Photomask) เป็นสิ่งที่สำคัญอันดับแรกในการสร้างวงจรรวม เนื่องจากขนาดและความซับซ้อนของวงจรรวมทั้งหมด ต้องถูกกำหนดโดยการออกแบบ จากนั้นลวดลายที่ต้องการจะต้องถูกนำมาถ่ายทอดลงบนโฟโตมาส์กเพื่อใช้โฟโตมาส์กเป็นต้นแบบในการสร้างลวดลายวงจรรวมบนแผ่นเวเฟอร์ด้วยกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี ต่อไป

3.1 การออกแบบลวดลายทดสอบ

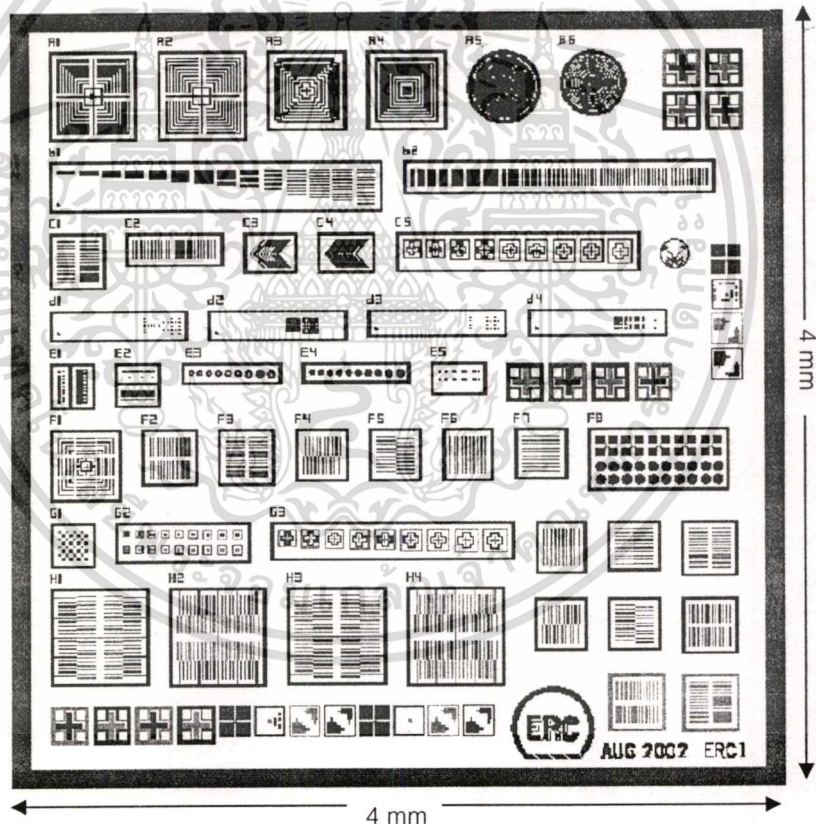
การออกแบบลวดลายของวงจร ถือว่า เป็นขั้นตอนแรกในการสร้างโฟโตมาส์ก เพื่อจัดวางตำแหน่งของลวดลายวงจรให้ถูกต้องและลวดลายที่ได้มีความเหมาะสมกับขนาดของพื้นที่ ๆ มีอยู่อย่างจำกัด

สำหรับการออกแบบลวดลายวงจรของห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ แต่เดิม ใช้วิธีเขียนแบบบนกระดาษกราฟ ซึ่งปกติจะเขียนให้มีขนาดใหญ่กว่าของจริงหลายสิบเท่า จากนั้นลวดลายจะถูกถ่ายทอดลงบน แผ่นไมลาร์ลามิเนต (Mylar laminate sheet) โดยใช้ใบมีดกรีดตามลวดลายที่ได้ออกแบบไว้ จะทำให้เกิดเป็นภาพลวดลายขึ้น บนแผ่นไมลาร์ตามที่ต้องการ แผ่นไมลาร์ที่มีลวดลายนี้ คือ ต้นแบบที่จะนำไปใช้ในการสร้างโฟโตมาส์ก ซึ่งวิธีนี้ ใช้กับการออกแบบลวดลายที่ไม่ซับซ้อน แต่ในปัจจุบันวงจรมีความซับซ้อนมากและมีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ ดังนั้นจึงมีการนำระบบการออกแบบโดยใช้คอมพิวเตอร์ (CAD System) มาใช้ โดยใช้กับโปรแกรมสำหรับออกแบบโดยเฉพาะ ทำให้การออกแบบวงจรทำได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบลวดลายโดยใช้คอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Tanner L-EDIT V.8 ในขั้นต้นทำการออกแบบลวดลายเพื่อทดสอบลายเส้นที่มีขนาดต่างกัน ตั้งแต่ $1\ \mu\text{m}$ – $10\ \mu\text{m}$ เพื่อวิเคราะห์ขนาด (Critical Dimension (CD)) ลวดลายรูปแบบต่างๆ จะถูกออกแบบในพื้นที่สี่เหลี่ยมขนาด $4 \times 4\ \text{mm}^2$ ดังรูปที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดในการออกแบบ ดังนี้

- ลวดลายวงกลม (Circle) สำหรับหาขนาดที่เล็กที่สุดของลักษณะวงกลม (หลุมหรือทรงกระบอก)
- ลวดลายสี่เหลี่ยม (Square) สำหรับหาขนาดที่เล็กที่สุดของลักษณะสี่เหลี่ยม (เช่น Via, Pad, Contact Cut)

- ลวดลายเส้นแนวตั้ง (Vertical Line) สำหรับเพื่อตรวจสอบขนาดความกว้างในแนวตั้งและตรวจสอบขนาดช่องว่างในแนวตั้ง (Vertical Minimum Line Spacing)
- ลวดลายเส้นแนวนอน (Horizontal Line) สำหรับเพื่อตรวจสอบขนาดความกว้างในแนวนอนและตรวจสอบขนาดช่องว่างในแนวนอน (Horizontal Minimum Line Spacing)
- ลวดลายเส้นทแยงมุม 45 องศา (Diagonal Line 45 degree) สำหรับเพื่อตรวจสอบขนาดความกว้างในลักษณะทำมุม 45 องศา
- ลวดลายเส้นทแยงมุม 45 องศา (Diagonal Line 45 degree) สำหรับเพื่อตรวจสอบขนาดช่องว่างในลักษณะทำมุม 45 องศา



รูปที่ 3.1 ลวดลายต้นแบบ* ขนาด 4X4 mm² เพื่อใช้ในการตรวจสอบ ขนาด ช่องว่าง และความคมชัดของลวดลาย [15]

* ดูรายละเอียดของลวดลายในภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 กระบวนการสร้างโฟโตมาสก์ [16-17]

โฟโตมาสก์ (Photo mask) ทำหน้าที่เป็นต้นแบบสำหรับถ่ายทอดลวดลายที่ได้ออกแบบไว้ลงบนแผ่นเวเฟอร์ ซึ่งโฟโตมาสก์มีลักษณะลวดลายบนฟิล์มกระจก ซึ่งลวดลายได้มาจากการออกแบบ โดยส่วนของลวดลายจะมีลักษณะทึบแสง วัสดุที่นำมาใช้ทำลวดลายจะต้องมีคุณสมบัติที่ป้องกันมิให้แสงผ่านไปได้ จากการพิจารณาวัสดุที่นำมาใช้ป้องกันแสง สามารถแบ่งโฟโตมาสก์ได้ 2 ชนิด คือ ซอฟท์มาสก์ และ ฮาร์ดมาสก์

การสร้างโฟโตมาสก์ของห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ จะใช้แผ่นกระจกที่เคลือบน้ำยาไวแสงแล้วนำมาสร้างเป็นกระจกโฟโตมาสก์ ซึ่งวิธีนี้เรียกว่า ซอฟท์มาสก์ (Soft Mask) สามารถสร้างได้ง่ายและมีราคาถูก แต่มีความทนทานน้อยกว่าแบบฮาร์ดมาสก์ สำหรับการสร้างลวดลายขนาดเล็กวิธีนี้อาจมีผลกับความคมชัดของลวดลาย ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงมีการพัฒนาการสร้างโฟโตมาสก์แบบใหม่ขึ้นเพื่อใช้สร้างลวดลายต้นแบบที่มีขนาด 5 ไมครอน โดยต้นแบบจะถูกสร้างขึ้นบนกระจกที่เคลือบด้วยชั้นฟิล์มโลหะโครเมียม เรียกว่า ฮาร์ดมาสก์ (Hard-Mask)

วัตถุประสงค์ที่สำคัญ ในการสร้างโฟโตมาสก์ฟิล์มโลหะโครเมียมเนื่องจากกระจกที่เคลือบชั้นฟิล์มโลหะโครเมียม ซึ่งใช้สร้างเป็นต้นแบบวงจรรวม ขณะนี้ยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งต้องสูญเสียเวลาและมีราคาแพง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงต้องการสร้างกระจกโฟโตมาสก์ขึ้นมาใช้เอง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวและเกิดเทคโนโลยีพึ่งพาตนเองภายในประเทศ โดยการสร้างต้องสอดคล้องกับเทคโนโลยีที่มีอยู่ภายในห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์

3.2.1 การสร้างฟิล์มโลหะโครเมียม

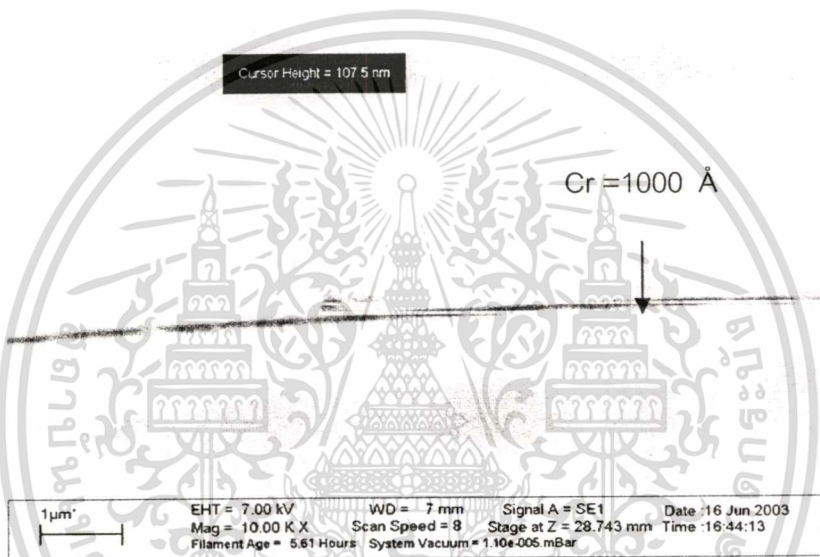
ในปัจจุบันนี้ โลหะโครเมียมเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้สร้างโฟโตมาสก์ เนื่องจากมีความทนทานทำให้มีอายุการใช้งานโฟโตมาสก์สูง มีคุณสมบัติในการยึดติดของฟิล์มโลหะโครเมียมกับผิวกระจกสูงมากและการสร้างลวดลายบนฟิล์มโลหะโครเมียมสามารถสร้างลวดลายขนาดเล็กได้โดยทั่วไป ความหนาของฟิล์มโลหะโครเมียมที่ใช้สร้างโฟโตมาสก์ หนาประมาณ 600 – 1000 Å

สำหรับการสร้างฟิล์มโลหะโครเมียม จะใช้เครื่องสเปคเตอร์สร้างชั้นฟิล์มโลหะโครเมียมลงบนกระจกใส หนา 2 mm ขนาด 3 x 3 ตร.นิ้ว โดยกำหนดเงื่อนไขการเคลือบโลหะโครเมียมลงบนกระจกฐานรอง ดังนี้

- | | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| 1. Base Pressure | < 1×10^{-5} Torr |
| 2. Operating Pressure | = 1.5×10^{-3} Torr |
| 3. Power / Reflect in RF | = 100/10 watt |
| 4. ระยะห่างของ Target กับฐานรอง | = 3.7 cm. |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการปลูกของชั้นฟิล์มโลหะโครเมียมของเครื่องสเปคโตรสโกปี ประมาณ 70 Å/นาที่ ซึ่ง การปลูกชั้นฟิล์มใช้เวลาประมาณ 15 นาที เพื่อให้ได้ฟิล์มโลหะโครเมียม หนา 1000 Å ตาม มาตรฐาน เนื่องจากการสร้างฟิล์มโลหะโครเมียมของห้องปฏิบัติการยังอยู่ในขั้นตอนของการศึกษา ยังมีได้กำหนดเป็นกระบวนการสร้างมาตรฐาน ดังนั้น หลังจากการสร้างชั้นฟิล์มโลหะโครเมียม เพื่อนำไปสร้างโฟโตมาสก์ทดสอบในงานวิจัยนี้ จะต้องทำการวิเคราะห์ตรวจสอบคุณภาพของฟิล์ม โลหะโครเมียม เพื่อให้ได้คุณภาพของฟิล์มที่เหมาะสม ก่อนที่จะนำไปสร้างเป็นลวดลายบนโฟโต-มาสก์ทดสอบ

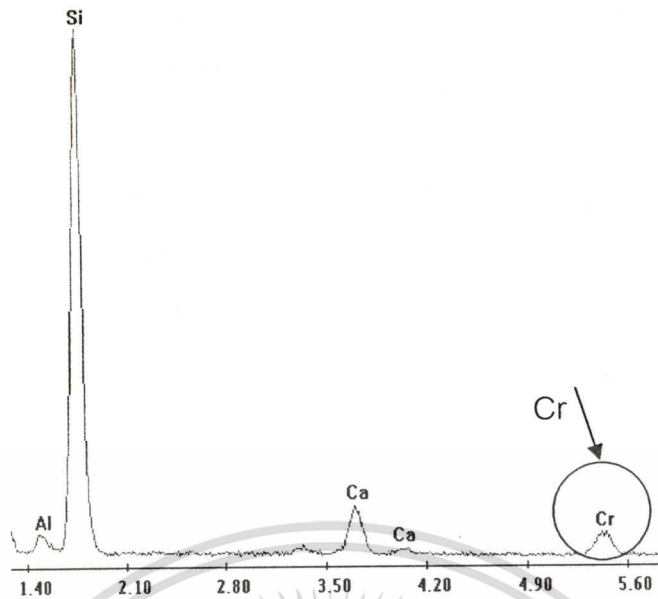


รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายภาคตัดขวางของชั้นฟิล์มโลหะโครเมียมบนกระจก เพื่อตรวจสอบความหนา ของชั้นฟิล์ม

เมื่อทำการวิเคราะห์หาความหนาชั้นฟิล์มโลหะโครเมียมด้วยเครื่อง SEM จากรูปที่ 3.2 ผล ที่ได้แสดงให้เห็นว่า ชั้นฟิล์มโลหะโครเมียม มีความราบเรียบ สม่ำเสมอ และมีความหนาประมาณ 1000 Å

เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของฟิล์มที่เคลือบอยู่บนกระจกฐานรอง เพื่อใช้ยืนยันว่า ฟิล์มที่เคลือบอยู่เป็นชั้นฟิล์มโลหะโครเมียม โดยการตรวจสอบด้วยเครื่อง Emission Dispersive-Spectrometer (EDS) ผลที่ได้ จากรูปที่ 3.3 แสดงให้เห็นถึงธาตุโครเมียมเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ยังมีธาตุซิลิคอนที่เป็นส่วนของกระจกฐานรอง ส่วนธาตุออกซิเจนและแคลเซียมที่ เกิดขึ้นอาจเกิดจากการปนเปื้อนภายในเครื่องสเปคโตรสโกปี หรือเกิดขึ้นในขณะการเตรียมชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 กราฟผลการวิเคราะห์ฟิล์มโลหะโครเมียม จากการแยกองค์ประกอบของธาตุ ด้วยเครื่อง EDS

จากการตรวจสอบคุณสมบัติของชั้นฟิล์มโลหะโครเมียม พบว่า ชั้นฟิล์มโลหะโครเมียมที่สร้างขึ้นมีคุณสมบัติเหมาะสม สามารถนำไปสร้างลวดลายบนฟิล์มโลหะโครเมียมเพื่อใช้ในการสร้างโฟโตมาสก์ทดสอบได้

3.2.2 การสร้างลวดลายบนฟิล์มโลหะโครเมียม

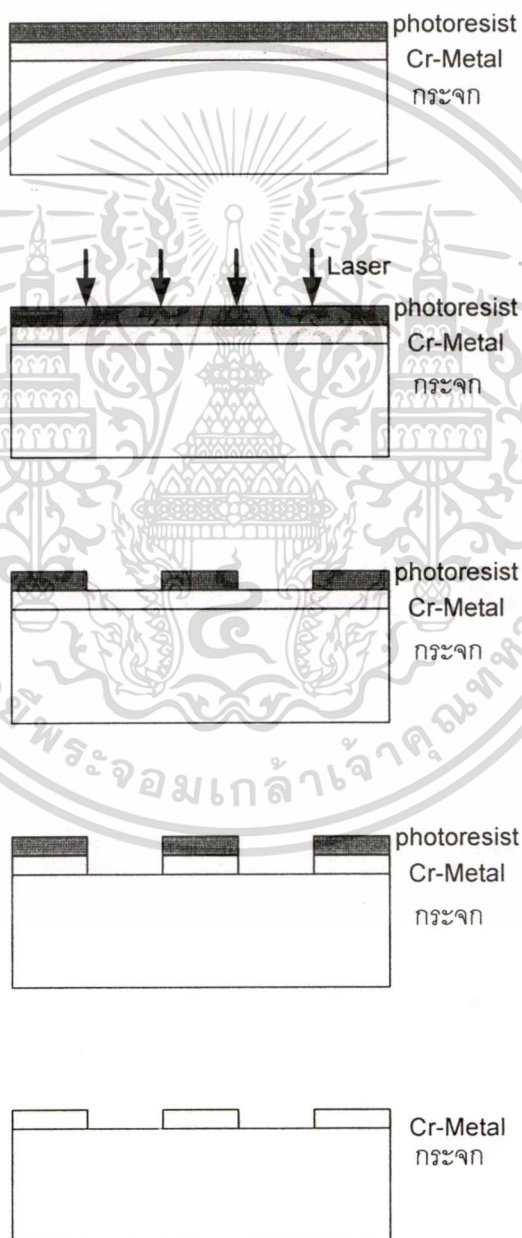
แผ่นกระจกที่สร้างชั้นฟิล์มโลหะโครเมียมจะถูกนำมาสร้างลวดลายตามที่ต้องการด้วยกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี ดังรูปที่ 3.4

เริ่มจากการเคลือบด้วยน้ำยาไวแสงเชิงบวก เบอร์ AZ6112 ด้วยเครื่องสปินเนอร์ ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบ/นาที ที่เวลา 40 วินาที หลังจากเคลือบน้ำยาไวแสงอบแผ่นโฟโตมาสก์ด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 90 °C นาน 8 นาที เพื่อให้น้ำยาไวแสงแข็งตัว และพร้อมจะทำการสร้างลวดลายด้วยเครื่อง Direct Write Laser (DWL) ที่มีแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์สีน้ำเงิน ความยาวคลื่น 442 nm แสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งเป็นเครื่องมือของศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์

การสร้างลวดลายด้วยเครื่อง DWL เริ่มจาก นำข้อมูลไฟล์ของลวดลายต่างๆที่ออกแบบไว้ และเก็บเป็นไฟล์สกุล CIF file จะถูกนำไปยังหน่วยแปลงข้อมูลของเครื่อง เพื่อให้เครื่องรับทราบว่าจะเขียนเลเซอร์ลงบนบริเวณใดบนโฟโตมาสก์ จากนั้นจัดแผนผังการฉายแสง (Exposure Map) เพื่อกำหนดตำแหน่งของลวดลายบนโฟโตมาสก์ขนาด 3 X 3 ตร.นิ้ว โดยการกำหนดขนาดและจำนวนชิพแบบระบบเมตริกซ์ ซึ่งเรียกว่า การสร้างงานสำหรับฉายแสง (Exposure Job) จากนั้น

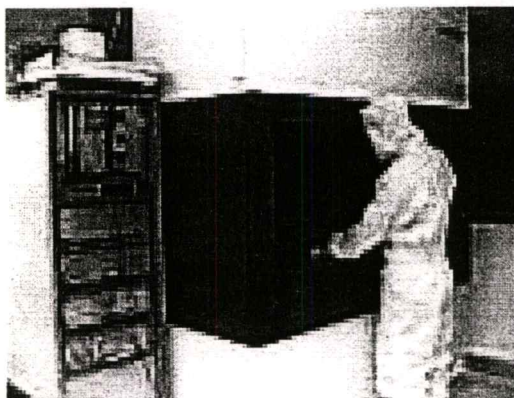
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำแผ่นกระจกที่เคลือบน้ำยาไวแสงตั้งที่กล่าวไปข้างต้น เข้าสู่หน่วยฉายแสง (Exposure Unit) ของเครื่อง DWL ที่มีแหล่งกำเนิดชนิดเลเซอร์ เพื่อเขียนลวดลายตามที่เตรียมไว้ ในการสร้างลวดลายทดสอบ ด้วยเครื่อง DWL ในงานวิจัยนี้ใช้พลังงานแสงเลเซอร์ในการเขียนลวดลายที่ 40 mJ ซึ่งเป็นพลังงานที่เหมาะสม และทำให้ลวดลายที่สร้างได้มีความคมชัด ดังรูป 3.6 (ก) ส่วนการใช้พลังงานที่น้อยกว่า 40 mJ จะทำให้ลวดลายบนโฟโตมาส์กที่สร้างขึ้นไม่คมชัดหรือเกิดความเสียหาย ดังรูปที่ 3.6 (ข) ที่ใช้พลังงานแสงเลเซอร์ 25 mJ ดังนั้น การนำโฟโตมาส์กที่บกพร่องไปใช้จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการสร้างลวดลายบนแผ่นเวเฟอร์

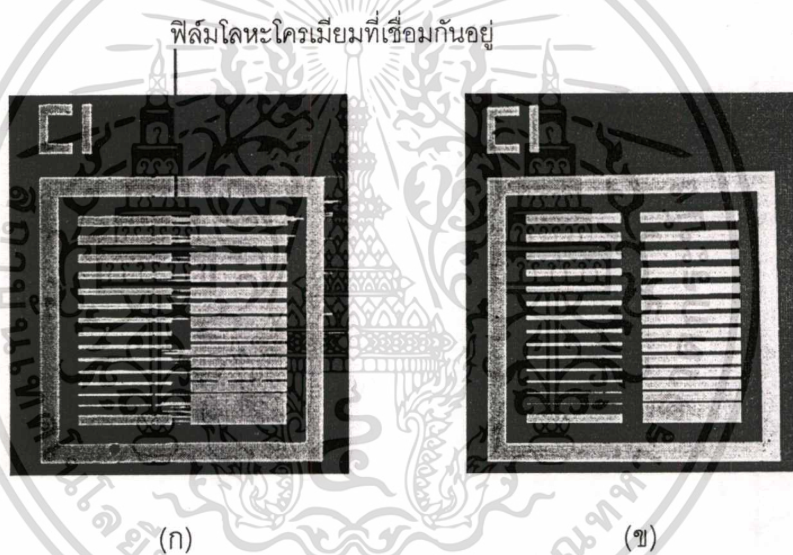


รูปที่ 3.4 กระบวนการสร้างโฟโตมาส์กโลหะโครเมียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 เครื่อง Direct Write Laser Pattern Generator รุ่น DWL 2.0



รูปที่ 3.6 ภาพถ่ายลวดลายทดสอบ ที่ได้จากการใช้พลังงานแสงเลเซอร์ในการเขียนลวดลายที่แตกต่างกัน

(ก) พลังงานที่ 25 mJ (ข) พลังงานที่ 40 mJ

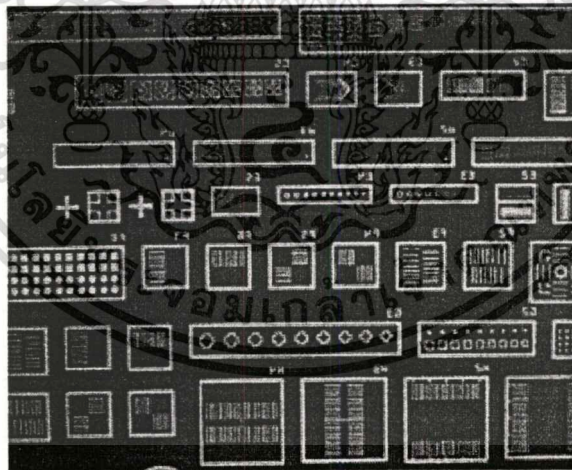
ภายหลังเขียนลวดลายด้วยเครื่อง DWL นำโฟโตมาส์ล้างด้วยน้ำยาขี้ลวดลาย เบอร์ AZ 300 MIF เป็นเวลา 45 นาที เพื่อให้น้ำยาไวแสงส่วนที่ถูกเขียนด้วยแสงเลเซอร์ หลุดออกไป ล้างแผ่นกระจกด้วยน้ำบริสุทธิ์ และอบแผ่นด้วยเตาอบ ที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 8 นาที เพื่อให้น้ำยาไวแสงคงตัว ก่อนเข้าสู่กระบวนการกัดชั้นฟิล์มโลหะโครเมียม ด้วยวิธีการกัดแบบเปียก โดยการนำแผ่นกระจกเข้าไปในสารละลาย $\text{Ce}(\text{HN}_4)_2(\text{NO}_3)_6/\text{HClO}_4$ นาน 1 นาที ซึ่งอัตราการกัดประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1000 Å/นาที่ ชั้นฟิล์มโลหะโครเมียมส่วนที่ไม่มีน้ำยาไวแสงคลุมอยู่จะถูกกัดออกไป จากนั้นนำแผ่นกระจกล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์และล้างน้ำยาไวแสงที่เหลืออยู่ด้วยสารละลายอะซิโตน (Acetone) น้ำยาไวแสงจะถูกล้างออกทั้งหมด ทำความสะอาดแผ่นกระจกด้วยน้ำ บริสุทธิ์และทำให้แห้งโดยการเป่าแห้งหรืออบ จากนั้นแผ่นโฟโตมาส์กที่ได้จะนำไปใช้งานต่อไป แผ่นโฟโตมาส์กที่สร้างได้แสดงดังรูป 3.7 ส่วนลวดลายทดสอบที่สร้างบนโฟโตมาส์ก แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 ภาพถ่ายแผ่นโฟโตมาส์กโลหะโครเมียมที่พร้อมนำไปใช้งาน



รูปที่ 3.8 ลวดลายทดสอบบนโฟโตมาส์กโลหะโครเมียมที่สร้างเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ฟิล์มบางและเครื่องมือทดสอบ

การสร้างอุปกรณ์ภายในศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ไดโอด ทรานซิสเตอร์ วงจรรวม เป็นต้น ต้องผ่านการเปิดชั้นฟิล์มบาง ซึ่งชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียมเป็นชั้นฟิล์มบางที่นิยมนำมาใช้ในการสร้างลวดลายของอุปกรณ์ ดังนั้น ถ้าสามารถสร้างลวดลายขนาดเล็กบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียมได้ ถือได้ว่า สามารถพัฒนาการสร้างอุปกรณ์ภายในศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ได้ระดับหนึ่ง ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน บนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียม ในบทนี้ จะกล่าวถึง ทฤษฎีเกี่ยวกับชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียม และในตอนท้ายจะกล่าวถึงเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบฟิล์มบาง

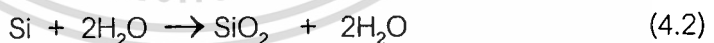
4.1 ซิลิคอนไดออกไซด์

ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide (SiO_2)) จะเป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน ลักษณะโปร่งแสง ใช้เป็นสารเคลือบผิวหน้าของสิ่งประดิษฐ์ต่างๆได้เป็นอย่างดี ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์สามารถสร้างได้ด้วยกระบวนการออกซิเดชันด้วยความร้อน (Thermal oxidation) โดยการทิ้งให้แผ่นเวเฟอร์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแห้งหรือไอน้ำ ในบรรยากาศซึ่งมีอุณหภูมิสูง โดยมีสมการเคมีแสดงได้ดังนี้

Dry Oxidation



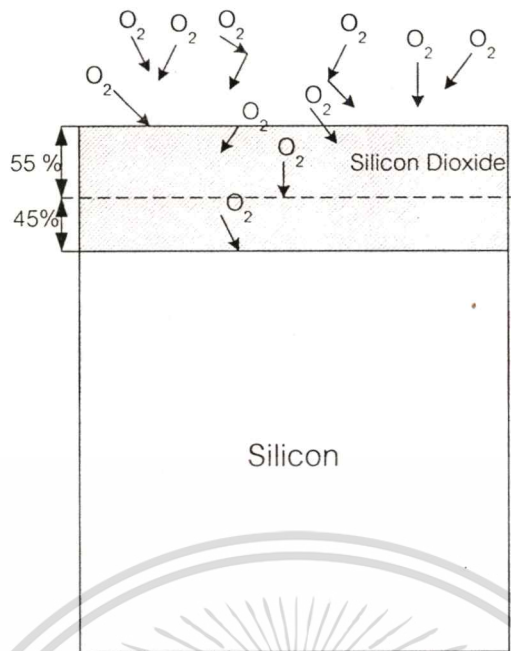
Wet Oxidation



สำหรับกลไกการเกิดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ เนื่องจากปฏิกิริยาดังกล่าว เกิดจากก๊าซออกซิเจน แพร่ผ่านชั้นออกไซด์ที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้ เข้าไปจนถึงผิวหน้าสัมผัสระหว่างซิลิคอนและซิลิคอนไดออกไซด์ เพื่อทำปฏิกิริยาเคมี ดังรูป 4.1 ซึ่งการเกิดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์จะปกคลุมทั้งด้านหน้าและด้านหลัง

ที่อุณหภูมิสูงๆ พลังงานความร้อนทำให้โมเลกุลของออกซิเจนเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็วและทำให้คุณภาพของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ดีกว่าการปลูกชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิต่ำ ปกติจะทำการออกซิเดชันที่อุณหภูมิ 1000°C

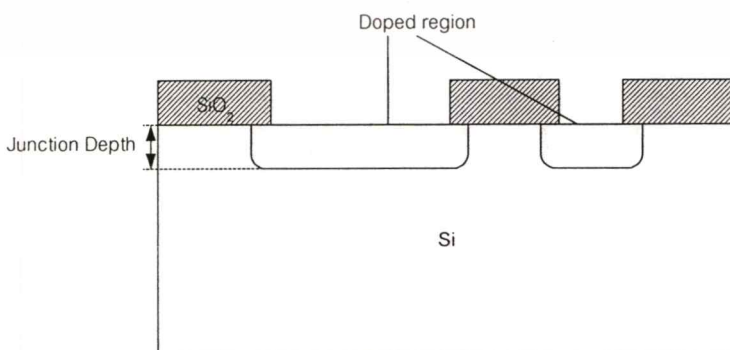
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กระบวนการออกซิเดชันเพื่อสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

4.1.1 ประโยชน์ของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

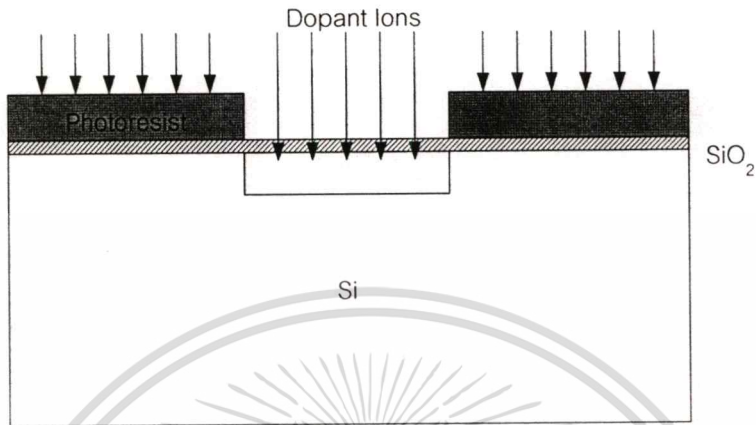
ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตวงจรรวม โดยชั้นซิลิคอนไดออกไซด์มีหน้าที่อยู่มากมาย หนึ่งในนั้น คือ การเป็นหน้ากักป้องกันการแพร่สารเจือ (Diffusion Mask) ซึ่งสารที่ใช้ในการแพร่สารเจือ คือ โบรอน และ ฟอสฟอรัส ที่มีอัตราการแพร่ในชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ต่ำกว่าในผลึกซิลิคอน เพราะฉะนั้นบริเวณที่ได้ทำการออกแบบไว้เพื่อแพร่สารเจือจะทำการเปิดช่องของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์สำหรับแพร่สารเจือลงในแผ่นซิลิคอน สำหรับส่วนที่มีชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ปกคลุมอยู่สารเจือจะไม่สามารถแพร่เข้าไปได้ ดังรูปที่ 4.2 ความหนาของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ที่ใช้สำหรับป้องกันการแพร่สารเจือ จะมีความหนาประมาณ 5000 Å



รูปที่ 4.2 ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ที่ทำหน้าที่เป็นชั้นป้องกันการแพร่สารเจือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

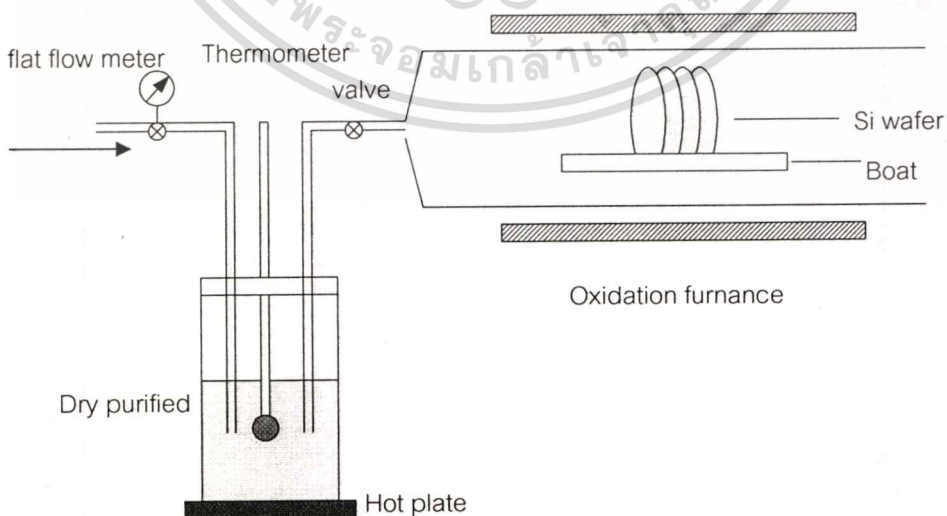
สำหรับกระบวนการฝังประจุแบบไอออน ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์จะช่วยในการป้องกันสิ่งแปลกปลอมและยังช่วยควบคุมทิศทางเพื่อลดการแตกกระเจิงของประจุก่อนเข้าสู่แผ่นซิลิคอน ดังรูปที่ 4.3 ความหนาของออกไซด์ที่ใช้สำหรับกระบวนการนี้ ประมาณ 100 ถึง 500 Å



รูปที่ 4.3 ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ที่ใช้งานกับการฝังประจุแบบไอออน

ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์มีคุณสมบัติเป็นฉนวน ซึ่งหมายความว่า โดยทั่วไปแล้วชั้นซิลิคอนไดออกไซด์จะมีสถานะที่ไม่นำไฟฟ้า ซึ่งสิ่งนี้จึงเป็นหน้าที่สำคัญของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ในการนำไปใช้สร้างอุปกรณ์ ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์จะป้องกันการลัดวงจรของชั้นโลหะเมื่อทำการต่อขาของอุปกรณ์และใช้เป็นเกตออกไซด์ของมอสทรานซิสเตอร์ด้วย

4.1.2 การออกซิเดชันแบบชื้น



รูปที่ 4.4 อุปกรณ์ระบบไอน้ำของกระบวนการออกซิเดชันแบบชื้น

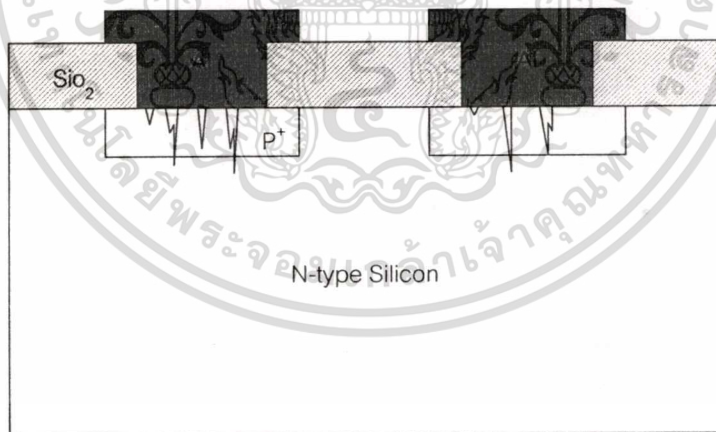
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกซิเดชันแบบชื้น (Wet Oxidation) เป็นปฏิกิริยาระหว่างอะตอมของซิลิคอน กับ อะตอมของออกซิเจนในไอน้ำ โดยจะทำการปล่อยก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์เข้าไปในขวดแก้ว (Bubbler) ซึ่งบรรจุน้ำบริสุทธิ์ไว้ น้ำในขวดแก้วจะถูกทำให้ร้อนมีค่าต่ำกว่าจุดเดือดราว 90-95 °C ท่อก๊าซออกซิเจนจะถูกจุ่มลงในก๊าซบริสุทธิ์ซึ่งร้อน ทำให้เกิดฟองอากาศที่ผุดขึ้นมา คือ ก๊าซออกซิเจนอิ่มตัว และถูกทำให้ไหลผ่านเข้าไปในท่อควอทซ์ ระยะห่างของทางออกของก๊าซในขวดแก้วและท่อควอทซ์ไม่ควรอยู่ใกล้ เพราะการกลั่นตัวของไอน้ำจะเป็นหยดน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

4.2 อลูมิเนียม

ปัจจุบันเทคโนโลยีของการผลิตวงจรรวม (IC) ได้ถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็วและเทคโนโลยีการสร้างฟิล์มโลหะเป็นส่วนหนึ่งของเทคโนโลยีของการผลิตวงจรรวม โดยที่ฟิล์มโลหะจะใช้ทำขั้วโลหะต่อกับสารกึ่งตัวนำ ซึ่งโลหะอลูมิเนียม (Aluminium) เป็นโลหะตัวหลักและใช้เป็นรอยต่อระหว่างชั้น p^+ และ n^+ ทำให้เกิดรอยต่อโอห์มิก (Ohmic Contact)

ซิลิคอนสามารถละลายได้ในอลูมิเนียม ในบริเวณซึ่งมีอลูมิเนียมเชื่อมต่อโดยตรงกับซิลิคอน ทำให้ซิลิคอนละลายทำให้เกิดที่ว่าง และ อลูมิเนียมจะเคลื่อนที่เข้าไปในที่ว่างนั้น เรียกว่า อลูมิเนียม สไปร์ค (Aluminium spikes) [18] ดังรูปที่ 4.5 มักจะเกิดขึ้นเมื่อให้อุณหภูมิสูงๆ เช่น การแอนนัล ผลของการเกิดอลูมิเนียม สไปร์ค ทำให้เกิดการลัดวงจรและทำให้อุปกรณ์เสียหาย



รูปที่ 4.5 การเกิดอลูมิเนียม สไปร์ค

ซิลิคอน 2% ที่ผสมกับอลูมิเนียม มีประสิทธิภาพในการป้องกันซิลิคอนจากการละลายไปที่อลูมิเนียมที่เป็นสาเหตุของอลูมิเนียม สไปร์ค [19]

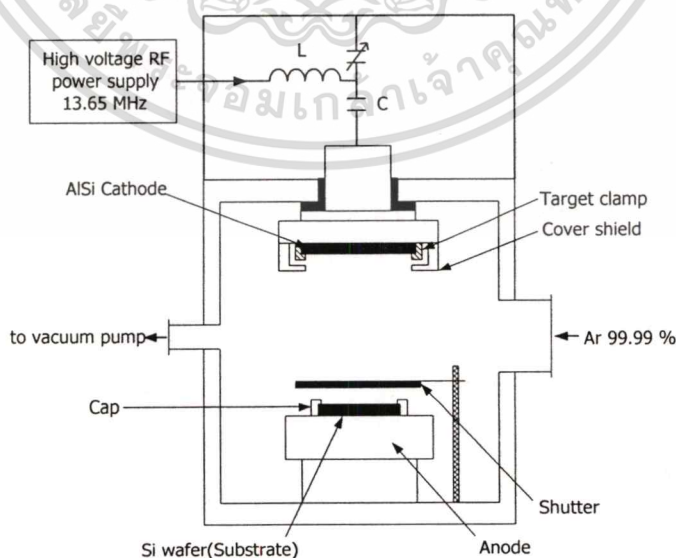
เทคโนโลยีโลหะที่ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ มีวิธีการสร้างฟิล์มอลูมิเนียมอยู่ 2 แบบ คือ การระเหยในสุญญากาศ (evaporation) และ การสปัตเตอร์ (sputtering) ซึ่งวิธีการหลังนี้สามารถควบคุมความหนาและมีความสม่ำเสมอของฟิล์มอลูมิเนียมดีกว่าวิธีการแรกและมีซิลิคอนเป็นส่วนผสม 2% (Al-Si (2wt%)) โดยน้ำหนัก เพื่อป้องกันอลูมิเนียม สไปร์ค ที่มักเกิดกับการสร้างฟิล์มอลูมิเนียมแบบระเหยในสุญญากาศ

4.2.1 การสร้างฟิล์มอลูมิเนียมแบบระเหยในสุญญากาศ

อลูมิเนียมมีจุดหลอมเหลวที่ (660°C) ในระหว่างกระบวนการ ระบบจะต้องดูดอากาศที่ความดันสูง เพื่อกำจัดออกซิเจนและความชื้น ซึ่งจะมีผลต่ออลูมิเนียมในรูปแบบความต้านทานสูงของอลูมิเนียมออกไซด์และมีผลต่อการเพิ่มค่าความต้านทานแผ่นของฟิล์ม ในการให้กระแสผ่านการให้ความร้อนกับอลูมิเนียม อลูมิเนียมจะเริ่มกลายเป็นไอในภาชนะ เมื่อไอของอลูมิเนียมมาปะทะกับผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ จะยึดติดกับผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์จนเกิดเป็นฟิล์มบาง

4.2.2 การสร้างฟิล์มอลูมิเนียมด้วยการสปัตเตอร์

ในงานวิจัยนี้ ใช้เครื่องสปัตเตอร์แบบอาร์เอฟไดโอด โดยระบบการสปัตเตอร์แบบอาร์เอฟไดโอด (RF Diode Sputtering System) ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแรงดันสูง ซึ่งมีความถี่อยู่ในย่านความถี่วิทยุ (13.65 MHz), แหล่งจ่ายแก๊ส, ห้องสปัตเตอร์ (sputtering chamber), และปั๊มสุญญากาศ (rotary and diffusion pump) ภายในห้องสปัตเตอร์ประกอบด้วย ขั้วคาโทด (cathode) ขั้วแอโนด (anode) และชัตเตอร์ (shutter) โดยแผ่นอลูมิเนียมซิลิคอน (Al-Si 2wt%) เป็นเป้าถูกติดไว้กับขั้วคาโทด ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ระบบการสปัตเตอร์แบบ อาร์เอฟไดโอด

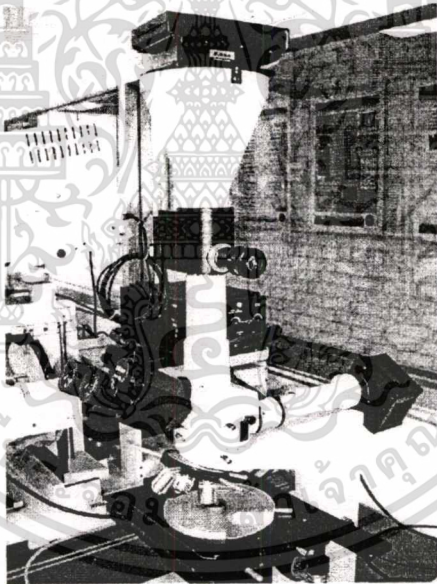
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสเปกตรัมเกิดจากการป้อนกำลัง RF ผ่านวงจรมหาซึ่งเข้าสู่ห้องสเปกตรัมที่อยู่ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอน (Ar) ทำให้แก๊สแตกตัวเป็นไอออน เกิดเป็นพลาสมาขึ้นมาในบริเวณระหว่างขั้วคาโทดและขั้วแอโนด เนื่องจากขั้วแอโนดตั้งอยู่ใกล้กับผนังห้องสเปกตรัม ทำให้พื้นที่ของขั้วแอโนดมากกว่าขั้วคาโทด จึงเกิดการเหนี่ยวนำขั้วคาโทดให้มีศักย์เป็นลบ และดึงดูดไอออนบวกในพลาสมาให้พุ่งเข้าชน แผ่น Al-Si ที่ขั้วคาโทด ทำให้อะตอมของ Al-Si กระเด็นออกมาและไปสะสมบนผิวฐานรองแผ่นซิลิคอนซึ่งวางอยู่ที่ขั้วแอโนด เกิดเป็นฟิล์มโลหะ Al-Si

4.3 เครื่องมือสำหรับทดสอบ

4.3.1 กล้องจุลทรรศน์

ใช้สำหรับตรวจสอบดูความสมบูรณ์และความคมชัดของลวดลายที่ได้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ (microscope) ที่มีกำลังขยายสูงตรวจสอบดูหลังจากผ่านขั้นตอนการขึ้นลวดลาย, การกัด และ การลอกฟิล์มน้ำยาไวแสง (resist strip) ซึ่งกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ตรวจสอบ แสดงดังรูปที่ 4.7

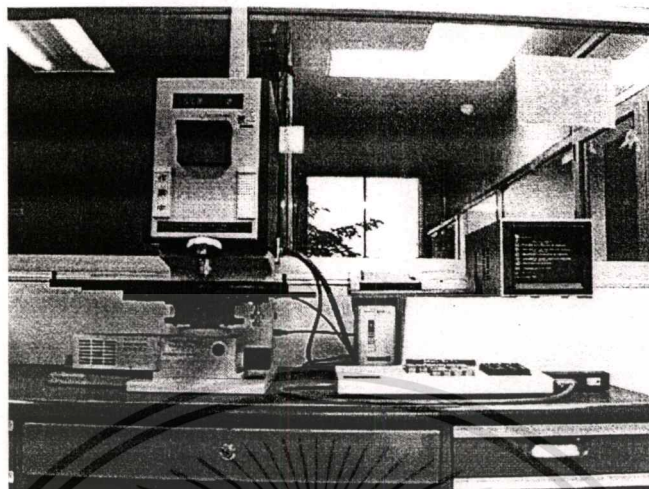


รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์

4.3.2 เครื่องวัดความหนาของฟิล์ม

ในกระบวนการสร้างวงจรรวมนั้น ในบางขั้นตอนจะมีการวัดความหนาของชั้นฟิล์มบางชนิดต่างๆ เช่น ความหนาของชั้นออกไซด์ ความหนาของชั้นน้ำยาไวแสง เป็นต้น เพื่อตรวจสอบว่า ได้ความหนาตามที่ต้องการหรือไม่ การวัดที่แม่นยำจะต้องรู้ค่าของ คุณสมบัติของการหักเหของแสงของวัสดุ (Index of refractive), ค่าความหนาของฟิล์ม เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ วัดความหนาของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีลิคอนไดออกไซด์และน้ำยาไวแสง ด้วยเครื่องวัดความหนาของฟิล์มบาง (Automatic Thin Film Measurement) รุ่น TFM-120 แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายของเครื่องวัดความหนาของฟิล์มรุ่น TFM-120

4.3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope) หรือ SEM เป็นเครื่องมือวิเคราะห์พื้นผิวและศึกษาโครงสร้างของวัสดุ มีจุดเด่นอยู่ 2 ประการ คือ สามารถให้รูปที่มีความชัดลึกสูง (high depth of field) และสามารถให้กำลังแยกแยะเชิงระยะสูง (high - special resolution) สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดเพื่อตรวจสอบภาคตัดขวางของลวดลาย เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด ของศูนย์เครื่องมือคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

เนื่องจากการสร้างวงจรรวมในประเทศไทยมีความล่าช้าเมื่อเทียบกับต่างประเทศ แต่ในปัจจุบันนี้มีหลายหน่วยงานที่กำลังให้ความสนใจในเรื่องนี้ จึงมีแนวโน้มที่จะพัฒนาให้ก้าวหน้ามากยิ่งขึ้น ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนางจรรวม คือ การลดขนาดของลวดลายวงจรรวม เพราะมีผลต่อปริมาณและต้นทุนในการผลิต รวมถึงประสิทธิภาพในการทำงานของอุปกรณ์

สำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้ จะมุ่งเน้นการสร้างลวดลายที่มีขนาด 5 ไมครอน บนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียม เพราะอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นที่ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์จะต้องมีการสร้างลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียมแทบทั้งสิ้น โดยงานวิจัยนี้นำแผ่นซิลิคอนขนาด 2 นิ้ว มาใช้ในการทดลอง เนื่องจากขีดความสามารถของเครื่องมือในห้องปฏิบัติการบางส่วนสามารถใช้กับแผ่นซิลิคอนที่มีขนาดไม่เกิน 2 นิ้ว การทดลองในงานวิจัยนี้จะเริ่มจากการหาปัจจัยต่างๆของน้ำยาไวแสงไปจนถึงการกัดชั้นฟิล์มบาง เพื่อหากระบวนการมาตรฐาน

5.1 การเลือกน้ำยาไวแสงมาใช้ในการทดลอง

น้ำยาไวแสง มีความสำคัญในการสร้างลวดลาย เพราะเป็นสิ่งที่ใช้กำหนดลวดลายบนแผ่นเวเฟอร์ ดังนั้นการเลือกน้ำยาไวแสงมาใช้งานจึงมีความสำคัญ น้ำยาไวแสงมีอยู่ 2 ชนิด คือ น้ำยาไวแสงชนิดบวก และ น้ำยาไวแสงชนิดลบ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการสร้างลวดลายที่มีขนาด 5 ไมครอน ซึ่งกระบวนการมาตรฐานที่ได้จะนำไปพัฒนากระบวนการสร้างวงจรรวมของห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้น น้ำยาไวแสงที่เหมาะสมจะต้องสามารถสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอนหรือเล็กกว่านั้นได้ และมีความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงเหมาะสมที่จะไม่ทำให้เกิดความเสียหายของลวดลายและอุปกรณ์ในระหว่างการสร้างลวดลาย

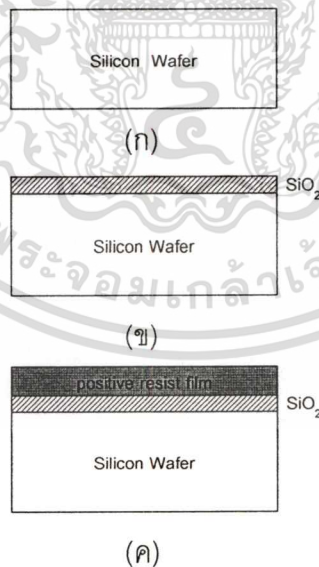
ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์มีการใช้งาน ทั้งน้ำยาไวแสงชนิดบวกและชนิดลบ แต่โฟโตมาสก์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ออกแบบให้เหมาะสมกับน้ำยาไวแสงชนิดบวกเท่านั้น ดังนั้นจะไม่ทำการพิจารณาน้ำยาไวแสงชนิดลบ ส่วนน้ำยาไวแสงชนิดบวกที่มีใช้อยู่ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์แต่เดิมมีเพียงน้ำยาไวแสง เบอร์ AZ 1350 เท่านั้น แต่ในปี พ.ศ. 2545 ทางศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ได้มีโครงการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนากระบวนการสร้างวงจรรวมแบบซีมอสระดับ 5 ไมครอน จึงนำน้ำยาไวแสงชนิดบวก เบอร์ AZ 6112 และ S 1818 มาใช้ในห้องปฏิบัติการเป็นครั้งแรก จากข้อมูลของน้ำยาไวแสงทั้ง 3 เบอร์ * สรุปได้ดังนี้

* ดูรายละเอียดน้ำยาไวแสง ในภาคผนวก ก

- น้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 1350 มีค่าความหนืด 4.8 cSt สามารถเคลือบน้ำยาไวแสงได้ ความหนาไม่เกิน 7000 Å และสร้างลวดลายได้เล็กที่สุด 4.5 ไมครอน
- น้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 มีค่าความหนืด 13.3 cSt สามารถเคลือบน้ำยาไวแสงความ หนามากกว่า 10000 Å และสร้างลวดลายได้เล็กที่สุด 0.8 ไมครอน
- น้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818 มีค่าความหนืด 22.3 cSt สามารถเคลือบน้ำยาไวแสงความ หนามากกว่า 15000 Å และสร้างลวดลายได้เล็กกว่า 0.5 ไมครอน

โดยทั่วไปการสร้างลวดลายวงจรรวมจะใช้ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงไม่น้อยกว่า 10000 Å และโฟโตมาสก์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีลวดลายทดสอบตั้งแต่ 1 ไมครอน – 10 ไมครอน ดังนั้น การเลือกน้ำยาไวแสงมาใช้ในงานวิจัยนี้คุณสมบัติของน้ำยาไวแสงต้องสัมพันธ์กับเหตุผลข้างต้น เมื่อพิจารณาข้อมูลของน้ำยาไวแสง พบว่า น้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 1350 ความหนาของน้ำยาไวแสงและขีดจำกัดในการสร้างลวดลายไม่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้ จึงเลือกน้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 และ S 1818 มาใช้ในการทดลอง แต่น้ำยาไวแสงทั้งสองเป็นน้ำยาไวแสงเบอร์ใหม่ ยังไม่ถูกใช้งานในห้องปฏิบัติการ จึงยังไม่มีข้อมูลการใช้งานที่เหมาะสมกับห้องปฏิบัติการ ดังนั้น จึงต้องหาตัวแปรต่างๆ ของน้ำยาไวแสง ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

5.2 ศึกษาปัจจัยที่สำคัญในการเคลือบน้ำยาไวแสง



รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบ โดยการสร้างชั้นต่างๆ ลงบนผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์

- (ก) แผ่นซิลิคอนเปล่า
- (ข) แผ่นซิลิคอนหลังผ่านการสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์
- (ค) แผ่นซิลิคอนหลังทำการเคลือบน้ำยาไวแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิจารณาชนิดของน้ำยาไวแสง คุณภาพที่ดีและความหนาที่เหมาะสมเป็นสิ่งที่สำคัญ ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาปัจจัยหรือตัวแปรที่สำคัญในการเคลือบน้ำยาไวแสง [20]

งานวิจัยนี้ได้เลือกน้ำยาไวแสงชนิดบวกเบอร์ AZ 6112 และ S 1818 ซึ่งไม่เคยนำมาใช้ใน ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ ดังที่ได้กล่าวในเบื้องต้น การเตรียมชิ้นงานจะเริ่มจากการเคลือบน้ำยาไวแสง AZ 6112 และ S 1818 บนแผ่นซิลิคอนขนาด 2 นิ้ว ที่สร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ด้วยกระบวนการออกซิเดชันแบบชื้น (wet oxidation) ดังรูปที่ 5.1

จากนั้นทำการวัดความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงที่เคลือบบนแผ่นซิลิคอน โดยทำการวัดความหนาที่ตำแหน่งต่าง ๆ กันทั้งหมด 9 จุด ด้วยเครื่องวัดความหนาฟิล์มบาง รุ่น TFM-120 (Thin-Film Measurement) ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ตำแหน่งทั้ง 9 จุดบนแผ่นซิลิคอน ที่ใช้วัดความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงด้วยเครื่องวัดความหนา TFM-120

นำค่าที่วัดได้หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง เพื่อดูความสม่ำเสมอของฟิล์มน้ำยาไวแสงโดยใช้สมการ (5.1) – (5.3)

การหาค่าเฉลี่ยของฟิล์มน้ำยาไวแสง

$$T_{av} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_N}{N} \quad (5.1)$$

การหาค่าเปอร์เซ็นต์เบี่ยงเบนความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสง

$$\sigma = \sqrt{\frac{(T_1 - T_{av})^2 + (T_2 - T_{av})^2 + (T_3 - T_{av})^2 + \dots + (T_N - T_{av})^2}{N - 1}} \quad (5.2)$$

และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\% Dev = \frac{\sigma}{T_{av}} \times 100 \quad (5.3)$$

โดยที่

- T_{av} : ความหนาเฉลี่ยของน้ำยาไวแสง (Å)
 $T_1 \dots T_N$: ความหนาของฟิล์มตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ N (Å)
 σ : ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)
 Dev : ค่าเปอร์เซ็นต์เบี่ยงเบนความหนาของน้ำยาไวแสง (%)
 N : จำนวนจุดที่ทำการวัด

5.2.1 ศึกษาผลของเวลาในการเคลือบน้ำยาไวแสงของสปินเนอร์

การเคลือบน้ำยาไวแสงด้วยเงื่อนไขที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ฟิล์มน้ำยาไวแสงบนผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์มีความไม่สม่ำเสมอ มีผลต่อการสร้างลวดลายบนแผ่นเวเฟอร์ [21-22] โดยเฉพาะขั้นตอนการฉายแสงและขึ้นลวดลายในบริเวณที่น้ำยาไวแสงหนากว่าบริเวณอื่นจะต้องใช้เวลามากกว่าปกติ ดังนั้นลวดลายที่ได้บนแผ่นเวเฟอร์ที่เคลือบน้ำยาไวแสงไม่สม่ำเสมอ ความคมชัดของลวดลายจะแตกต่างกันด้วย ดังรูป 5.3 ในการทดลองนี้จะทำการศึกษาผลของเวลาในการเคลือบน้ำยาไวแสง เพื่อวิเคราะห์หาเวลาที่เหมาะสมและความหนาสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น



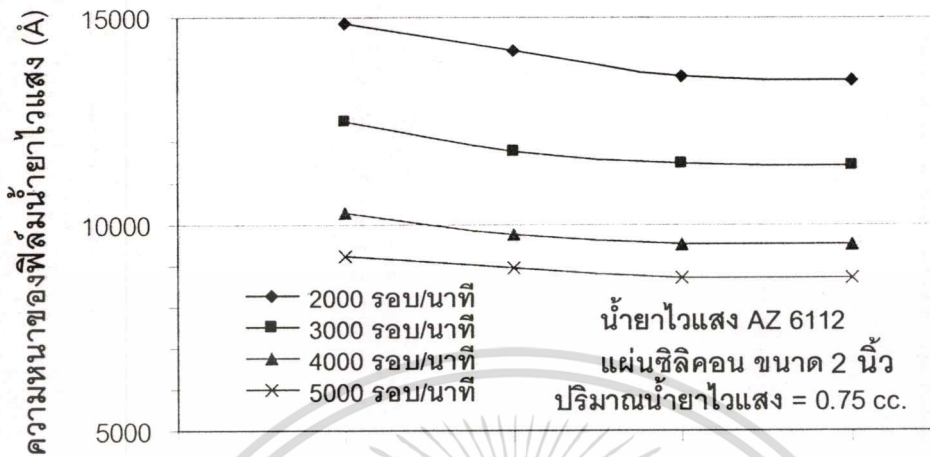
รูปที่ 5.3 แผ่นเวเฟอร์ที่เคลือบฟิล์มน้ำยาไวแสงไม่สม่ำเสมอ

- (ก) ฟิล์มน้ำยาไวแสงที่บริเวณขอบหนากว่าบริเวณอื่น เนื่องจากใช้เวลาในการสปินเนอร์ต่ำ
 (ข) หลังจากการขึ้นลวดลาย ฟิล์มน้ำยาไวแสงที่หนามากเกินไปบริเวณขอบจะยังเหลืออยู่

ทำการทดลองโดยเคลือบน้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 และ S 1818 ด้วยเครื่องสปินเนอร์ โดยหยดน้ำยาไวแสงปริมาณ 0.75 ลูกบาศก์เซนติเมตร บนแผ่นเวเฟอร์ขนาด 2 นิ้ว เปลี่ยนแปลงค่าเวลาในการสปินเนอร์ คือ 20, 30, 40 และ 50 วินาที ที่ความเร็วรอบที่สอง 2000, 3000, 4000

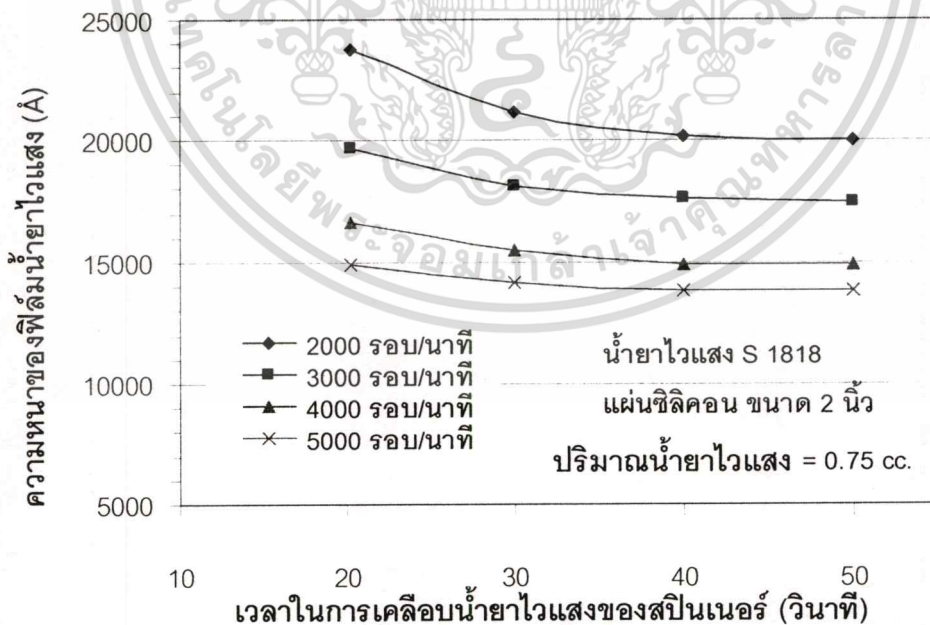
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 5000 รอบ/นาที จากนั้นแผ่นที่ทดลองตามเงื่อนไขจะถูกนำไปวัดความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงหลังอบครั้งที่สองและหาค่าเฉลี่ยของความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสงจากสมการ (5.1)



เวลาในการเคลือบน้ำยาไวแสงของสปินเนอร์ (วินาที)

รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง AZ 6112 กับ เวลาในการเคลือบน้ำยาไวแสงของสปินเนอร์ ที่ความเร็วรอบแตกต่างกัน



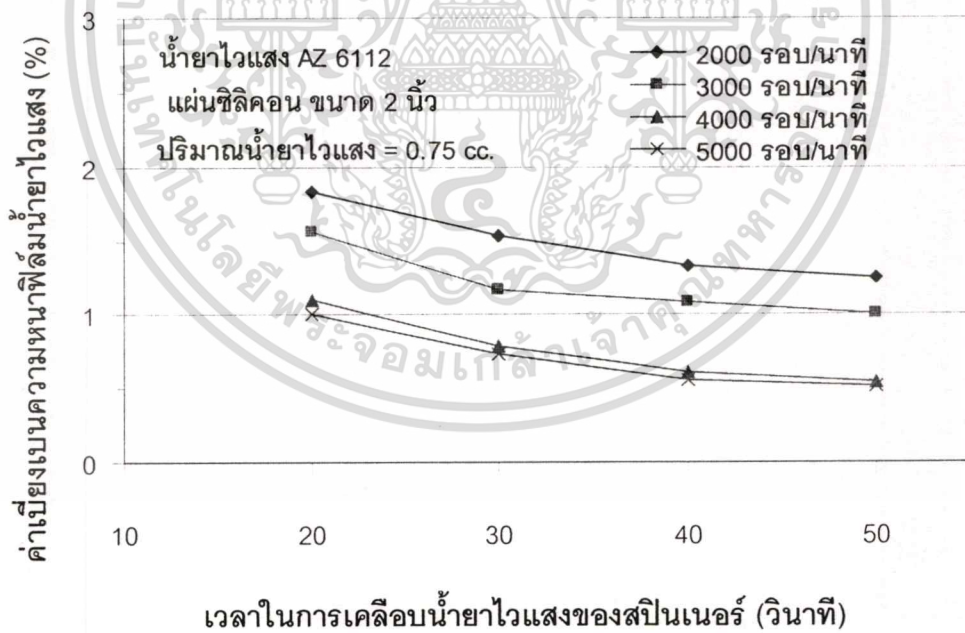
รูปที่ 5.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง S 1818 กับ เวลาในการเคลือบน้ำยาไวแสงของสปินเนอร์ ที่ความเร็วรอบแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

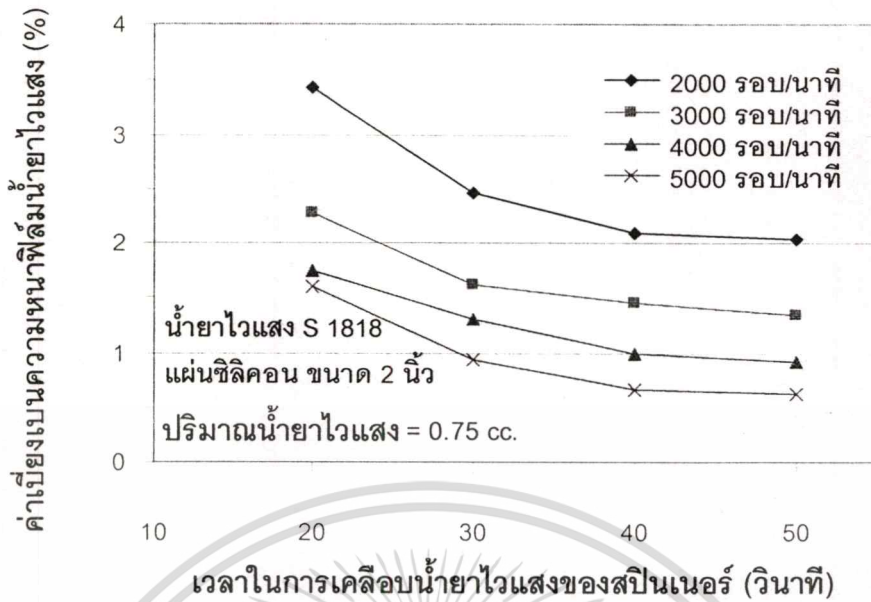
ผลการทดลองจากกราฟรูปที่ 5.4 พบว่าเมื่อเวลาในการเคลือบน้ำยาไวแสงเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงลดลง ผลของน้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 ที่ความเร็วรอบ 2000-5000 รอบ/นาที พบว่า เวลาเคลือบน้ำยาไวแสงของสปินเนอร์ที่เวลา 40 วินาที ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงเริ่มคงที่ ยกตัวอย่าง เช่น ผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 4000 รอบ/นาที ที่เวลา 35 วินาที ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงเริ่มคงที่ และมีค่าความหนาคงที่เวลา 40 วินาที ขึ้นไป

ผลการทดลองจากกราฟรูปที่ 5.5 ของน้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818 มีผลคล้ายกับน้ำยาไวแสง เบอร์ AZ 6112 คือ เมื่อเวลาในการเคลือบน้ำยาไวแสงเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงลดลง โดยที่เวลา 40 วินาที ขึ้นไป ของแต่ละความเร็วรอบมีค่าความหนาน้ำยาไวแสงคงที่ ยกตัวอย่าง เช่น ผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 4000 รอบ/นาที ที่เวลา 40 วินาที ขึ้นไป ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงมีค่าคงที่

ต่อไปจะพิจารณาค่าเบี่ยงเบนความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสง เพื่อพิจารณาความสม่ำเสมอของฟิล์มน้ำยาไวแสง โดยนำข้อมูลจากการวัดความหนาน้ำยาไวแสงทั้ง 9 จุด และหาค่าเฉลี่ยจากสมการ (5.1) มาหาค่าเบี่ยงเบนความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสงด้วยสมการ (5.3)



รูปที่ 5.6 กราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง เบอร์ AZ 6112 กับเวลาการเคลือบน้ำยาไวแสงของสปินเนอร์ ที่ความเร็วรอบต่างๆ



รูปที่ 5.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเบี่ยงเบนความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง เบอร์ S 1818 กับ เวลาในการเคลือบน้ำยาไวแสงของสปินเนอร์ ที่ความเร็วรอบต่างๆ

ผลการทดลองจากกราฟรูปที่ 5.6 และ 5.7 พบว่า เมื่อเวลาเคลือบน้ำยาไวแสงเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าเบี่ยงเบนความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสงลดลง แสดงว่า การเพิ่มเวลาในการสปินเนอร์จะทำให้ฟิล์มน้ำยาไวแสงที่เคลือบอยู่บนแผ่นเวเฟอร์มีความสม่ำเสมอมากขึ้น ซึ่งจากกราฟผลการทดลองของน้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 และ S 1818 ในแต่ละความเร็วรอบที่เวลา 20 – 50 วินาที ค่าเบี่ยงเบนความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสงมีค่าเริ่มคงที่เมื่อเคลือบน้ำยาไวแสงที่เวลา 40 วินาที ขึ้นไป

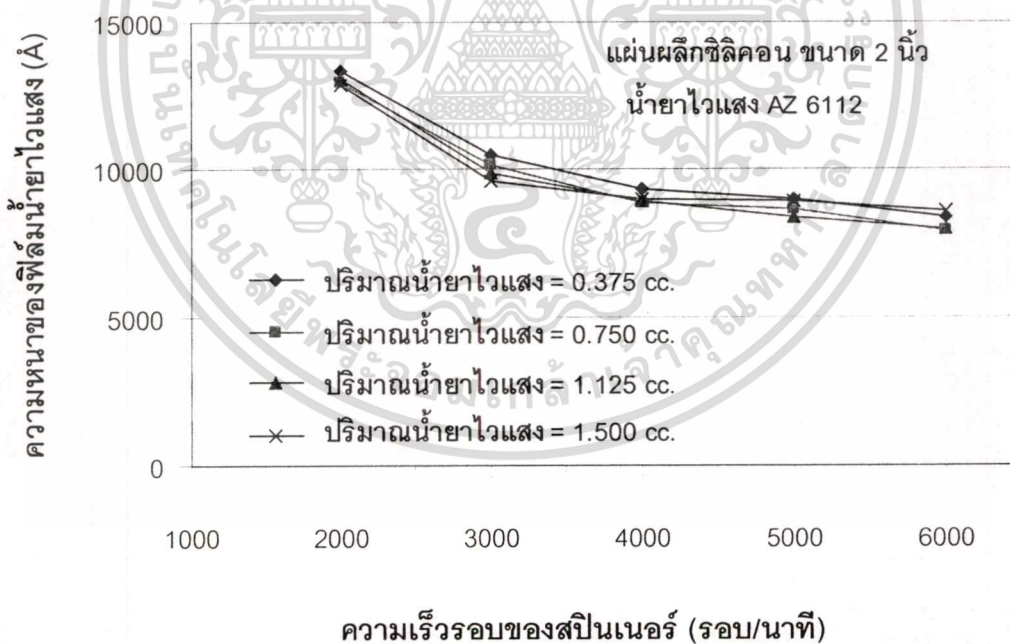
5.2.1.1 การเลือกเวลาในการเคลือบฟิล์มน้ำยาไวแสงของสปินเนอร์

โดยทั่วไปส่วนผสมในน้ำยาไวแสงจะมีสารละลายบางอย่างที่สามารถระเหยได้ในชั้นบรรยากาศ เช่น ทินเนอร์ [11] ถ้าใช้เวลาในการเคลือบน้ำยาไวแสงนานเกินไปอาจทำให้สารละลายระเหยจนฟิล์มน้ำยาไวแสงแข็งตัว มีผลกระทบต่อกระบวนการขึ้นลวดลาย ดังนั้น จึงต้องเลือกเวลาเคลือบน้ำยาไวแสงที่เร็วที่สุดแต่ต้องคำนึงถึงความสม่ำเสมอด้วย จากผลการทดลองในรูปที่ 5.4 – 5.7 พบว่า ช่วงเวลาที่ 25 – 35 วินาที ค่าความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงและค่าเบี่ยงเบนความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสงไม่คงที่ จนถึงเวลา 40 วินาที จึงเริ่มคงที่ ดังนั้น การเลือกเวลาในการเคลือบน้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 และ S 1818 ด้วยสปินเนอร์ จึงเลือกเวลา 40 วินาที เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่เร็วที่สุดที่ทำให้ค่าความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสงคงที่และทำให้ฟิล์มน้ำยาไวแสงที่เคลือบอยู่บนแผ่นเวเฟอร์มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น

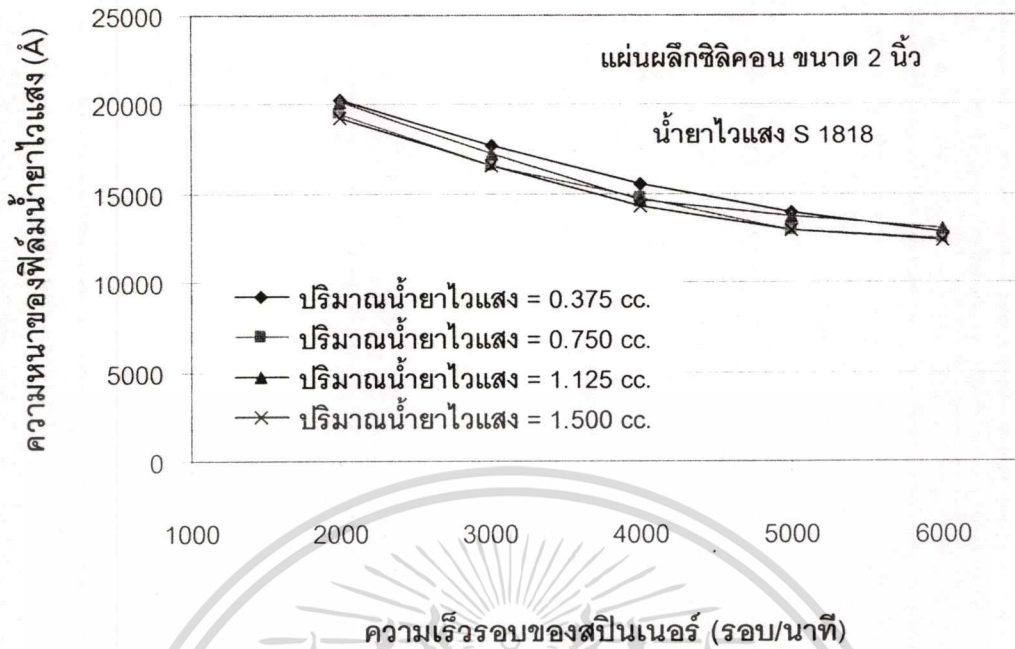
5.2.2 ศึกษาผลของความเร็วรอบของสปินเนอร์และปริมาณน้ำยาไวแสง

โดยทั่วไปการเคลือบน้ำยาไวแสงด้วยสปินเนอร์จะมีการหมุนของสปินเนอร์สองครั้ง ครั้งแรกจะเป็นการหมุนด้วยความเร็วรอบต่ำประมาณ 500 รอบ/นาที ที่เวลา 5 วินาที [1],[5] มีจุดประสงค์ให้น้ำยาไวแสงกระจายทั่วทั้งแผ่น ส่วนการหมุนครั้งที่สองเป็นหัวใจสำคัญของการเคลือบฟิล์มน้ำยาไวแสง เนื่องจากความหนาและความสม่ำเสมอของฟิล์มน้ำยาไวแสงจะขึ้นอยู่กับ การเลือกความเร็วรอบครั้งที่สอง ดังนั้น การทดลองนี้จะศึกษาความเร็วรอบของสปินเนอร์ครั้งที่สองและปริมาณของน้ำยาไวแสง เพื่อให้ได้ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงที่เหมาะสมกับการใช้งาน และมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น

การทดลองเริ่มจากปริมาณน้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 และ S 1818 ที่ใช้หยดบนแผ่นซิลิคอนขนาด 2 นิ้ว จะใช้ปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 0.375, 0.750, 1.125 และ 1.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร เปลี่ยนแปลงความเร็วรอบที่สองของสปินเนอร์ในการเคลือบน้ำยาไวแสงให้มีค่า 2000, 3000, 4000, 5000 และ 6000 รอบ/นาที ตามลำดับ ใช้เวลาเคลือบน้ำยาไวแสงที่เวลา 40 วินาที จากนั้นแผ่นที่ทดลองตามเงื่อนไขเหล่านี้จะถูกนำไปวัดความหนาหลังอบให้ความร้อนครั้งที่สอง และหาค่าเฉลี่ยของความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสงจากสมการ (5.1)



รูปที่ 5.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง AZ 6112 กับความเร็วรอบของสปินเนอร์ ที่ปริมาณน้ำยาไวแสงที่แตกต่างกัน

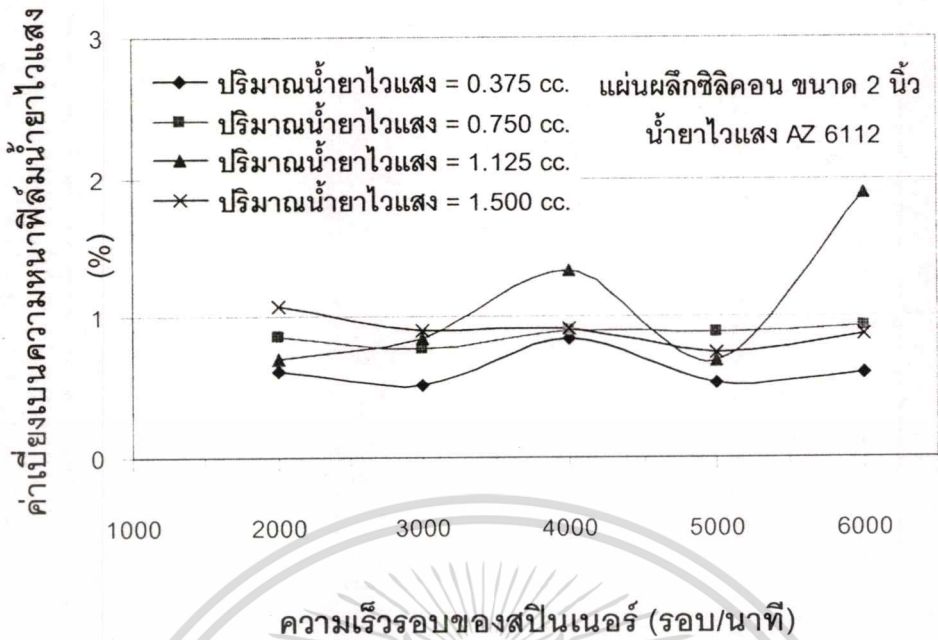


รูปที่ 5.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง S 1818 กับความเร็วรอบของสปินเนอร์ ที่ปริมาณน้ำยาไวแสงต่างๆ

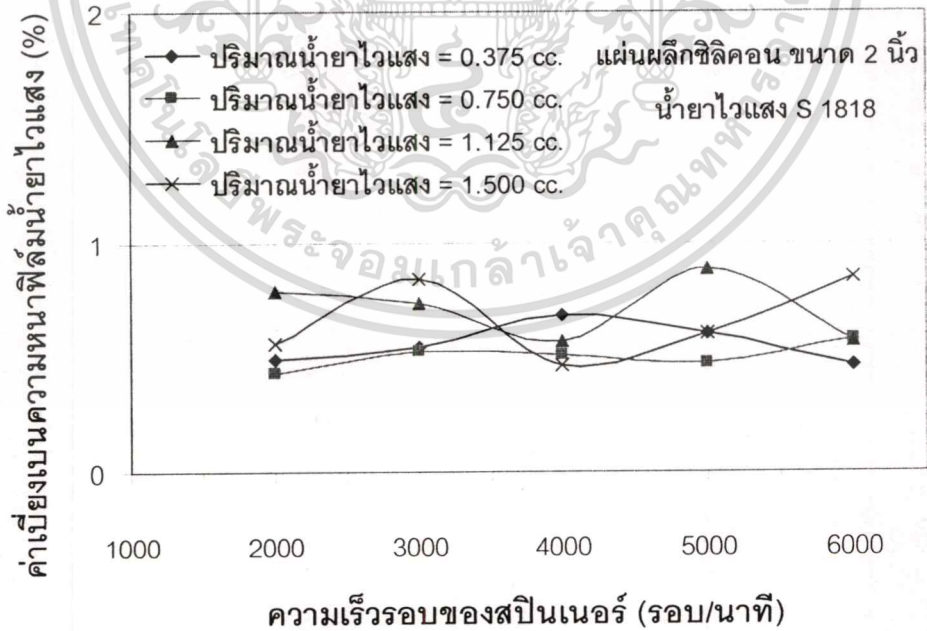
จากผลการทดลองในรูปที่ 5.8 เมื่อทำการเคลือบฟิล์มน้ำยาไวแสงด้วยความเร็วรอบของสปินเนอร์มีค่าสูงขึ้นจะมีผลทำให้ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงมีค่าลดลง แบบไม่เชิงเส้น น้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 ที่ความเร็วรอบ 6000 – 2000 รอบ/นาที ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงอยู่ในช่วงประมาณ 8000 – 14000 Å หรือ 0.8 – 1.4 ไมครอน ส่วนรูปที่ 5.9 ฟิล์มน้ำยาไวแสง เบอร์ S 1818 ที่ความเร็วรอบ 6000 – 2000 รอบ/นาที ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงอยู่ในช่วงประมาณ 12000 – 20000 Å หรือ 1.2 – 2.0 ไมครอน

เมื่อพิจารณาความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงจากปริมาณของน้ำยาไวแสงที่ใช้ในการทดลอง พบว่า ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำยาไวแสงตั้งแต่ปริมาณ 0.375 – 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในแต่ละกราฟ ที่ความเร็วรอบค่าเดียวกันมีค่าความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสงค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยน้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 จะมีความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสงแตกต่างกันไม่เกิน 600 Å หรือ 0.06 ไมครอน ที่ความเร็วรอบสปินเนอร์ค่าเดียวกัน ส่วนน้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818 จะมีความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสงแตกต่างกันไม่เกิน 800 Å หรือ 0.08 ไมครอน ดังนั้นปริมาณของน้ำยาไวแสงในการเคลือบน้ำยาไวแสงบนแผ่นซิลิคอนขนาด 2 นิ้ว จึงไม่จำเป็นต้องใช้ปริมาณมาก แต่ในการใช้งานต้องพิจารณาถึงความเรียบสม่ำเสมอของฟิล์มน้ำยาไวแสง โดยพิจารณาค่าเบี่ยงเบนความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง โดยใช้สมการที่ (5.2) และ (5.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเบี่ยงเบนความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสง AZ 6112 กับความเร็วรอบสปินเนอร์ เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณการหยดน้ำยาไวแสง

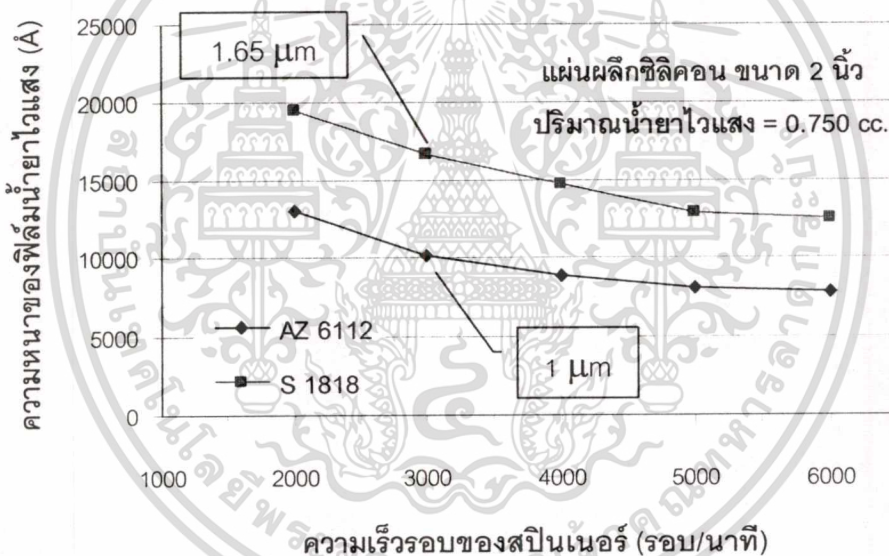


รูปที่ 5.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเบี่ยงเบนความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสง S 1818 กับความเร็วรอบสปินเนอร์ เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณการหยดน้ำยาไวแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสม่ำเสมอของฟิล์มน้ำยาไวแสงที่เป็นมาตรฐานต้องมีค่าเบี่ยงเบนความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสงไม่เกิน 3% จากผลการทดลองในรูปที่ 5.10 และ 5.11 พบว่า กราฟทั้งสองมีค่าเบี่ยงเบนความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสงไม่เกิน 3% แต่น้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 ที่ความเร็วรอบ 2000 – 6000 รอบ/ นาที พบว่า ปริมาณน้ำยาไวแสง 0.750 ลูกบาศก์เซนติเมตร ได้ค่าเบี่ยงเบนความหนาฟิล์มอยู่ในช่วง 0.78 – 0.93% และน้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818 ที่ความเร็วรอบระหว่าง 2000 – 6000 รอบ/นาที ปริมาณน้ำยาไวแสง 0.750 ลูกบาศก์เซนติเมตร ได้ค่าเบี่ยงเบนความหนาฟิล์มมีค่าอยู่ในช่วง 0.43 – 0.58 % ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าปริมาณอื่น ดังนั้น การเลือกปริมาณน้ำยาไวแสงเพื่อใช้งานให้เหมาะกับแผ่นซิลิคอนขนาด 2 นิ้ว จึงเลือกที่ปริมาณ 0.750 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพราะได้ความหนาเรียบสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นและเป็นปริมาณที่ไม่ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองน้ำยาไวแสง (ประมาณครึ่งหลอดหยด)

5.2.3 การเลือกน้ำยาไวแสงเพื่อนำไปใช้งาน



รูปที่ 5.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงกับความเร็วยรอบของสปินเนอร์ ที่ปริมาณน้ำยาไวแสง 0.750 ลูกบาศก์เซนติเมตร

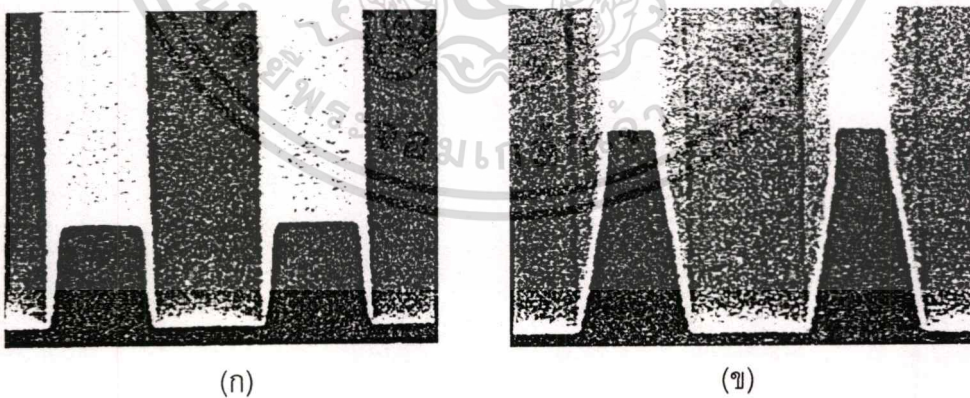
น้ำยาไวแสงนอกจากจะเป็นวัสดุที่ใช้ในการสร้างลวดลายวงจรรวมแล้ว นี้ยังช่วยป้องกันความเสียหายของชั้นฟิล์มบางจากกระบวนการกัดอีกด้วย ในการสร้างวงจรรวมแบบซีมอส จะมีกระบวนการกัดลวดลายของชั้นฟิล์มบางอยู่ 2 แบบ คือ การกัดแบบชื้น (Wet etching) และการกัดแบบแห้ง (Dry etching)* ซึ่งการกัดทั้งสองแบบต้องการความหนาของน้ำยาไวแสงที่แตกต่างกัน

* การกัดแบบแห้ง (Dry etching) คือ กระบวนการกัดชั้นฟิล์มโดยใช้ปฏิกิริยาของพลาสมา

กัน โดยทั่วไปการสร้างวงจรรวมจะให้ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง 1 ไมครอน – 2 ไมครอน ดังนั้น การเลือกน้ำยาไวแสงเพื่อความเหมาะสมในการใช้งาน พิจารณาจากรูปภาพที่ 5.12 ดังนี้

- การกัดแบบแห้ง ชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงจะถูกกัดจากการเกิดปฏิกิริยาของไอออน ในอัตรา 0.2 ไมครอน/นาที่ ซึ่งความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงที่เหมาะสมต้องมากกว่า 1.5 ไมครอน [23-24] จากรูปที่ 5.12 พบว่า น้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818 ที่ความเร็วรอบสปินเนอร์ 2000 – 3000 รอบ/นาที่ มีความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสงมากกว่า 1.5 ไมครอน เมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสงในรูป 5.11 ความสม่ำเสมอของฟิล์มน้ำยาไวแสงที่ความเร็วรอบสปินเนอร์ 3000 รอบ/นาที่ จะมากกว่าที่ 2000 รอบ/นาที่ ดังนั้น การเลือกน้ำยาไวแสงสำหรับสร้างลวดลายวงจรรวมบนชั้นฟิล์มบางที่ต้องผ่านกระบวนการกัดแบบแห้ง คือ น้ำยาไวแสง เบอร์ S 1818 ความเร็วรอบของสปินเนอร์ 3000 รอบ/นาที่ ที่เวลา 40 วินาที

- การกัดแบบเปียก เป็นการกัดด้วยสารละลายและไม่เกิดการกัดชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสง จึงไม่ต้องให้ความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสงที่หนามาก เนื่องจากการใช้ความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสงที่มากเกินไปจะมีผลต่อความคมชัดของลวดลาย ดังรูปที่ 5.13* พบว่า ขนาดและความคมชัดของลวดลายจะลดลงเมื่อความหนาของน้ำยาไวแสงเพิ่มขึ้น ดังนั้น การกัดแบบเปียกจะกำหนดความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสงประมาณ 1 ไมครอน (พิจารณาจากความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสงที่ใช้ในวงจรรวมจะอยู่ระหว่าง 1 ไมครอน – 2 ไมครอน) จากรูปที่ 5.12 พบว่า น้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 ที่ความเร็วรอบสปินเนอร์ 3000 รอบ/นาที่ ให้ความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสงประมาณ 1 ไมครอน ดังนั้น การเลือกน้ำยาไวแสงสำหรับสร้างลวดลายบนชั้นฟิล์มบางที่ต้องผ่านกระบวนการกัดแบบเปียก คือ น้ำยาไวแสง เบอร์ AZ 6112 ที่ความเร็วรอบของสปินเนอร์ 3000 รอบ/นาที่ ที่เวลา 40 วินาที



รูปที่ 5.13 แสดงการเปรียบเทียบขนาดและความคมชัดของลวดลายที่มีขนาด 1.5 ไมครอน เมื่อให้ความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงเปลี่ยนแปลง โดยที่
(ก) ความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสง 1.2 ไมครอน (ข) ความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสง 2.4 ไมครอน

* รูปจากคู่มือ ของบริษัท Clariant

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหากระบวนการมาตรฐานในการสร้างลวดลายบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียม สำหรับการพัฒนาระบวนการสร้างวงจรรวม เมื่อพิจารณากระบวนการสร้างวงจรรวมแบบซีมอส ขนาด 5 ไมครอน [15] พบว่า ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ส่วนใหญ่จะใช้การกัดแบบแห้งในการสร้างลวดลาย ส่วนชั้นอลูมิเนียมจะใช้การกัดแบบเปียก เพื่อให้การใช้น้ำยาไวแสงเหมาะสมกับกระบวนการสร้างวงจรรวม จึงเลือกน้ำยาไวแสงเบอร์ S 1818 สำหรับสร้างลวดลายบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ และ น้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 1350 สำหรับสร้างลวดลายบนชั้นอลูมิเนียม เมื่อเลือกน้ำยาไวแสงที่ใช้ในงานวิจัยได้แล้ว ต่อไปจะเป็นการหาตัวแปรของน้ำยาไวแสงในกระบวนการสร้างลวดลายบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียม

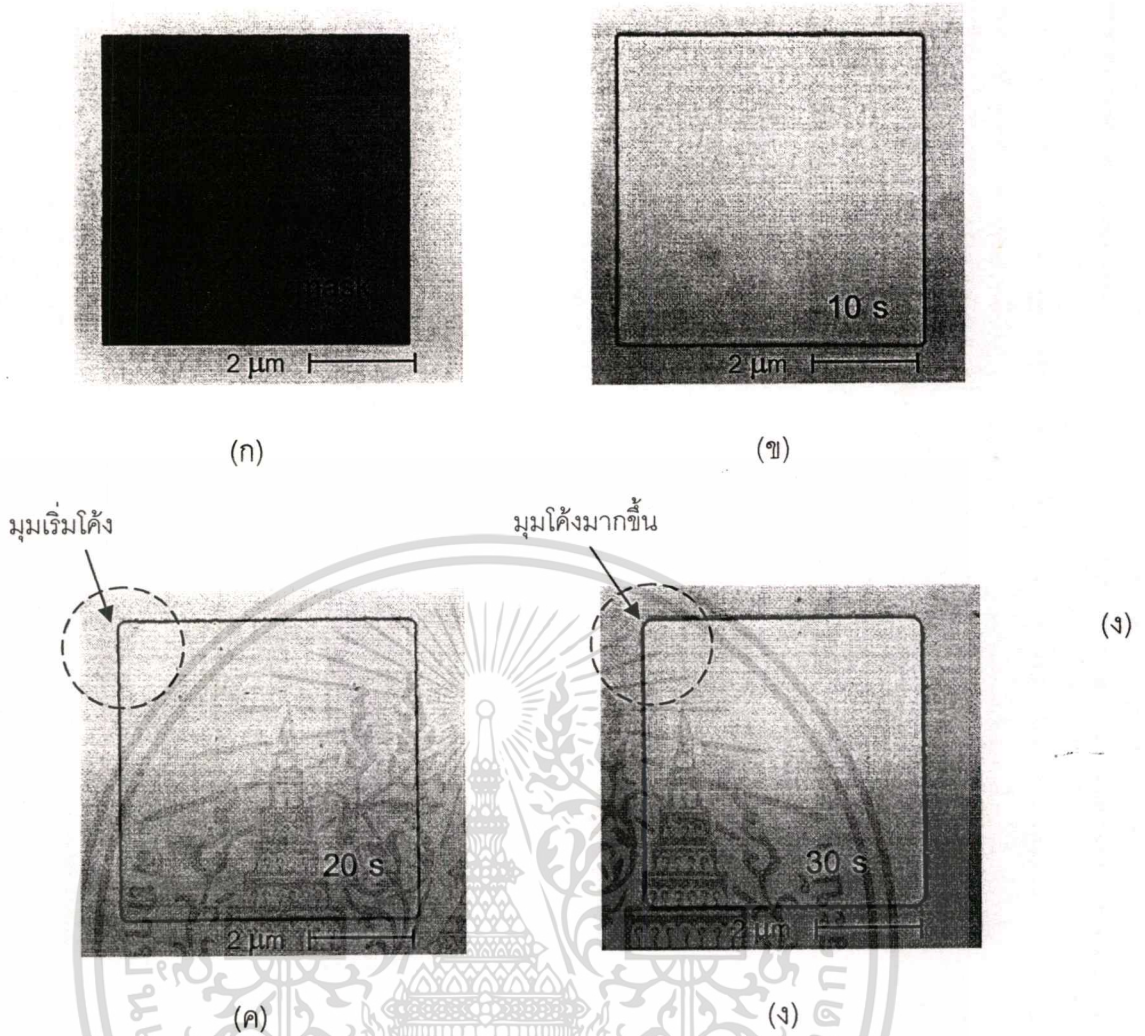
5.3 การศึกษาการสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน บนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

ในกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี ขั้นตอนในการสร้างลวดลาย ประกอบด้วย การฉายแสง การขึ้นลวดลาย และการกัด ซึ่งขนาดและความคมชัดของลวดลายที่ต้องการจะขึ้นอยู่กับ การกำหนดขั้นตอนเหล่านี้ให้เหมาะสม ดังนั้น การศึกษากระบวนการสร้างลวดลาย เพื่อหากระบวนการมาตรฐานจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ

สำหรับการสร้างลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ น้ำยาไวแสงที่เหมาะสมได้พิจารณาแล้วจากหัวข้อ 5.2.3 ซึ่งน้ำยาไวแสงที่เหมาะสม คือ น้ำยาไวแสง เบอร์ S 1818 ดังนั้นในการทดลองหัวข้อนี้ จึงเลือกน้ำยาไวแสง S1818 มาใช้ในการทดลองเพื่อหากระบวนการมาตรฐาน โดยการสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์จะสร้างด้วยกระบวนการออกซิเดชันแบบขึ้น*

5.3.1 การศึกษาเวลาในการฉายแสง สำหรับสร้างลวดลายบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

เพื่อหาเวลาในการฉายแสงที่เหมาะสมที่ทำให้ลวดลายของชั้นน้ำยาไวแสงบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์มีความคมชัด โดยการทดลองเริ่มจากนำแผ่นเวเฟอร์ ขนาด 2 นิ้ว สร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์หนาประมาณ 5000 Å ทำความสะอาดและเตรียมผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ จากนั้นเคลือบน้ำยาไวแสง เบอร์ S 1818 ปริมาณน้ำยาไวแสง 0.750 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยความเร็วรอบสปินเนอร์ 3000 รอบ/นาที ใช้เวลาในการเคลือบน้ำยาไวแสง 40 วินาที อบครั้งแรก หลังจากนั้นฉายแสงผ่านโฟโตมาสก์โครเมียมต้นแบบ เพื่อสร้างลวดลายทดสอบด้วยเครื่องปรับซ็อนมาสก์ (Mask -alignment) รุ่น MA-10 หลอดไฮปรอท (Mercury lamp) 250 W ความยาวคลื่น 500 nm โดยเปลี่ยนแปลงเวลาในการฉายแสง เพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสม นำไปขึ้นลวดลาย จากนั้นทำการตรวจสอบความคมชัดลวดลายน้ำยาไวแสงด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า



รูปที่ 5.14 การเปรียบเทียบลวดลายบนชั้นซิงค์ออกไซด์กับลวดลายบนโพลีไทม์สกีเมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาในการฉายแสง เมื่อใช้ น้ำยาไวแสง S 1818 โดย
 (ก) ลวดลายบนโพลีไทม์สกี (ข) ลวดลายเมื่อใช้เวลาฉายแสง 10 วินาที
 (ค) ลวดลายเมื่อใช้เวลาฉายแสง 20 วินาที (ง) ลวดลายเมื่อใช้เวลาฉายแสง 30 วินาที

จากผลการทดลองในรูปที่ 5.14 เมื่อให้เวลาในการฉายแสง 10 วินาที ความคมชัดของลวดลายใกล้เคียงกับโพลีไทม์สกี แต่เมื่อเพิ่มเวลาฉายแสง 20 วินาที ความคมชัดของลวดลายลดลง โดยสังเกตได้จากบริเวณมุมจากเริ่มโค้งมน และบริเวณมุมจะโค้งมากขึ้น เมื่อเพิ่มเวลาในการฉายแสง 30 วินาที แสดงว่า การใช้เวลาในการฉายแสงที่ไม่เหมาะสมจะมีผลต่อความคมชัดของลวดลาย ดังนั้น เวลาในการฉายแสงที่เหมาะสมสำหรับสร้างลวดลายของน้ำยาไวแสง S 1818 เพื่อสร้างลวดลายบนชั้นซิงค์ออกไซด์ คือ 10 วินาที

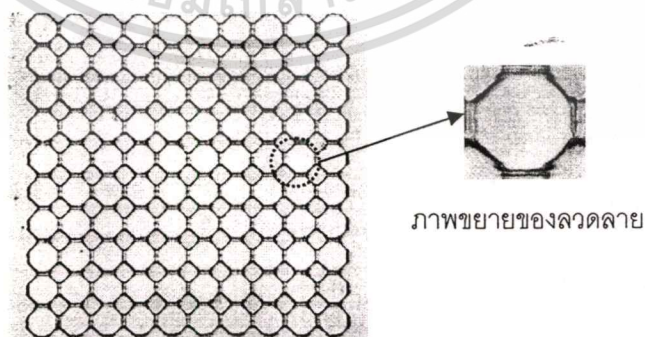
5.3.2 การศึกษาเวลาในการขึ้นลวดลาย สำหรับสร้างลวดลายบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

เพื่อกำหนดตัวแปรในการขึ้นลวดลายที่เหมาะสม ทำให้ลวดลายของน้ำยาไวแสงหลังจากการฉายแสงมีความคมชัดและมีขนาดลวดลายใกล้เคียงกับลวดลายที่ออกแบบบนโฟโตมาส์ก

โดยทั่วไปตัวแปรที่มีผลต่อการขึ้นลวดลาย คือ เวลาและอุณหภูมิในการขึ้นลวดลาย ซึ่งมีความสำคัญมาก เนื่องจากเวลาและอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมมีผลต่อลวดลายที่ต้องการสร้าง เช่น การใช้เวลาขึ้นลวดลายน้อยเกินไป จะทำให้ฟิล์มน้ำยาไวแสงในส่วนที่ไม่ต้องการถูกล้างออกไปไม่หมด ดังรูปที่ 5.15 ซึ่งข้อมูลของน้ำยาไวแสงชนิดบวกล้วนใหญ่เวลาในการขึ้นลวดลายต้องไม่เกิน 60 วินาที ถ้าใช้เวลาในการขึ้นลวดลายมากจะมีผลต่อความคมชัดของลวดลายได้ ดังรูปที่ 5.16 เป็นลวดลายของหน้าสัมผัสสี่เหลี่ยม (Contact) แต่ใช้เวลาในการขึ้นลวดลายมากเกินไปจนทำให้ลวดลายสี่เหลี่ยมกลายเป็นวงกลมขนาดใหญ่ติดกันไม่สามารถนำไปใช้งานได้



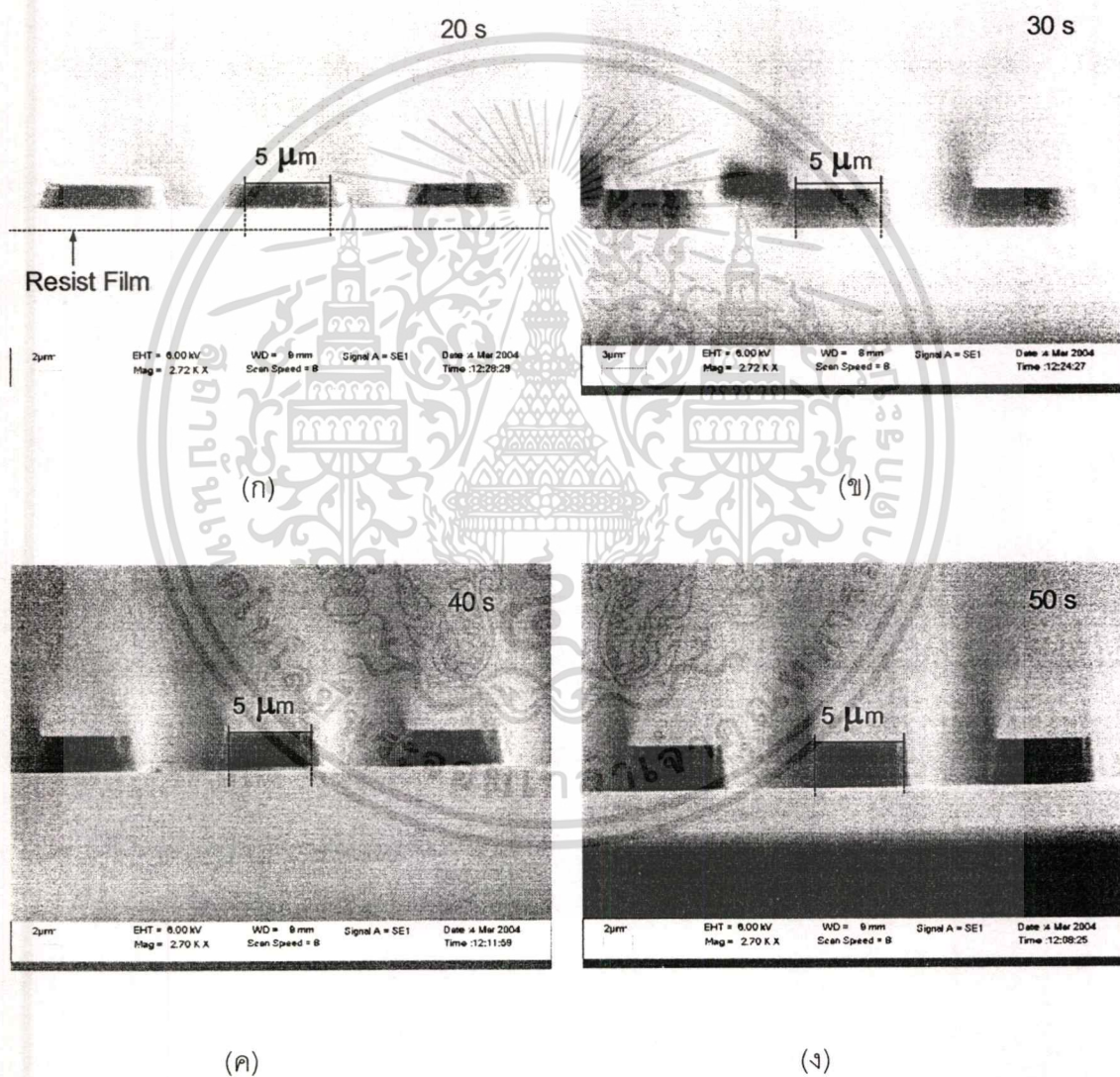
รูปที่ 5.15 ฟิล์มน้ำยาไวแสงที่ล้างออกไม่หมดหลังจากกระบวนการขึ้นลวดลาย เนื่องจากใช้เวลาในการขึ้นลวดลายน้อยเกินไป



รูปที่ 5.16 ความเสียหายของลวดลายหน้าสัมผัสแบบสี่เหลี่ยม เมื่อใช้เวลาขึ้นลวดลายมากเกินไป ทำให้สูญเสียความคมชัดจากลวดลายสี่เหลี่ยมกลายเป็นวงกลมขนาดใหญ่ติดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเวลาในการขึ้นลวดลาย สำหรับสร้างลวดลายบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ เริ่มจาก นำแผ่นซิลิคอน ขนาด 2 นิ้ว ที่สร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ ทำความสะอาดและเตรียมผิวหน้า จากนั้นเคลือบน้ำยาไวแสง S 1818 ที่ปริมาณ 0.750 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ความเร็วรอบสปินเนอร์ 3000 รอบ/นาที เวลาในการเคลือบน้ำยาไวแสง 40 วินาที อบครั้งแรก หลังจากนั้นฉายแสงผ่านโฟโตมาสก์โครเมียมต้นแบบ เพื่อสร้างลวดลาย ที่ 10 วินาที โดยเปลี่ยนแปลงเวลาในการขึ้นลวดลาย เพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสม จากนั้นทำการตรวจสอบลวดลาย ด้วยกล้อง SEM เพื่อหาค่าเวลาที่ดียิ่งที่สุดในการสร้างลวดลาย



รูปที่ 5.17 ภาพตัดขวางของลวดลายน้ำยาไวแสง S 1818 ที่ได้จากกล้อง SEM

(ก) เมื่อใช้เวลาขึ้นลวดลาย 20 วินาที (ข) เมื่อใช้เวลาขึ้นลวดลาย 30 วินาที

(ค) เมื่อใช้เวลาขึ้นลวดลาย 40 วินาที (ง) เมื่อใช้เวลาขึ้นลวดลาย 50 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกระบวนการขึ้นลวดลายขนาดและความคมชัดของลวดลายที่ต้องการต้องมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของลวดลายบนโฟโตมาส์ก ซึ่งในการทดลองนี้จะศึกษาลวดลายจากโฟโตมาส์กทดสอบที่ลวดลายขนาด 5 ไมครอน ดังนั้น สิ่งที่ต้องการ คือ เวลาขึ้นลวดลายที่ทำให้ลวดลายของน้ำยาไวแสง S 1818 มีขนาดใกล้เคียงกับขนาด 5 ไมครอน

จากผลการทดลองรูปที่ 5.17 พบว่า รูป (ก) फिल्मน้ำยาไวแสงบนผิวหน้าแผ่นซิลิคอนถูกล้างออกไปไม่หมดคล้ายกับรูปที่ 5.15 และลวดลายที่ได้ยังมีขนาดใหญ่กว่าขนาดที่ต้องการ ส่วนรูปที่ 5.17 (ข)และ(ค) พบว่า फिल्मน้ำยาไวแสงในส่วนไม่ต้องการ (ส่วนที่เป็นช่องว่าง) ถูกล้างออกหมด แต่ลวดลายของน้ำยาไวแสงยังมีขนาดที่ไม่เหมาะสม ส่วนรูปที่ 5.17 (ง) เมื่อเพิ่มเวลาในการขึ้นลวดลายเป็น 50 วินาที ลวดลายที่ได้มีขนาดตามที่ต้องการ ดังนั้น เวลาขึ้นลวดลายที่เหมาะสมที่ทำให้ลวดลายมีความคมชัดและมีขนาดใกล้เคียงกับลวดลายบนโฟโตมาส์ก คือ 50 วินาที

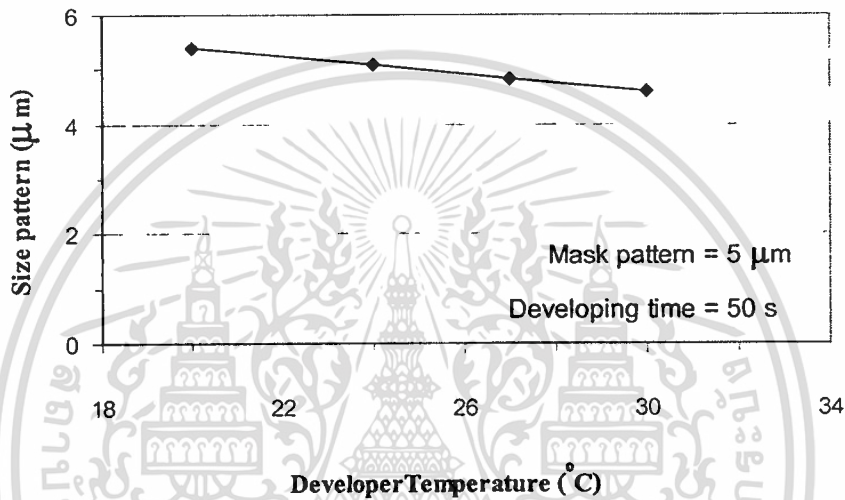
5.3.3 การศึกษาอุณหภูมิในการขึ้นลวดลายที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของลวดลาย

นอกจากเวลาที่มีผลต่อขนาดและความคมชัดของลวดลายแล้ว อุณหภูมิก็มีส่วนสำคัญที่ทำให้ขนาดและความคมชัดของลวดลายเปลี่ยนแปลง ดังนั้นเพื่อศึกษาความเปลี่ยนแปลงของขนาดลวดลาย 5 ไมครอน เมื่ออุณหภูมิในการขึ้นลวดลายเปลี่ยนแปลง เพื่อพิจารณาถึงผลกระทบของการสร้างลวดลายเมื่อไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิ

การทดลองเริ่มจากเคลือบน้ำยาไวแสง เบอร์ S 1818 บน แผ่นเวเฟอร์ขนาด 2 นิ้ว ด้วยความเร็วรอบของสปินเนอร์ 3000 รอบ/นาที ที่เวลา 40 วินาที รอบครั้งแรก จากนั้นฉายแสงผ่านโฟโตมาส์ก ที่เวลา 10 วินาที ทำการขึ้นลวดลายโดยใช้เวลา 50 วินาที แต่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำยาขึ้นลวดลาย จากนั้นตรวจสอบลวดลายขนาด 5 ไมครอน เพื่อหาความเปลี่ยนแปลงของลวดลาย

จากกราฟรูปที่ 5.18 พบว่า ที่เวลาในการขึ้นลวดลาย 50 วินาที เท่ากันแต่อุณหภูมิในการขึ้นลวดลายต่างกัน เมื่ออุณหภูมิต่ำ ขนาดของลวดลายที่ได้จะมีขนาดใหญ่กว่าลวดลายที่ออกแบบไว้ เช่น ที่อุณหภูมิ 20 °C ขนาดของลวดลายที่ได้มีขนาด 5.38 มีขนาดใหญ่กว่าลวดลายของโฟโตมาส์ก 0.38 ไมครอน เนื่องจากอุณหภูมิต่ำลงการขึ้นลวดลายมีอัตราการล้างฟิล์มน้ำยาไวแสงช้าลง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นลวดลายจะมีขนาดเล็กกว่าที่ออกแบบไว้ เช่น ที่อุณหภูมิ 30 °C ขนาดของลวดลายที่ได้มีขนาด 4.43 มีขนาดเล็กกว่าลวดลายของโฟโตมาส์ก 0.57 ไมครอน เนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้นการขึ้นลวดลายมีอัตราการล้างฟิล์มน้ำยาไวแสงเร็วขึ้น โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงของลวดลายอยู่ที่ 0.1 ไมครอน/°C โดยที่การขึ้นลวดลายที่อุณหภูมิ 24 °C จะได้ขนาดลวดลายประมาณ 5 ไมครอน ใกล้เคียงกับโฟโตมาส์ก ดังนั้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอาจจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงเวลาในการขึ้นลวดลาย ซึ่งปกติภายในห้องลิโธกราฟีมักมีการเปลี่ยนแปลงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องมีการเปลี่ยนแปลงเวลาในการขึ้นลวดลาย ซึ่งปกติภายในห้องลิโธกราฟีมักมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอยู่ที่ $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ แม้ว่าการเปลี่ยนแปลงของลวดลายที่ $0.1\text{ ไมครอน}/^{\circ}\text{C}$ อาจมีผลกระทบต่อขนาดลวดลายขนาด 5 ไมครอน แต่อาจเป็นปัญหากับการพัฒนาการสร้าลวดลายที่เล็กกว่านี้ได้ในอนาคต ดังนั้น ก่อนการขึ้นลวดลายควรจะต้องมีการตรวจสอบอุณหภูมิที่มีความจำเป็นอย่างมากในการสร้าลวดลายของห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากภายในห้องลิโธกราฟีมิได้มีการควบคุมอุณหภูมิเหมือนในโรงงานอุตสาหกรรม

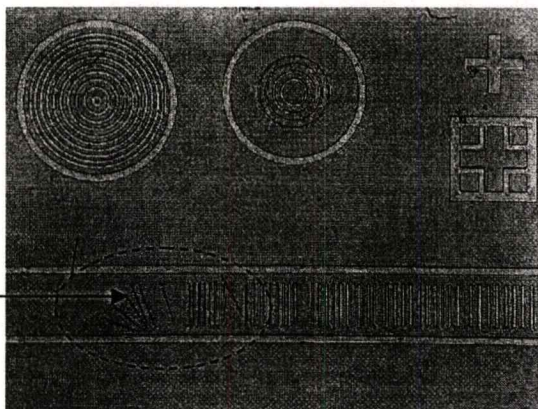


รูปที่ 5.18 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดลวดลาย 5 ไมครอน เมื่ออุณหภูมิในการขึ้นลวดลายเปลี่ยนแปลง

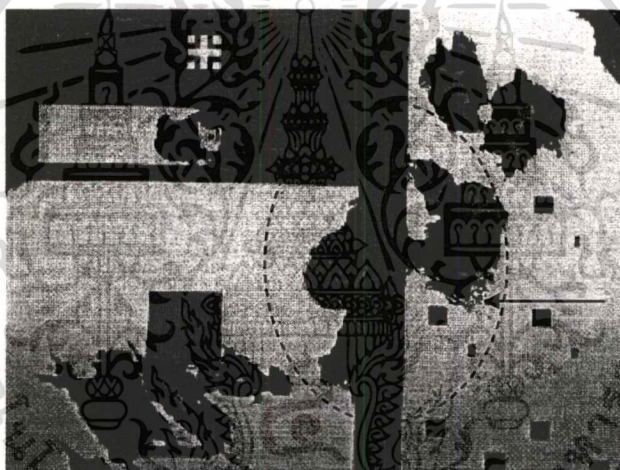
5.3.4 การศึกษาอุณหภูมิในการอบครั้งหลังของน้ำยาไวแสง เบอร์ S1818

เนื่องจากการอบครั้งหลังเป็นการอบแผ่นซิลิคอนเพื่อให้สารละลายหรือโมเลกุลของน้ำในน้ำยาไวแสงระเหยออกไป ก่อนเข้าสู่กระบวนการกัด ดังนั้น อุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานได้ เช่น การอบที่อุณหภูมิน้อยเกินไป ทำให้ไม่สามารถกำจัดโมเลกุลของน้ำได้หมด มีผลทำให้เกิดการหลุดของฟิล์มน้ำยาไวแสงในระหว่างกระบวนการกัดได้ โดยเฉพาะบริเวณที่ลวดลายมีขนาดเล็กมาก ดังรูปที่ 5.19 ส่วนการให้อุณหภูมิที่มากเกินไป จะทำให้ฟิล์มใหม่ มีผลต่อความคมชัดของลวดลายและฟิล์มที่ใหม่จะติดแน่นที่ผิวหน้าแผ่นซิลิคอนซึ่งจะมีผลต่อการทำความสะอาด ดังรูปที่ 5.20

การหลุดออกของลวดลาย
ขนาดเล็กกว่า 3 ไมครอน
หลังจากกระบวนการกัด



รูปที่ 5.19 फिल्मน้ำยาไวแสงหลุดออกเมื่อจุ่มลงในบัฟเฟอร์ เนื่องจากการอบที่น้อยเกินไป

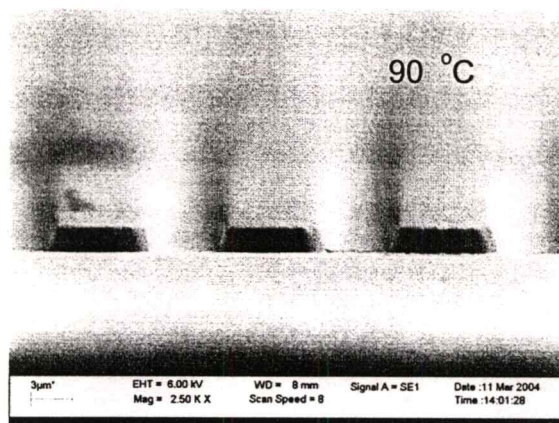


คราบฟิล์มไหม้ เนื่องจากการ
อบที่อุณหภูมิ $> 120^{\circ}\text{C}$

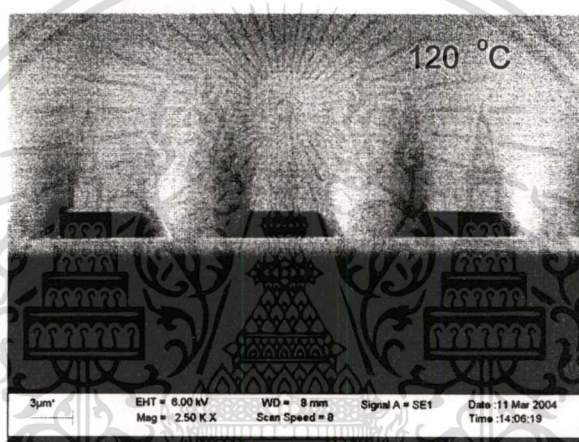
รูปที่ 5.20 หลังจากทำความสะอาดแผ่นเวเฟอร์แล้ว คราบฟิล์มน้ำยาไวแสงที่ไหม้ยังเหลืออยู่

การทดลองเพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบครั้งหลังของน้ำยาไวแสง เบอร์ S1818 บนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ เริ่มจากเคลือบน้ำยาไวแสง เบอร์ S 1818 บน แผ่นเวเฟอร์ขนาด 2 นิ้ว ด้วยความเร็วรอบ 3000 รอบ/นาที ที่เวลา 40 วินาที อบครั้งแรก จากนั้นฉายแสงผ่านโฟโตมาสก์ที่เวลา 10 วินาที ทำการขึ้นลวดลายโดยใช้เวลา 50 วินาที ตรวจสอบความคมชัดของลวดลาย จากนั้นทำการอบครั้งหลังโดยใช้อุณหภูมิที่ $90, 120, 140^{\circ}\text{C}$ ใช้เวลาอบ 30 นาที จากนั้นนำลวดลายที่ได้ไปตรวจสอบผลการทดลองด้วยเครื่อง SEM

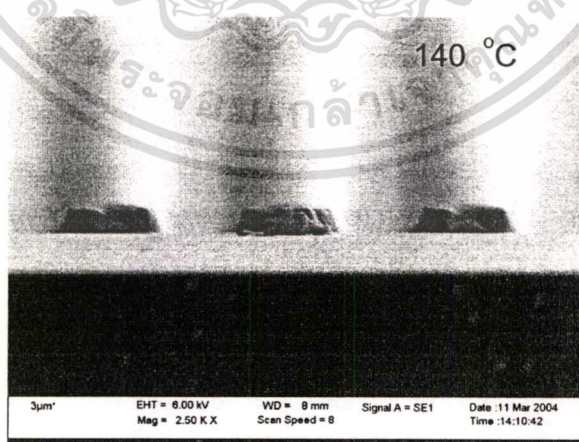
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 5.21 ลวดลายของน้ำยาไวแสง S 1818 โดยอบที่ (ก) 90 °C (ข) 120 °C (ค) 140 °C
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำมาตีพิมพ์หรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองรูป 5.21 เมื่ออบครั้งหลังด้วยอุณหภูมิ 90 °C ในรูป (ก) พบว่า น้ำยาไวแสงแห้งยึดติดกับผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ แต่น้ำยาไวแสงบริเวณขอบของลวดลาย ความแห้งของน้ำยาไวแสงยังไม่เหมาะสม ถ้าหากนำไปกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์อาจทำให้เกิดการกัดเซาะที่บริเวณขอบได้ง่าย ถ้าชั้นซิลิคอนไดออกไซด์หนามากใช้เวลาในการกัดนานอาจทำให้เกิดการหลุดของฟิล์มน้ำยาไวแสงได้ เหมือนดังรูปที่ 5.19 เมื่ออบครั้งหลังด้วยอุณหภูมิ 120 °C ในรูป (ข) พบว่า น้ำยาไวแสงแห้งยึดติดกับผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ และความแห้งที่บริเวณขอบของลวดลายน้ำยาไวแสงค่อนข้างดี ที่อุณหภูมินี้สามารถนำไปกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ได้ เมื่ออบครั้งหลังด้วยอุณหภูมิ 140 °C ในรูป (ค) พบว่า ฟิล์มน้ำยาไวแสงไหม้และเกิดปัญหาในขั้นตอนของการล้างฟิล์มเพราะฟิล์มน้ำยาไวแสงที่ไหม้มักล้างไม่ออกและทำให้ความคมชัดของลวดลายลดลง ดังรูปที่ 5.20 ซึ่งการใช้อุณหภูมิในการอบครั้งหลังของน้ำยาไวแสงชนิดบวกลดส่วนใหญ่อยู่ที่ 110 °C - 120 °C ดังนั้นการเลือกอุณหภูมิในการอบครั้งหลังจึงเลือกที่ 120 °C

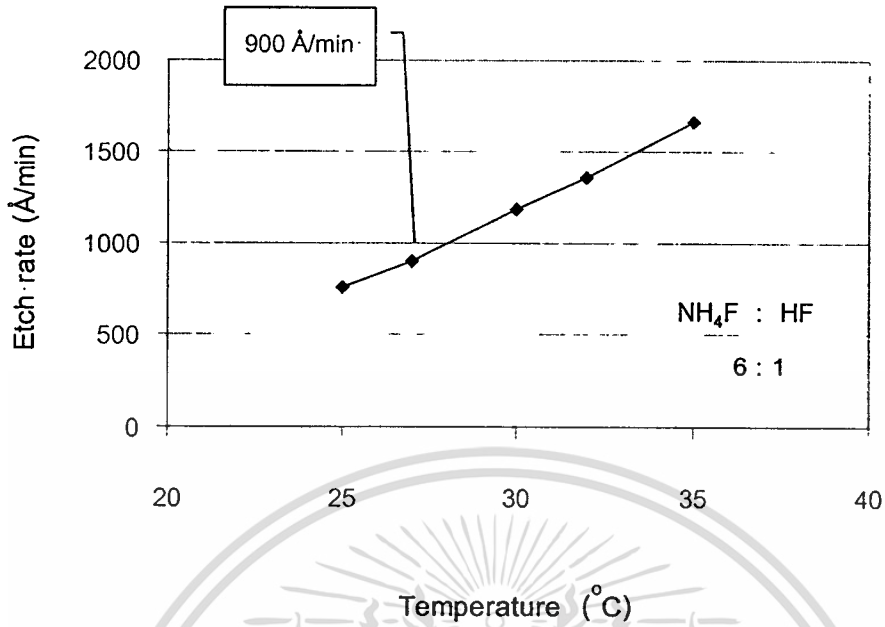
5.3.6 การศึกษาการกัดลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

เนื่องจากการกัดชั้นฟิล์มในงานวิจัยนี้ ใช้การกัดแบบเปียก ซึ่งมีผลกับการกัดด้านข้างของลวดลาย ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาระยะการกัดและปัจจัยอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ความหนาฟิล์ม เนื่องจากปัจจัยเหล่านี้อาจมีผลกับระยะเวลาการกัด ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะส่งผลโดยตรงต่อการทำงานของอุปกรณ์ เพื่อหาขนาดที่แท้จริงของลวดลายขนาด 5 ไมครอน ที่จะสามารถสร้างได้และพิจารณาความเป็นไปได้ที่จะสามารถสร้างอุปกรณ์ที่มีขนาด 5 ไมครอน

5.3.6.1 การศึกษาอัตราการกัดของบัฟเฟอร์

ก่อนนำชิ้นงานไปกัดลวดลายจะต้องหาอัตราการกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ของบัฟเฟอร์ก่อนเพื่อให้เวลาในการกัดสัมพันธ์กับความหนาของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ นำชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ จุ่มลงในบัฟเฟอร์ ($\text{NH}_4\text{F}:\text{HF}$) ที่อัตราส่วน 6 : 1 จากนั้นนำไปวัดความหนาของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์หลังการกัดด้วยเครื่องวัดความหนาฟิล์ม จากนั้นหาอัตราการกัด (etching rate) ด้วยสมการ (2.1) ในการทดลองนี้จะทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการกัดเพื่อศึกษาผลของอัตราการกัดเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

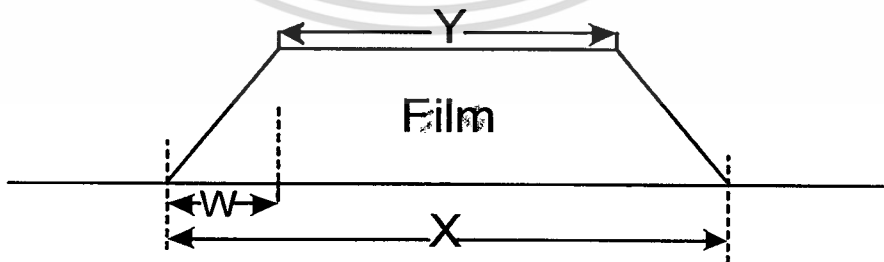
จากรูป 5.22 พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราการกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้น โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 1 °C จะมีอัตราการกัดเพิ่มขึ้นประมาณ 120 Å/นาที่ โดยที่อุณหภูมิห้องจะมีอัตราการกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ ประมาณ 900 Å/นาที่



รูปที่ 5.22 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิในการกัดและอัตราการกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ โดยการกัดแบบเปียก

5.3.6.2 การศึกษาระยะการกัดด้านข้างของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

การศึกษาระยะการกัดด้านข้างของลวดลายทำการวิเคราะห์โดยตรวจสอบด้วยภาคตัดขวางที่ได้จากเครื่อง SEM และทำการวัดขนาดของลวดลายที่ได้หลังจากกระบวนการกัด ดังรูปที่ 5.23 จากนั้นนำขนาดลวดลายที่วัดได้หาระยะการกัดด้านข้างด้วยสมการ (5.4) ซึ่งการหาระยะการกัดด้านข้างด้วยวิธีนี้สามารถใช้กับฟิล์มบางได้ทุกประเภท



รูปที่ 5.23 แสดงวิธีการวัดระยะการกัดด้านข้างของลวดลาย หลังจากกัดด้วยกระบวนการกัดแบบเปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

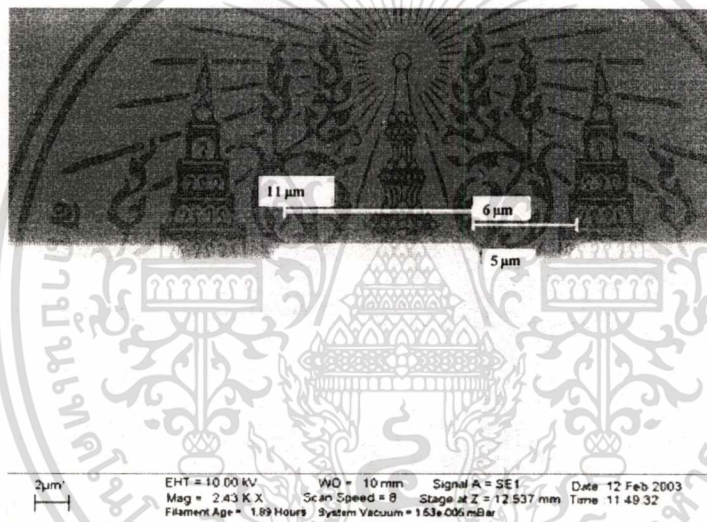
โดยที่

W = ระยะการกัดด้านข้างของลวดลาย (μm)

Y = ขนาดของลวดลายหลังจากการกัด (μm)

X = ขนาดของลวดลายก่อนการกัด (μm)

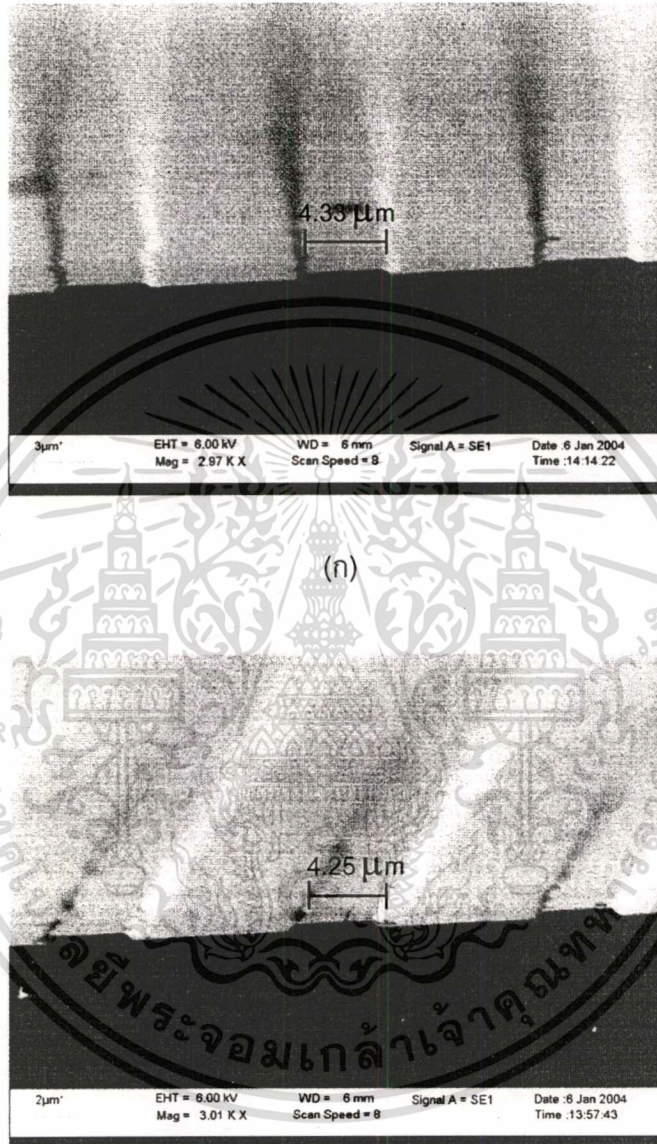
ยกตัวอย่าง การวัดระยะการกัดด้านข้างของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์จากชิ้นงานจริงของลวดลายช่องว่าง ดังรูปที่ 5.24 ซึ่งมีขนาดลวดลายก่อนกัด (X) $5 \mu\text{m}$ ขนาดลวดลายหลังการกัด (Y) $6 \mu\text{m}$ จากสมการที่ (5.4) ได้ระยะการกัดด้านข้างของลวดลาย (W) ข้างละ $0.5 \mu\text{m}$



รูปที่ 5.24 แสดงการวัดขนาดลวดลายเพื่อหาระยะการกัดด้านข้างของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ ด้วยภาพตัดขวางจากกล้อง SEM

สำหรับการศึกษาระยะการกัดด้านข้างของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ เริ่มจากนำแผ่นซิลิคอนขนาด 2 นิ้ว สร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ที่มีความหนาของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ทำความสะอาดและเตรียมผิวหน้า จากนั้นเคลือบน้ำยาไวแสง S 1818 ที่ปริมาตร 0.750 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ความเร็วรอบสปินเนอร์ 3000 รอบ/นาที เวลาในการเคลือบน้ำยาไวแสง 40 วินาที รอบครั้งแรก หลังจากนั้นฉายแสงผ่านโฟโตมาสก์โครเมียมต้นแบบ เพื่อสร้างลวดลาย ที่ 10 วินาที ชั้นลวดลายน้ำยาไวแสงโดยจุ่มลงในสารละลาย 50 วินาที นำไป อบครั้งที่สอง จากนั้น ทำการกัดลวดลายด้วยการกัดแบบเปียก ที่อัตราการกัด $900 \text{ \AA}/\text{นาที}$ ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลวดลายด้วยการกัดแบบเปียก ที่อัตราการกัด 900 Å/นาที่ ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ที่ไม่ต้องการออก จนได้ลวดลายที่ต้องการแล้ว ทำการล้างน้ำยาไวแสงออก จากนั้นตรวจสอบขนาดของลวดลาย ด้วยกล้อง SEM จะได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 5.25



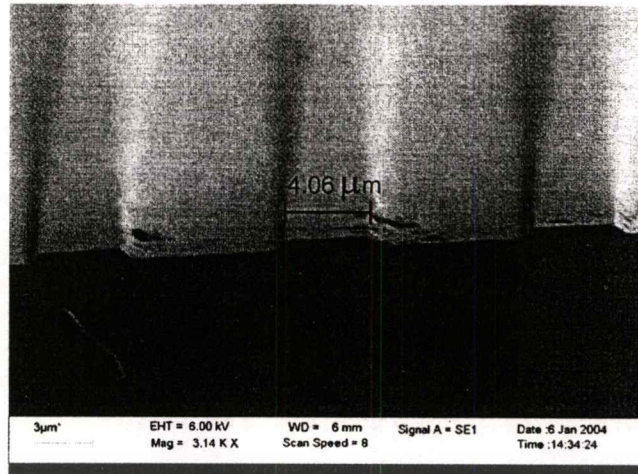
(ข)

รูปที่ 5.25 ภาพตัดขวางลวดลายขนาด 5 μm ของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์จากกล้อง SEM

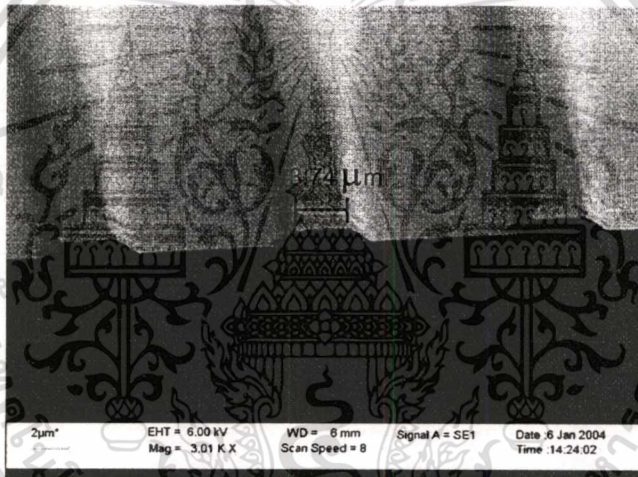
(ก) ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์หนา 2500 Å (ข) ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์หนา 3600 Å

(ค) ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์หนา 4800 Å (ง) ความหนาชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ 7200 Å

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

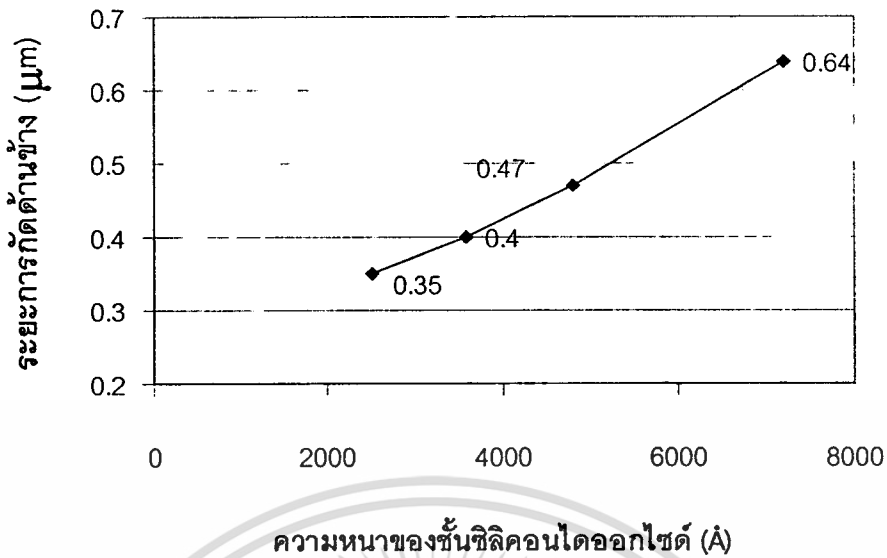


(ง)

- รูปที่ 5.25 ภาพตัดขวางลวดลายขนาด $5 \mu\text{m}$ ของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์จากกล้อง SEM (ต่อ)
- (ก) ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์หนา 2500 \AA (ข) ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์หนา 3600 \AA
- (ค) ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์หนา 4800 \AA (ง) ความหนาชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ 7200 \AA

จากภาพตัดขวางในรูปที่ 5.25 พบว่า เมื่อความหนาของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ต่างกัน จะทำให้ขนาดของลวดลายหลังจากการกัดด้วยบัพเฟอร์มีขนาดแตกต่างกันด้วย ซึ่งชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ที่มีความหนามากจะมีขนาดของลวดลายเล็กกว่าลวดลายของชั้นซิลิคอนที่มีความหนา น้อย เมื่อหาขนาดของลวดลายได้แล้ว ต่อไปทำการหาระยะการกัดด้านข้างด้วยสมการ (5.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

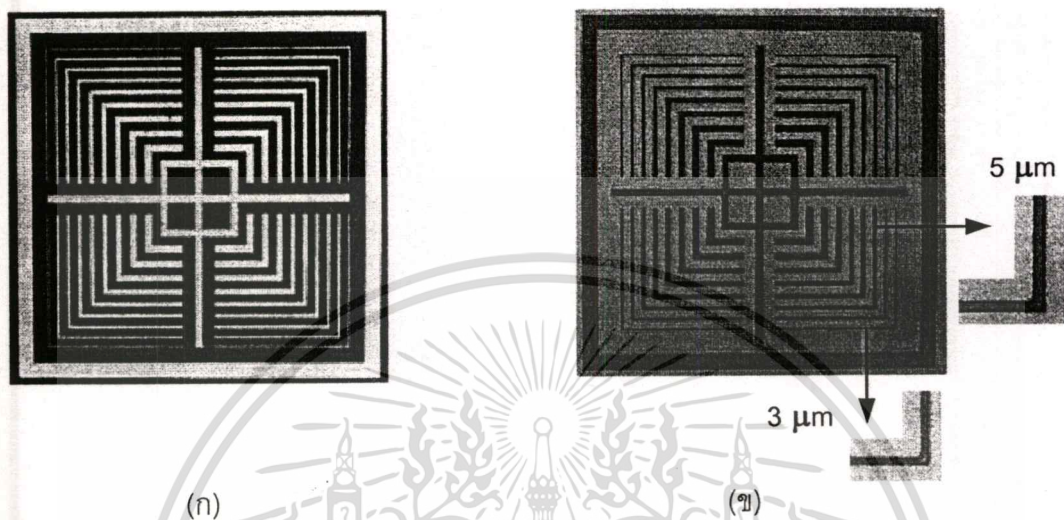


รูปที่ 5.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และระยะการกัดด้านข้างของลวดลายขนาด 5 ไมครอน โดยการกัดแบบเปียก

จากภาพตัดขวางในรูปที่ 5.25 เมื่อนำไปหาค่าระยะการกัดด้านข้าง ดังกราฟในรูปที่ 5.26 พบว่า เมื่อความหนาชั้นซิลิคอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น การกัดลวดลายด้วยการกัดแบบเปียก จะได้ระยะด้านข้างที่ถูกกัดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการสร้างลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ ขนาด 5 ไมครอน ถ้าความหนาชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ยังบางมากจะยังสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน ได้ดี เนื่องจากเกิดการกัดเซาะด้านข้างน้อยทำให้ความผิดพลาดของขนาดลวดลายน้อยมาก แต่ความหนาชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ในการสร้างวงจรรวมต้องหนาประมาณ 5000 Å ขึ้นไป เนื่องจากถูกจำกัดด้วยกระบวนการแพร่สารเจือแบบฝังประจุแบบไอออน จากรูปที่ 5.25 (ข) ถ้าใช้ความหนาออกไซด์ที่ 5000 Å เป็นมาตรฐานในการสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน จะมีระยะการกัดด้านข้างประมาณ 0.47 ไมครอน เมื่อเทียบกับลวดลายขนาด 5 ไมครอน จะมีความผิดพลาด 9.4 % ซึ่งระยะการกัดนี้สามารถกำหนดเป็นมาตรฐานของระยะการกัดด้านข้างของลวดลายขนาด 5 ไมครอน โดยการกัดแบบเปียกเท่านั้นแต่ไม่สามารถบอกได้ว่าเหมาะสมและดีที่สุดกับการนำไปสร้างวงจรรวม เนื่องจากสิ่งเหล่านี้ต้องพิจารณาหลังจากการสร้างเป็นวงจรรวม ซึ่งวงจรรวมที่ได้ต้องมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดี จึงสามารถสรุปได้ว่า ลวดลายขนาด 5 ไมครอน ของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์จากการกัดแบบเปียกมีความเหมาะสมสามารถนำไปสร้างวงจรรวมได้

5.3.7 การตรวจสอบลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

เพื่อทำการตรวจสอบความคมชัดของลวดลายหลังจากทำการกัดลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ โดยทำการเปรียบเทียบลวดลายกับลวดลายของโฟโตมาส์ก ด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า ดังรูปที่ 5.27, 5.28, 5.29, 5.30 และ 5.31



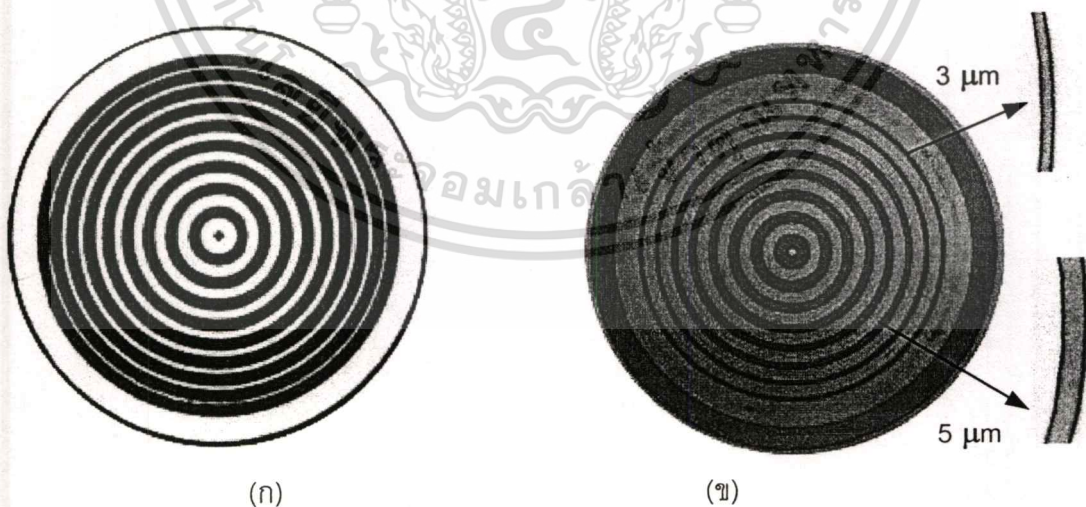
(ก)

(ข)

รูปที่ 5.27 ลวดลายที่ใช้ทดสอบ ขนาด และเส้นตั้งฉากของลวดลาย

(ก) ลวดลายบนโฟโตมาส์ก

(ข) ลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์



(ก)

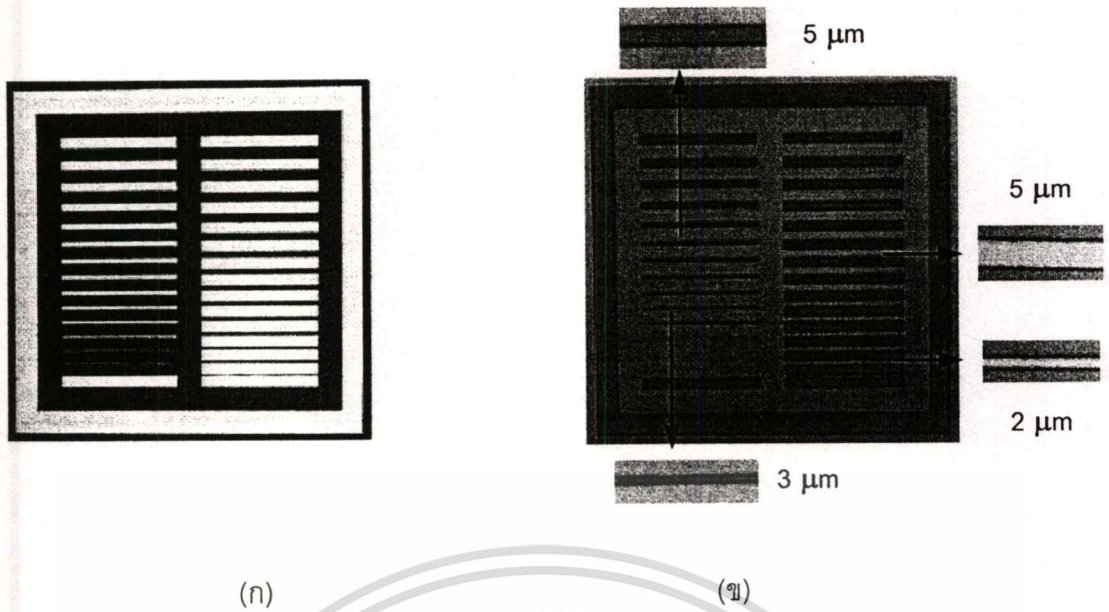
(ข)

รูปที่ 5.28 ลวดลายตรวจสอบขนาดของเส้นโค้ง

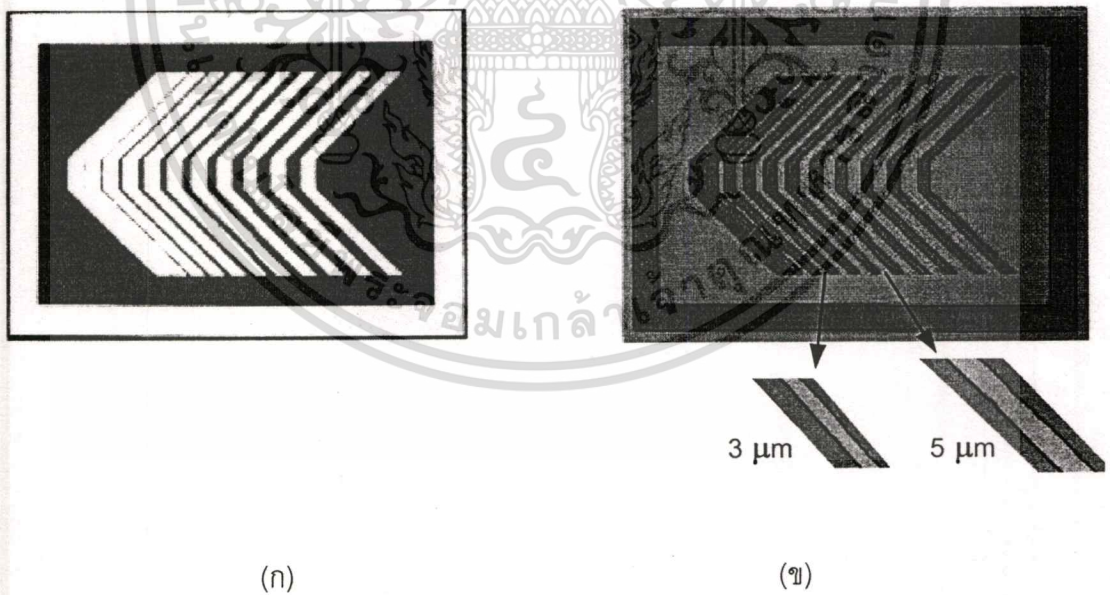
(ก) ลวดลายบนโฟโตมาส์ก

(ข) ลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



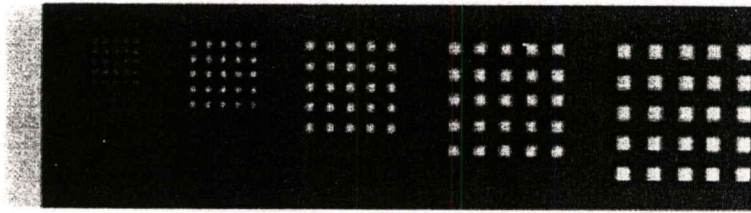
รูปที่ 5.29 ลวดลายที่ใช้ทดสอบ ขนาด และช่องว่างของเส้นตรง
 (ก) ลวดลายบนโฟโตมาส์ก
 (ข) ลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์



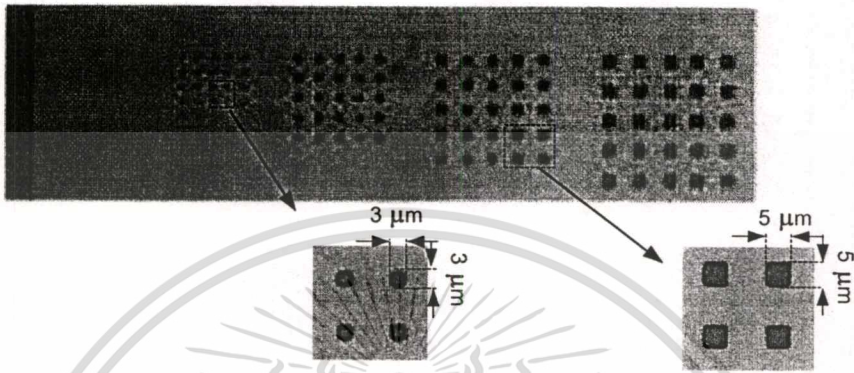
รูปที่ 5.30 ลวดลายที่ใช้ทดสอบขนาดของเส้นตรงในลักษณะทำมุม 45 องศา

- (ก) ลวดลายบนโฟโตมาส์ก
 (ข) ลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.31 ลวดลายที่ใช้ทดสอบหน้าสัมผัสแบบสี่เหลี่ยม

(ก) ลวดลายบนโฟโตมาส์ก (ข) ลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

ผลการทดลองในรูปที่ 5.24 – 5.28 ซึ่งใช้ลวดลายทดสอบขนาด 2 ไมครอน - 10 ไมครอน พบว่า ลวดลายขนาด 5 ไมครอน ซึ่งมีรูปแบบของ เส้นโค้ง มุมฉาก ช่องว่าง และ สี่เหลี่ยม มีความคมชัดเมื่อเปรียบเทียบกับโฟโตมาส์กทดสอบ นอกจากนี้ ยังสามารถสร้างลวดลายได้เล็กที่สุด ประมาณ 3 ไมครอน แสดงว่า ตัวแปรต่างๆในการสร้างลวดลายบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ จากการทดลองที่ผ่านมาสามารถกำหนดเป็นกระบวนการมาตรฐานได้

5.4 การศึกษาการสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน บนชั้นอลูมิเนียม

การทดลองเพื่อศึกษาตัวแปรของการสร้างลวดลายบนชั้นอลูมิเนียมจะเหมือนกับชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ แต่แตกต่างที่น้ำยาไวแสงที่ใช้ในการสร้างลวดลาย ซึ่งน้ำยาไวแสงที่เหมาะสมได้พิจารณาแล้วจากหัวข้อ 5.2.3 น้ำยาไวแสงที่เหมาะสม คือ น้ำยาไวแสง เบอร์ AZ 6112 ดังนั้นทดลองหัวข้อนี้ จึงเลือกน้ำยาไวแสง AZ 6112 มาใช้ในการทดลองเพื่อหากระบวนการมาตรฐาน

การสร้างฟิล์มอลูมิเนียม*ในห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์มีอยู่ 2 วิธี คือ

สุญญากาศ (Evaporate) และ แบบสปัตเตอร์ (Sputter) ซึ่งในหัวข้อนี้จะศึกษาการกัดลวดลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

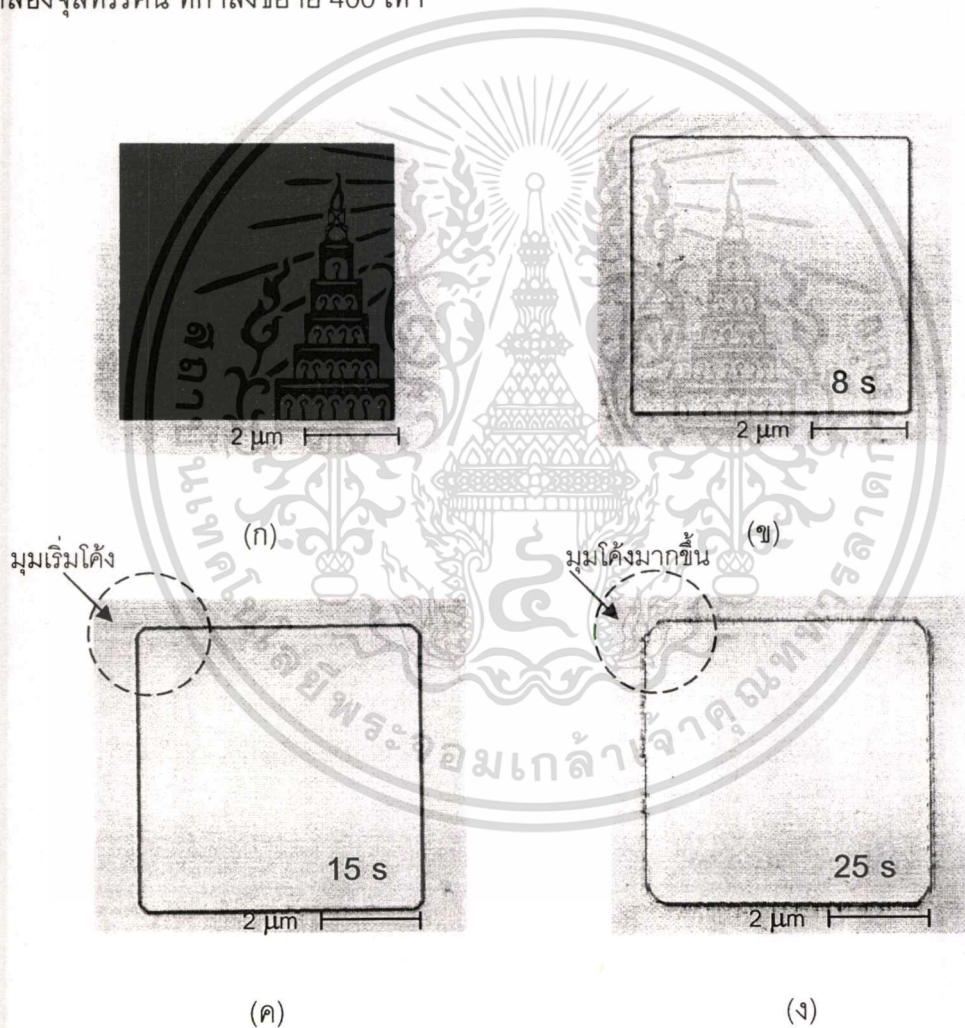
ดูรายละเอียดภาคผนวก ข

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของฟิล์มอลูมิเนียมที่สร้างจากทั้ง 2 วิธีนี้ เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถเลือกไปใช้งานให้เหมาะสมกับการสร้างอุปกรณ์

5.4.1 การศึกษาเวลาในการฉายแสง สำหรับการสร้างลวดลายบนชั้นอลูมิเนียม

การทดลองเริ่มจากนำแผ่นซิลิคอน ขนาด 2 นิ้ว ที่สร้างชั้นอลูมิเนียมแล้ว ทำความสะอาดและเตรียมผิวหน้า จากนั้นเคลือบน้ำยาไวแสง AZ 6112 ที่ปริมาณ 0.750 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ความเร็วรอบสปินเนอร์ 3000 รอบ/นาที ใช้เวลาในการเคลือบน้ำยาไวแสง 40 วินาที รอบครั้งแรก หลังจากนั้นฉายแสงผ่านโฟโตมาสก์โครเมียมต้นแบบ เพื่อสร้างลวดลาย โดยเปลี่ยนแปลงเวลาในการฉายแสง เพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสม นำไปขึ้นลวดลาย จากนั้นทำการตรวจสอบลวดลายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า



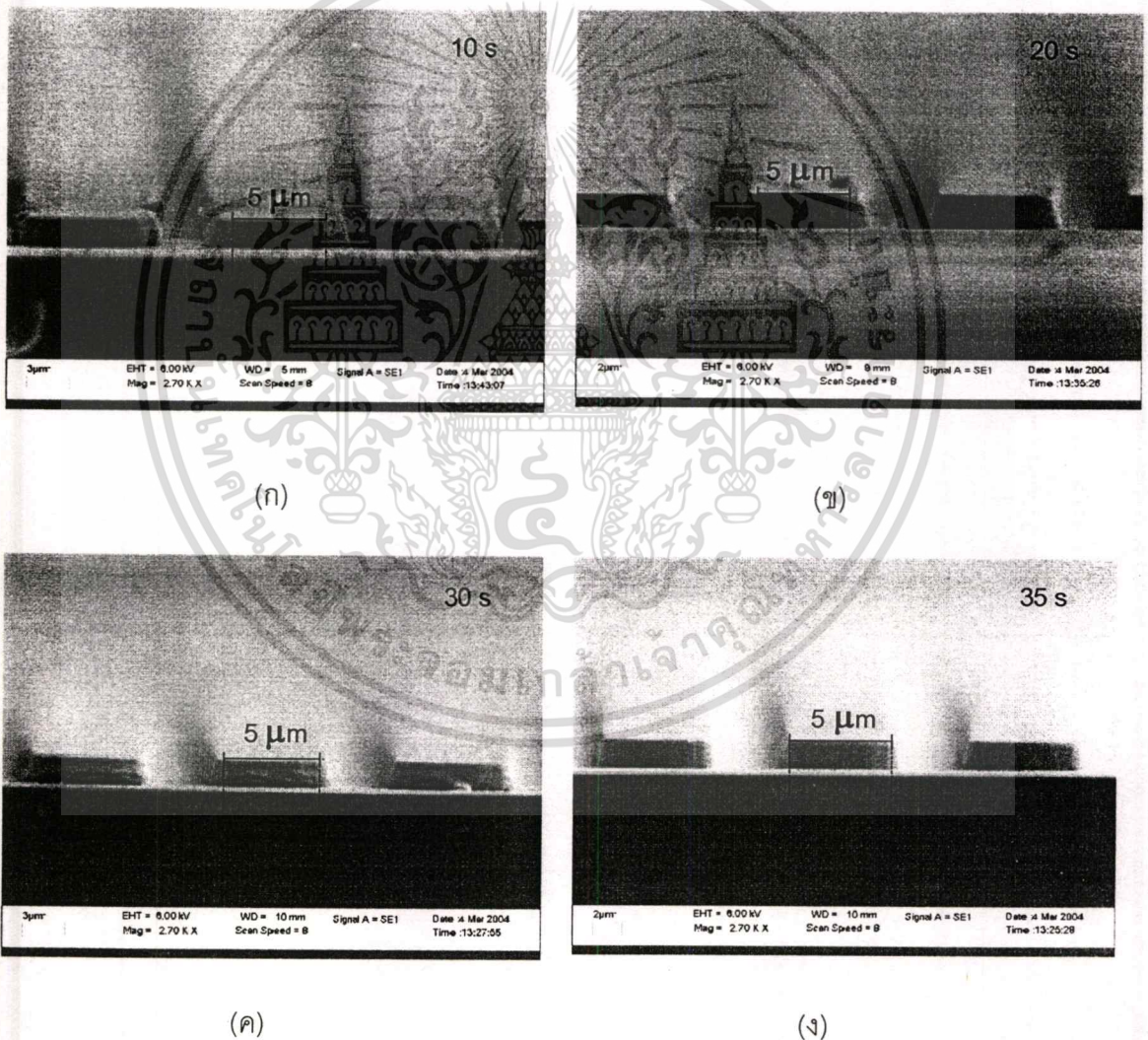
รูปที่ 5.32 การเปรียบเทียบลวดลายบนชั้นอลูมิเนียมกับลวดลายบนโฟโตมาสก์เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาในการฉายแสง เมื่อใช้ น้ำยาไวแสง AZ6112 โดย
 (ก) ลวดลายบนโฟโตมาสก์ (ข) ลวดลายเมื่อฉายแสง 8 วินาที
 (ค) ลวดลายเมื่อฉายแสง 15 วินาที (ง) ลวดลายเมื่อฉายแสง 25 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในรูปที่ 5.32 เมื่อให้เวลาในการฉายแสง 8 วินาที ความคมชัดของลวดลายใกล้เคียงกับโฟโตมาส์ก แต่เมื่อเพิ่มเวลาฉายแสง 15 วินาที ความคมชัดของลวดลายลดลง โดยสังเกตได้จากบริเวณมุมฉากเริ่มโค้งมน และบริเวณมุมจะโค้งมากขึ้น เมื่อเพิ่มเวลาในการฉายแสง 25 วินาที แสดงว่า การใช้เวลาในการฉายแสงที่มากเกินไปมีผลต่อความคมชัดของลวดลาย ดังนั้น เวลาในการฉายแสงที่เหมาะสมสำหรับสร้างลวดลายของน้ำยาไวแสง AZ 6112 เพื่อสร้างลวดลายบนชั้นอลูมิเนียม คือ 8 วินาที

5.4.2 การศึกษาเวลาในการขึ้นลวดลาย สำหรับสร้างลวดลายบนชั้นอลูมิเนียม

เพื่อกำหนดตัวแปรในการขึ้นลวดลายที่เหมาะสม ทำให้ลวดลายของน้ำยาไวแสงหลังจากการฉายแสงมีความคมชัดและมีขนาดลวดลายใกล้เคียงกับลวดลายที่ออกแบบบนโฟโตมาส์ก



รูปที่ 5.33 ภาพตัดขวางของลวดลายน้ำยาไวแสง AZ 6112 ที่ได้จากกล้อง SEM

(ก) เมื่อใช้เวลายื่นลวดลาย 10 วินาที (ข) เมื่อใช้เวลายื่นลวดลาย 20 วินาที

(ค) เมื่อใช้เวลายื่นลวดลาย 30 วินาที (ง) เมื่อใช้เวลายื่นลวดลาย 35 วินาที

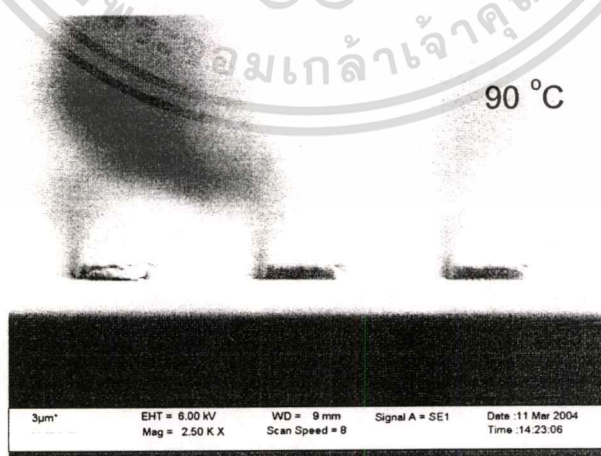
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มจากนำแผ่นซิลิคอน ขนาด 2 นิ้ว ที่สร้างชั้นอลูมิเนียม ทำความสะอาดและเตรียมผิวหน้า จากนั้นเคลือบน้ำยาไวแสง AZ 6112 ที่ปริมาณ 0.750 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ความเร็วรอบของสปินเนอร์ 3000 รอบ/นาที เวลาในการเคลือบน้ำยาไวแสง 40 วินาที รอบครั้งแรก หลังจากนั้นฉายแสงผ่านโฟโตมาสก์โครเมียมต้นแบบ เพื่อสร้างลวดลายที่ 8 วินาที โดยเปลี่ยนแปลงเวลาในการขึ้นลวดลาย เพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสม จากนั้นทำการตรวจสอบลวดลายด้วยกล้อง SEM เพื่อหาค่าเวลาที่ดียิ่งที่สุดในการสร้างลวดลาย

ผลการทดลองรูปที่ 5.33 พบว่า จากรูป (ก) เมื่อทำการขึ้นลวดลายที่เวลา 10 วินาที ลวดลายที่ได้จะไม่สมบูรณ์เนื่องจากน้ำยาไวแสงบางส่วนยังไม่ละลายหลุดออกไป และบางส่วนก็หลุดออกไปไม่หมด ซึ่งจะทำให้เกิดการลัดวงจรของลวดลายอลูมิเนียมได้เมื่อนำไปสร้างอุปกรณ์ จากผลการทดลองรูป (ข) และ (ค) เมื่อทำการขึ้นลวดลายที่เวลา 20 วินาที และ 30 วินาที พบว่าสามารถล้างน้ำยาไวแสงได้หมด แต่ขนาดของลวดลายไม่เป็นไปตามที่ต้องการ เมื่อเพิ่มเวลาในการขึ้นลวดลายเป็น 35 วินาที ดังรูป (ง) พบว่า ลวดลายน้ำยาไวแสงที่ได้มีขนาดตามที่ต้องการ ใกล้ เคียงกับขนาดของโฟโตมาสก์ ดังนั้น การเลือกเวลาในการขึ้นลวดลายบนชั้นอลูมิเนียมของน้ำยาไวแสง AZ 6112 ใช้เวลาในการขึ้นลวดลาย 35 วินาที

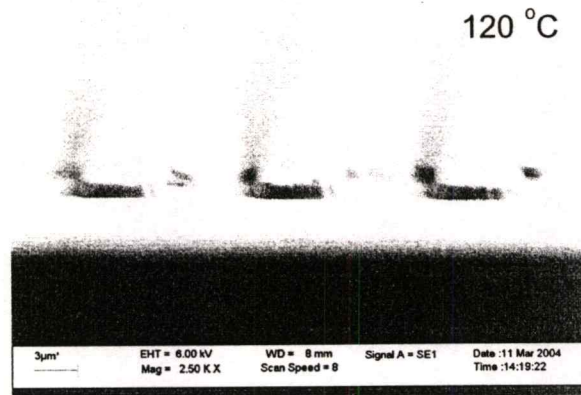
5.4.3 การศึกษาอุณหภูมิในการอบครั้งหลังของน้ำยาไวแสง เบอร์ AZ 6112

การทดลองเริ่มจากเคลือบน้ำยาไวแสง เบอร์ AZ 6112 บนแผ่นซิลิคอนขนาด 2 นิ้ว ด้วยความเร็วรอบ 3000 รอบ/นาที ที่เวลา 40 วินาที รอบครั้งแรก จากนั้นฉายแสงผ่านโฟโตมาสก์ที่เวลา 8 วินาที ทำการขึ้นลวดลายใช้เวลา 35 วินาที ตรวจสอบความคมชัดของลวดลายขนาด 5 ไมครอน จากนั้นทำการอบครั้งหลังโดยใช้อุณหภูมิที่ 90, 120, 140 °C ใช้เวลาในการอบครั้งหลัง 30 นาที จากนั้นนำลวดลายที่ได้ไปตรวจสอบผลการทดลองด้วยเครื่อง SEM

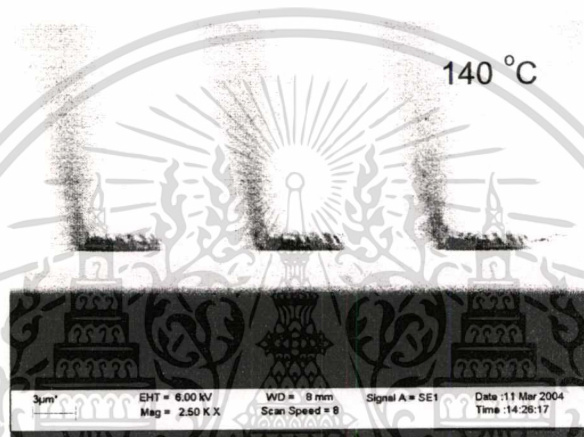


(ก)

รูปที่ 5.34 ลวดลายของน้ำยาไวแสง AZ 6112 โดยอบที่ (ก) 90 °C (ข) 120 °C (ค) 140 °C เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

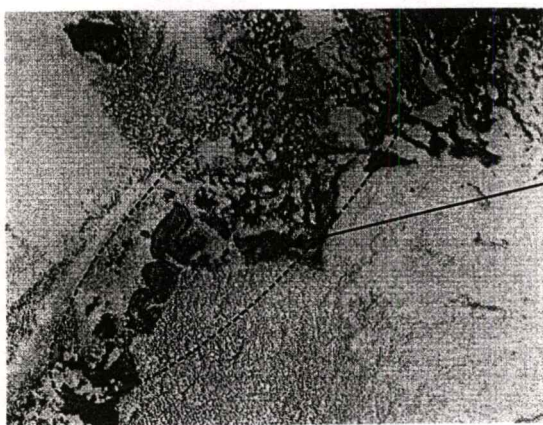


(ค)

รูปที่ 5.34 ลวดลายของน้ำยาไวแสง AZ 6112 โดยอบที่ (ก) 90 °C (ข) 120 °C (ค) 140 °C (ต่อ)

จากผลการทดลองรูปที่ 5.34 เมื่ออบครั้งหลังด้วยอุณหภูมิที่ 90 °C ในรูป (ก) พบว่า น้ำยาไวแสงแห้งยึดติดกับผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ เนื่องจากความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงหนาไม่มาก แต่ถ้านำไปกัดชั้นอลูมิเนียมที่ต้องใช้อุณหภูมิประมาณ 45 °C อาจทำให้น้ำยาไวแสงไม่สามารถทนได้ จนเกิดการหลุดของฟิล์มน้ำยาไวแสงได้ เมื่ออบครั้งหลังด้วยอุณหภูมิ 120 °C ในรูป (ข) พบว่า น้ำยาไวแสงแห้งยึดติดกับผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ และความแห้งที่บริเวณขอบของลวดลายน้ำยาไวแสงค่อนข้างดี ซึ่งที่อบอุณหภูมินี้สามารถทนต่ออุณหภูมิที่ใช้กัดชั้นอลูมิเนียมได้ เมื่ออบครั้งหลังด้วยอุณหภูมิ 140 °C ในรูป (ค) พบว่า น้ำยาไวแสงไหม้และมีปัญหาในขั้นตอนการล้างฟิล์ม ซึ่งฟิล์มน้ำยาไวแสงที่ไหม้มักจะล้างไม่ออก แสดงดังรูปที่ 5.35 และการล้างฟิล์มของชั้นอลูมิเนียมไม่สามารถล้างด้วยกรดได้ที่อุณหภูมินี้จึงไม่มีความเหมาะสม ดังนั้น การเลือกอุณหภูมิในการอบครั้งหลังจึงเลือกที่ 120 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



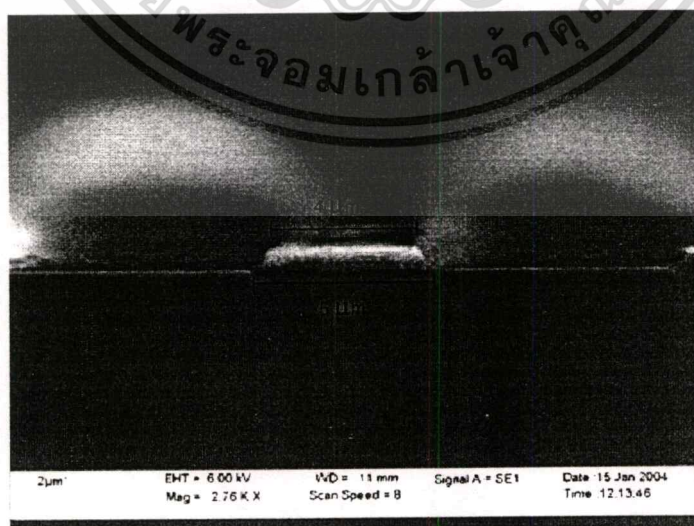
คราบฟิล์มน้ำยาไวแสงที่
ใหม่ บนชั้นอลูมิเนียม

รูปที่ 5.35 ฟิล์มน้ำยาไวแสงที่ใหม่ติดอยู่บนชั้นอลูมิเนียม หลังจากทำความสะอาดแล้ว

5.4.1 การศึกษาการกัดลวดลายของชั้นอลูมิเนียม

การศึกษาการกัดลวดลายที่ใช้การกัดแบบเปียก จะต้องศึกษาระยะการกัดด้านข้างเนื่องจากขนาดของลวดลายที่ได้หลังการกัดมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานเมื่อนำไปสร้างเป็นอุปกรณ์ ซึ่งการหาระยะการกัดด้านข้างของลวดลายอลูมิเนียมจะเหมือนกับการหาระยะการกัดด้านข้างของลวดลายชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ โดยวัดขนาดลวดลายด้วยภาคตัดขวางที่ได้จากเครื่อง SEM แสดงดังรูปที่ 5.23 และหาระยะการกัดด้านข้างด้วยสมการ (5.4)

ยกตัวอย่าง การวัดระยะการกัดด้านข้างของชั้นอลูมิเนียมจากชิ้นงานจริง ดังรูปที่ 5.36 ซึ่งมีขนาดลวดลายก่อนกัด (X) $5\ \mu\text{m}$ ขนาดลวดลายหลังการกัด (Y) $4\ \mu\text{m}$ จากสมการที่ (5.4) ได้ระยะการกัดด้านข้างของลวดลาย (W) ข้างละ $0.5\ \mu\text{m}$



รูปที่ 5.36 การวัดขนาดลวดลายด้วยเครื่อง SEM เพื่อหาระยะการกัดด้านข้างของชั้นอลูมิเนียม
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.4.1 การศึกษาระยะการกัดด้านข้างของชั้นอลูมิเนียม ที่สร้างด้วยเครื่องสร้างฟิล์มอลูมิเนียมแบบสุญญากาศ

การทดลองนี้จะศึกษาระยะการกัดด้านข้างของลวดลายอลูมิเนียม โดยเปลี่ยนแปลงค่าความหนาของอลูมิเนียม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาของอลูมิเนียมด้วยวิธีการสร้างฟิล์มอลูมิเนียมแบบสุญญากาศ (evaporate) จะทำได้โดยเปลี่ยนแปลงจำนวนเส้นของอลูมิเนียม ในการทดลองนี้ได้เปลี่ยนแปลงจำนวนเส้นอลูมิเนียมที่ 3,5,7,10 เส้น มีเงื่อนไขการสร้างฟิล์มอลูมิเนียมด้วยเครื่องสร้างฟิล์มอลูมิเนียมแบบสุญญากาศที่ ความดัน 2×10^{-6} Torr

การทดลองเริ่มจากนำแผ่นซิลิคอน ขนาด 2 นิ้ว สร้างชั้นอลูมิเนียม ทำความสะอาดและเตรียมผิวหน้า จากนั้นเคลือบน้ำยาไวแสง AZ 6112 ที่ปริมาณ 0.750 ลูกบาศก์เซนติเมตร ความเร็วรอบสปินเนอร์ 3000 รอบ/นาที ใช้เวลา 40 วินาที รอบครั้งแรก ฉายแสงผ่านโฟโตมาสก์โครเมียมต้นแบบ เพื่อสร้างลวดลายที่ 8 วินาที ชั้นลวดลายน้ำยาไวแสงโดยจุ่มลงในน้ำยาชั้นลวดลาย 35 วินาที รอบครั้งที่สอง กัดลวดลายด้วยกระบวนการกัดแบบเปียก ด้วยสารละลายที่มีส่วนผสมของกรดฟอสฟอริก อัตราส่วน 80:5:5:10 ที่อุณหภูมิ 45°C ในอัตราการกัด $4000 \text{ \AA}/\text{min}$ เมื่อกัดชั้นอลูมิเนียมที่ไม่ต้องการออก จนได้ลวดลายที่ต้องการแล้ว ทำการล้างน้ำยาไวแสงออก จากนั้นตรวจสอบขนาดของลวดลาย ด้วยกล้อง SEM จะได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 5.37



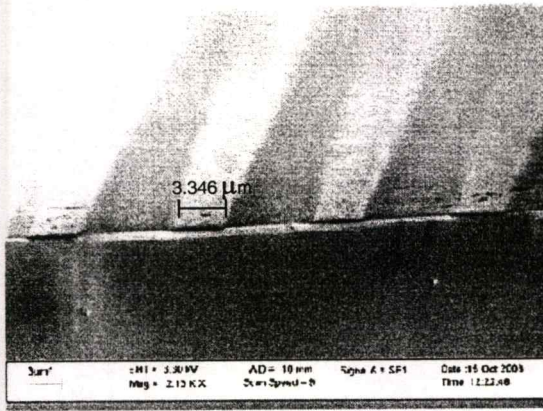
(ก)

(ข)

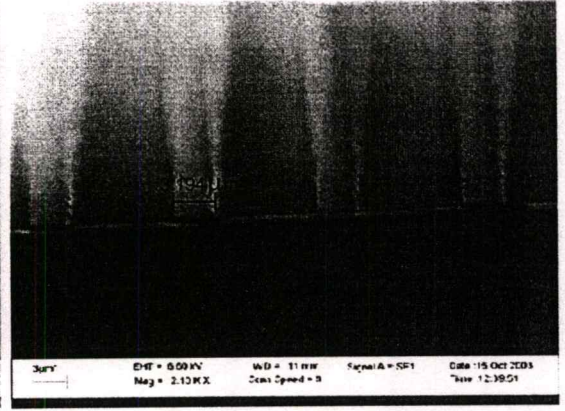
รูปที่ 5.37 ภาพตัดขวางของลวดลายอลูมิเนียมขนาด 5 ไมครอน ที่ได้จากกล้อง SEM

(ก) ชั้นอลูมิเนียมหนา 4360 \AA (ข) ชั้นอลูมิเนียมหนา 6656 \AA

(ค) ชั้นอลูมิเนียมหนา 9475 \AA (ง) ชั้นอลูมิเนียมหนา 11253 \AA



(ค)



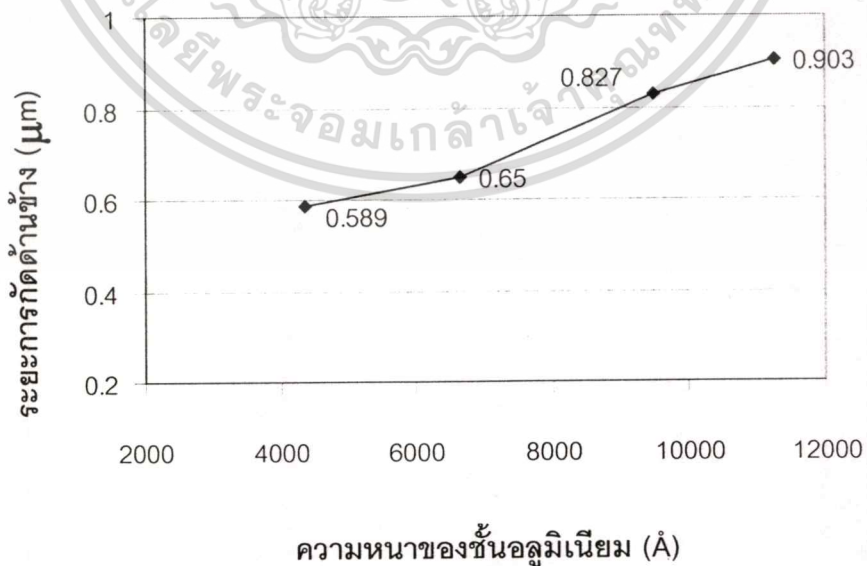
(ง)

รูปที่ 5.37 ภาพตัดขวางของลวดลายอลูมิเนียมขนาด 5 ไมครอน ที่ได้จากกล้อง SEM (ต่อ)

(ก) ชั้นอลูมิเนียมหนา 4360 Å (ข) ชั้นอลูมิเนียมหนา 6656 Å

(ค) ชั้นอลูมิเนียมหนา 9475 Å (ง) ชั้นอลูมิเนียมหนา 11253 Å

จากภาพตัดขวางในรูปที่ 5.37 พบว่า เมื่อความหนาของชั้นอลูมิเนียมมีค่ามากกว่าลวดลายที่ได้หลังกัดชั้นอลูมิเนียมจะมีขนาดเล็กกว่าลวดลายของชั้นอลูมิเนียมที่มีความหนาน้อย เมื่อทราบขนาดของลวดลายแล้ว นำขนาดที่ได้จากการตรวจสอบลวดลายด้วยกล้อง SEM มาพล็อตกราฟ เพื่อหาความสัมพันธ์การกัดด้านข้างของลวดลายขนาด 5 ไมครอน ดังรูปกราฟที่ 5.38



รูปที่ 5.38 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นอลูมิเนียมและระยะการกัดด้านข้างของ

ลวดลายอลูมิเนียมขนาด 5 ไมครอน โดยการกัดแบบเปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

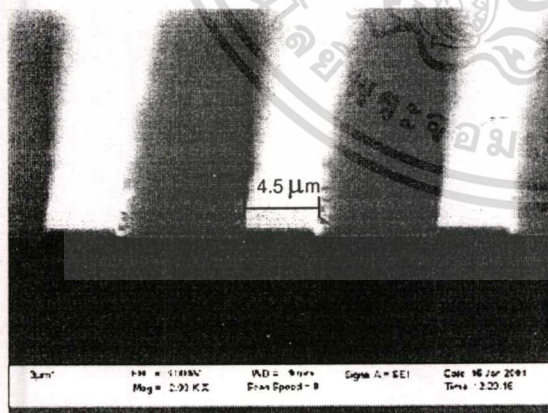
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.38 จะเห็นว่า ระยะเวลาการกัดด้านข้างจะมีค่าเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับค่าความหนาฟิล์มอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น

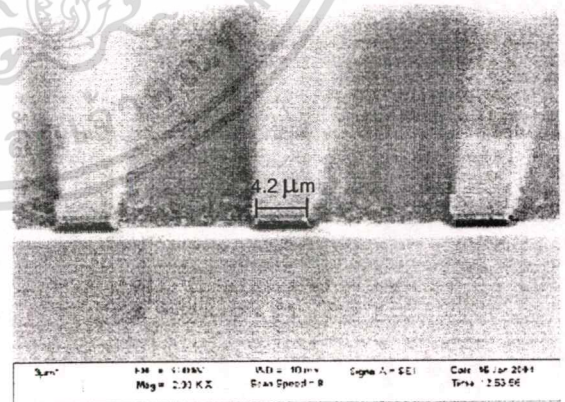
5.4.4.2 การศึกษาระยะการกัดลดลายของชั้นอลูมิเนียม ที่สร้างด้วยเครื่องสปัตเตอร์

การทดลองนี้จะศึกษาระยะการกัดด้านข้างของลดลายอลูมิเนียม เพื่อหาความผิดพลาดของขนาดลดลายอลูมิเนียม ที่ 5 ไมครอน โดยการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาของอลูมิเนียม โดยการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาของอลูมิเนียมด้วยเครื่องสปัตเตอร์ (sputtering) จะทำได้จากการเปลี่ยนแปลงเวลาในการเคลือบชั้นอลูมิเนียม โดยมีอัตราการเคลือบอลูมิเนียมที่ 60 Å/นาที่ ที่เงื่อนไขในการสร้างฟิล์มอลูมิเนียมด้วยเครื่องสปัตเตอร์ ที่ความดัน 7×10^{-7} torr ภายใต้อุณหภูมิประมาณ 50 °C เพื่อให้ได้ค่าความหนา 3000, 5000, 7000 Å ตามลำดับ เมื่อสร้างชั้นอลูมิเนียมที่มีความหนาแตกต่างกันแล้ว ต่อไปจะทำการศึกษาระยะการกัดด้านข้างของลดลาย

การทดลองเริ่มจากนำแผ่นซิลิคอน ขนาด 2 นิ้ว สร้างชั้นอลูมิเนียม ทำความสะอาดและเตรียมผิวหน้า จากนั้นเคลือบน้ำยาไวแสง AZ 6112 ที่ปริมาณ 0.750 ลูกบาศก์เซนติเมตร ความเร็วรอบสปินเนอร์ 3000 รอบ/นาที่ ใช้เวลา 40 วินาที รอบครั้งแรก ฉายแสงผ่านโฟโตมาส์คโครเนียมต้นแบบ เพื่อสร้างลดลาย ที่ 8 วินาที ชั้นลดลายน้ำยาไวแสงโดยจุ่มลงในน้ำยาขึ้นลดลาย 35 วินาที รอบครั้งที่สอง กัดลดลายด้วยกระบวนการกัดแบบเปียก ด้วยสารละลายที่มีส่วนผสมของกรดฟอสฟอริก อัตราส่วน 80:5:5:10 ที่อุณหภูมิ 45 °C ในอัตราการกัด 3000 Å/min เมื่อกัดชั้นอลูมิเนียมที่ไม่ต้องการออก จนได้ลดลายที่ต้องการแล้ว ทำการล้างน้ำยาไวแสงออก จากนั้นตรวจสอบขนาดของลดลาย ด้วยกล้อง SEM จะได้ผลการทดลอง ดังรูป ที่ 5.39



(ก)



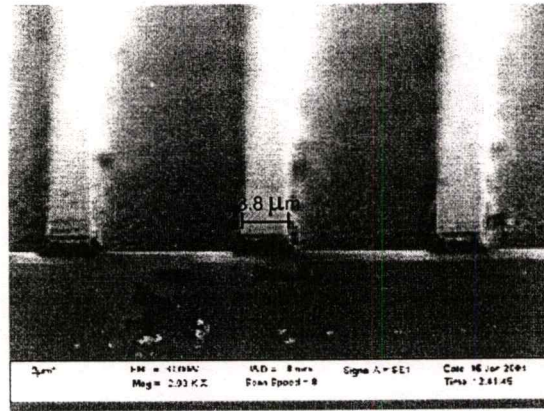
(ข)

รูปที่ 5.39 ภาพตัดขวางของลดลายอลูมิเนียมขนาด 5 ไมครอน ที่ได้จากกล้อง SEM

(ก) ชั้นอลูมิเนียมหนา 3000 Å (ข) ชั้นอลูมิเนียมหนา 5000 Å

(ค) ชั้นอลูมิเนียมหนา 7000 Å

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

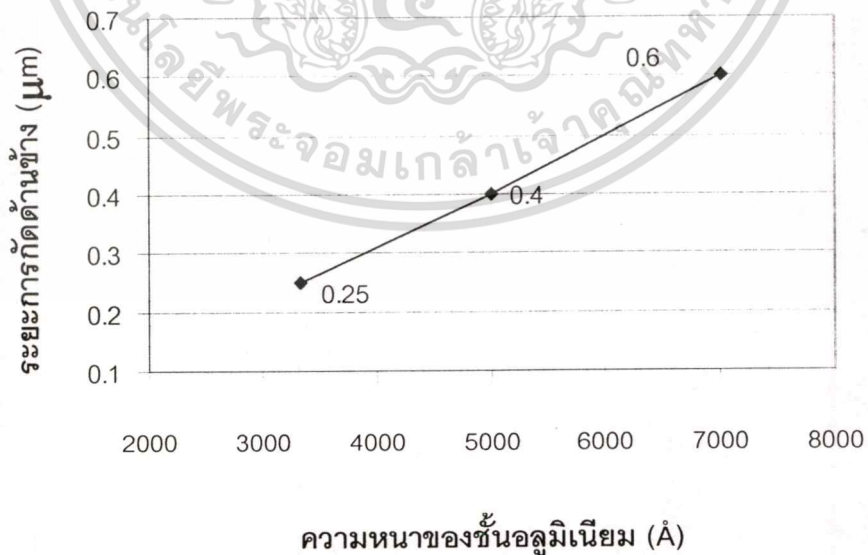


(ค)

รูปที่ 5.39 ภาพตัดขวางของลวดลายอลูมิเนียมขนาด 5 ไมครอน ที่ได้จากกล้อง SEM (ต่อ)

- (ก) ชั้นอลูมิเนียมหนา 3000 Å (ข) ชั้นอลูมิเนียมหนา 5000 Å
(ค) ชั้นอลูมิเนียมหนา 7000 Å

จากภาพตัดขวางในรูปที่ 5.39 พบว่า เมื่อความหนาของชั้นอลูมิเนียมมีค่ามากขนาดลวดลายที่ได้หลังกัดชั้นอลูมิเนียมจะมีขนาดเล็กกว่าลวดลายของชั้นอลูมิเนียมที่มีความหนาน้อย เมื่อทราบขนาดของลวดลายแล้ว นำขนาดที่ได้จากการตรวจสอบลวดลายด้วยกล้อง SEM มาพล็อตกราฟ เพื่อหาค่าระยะการกัดด้านข้างของลวดลายขนาด 5 ไมครอน ดังรูปกราฟที่ 5.40

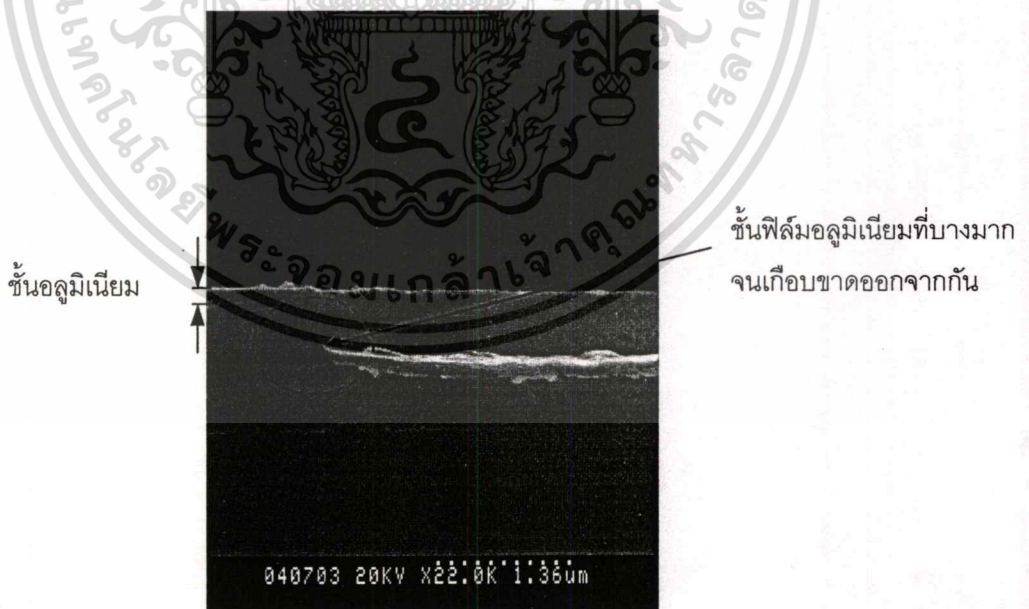


รูปที่ 5.40 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาอลูมิเนียมและระยะการกัดด้านข้างของลวดลาย

อลูมิเนียมขนาด 5 ไมครอน โดยการกัดแบบเปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 5.40 จะเห็นว่า เมื่อค่าความหนาฟิล์มอลูมิเนียมมีค่ามากขึ้นจะทำให้ระยะเวลาการกัดด้านข้างมีค่ามากขึ้นตามไปด้วยในการใช้งานลวดลายอลูมิเนียมต้องการการกัดเซาะด้านข้างมีค่าน้อย เพื่อป้องกันการลัดวงจรของอุปกรณ์ ซึ่งต้องสร้างฟิล์มอลูมิเนียมที่ความหนามีค่าน้อย แต่การที่ฟิล์มอลูมิเนียมบางมากจะทำให้เกิดการขาดของชั้นฟิล์มอลูมิเนียม (Electromigration) [25] ดังรูปที่ 5.41* เนื่องจากการสร้างฟิล์มอลูมิเนียมหนาไม่เพียงพอ เมื่อนำอุปกรณ์ไปใช้งานในทางปฏิบัติ เมื่อเกิดความร้อนจะทำให้เกิดการดึงตัวของลวดลายอลูมิเนียม จนกระทั่งเกิดการขาดของลวดลายอลูมิเนียม ทำให้อุปกรณ์ไม่สามารถทำงานได้ โดยทั่วไปความหนาของอลูมิเนียมที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานต้องมากกว่า 5000 Å ซึ่งเมื่อพิจารณาระยะเวลาการกัดด้านข้างของความหนาชั้นอลูมิเนียมที่ 5000 Å ในรูปที่ 5.38 ลวดลายของชั้นอลูมิเนียม ที่สร้างด้วยเครื่องสร้างฟิล์มอลูมิเนียมแบบสุญญากาศ มีระยะเวลาการกัดด้านข้างประมาณ 0.6 ไมครอน มีค่าผิดพลาดประมาณ 12% และ ในรูปที่ 5.40 ลวดลายของชั้นอลูมิเนียม ที่สร้างด้วยเครื่องสปัตเตอร์ มีระยะเวลาการกัดด้านข้างประมาณ 0.4 ไมครอน มีค่าผิดพลาดประมาณ 8% ซึ่งระยะเวลาการกัดด้านข้างของ ลวดลายขนาด 5 ไมครอน ที่ความหนาอลูมิเนียม 5000 Å แสดงให้เห็นว่า ลวดลายอลูมิเนียมที่สร้างได้ไม่ทำให้เกิดการลัดวงจรของลวดลาย แต่ในความเป็นจริงการสร้างวงจรรวมที่สามารถใช้งานได้ต้องขึ้นอยู่กับกระบวนการสร้างทั้งหมดซึ่งมีฟิล์มบางหลายแบบและมีกระบวนการสร้างที่ซับซ้อน

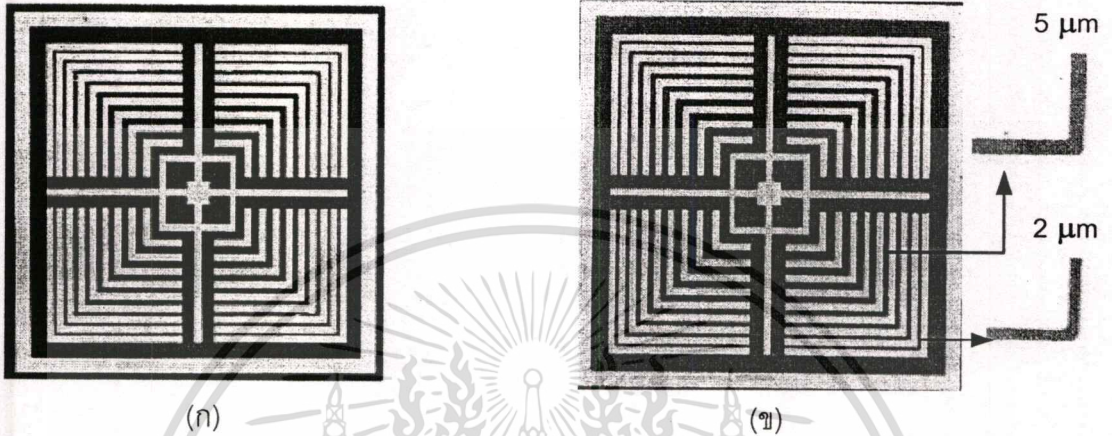


รูปที่ 5.41 การเกิดปรากฏการณ์ขาดออกจากกันของลวดลายอลูมิเนียม เนื่องจากการสร้างชั้นอลูมิเนียมบางเกินไป

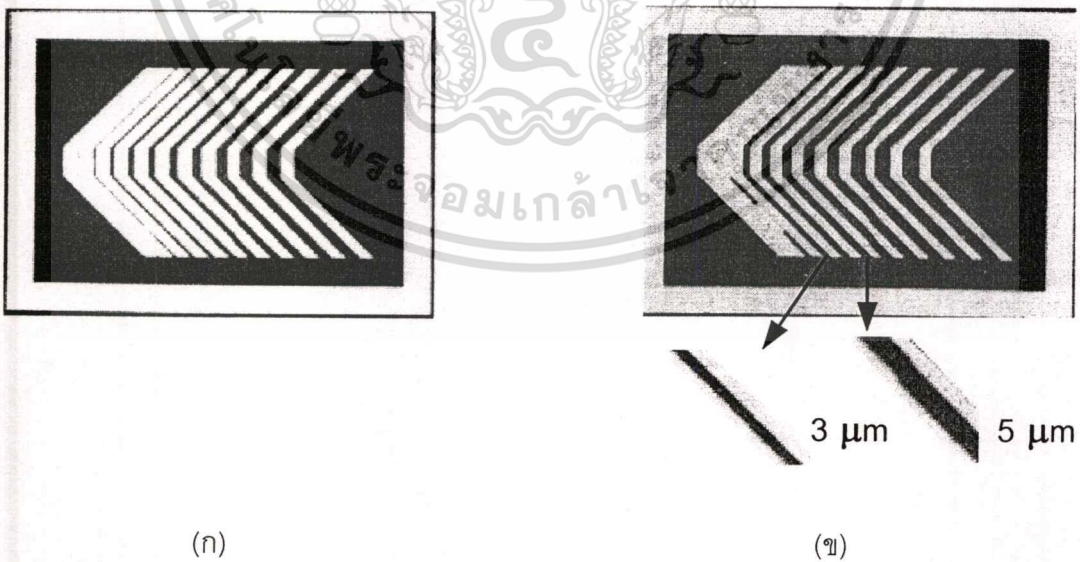
เอกสารภาพ SEM จากโครงการวิจัยร่วม ERC-NTCTEC-NTTAT ศึกษานี้ ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.5 การตรวจสอบลวดลายของชั้นอลูมิเนียม

เพื่อทำการตรวจสอบความคมชัดของลวดลายทดสอบหลังจากทำการกัดลวดลายของชั้นอลูมิเนียม โดยทำการเปรียบเทียบลวดลายกับลวดลายของโฟโตมาส์ก ด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า ดังแสดงดังรูปที่ 5.42, 5.43, 5.44, 5.45 และ 5.46



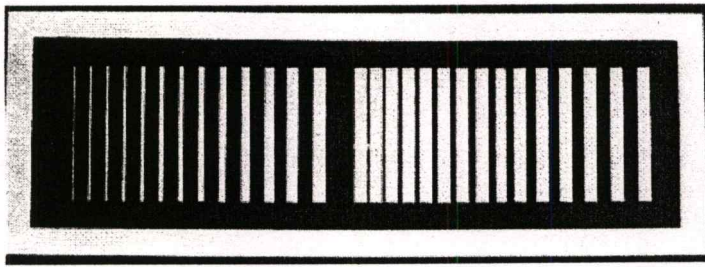
รูปที่ 5.42 ลวดลายที่ใช้ทดสอบ ขนาด และเส้นตั้งฉากของลวดลาย
(ก) ลวดลายบนโฟโตมาส์ก (ข) ลวดลายของชั้นอลูมิเนียม



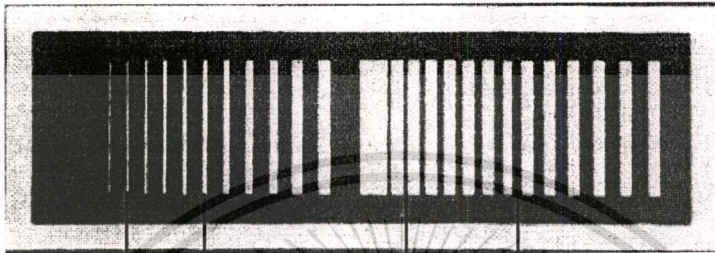
รูปที่ 5.43 ลวดลายที่ใช้ทดสอบขนาดของเส้นตรงในลักษณะทำมุม 45 องศา

(ก) ลวดลายบนโฟโตมาส์ก (ข) ลวดลายของชั้นอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



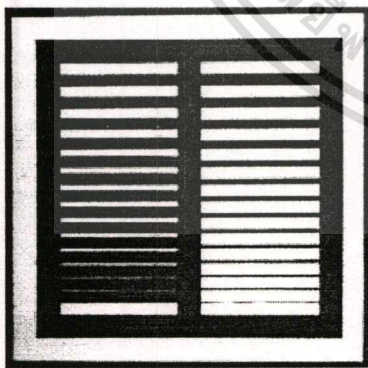
(ก)



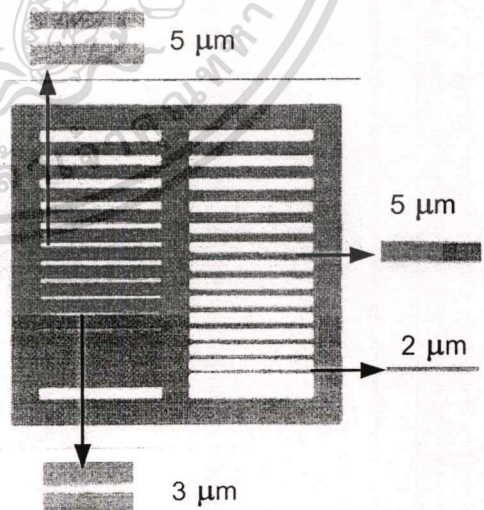
(ข)

รูปที่ 5.44 ลวดลายที่ใช้ทดสอบ ขนาด และช่องว่างของลวดลาย

(ก) ลวดลายบนโฟโตมาสก์ (ข) ลวดลายของชั้นอลูมิเนียม



(ก)

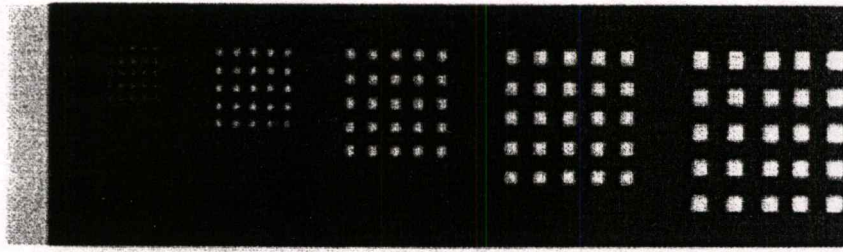


(ข)

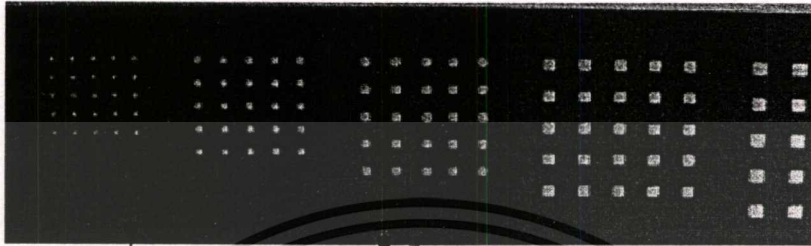
รูปที่ 5.45 ลวดลายที่ใช้ทดสอบ ขนาด และช่องว่างของเส้นตรง

(ก) ลวดลายบนโฟโตมาสก์ (ข) ลวดลายของชั้นอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.46 ลวดลายที่ใช้ทดสอบหน้าลัมผัสแบบสี่เหลี่ยม

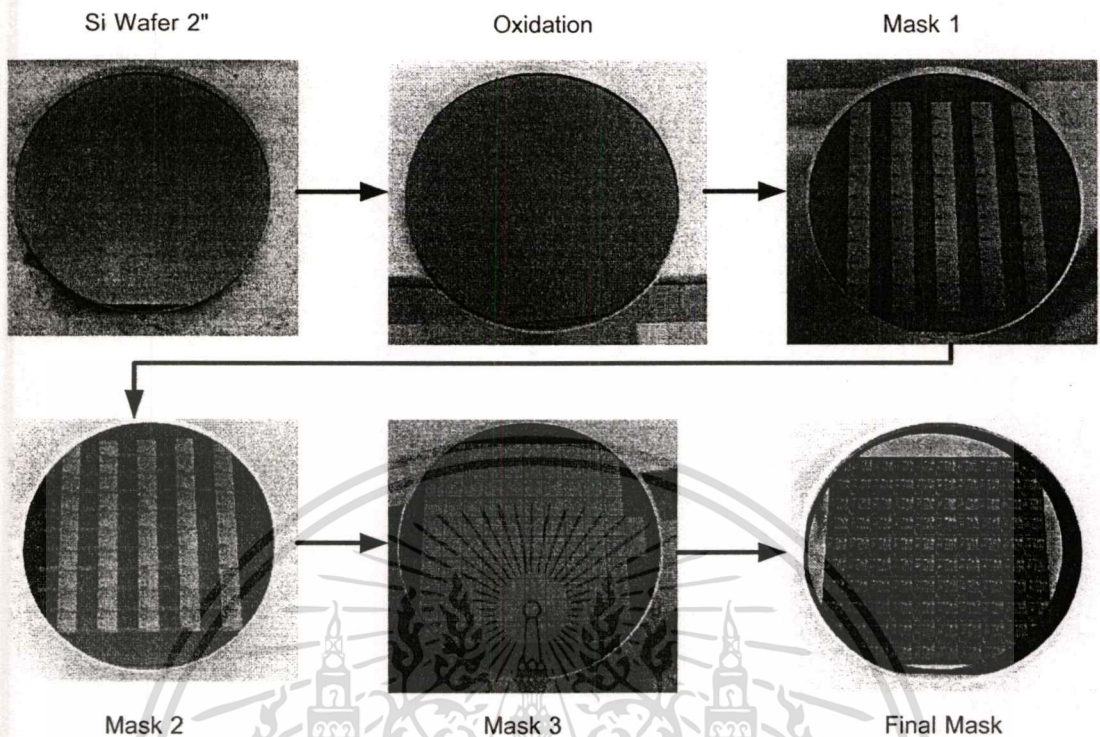
(ก) ลวดลายบนโฟโตมาส์ก (ข) ลวดลายของชั้นอลูมิเนียม

ผลการทดลองในรูปที่ 5.42 – 5.46 ซึ่งใช้ลวดลายทดสอบขนาด 2 ไมครอน - 10 ไมครอน พบว่า ลวดลายขนาด 5 ไมครอน ซึ่งมีรูปแบบของ มุมเอียง มุมฉาก ช่องว่าง และ สีเหลี่ยม มีความคมชัดเมื่อเปรียบเทียบกับโฟโตมาส์กทดสอบ นอกจากนี้ ยังสามารถสร้างลวดลายได้เล็กที่สุดประมาณ 3 ไมครอน แสดงว่า ตัวแปรต่างๆในการสร้างลวดลายบนชั้นอลูมิเนียม จากการทดลองที่ผ่านมาสามารถกำหนดเป็นกระบวนการมาตรฐานได้

5.5 การทดสอบการปรับชั้นมาส์ก

การปรับชั้นมาส์ก จะทำให้การซ้อนทับกันของลวดลายวงจรที่มีอยู่บนแผ่นเวเฟอร์ ตามโครงสร้างของวงจรรวมให้เป็นไปตามที่ออกแบบและถูกต้อง ดังนั้นในหัวข้อนี้ จึงจะทำการปรับชั้นมาส์ก โดยใช้มาส์กของเอ็นมอสมาทำการทดสอบ* เพื่อให้สอดคล้องกับโครงการวิจัยของห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ ในเรื่องของการพัฒนาการสร้างวงจรรวมแบบซีมอส ขนาด 5 ไมครอน

*ดูรายละเอียดของลวดลาย ที่ภาคผนวก ค
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



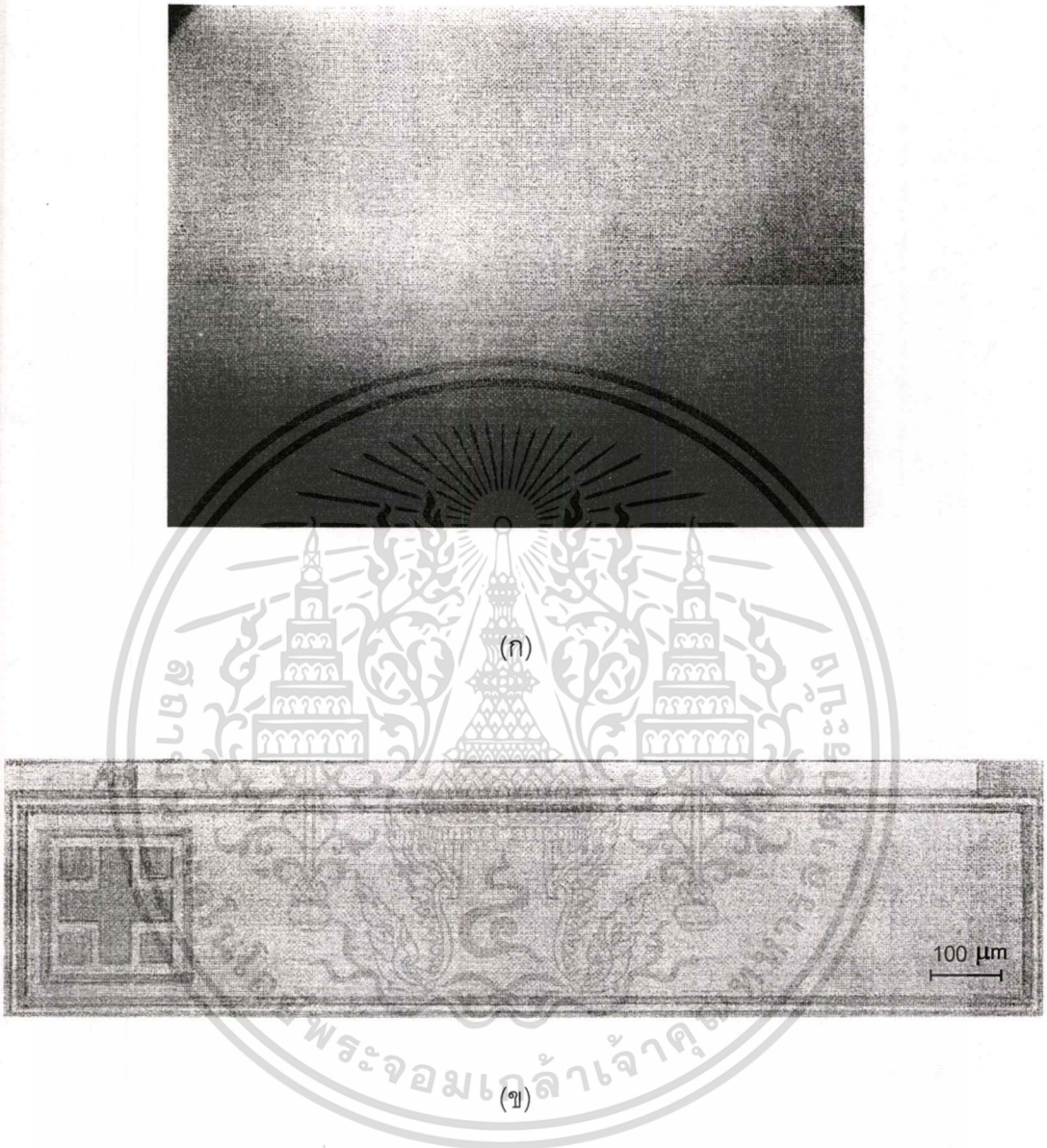
รูปที่ 5.47 ขั้นตอนการทดสอบการปรับชั้นมาสก์บนแผ่นซิลิคอนขนาด 2 นิ้ว

ขั้นตอนทดสอบการปรับชั้นมาสก์ จะใช้แผ่นซิลิคอนขนาด 2 นิ้ว มาใช้ในการทดสอบ ซึ่งการสร้างลวดลายวงจรมอสจะใช้กระบวนการโฟโตลิโธกราฟีมาตรฐานที่ได้จากการทดลองที่ผ่านมา แสดงดังรูปที่ 5.47 โดยโฟโตมาสก์ที่ 1 ถึง โฟโตมาสก์ที่ 6 จะใช้กระบวนการมาตรฐานการสร้างลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ มาใช้ในการสร้างลวดลายวงจร ส่วนโฟโตมาสก์สุดท้ายคือ โฟโตมาสก์ Metal จะใช้กระบวนการมาตรฐานการสร้างลวดลายของชั้นอลูมิเนียมมาใช้ในการสร้างลวดลายวงจร โดยลวดลายที่ได้จะได้จากการปรับชั้นของลวดลายจากโฟโตมาสก์

ในการตรวจสอบลวดลายการปรับชั้นจะใช้กล้องจุลทรรศน์ ที่กำลังขยาย 400 เท่า ซึ่งผลการทดลองที่ได้ แสดงดังรูปที่ 5.48, 5.49, 5.50, 5.51, 5.52, 5.53 และ 5.54

5.5.1 มาร์สก์ที่ 1 (P-Well)

ใช้สำหรับแพร่สารเจือโบรอน เพื่อสร้างบ่อแยกชนิดพี



รูปที่ 5.48 ลวดลายปรับชั้นมาร์สก์ที่ 1 บนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

(ก) ลวดลาย NMOS

(ข) ลวดลายปรับชั้นมาร์สก์

จากรูปที่ 5.48 (ก) จะเห็นว่ายังไม่มีลวดลายของวงจร เพราะโฟโตมาร์สก์ที่ 1 ใช้สำหรับเปิดช่องเพื่อแพร่สารเจือเท่านั้น และจากรูป (ข) จะเห็นว่ายังไม่ต้องมีการปรับชั้นมาร์สก์ เนื่องจากเป็นโฟโตมาร์สก์แรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2 มาส์กที่ 2 (Nch Stop)

ใช้สำหรับเปิดชั้นฟิล์มบางเพื่อแพร่สารเจือโบรอน สร้าง Nch Stop



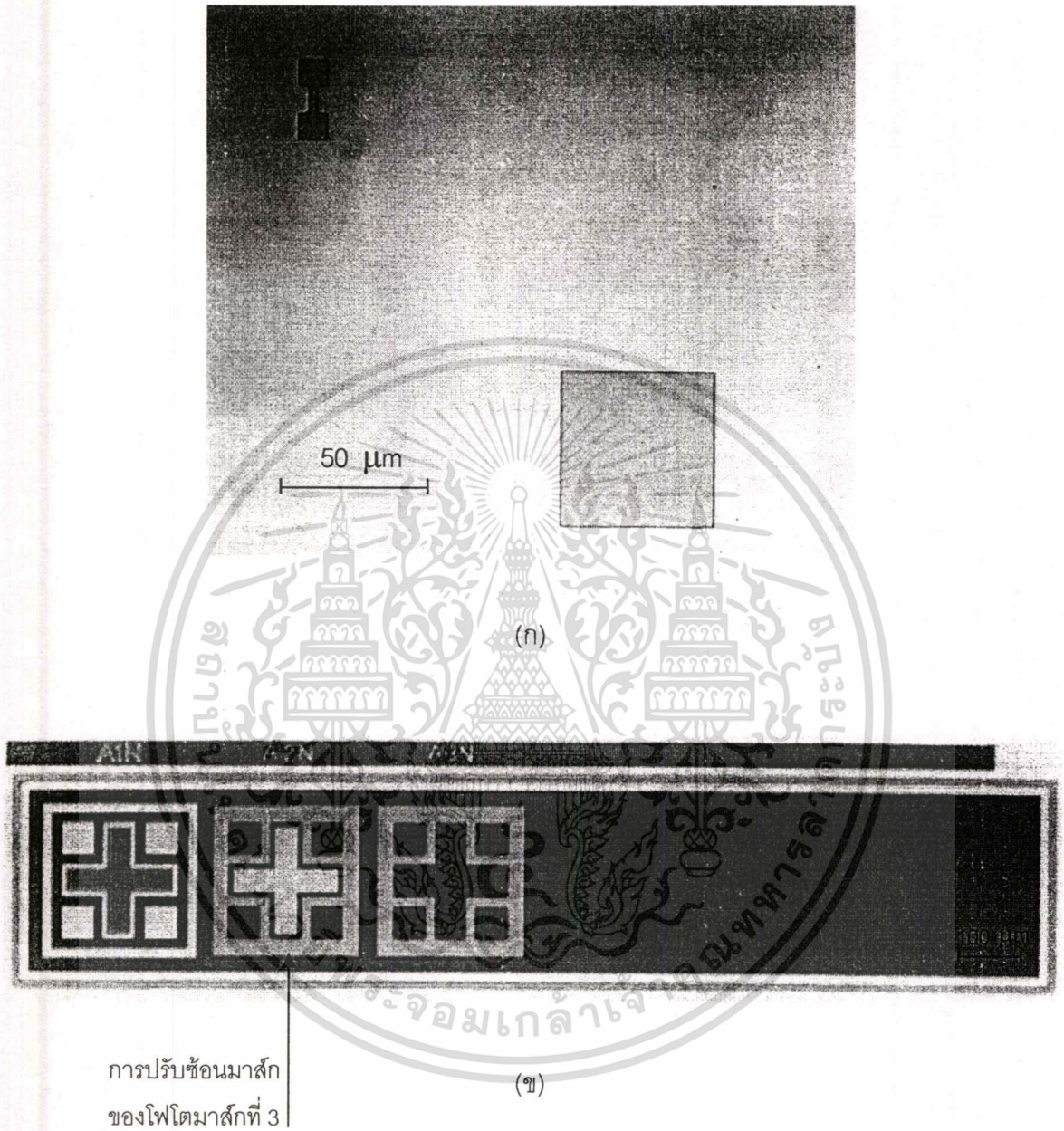
รูปที่ 5.49 ลวดลายมาส์กที่ 2 บนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

(ก) ลวดลาย NMOS

(ข) ลวดลายปรับชั้นมาส์ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.3 มาส์กที่ 3 (Pch Stop)

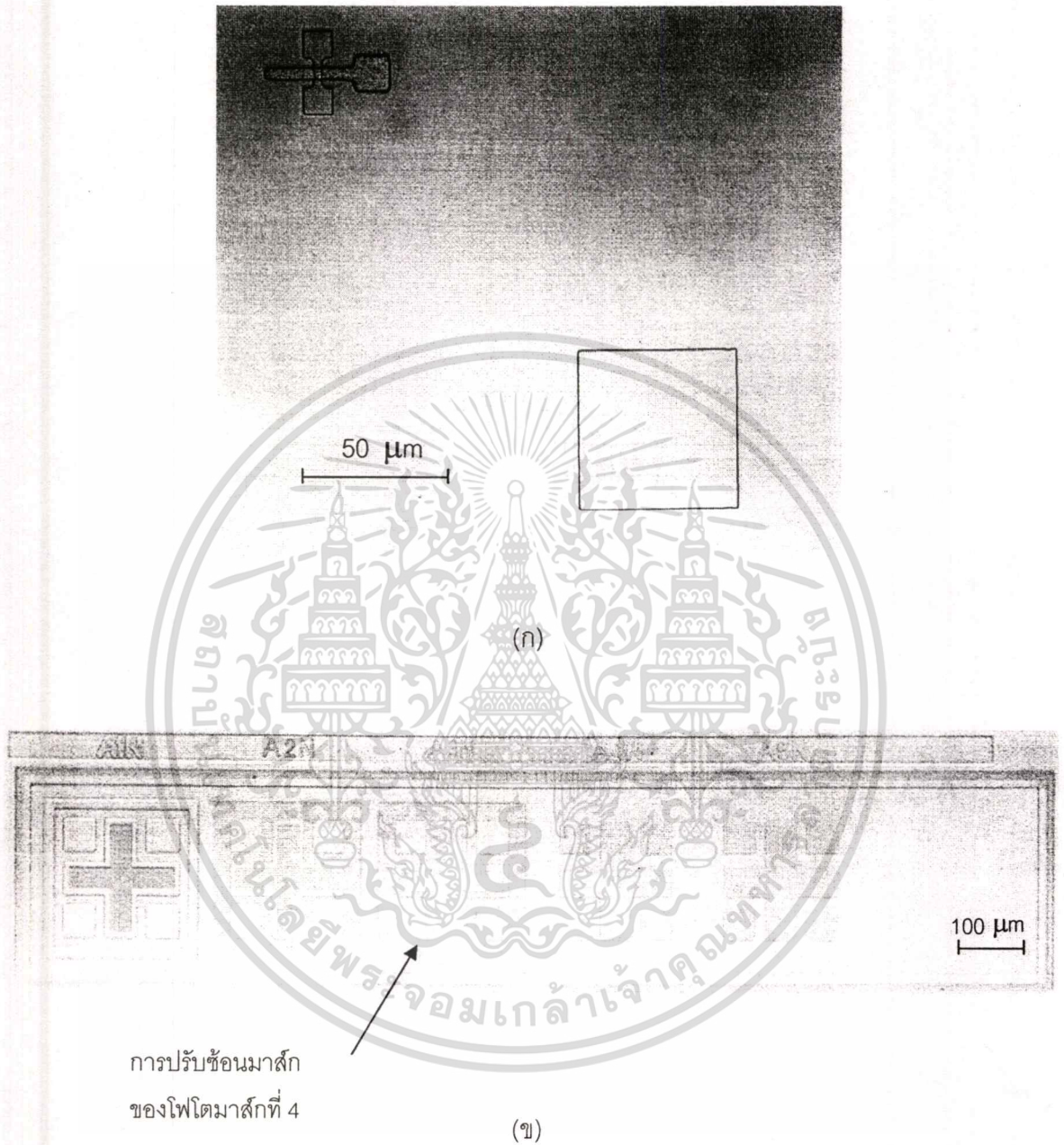


รูปที่ 5.50 ลวดลายมาส์กที่ 3 บนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

(ก) ลวดลาย NMOS

(ข) ลวดลายปรับชั้นมาส์ก

5.5.4 มาส์กที่ 4 (Poly)



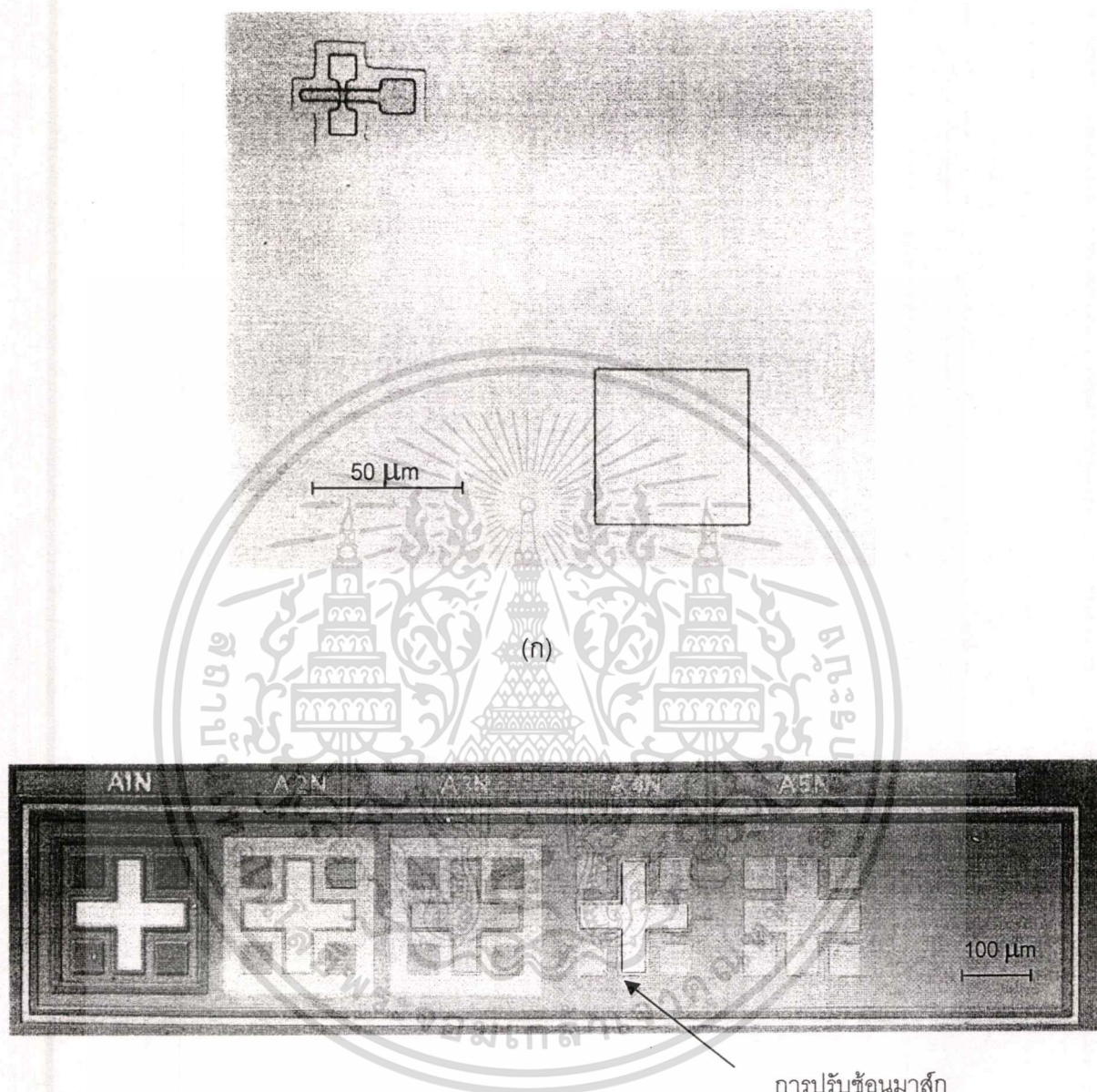
รูปที่ 5.51 ลวดลายมาส์กที่ 4 บนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

(ก) ลวดลาย NMOS

(ข) ลวดลายปรับชั้นมาส์ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.5 มาส์กที่ 5 (NSD)



การปรับช้อนมาส์ก
ของโฟโตมาส์กที่ 5

(ข)

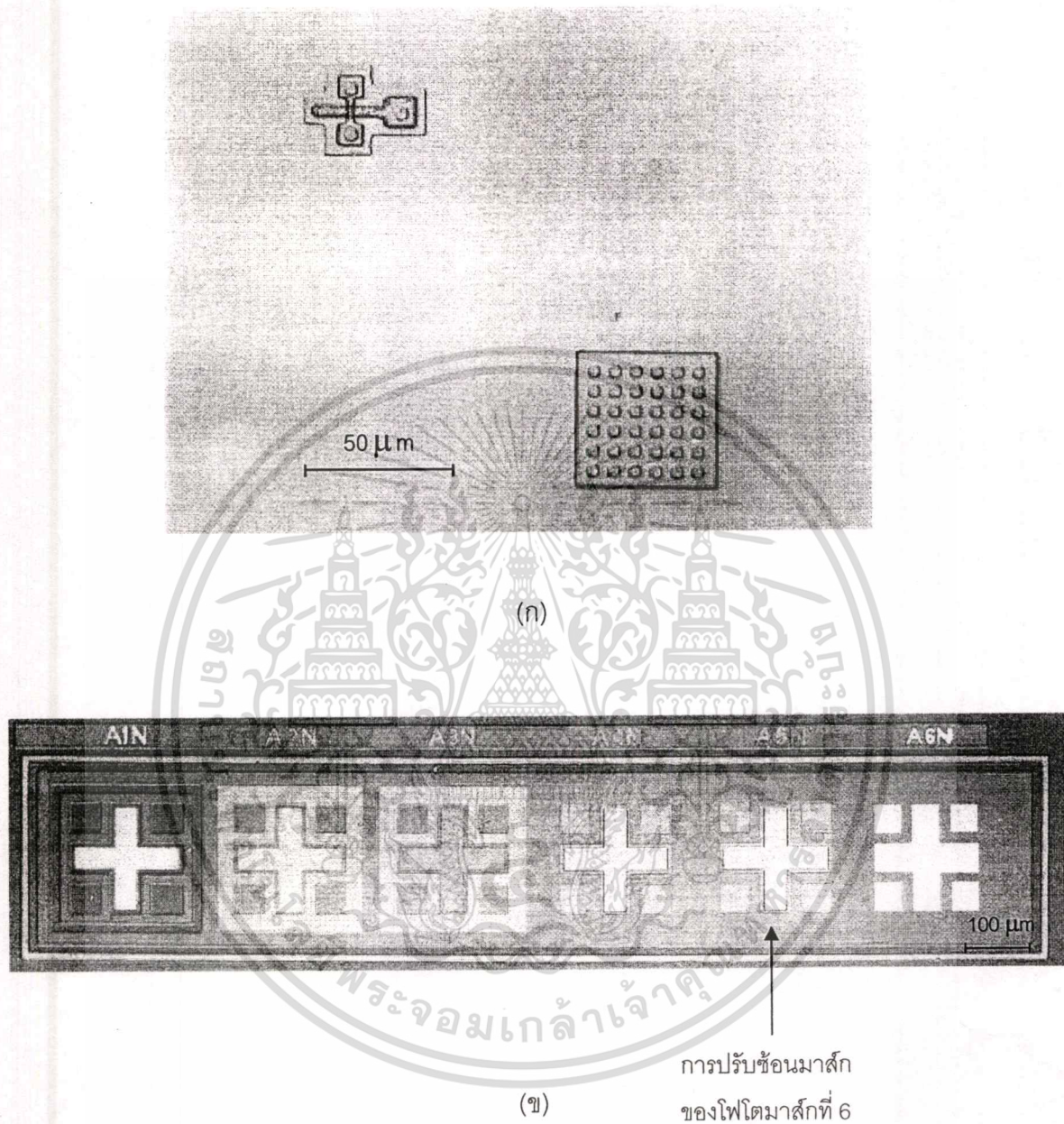
รูปที่ 5.52 ลวดลายมาส์กที่ 5 บนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

(ก) ลวดลาย NMOS

(ข) ลวดลายปรับช้อนมาส์ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.6 มาร์สก์ที่ 6 (Contact)



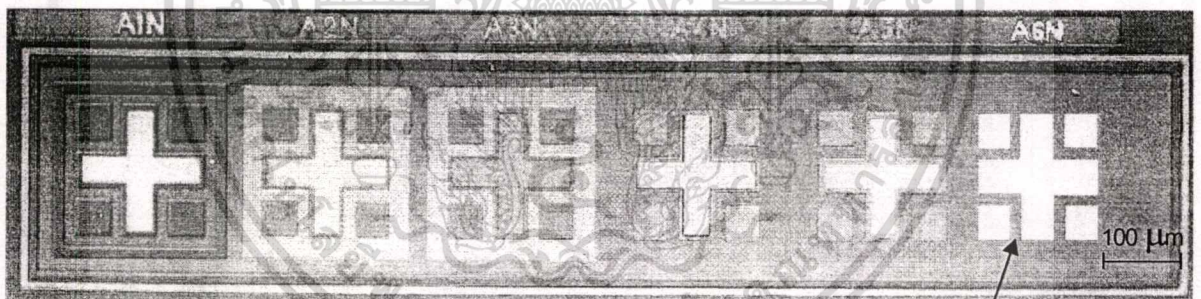
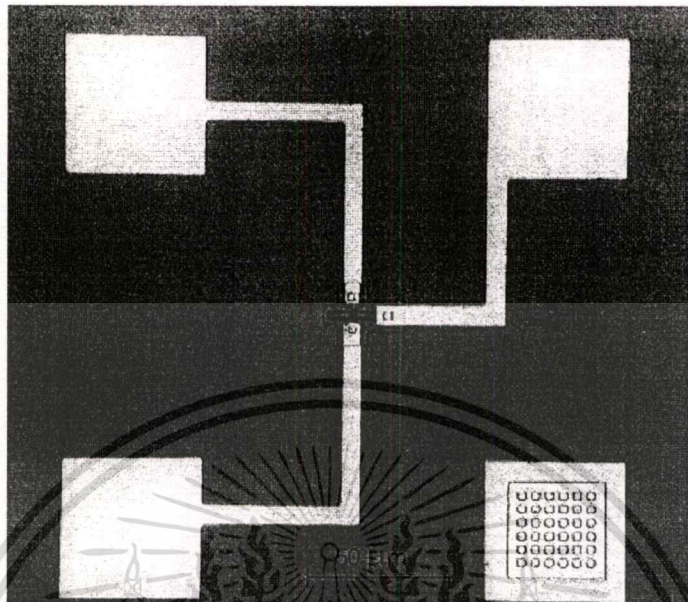
รูปที่ 5.53 ลวดลายมาร์สก์ที่ 6 บนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์

(ก) ลวดลาย NMOS

(ข) ลวดลายปรับช้อนมาร์สก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.7 มาส์กที่ 7 (Metal)



การปรับช้อนมาส์ก
ของไฟโตมาส์กที่ 7

(ข)

รูปที่ 5.54 ลวดลายมาส์กที่ 7 บนชั้นอลูมิเนียม

(ก) ลวดลาย NMOS

(ข) ลวดลายปรับช้อนมาส์ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบ การปรับชั้นมาส์กของลวดลายเอ็นมอสบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และ
 อลูมิเนียม แสดงดังรูปที่ 5.48 - 5.54 พบว่า สามารถปรับชั้นลวดลายวงจรมุมได้ตรงตามทีออกแบบ
 ไว้และลวดลายที่ได้มีความคมชัด ดังนั้น กระบวนการโฟโตลิโธกราฟีมาตรฐาน ที่ได้จากการ
 ทดลองทั้งหมด สามารถนำไปประยุกต์ เพื่อใช้ในการสร้างลวดลายวงจรรวม ขนาด 5 ไมครอน ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อหากระบวนการมาตรฐาน ในการสร้างลวดลายที่มีขนาด 5 ไมครอน บนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียม โดยให้แผ่นซิลิคอนขนาด 2 นิ้ว เพื่อนำมาใช้พัฒนากระบวนการสร้างวงจรรวมขนาด 5 ไมครอน ของห้องปฏิบัติการของศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ โดยการเลือกน้ำยาไวแสง AZ 6112 และ S 1818 มาใช้ในการทดลอง สรุปผลได้ดังนี้

การหาปัจจัยในการเคลือบน้ำยาไวแสงของ AZ 6112 และ S 1818 จะได้เวลาในการเคลือบน้ำยาไวแสงที่ 40 วินาที เพราะค่าความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสงเริ่มคงที่และค่าเบี่ยงเบนความหนาฟิล์มน้ำยาไวแสงมีค่าน้อยแสดงถึงความสม่ำเสมอของน้ำยาไวแสง ส่วนปริมาณน้ำยาไวแสงที่ใช้ในการทดลองจะใช้ที่ปริมาณ 0.75 ลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องจากให้ความสม่ำเสมอของน้ำยาไวแสงดีกว่าปริมาณอื่นและไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

การเลือกความหนาและชนิดของน้ำยาไวแสงขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน งานวิจัยนี้ต้องการหาความหนาที่เหมาะสมในการสร้างลวดลายวงจรรวมระดับ 5 ไมครอน บนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียม

สำหรับการสร้างลวดลายบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ ต้องใช้ความหนาของน้ำยาไวแสงมากกว่า 1.5 ไมครอน เนื่องจากถูกจำกัดความหนาของน้ำยาไวแสงด้วยการกัดแบบแห้ง ดังนั้น จึงเลือกน้ำยาไวแสง เบอร์ S 1818 ที่ความเร็วรอบของสปินเนอร์ 3000 รอบ/นาที ที่ได้ความหนาของน้ำยาไวแสงมากกว่า 1.5 ไมครอน และมีความสม่ำเสมอของฟิล์มน้ำยาไวแสงอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ส่วนเวลาในการฉายแสงสำหรับการสร้างลวดลายบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ ด้วยน้ำยาไวแสง เบอร์ S 1818 ถ้าใช้เวลาที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ลวดลายไม่คมชัดและมีขนาดที่ผิดไปจากโฟโตมาส์กต้นแบบ ดังนั้นจากการทดลอง จึงเลือกเวลาในการฉายแสงที่ 10 วินาที เพราะที่เวลานี้ลวดลายที่ได้มีความคมชัดใกล้เคียงกับโฟโตมาส์กต้นแบบ ในส่วนของเวลาในการขึ้นลวดลาย ใช้สารละลายในการขึ้นลวดลาย ดังนั้น ถ้าใช้เวลาในการขึ้นลวดลายน้อยเกินไปจะทำให้ฟิล์มน้ำยาไวแสงถูกล้างออกไปไม่หมดแต่ถ้าใช้เวลาในการขึ้นลวดลายมากเกินไปจะเกิดการเซาะด้านข้างของฟิล์มน้ำยาไวแสง ทำให้น้ำยาไวแสงของลวดลายไม่คมชัด ซึ่งเวลาที่เหมาะสมในการขึ้นลวดลายของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ ด้วยน้ำยาไวแสง เบอร์ S 1818 ที่ได้จากการทดลอง คือ 50 วินาที ผลของการศึกษาอุณหภูมิในการอบครั้งหลังของน้ำยาไวแสง เบอร์ S 1818 สรุปได้ดังนี้ คือ อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการอบครั้งหลังอยู่ที่ 120 °C ที่อุณหภูมินี้ฟิล์มน้ำยาไวแสงแห้งสนิทและไม่เกิดผลกระทบในกระบวนการกัด เช่น การหลุดลอกของน้ำยาไวแสง ซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้นกับการใช้การอบที่อุณหภูมิ 90 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเฉพาะลวดลายที่มีขนาดเล็ก ส่วนอุณหภูมิ 140 °C พบว่า ฟิล์มใหม่ไม่เหมาะกับการใช้งาน ส่วนการศึกษาการกัดชั้นฟิล์ม พบว่า อัตราการกัดของบัฟเฟอร์ที่ใช้สำหรับกัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ จะมีอัตราการกัดเพิ่มขึ้น 120 Å/นาที่ เมื่ออุณหภูมิเพิ่ม 1 °C ส่วนระยะการกัดด้านข้างของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ เมื่อความหนาของชั้นฟิล์มเพิ่มขึ้น จะทำให้ระยะการกัดเพิ่มขึ้น โดยทำการวัดจากกล้อง SEM ดังนั้นการสร้างลวดลายของชั้นฟิล์มที่มีความหนาหลายๆ เมื่อนำไปสร้างเป็นอุปกรณ์ มีผลทำให้คุณภาพของอุปกรณ์ไม่ดี

สำหรับการสร้างลวดลายบนชั้นอลูมิเนียม จะไม่ถูกจำกัดความหนาของน้ำยาไวแสง เนื่องจากใช้การกัดแบบเปียก เมื่อเปรียบเทียบความหนาน้ำยาไวแสงเบอร์ AZ 6112 และ S 1818 พบว่า S 1818 มีค่าความหนาที่มากเกินไป เมื่อนำมาใช้สร้างลวดลายความหนาน้ำยาไวแสง อาจมีผลต่อความคมชัดของลวดลาย ดังนั้น สำหรับการสร้างลวดลายบนชั้นอลูมิเนียม จึงเลือกน้ำยาไวแสง เบอร์ AZ 6112 ที่ความเร็วรอบ 3000 รอบ/นาที่ ได้ความหนา 1 ไมครอน ส่วนเวลาในการฉายแสงสำหรับสร้างลวดลายบนอลูมิเนียม ที่เลือกใช้น้ำยาไวแสง เบอร์ AZ 6112 จะใช้เวลาที่ 8 วินาที เนื่องจากที่เวลานี้ลวดลายที่ได้มีความคมชัด ซึ่งการใช้เวลาฉายแสงน้อยหรือมากเกินไปจะทำให้ลวดลายที่ได้ไม่เหมาะสม ส่วนเวลาในการขึ้นลวดลายสำหรับสร้างลวดลายบนอลูมิเนียม ที่เลือกใช้น้ำยาไวแสง เบอร์ AZ 6112 จะใช้เวลาที่ 35 วินาที เนื่องจากที่เวลาเหล่านี้ลวดลายที่ได้มีความคมชัด อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการอบครั้งหลัง คือ 120 °C ที่อุณหภูมินี้ฟิล์มน้ำยาไวแสงแห้งสนิทและไม่เกิดผลกระทบในกระบวนการกัด และฟิล์มที่ได้ไม่เกิดการไหม้ ส่วนการศึกษาการกัดชั้นฟิล์มระยะการกัดด้านข้างของชั้นอลูมิเนียม เมื่อความหนาของชั้นฟิล์มอลูมิเนียมเพิ่มขึ้น จะทำให้ระยะการกัดด้านข้างเพิ่มขึ้น โดยทำการวัดจากกล้อง

การตรวจสอบความคมชัดลวดลายชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียม ที่ใช้โฟโตมาส์กทดสอบที่แปรค่าลวดลายตั้งแต่ 2 ไมครอน – 10 ไมครอน พบว่า ลวดลายขนาด 5 ไมครอนมีความคมชัดใกล้เคียงกับโฟโตมาส์ก นอกจากนี้ ยังสามารถสร้างลวดลายได้เล็กที่สุด 3 ซึ่งขีดจำกัดในการสร้างลวดลายขนาดเล็ก ส่วนหนึ่งมาจากประสิทธิภาพของโฟโตมาส์ก ดังนั้น ถ้ามีการพัฒนากระบวนการสร้างโฟโตมาส์กให้มีประสิทธิภาพที่ดี และเปลี่ยนแปลงกระบวนการกัดแบบเปียกเป็นแบบแห้ง คาดว่า กระบวนการโฟโตลิโธกราฟีของห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์สามารถพัฒนาให้มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน ได้ เนื่องจากข้อมูลของน้ำยาไวแสง AZ 6112 และ S 1818 ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการสามารถสร้างลวดลายเล็กกว่า 1 ไมครอน

ส่วนการทดสอบการปรับข้อนมาส์กโดยใช้โฟโตมาส์กทดสอบสำหรับการสร้างลวดลายของเอ็นมอส พบว่า สามารถปรับข้อนลวดลายได้และลวดลายที่ได้ตรงตามที่ต้องการได้ ดังนั้น กระบวนการมาตรฐานที่ได้จากการทดลองทั้งหมด สามารถนำไปใช้พัฒนาการสร้างลวดลายวงจรรวมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองทั้งหมด สรุปได้ว่า ข้อมูลที่ได้สามารถสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน ได้ โดยกำหนดเป็นกระบวนการมาตรฐาน ดังนี้

ตารางที่ 6.1 แสดงกระบวนการมาตรฐานของกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี ในการสร้างลวดลายขนาด 5 ไมครอน ของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์และอลูมิเนียม

ขั้นตอน	กระบวนการมาตรฐานของซิลิคอนไดออกไซด์	กระบวนการมาตรฐานของอลูมิเนียม
การเลือกน้ำยาไวแสง	S 1818	AZ 6112
การเตรียมผิวหน้าเวเฟอร์	อบไอระเหยด้วย HMDS	อบไอระเหยด้วย HMDS
การเคลือบน้ำยาไวแสง บนแผ่นเวเฟอร์ ขนาด 2 นิ้ว	ปริมาณน้ำยาไวแสง 0.75 cc. First Spin speed 500 รอบ/นาที time 5 วินาที Second Spin speed 3000 รอบ/นาที time 40 วินาที Resist thickness 1.65 ไมครอน	ปริมาณน้ำยาไวแสง 0.75 cc. First Spin speed 500 รอบ/นาที time 5 วินาที Second Spin speed 3000 รอบ/นาที time 40 วินาที Resist thickness 1 ไมครอน
Pre bake	Temp 90 °C Time 60 วินาที (Hot plate)	Temp 90 °C Time 60 วินาที (Hot plate)
Expose	10 วินาที	8 วินาที
Developer	50 S (AZ 300 MIF)	35 S (AZ 300 MIF)
Post bake	Temp 120 °C Time 60 วินาที (Hot plate)	Temp 120 °C Time 60 วินาที (Hot plate)
ตรวจสอบลวดลายครั้งที่ 1	Microscope	Microscope
Etching	Wet etching NH ₄ F:HF อัตราส่วน 6:1 Etching rate 900 Å/min ที่อุณหภูมิห้อง	Wet etching H ₃ PO ₄ : CH ₃ COOH:HNO ₃ :H ₂ O อัตราส่วน 80:5:5:10 อุณหภูมิในการกักที่ 45 °C
ตรวจสอบลวดลายครั้งที่ 2	Microscope	Microscope

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hong X. Introduction to Semiconductor Manufacturing Technology. New Jersey: Prentice Hall. 2001.
- [2] Jay K. Hassan, Homi G. Sarkary. "Lithography for VLSI:An Overview." Solid State-Technology, May 1982. pp 49-54.
- [3] ธิปไตย ดัณฑ์ประพันธ์, ภาวัน สยามชัย,อิทธิ ฤทธาภรณ์. "การสร้างมาส์กสำหรับกระบวนการลิโธกราฟีระดับไมครอน." การประชุมวิชาการ ทางไฟฟ้า ครั้งที่ 25. ปีที่ 25, พฤศจิกายน 2545.หน้า 149 -152.
- [4] David J . Elliott. Integrated Circuit Fabrication Technology. United States : McGraw-Hill. 1989.
- [5] Peter V. Zant. Microchip Fabrication. Forth Edition. United States : McGraw - Hill. 2000.
- [6] สมเกียรติ ศุภเดช. "กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี." เอกสารประกอบการบรรยายวิชาเทคโนโลยีวงจรรวม. หน้า 1-32.
- [7] Jaeger, Richard C. Introduction to Microelectronic Fabrication. New Jersey: Addison-Wesley, 1988.
- [8] Shuzi H. "Recent Progress of Resist and Resist Process in Japan." IEEE Electrical Insulation Magazine 1989, 5, March 1989. pp 22-27.
- [9] Gray N. Taylor. " Guidelines for Publication of High Resolution Resist Parameters." Solid State Technology, June 1984. pp 105-110.
- [10] T.R. Pampalone. "Novolac Resins Used in Positive Resist Systems." Solid State - Technology, June 1984. pp 115-120.
- [11] David J Elliott. "Positive Resist Material Requirements for VLSI Device Fabrication." Solid State Technology, May 1982. pp 116-120.
- [12] Mani B. "Effect of heat and moisture on thick positive photoresist." IEEE Symposium 1989. pp 310-313.
- [13] Hirohisa K., Nobuhiro M., kiyonori S. "Principle of Wet Chemical Processing in VLSI Microfabrication." IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol 4, No.1, February 1991. pp 26 -35.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] Murray C. "Wet Etching Update." *Semiconductor International*, May 1986. pp. 80-85.
- [15] สุรศักดิ์ เนียมเจริญและคณะวิจัย. "การพัฒนาเทคโนโลยีกระบวนการสร้างวงจรรวมแบบซี-มอส ระดับ 5 ไมครอน." รายงานความก้าวหน้าโครงการวิจัย พัฒนา และวิศวกรรม สาขาเทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์, พฤษภาคม 2546.
- [16] ภาวดี มีสรรพงศ์, ภัทรา เพียรชอบ, ภาวัน สยามชัย. "แผ่นดินแบบวงจรรวม สำหรับซีมอส 5 ไมครอน." การประชุมวิชาการทางไฟฟ้า ครั้งที่ 25. ปีที่ 25, พฤศจิกายน 2545. หน้า 144 -148.
- [17] ชลิดา คูหาเรือง, เสกสรร ธิมากุล, วีระ เพ็งจันทร์, สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, สมเกียรติ ศุภเดช. กระบวนการสร้างโฟโตมาส์สำหรับวงจรรวมซีมอส ขนาด 5 ไมครอน." การประชุมวิชาการทางไฟฟ้า ครั้งที่ 26. ปีที่ 26, พฤศจิกายน 2546. หน้า 1365-1370.
- [18] S.M. SZE. *Semiconductor device physics and technology*. United States : John - Wiley & Sons. 1985.
- [19] รังสรรค์ เมืองเหลือ, ทรงพล รอดทอง, ไสภณ พรหมชัย, เต็มพงษ์ เพ็ชรกุล. "การพัฒนากระบวนการโลหะสำหรับเทคโนโลยีวงจรรวมซีมอสระดับ 5 ไมครอน ในประเทศไทย." การประชุมวิชาการทางไฟฟ้า ครั้งที่ 26. ปีที่ 26, พฤศจิกายน 2546. หน้า 1371-1374.
- [20] ชลิดา คูหาเรือง, วีระ เพ็งจันทร์, สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, สมเกียรติ ศุภเดช. "กระบวนการโฟโตลิโธกราฟีบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ สำหรับสร้างลวดลายวงจรรวม แบบเทคโนโลยีซีมอส ขนาด 5 ไมครอน." *วิศวกรรมลาดกระบัง*, ปีที่ 21, ฉบับที่ 1, มีนาคม 2547 . หน้า 1-6.
- [21] Craven D. "Photolithography Challenges for the Micromachining Industry." *BACUS Symposium*, 1996.
- [22] Warren W.Flack, Sylvia W., Bradley T. "Process Characterization of One Hundred Micron Thick Photoresist Films." *SPIE Microlithography*, 1999
- [23] Bollinger D., Iida S., Matsumoto O. "Reactive Ion Etching: Its Basis and Future." *Solid State Technology*, May 1984. pp 117.
- [24] Peter H. Singer. "Dry Etching of SiO_2 and Si_3N_4 ." *Semiconductor International*, May 1986. pp 80-85.
- [25] ramanik D.P., Saxena A.N.. "VLSI Metallization using Aluminium and its Alloys." *Solid State Technology*, March 1983. pp 131-137.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ภาคผนวก ก จะกล่าวถึง ข้อมูลของน้ำยาไวแสงและน้ำยาชั้นลวดลายที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เนื่องจากการทราบคุณสมบัติของน้ำยาไวแสงก่อนใช้งาน จะทำให้สามารถใช้งานน้ำยาไวแสงได้อย่างถูกต้อง

AZ 6112 Series Photoresist

For VLSI Manufacturing

For g – line Exposure ($\lambda = 436 \text{ nm}$)

High speed and High Thermal Stability

1. Description

AZ 6112 series photoresist is suitable for 1M and 4M DRAM class semiconductor manufacturing especially in processes requiring high throughput and thermal stability. This photoresist is formulated with the safer solvent propylene glycol monomethyl ether acetate (PGMEA) rather than ethylene glycol acetate (EGA)

2. Features

- 1) High resolution with mask linearity.
- 2) High photospeed with small dark erosion.
- 3) Wide exposure latitude and DOF margin.
- 4) No scum and peeling in developing process.
- 5) Good thermal stability and dry etching stability

3. Storage Condition

Keep in sealed original container. Protect from sunlight. Store in a cool and dry room.

4. Handling Precaution / First Aid

- 1) handle with care. Keep away from heat, sparks, and open flames.
- 2) Keep away from skin. Wear gloves and protective clothing as needed.

3) First Aid

If skin contact: Wash affected areas with soap and water.

If eye contact : Flush with water for at least 15 min. Contact physician.

If inhaled : Move into fresh air.

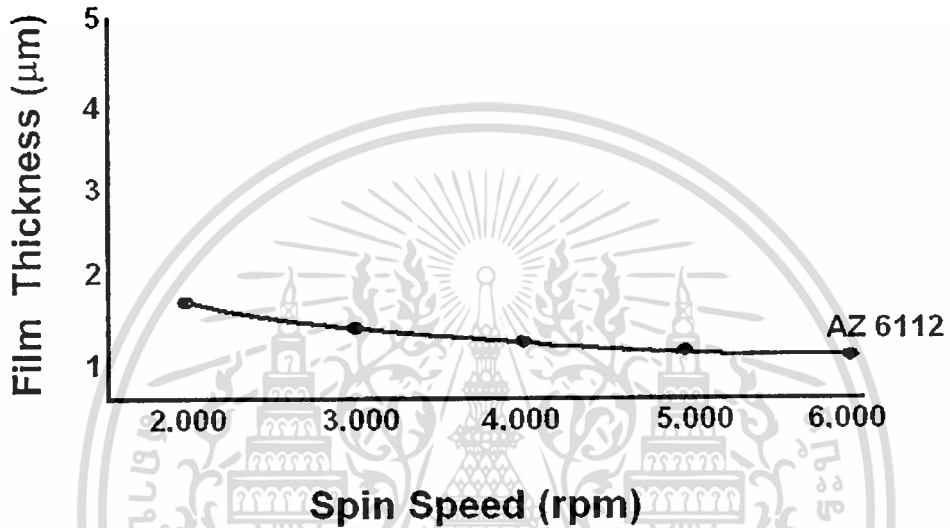
5. Specifications

Solid Content (wt%) 25.2 ± 0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Viscosity / 25 °C	13.3 ± 1.0
Specific Gravity	1.033 ± 0.005
Water Content (wt%)	0.5 max
Solvent	propylene glycol monomethyl ether acetate (PGMEA)

Spin Curve



รูปที่ ก.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของการสปินเนอร์กับความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง เบอร์ AZ 6112

AZ P1350 Series Photoresist

For Photo Mask and Optical Disk Manufacturing

High Adhesion

For g – line Exposure

1. Description

Az 1350 series photoresist is suitable for photomask and optical disk manufacturing , especially for the processes requiring high adhesion properties . It is formulated with the safer solvent propylene glycol monomethyl ether acetate (PGMEA) rather than ethylene glycol acetate (EGA)

2. Features

- 1) Good resolution and linearity.
- 2) Wide exposure latitude and DOF margin.
- 3) Good adhesion.
- 4) Small dark erosion.

3. Storage Condition

Keep in sealed original container. Protect from sunlight. Store in a cool and dry room.

4. Handling Precaution / First Aid

- 1) handle with care. Keep away from heat, sparks, and open flames.
- 2) Keep away from skin. Wear gloves and protective clothing as needed.
- 3) First Aid

If skin contact: Wash affected areas with soap and water.

If eye contact : Flush with water for at least 15 min. Contact physician.

If inhaled : Move into fresh air.

5. Specifications

Solid Content (wt%) 16.2 ± 1.0

Viscosity / 25 °C 4.8 ± 0.5

Specific Gravity 1.010 ± 0.005

Water Content (wt%) 0.5 max

Solvent propylene glycol monomethyl ether acetate (PGMEA)

MICROPOSIT

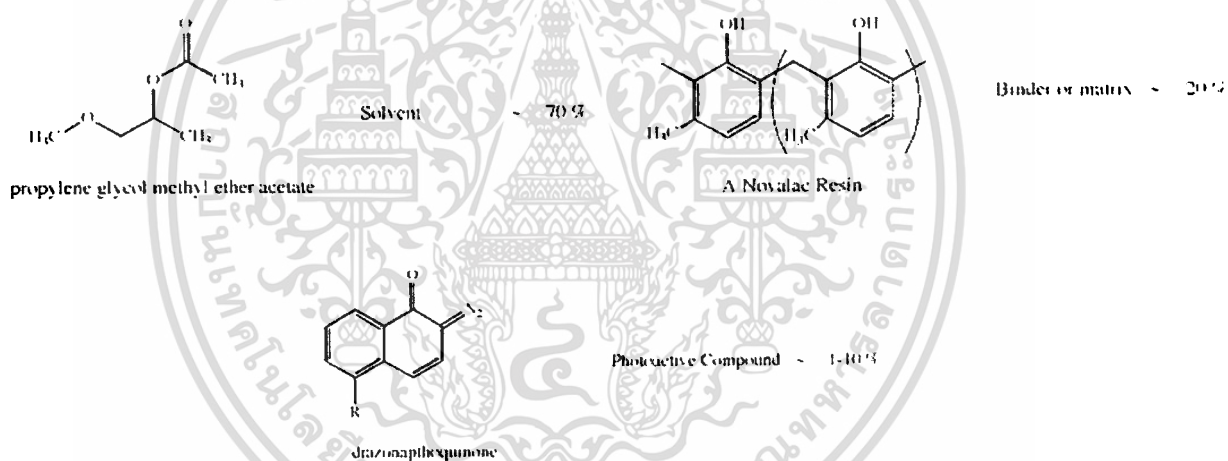
S1818 Series Photoresist

S1800 positive g – Line photoresist is an industry proven, general purpose resist for conventional device applications.

Features

- Fast photospeed and High resolution
- Good adhesion
- Good dry etching resistance
- Good film retention

Component Photoresist

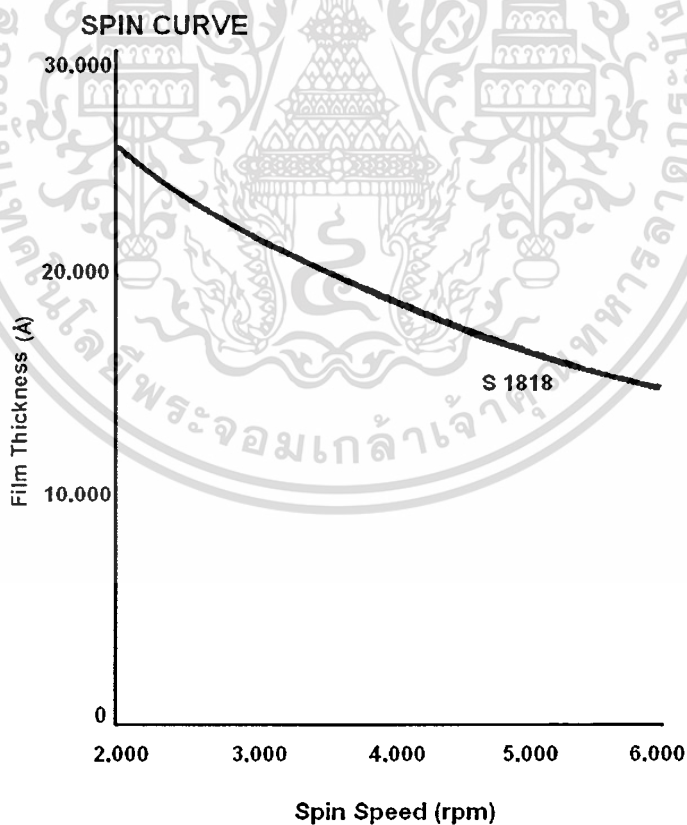


Components without CAS numbers are Trade Secret

Component Name	CAS# / Codes	Concentration
Electronic grade propylene glycol monomethyl ether acetate	108-65-6	65.00 - 75.00
Mixed cresol novolak resin		20.00 - 30.00
Nonionic Surfactant		0.01 - 1.00
Diazo Photoactive Compound		1.00 - 10.00
cresol	1319-77-3	0.01 - 0.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical State	Viscous liquid
Color	Red
Odor	Sweet
VOC (g/l)	741.06
Specific Gravity	1.055
pH	Neutral
Boiling Range/Point (°C/F)	145.8/295
Flash Point (PMCC) (°C/F)	40.5-46.1 / 105-115
Explosion Limits (%)	Lower limit 1.5 at 20 °C. Upper limit 7.0 at 20 °C.
Solubility in Water	Insoluble.
Vapor Density (Air = 1)	Heavier than air.
Evaporation Rate	Slower than ether
Vapor Pressure	Propylene Glycol Monomethyl Ether Acetate: 3.7 mmHg at 20 °C.



รูปที่ ก.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของการสปินเนอร์กับความหนาของฟิล์มน้ำยาไวแสง เบอร์ S 1818

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AZ 300 MIF Developer

High Purity

Organic Aqueous Alkaline

MIF Developer

1. Description

AZ 300 MIF developer is an organic aqueous alkaline developer based on TMAH. It has low metal ions. Lot - to - lot consistency is achieved through strict quality control.

AZ 300 MIF developer contains no surfactant and can be used in dip, puddle, and spray process

2. Properties

- 1) Appearance : Clear (colorless)
- 2) Specific Gravity (25 °C) : 1.000 ± 0.010

3. Storage Condition

Keep in sealed original container. Protect from sunlight. Store in a cool and dry room.

4. Handling Precaution / First Aid

- 1) handle with care. Keep away from heat, sparks, and open flames.
- 2) Keep away from skin. Wear gloves and protective clothing as needed.

3) First Aid

If skin contact: Wash affected areas with soap and water.

If eye contact : Flush with water for at least 15 min. Contact physician.

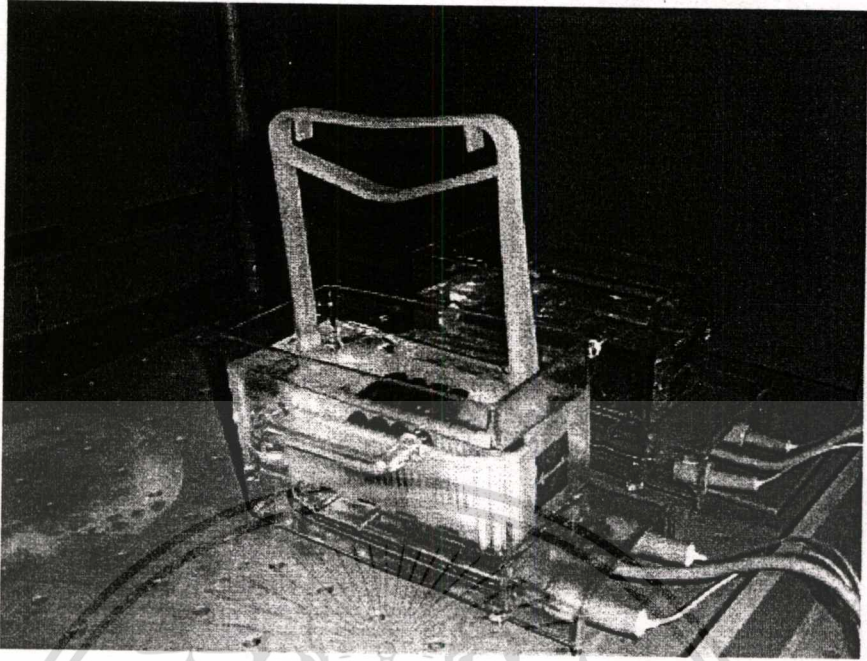
If inhaled : Move into fresh air

ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข จะกล่าวถึง รายละเอียดของกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี กระบวนการ ออกซิเดชัน และกระบวนการเคลือบฟิล์มโลหะ ซึ่งกระบวนการต่างๆดังกล่าว ได้ถูกนำมาใช้ใน งานวิจัยนี้

กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี

1. ทำความสะอาดผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์
 - ต้มแผ่นเวเฟอร์ในกรด ด้วยเทคนิค piranha 10 นาที ที่อุณหภูมิ 120 °C
 - ล้างแผ่นเวเฟอร์ด้วยน้ำบริสุทธิ์ (Deionized Water) 5 นาที
 - จุ่มแผ่นเวเฟอร์ใน HF 3% 20 วินาที
 - ล้างแผ่นเวเฟอร์ด้วยน้ำบริสุทธิ์
 - เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
2. เตรียมผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ ด้วยวิธีอบไอระเหย (Vapor Priming) ด้วย HMDS 30 นาที
3. เคลือบน้ำยาไวแสง ชนิดบวก ด้วยเครื่องสปินเนอร์ ด้วยความเร็วและเวลาตามที่ต้องการ
4. อบครั้งแรก (pre bake) ให้น้ำยาไวแสงแห้ง ด้วยแผ่นความร้อน (hot plate) หรือ เตาอบ ที่ อุณหภูมิ 90°C
5. ฉายแสงผ่านกระจกต้นแบบ ด้วยเครื่องปรับชั้นมาสก์
6. การขึ้นลวดลาย
 - จุ่มแผ่นเวเฟอร์ลงใน น้ำยาขึ้นลวดลาย 300 MIF
 - ล้างแผ่นเวเฟอร์ด้วยน้ำบริสุทธิ์
 - เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
7. ตรวจสอบลวดลาย ด้วยกล้องไมโครสโคป
8. อบครั้งที่สอง (post bake) ให้ฟิล์มน้ำยาไวแสงที่เหลืออยู่แห้ง ที่อุณหภูมิ ประมาณ 120 °C
9. นำแผ่นเวเฟอร์ไปกัดชั้นฟิล์มบาง ด้วยสารละลาย
10. ลอกชั้นน้ำยาไวแสง ชนิดบวกที่เหลืออยู่บนผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์
 - จุ่มลงในอะซิโตน (Acetone)
 - ล้างแผ่นเวเฟอร์ด้วยน้ำบริสุทธิ์
 - เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

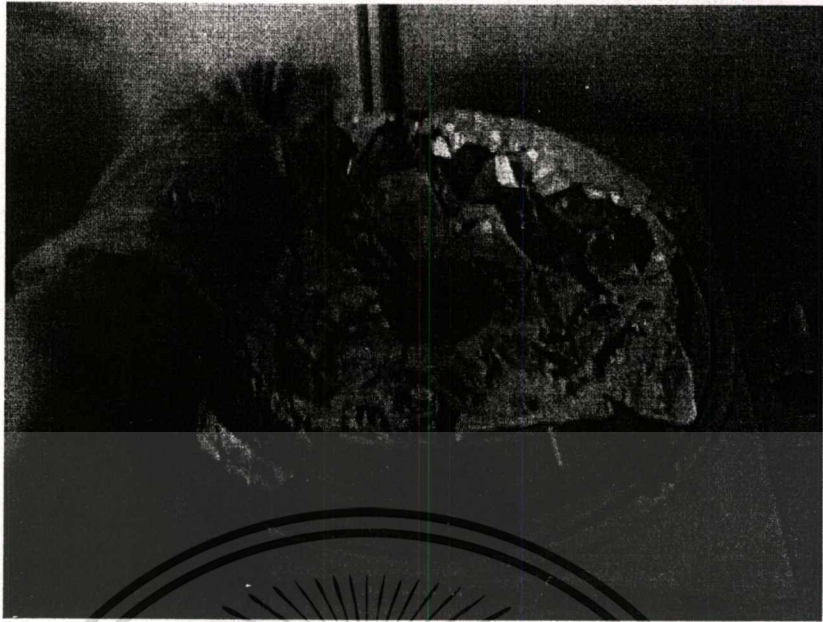


รูปที่ ข.1 การทำความสะอาดผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ ด้วยวิธี piranha

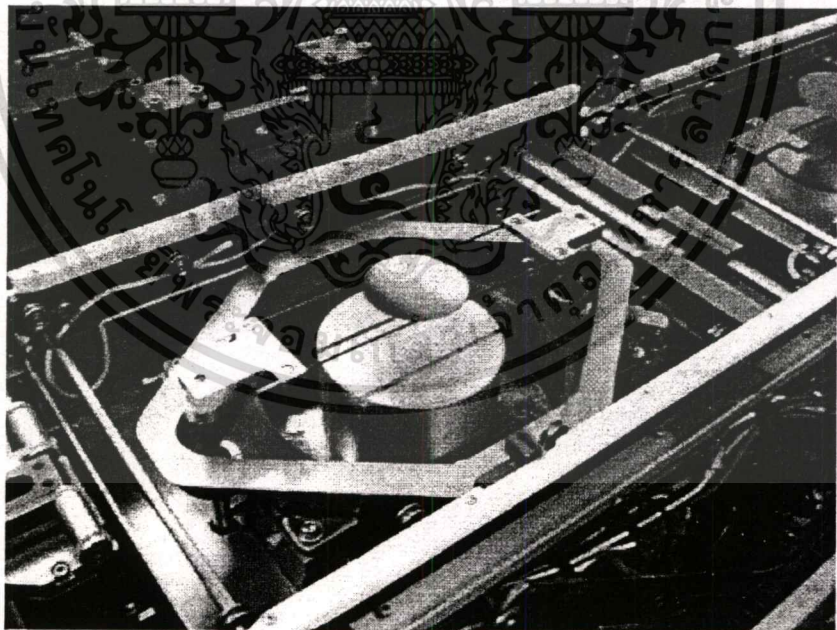


รูปที่ ข.2 การเตรียมผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ ด้วยวิธีอบไฮระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 การเคลือบน้ำยาไวแสง ชนิดบวม ด้วยเครื่องสปินเนอร์

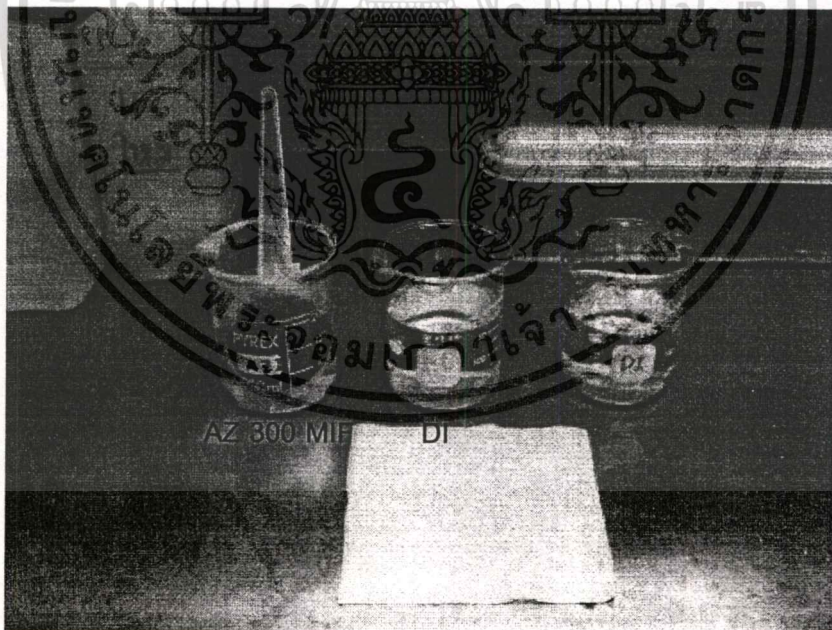


รูปที่ ข.4 การอบแผ่นเวเฟอร์ให้น้ำยาไวแสงแห้ง ด้วยแผ่นความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5 การฉายแสงผ่านกระจกต้นแบบ ด้วยเครื่องปรับชั้นมาส์ก

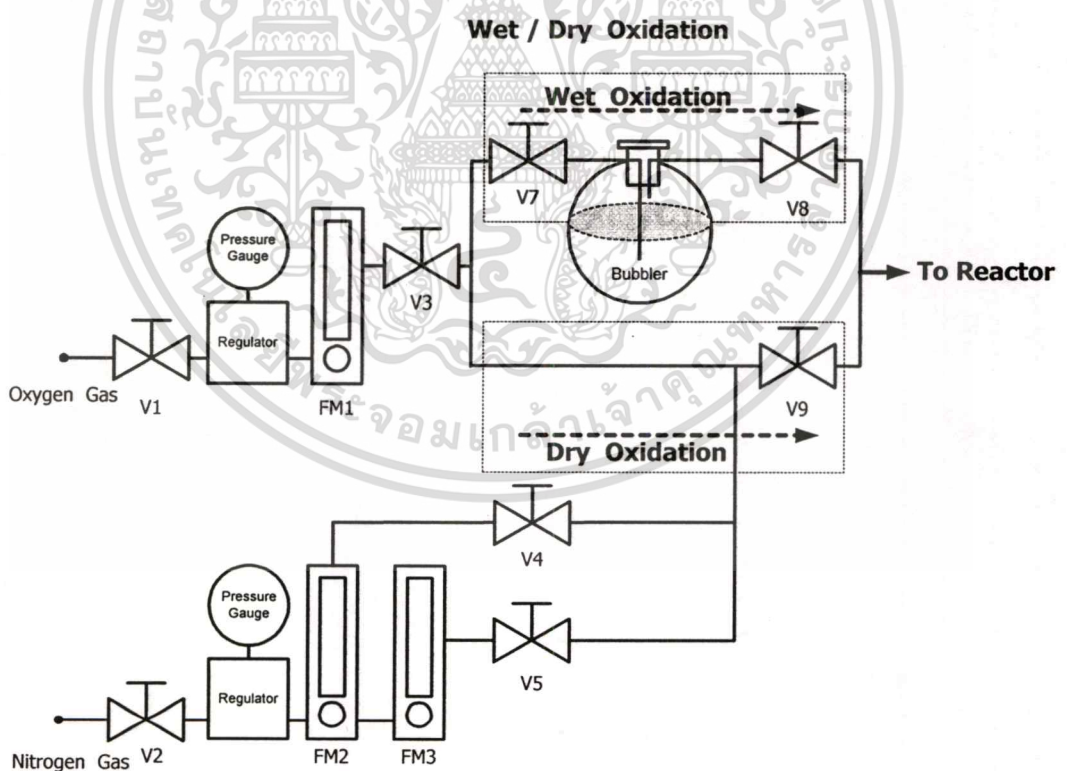


รูปที่ ข.6 การขึ้นลวดลายจุ่มแผ่นเวเฟอร์ลงใน น้ำยาขึ้นลวดลาย AZ 300 MIF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการออกซิเดชัน

1. กัดผิวหน้าแผ่นเวเฟอร์ใน HF 3% 20 วินาที
2. ล้างแผ่นเวเฟอร์ด้วยน้ำบริสุทธิ์ (Deionized Water)
3. เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
4. ปรับอุณหภูมิของเตาที่ 1000 °C
5. นำแผ่นผลึกวางลงบน Boat แล้วนำไปวางไว้ในที่ปากท่อควอทซ์ 5 นาที
5. ค่อย ๆ ดัน Boat ให้เข้าไปกลางท่อควอทซ์ ช้า ๆ 5 นาที
6. ทำการออกซิเดชันตามที่ต้องการ (wet หรือ dry) โดยให้อัตราการไหลของออกซิเจน 1200 cc./min
7. ทิ้งแผ่นผลึกไว้ในท่อควอทซ์ ตามเวลาที่ต้องการ
8. ค่อย ๆ ดึง Boat ให้ออกมาที่ปากท่อควอทซ์ ช้า ๆ 5 นาที
9. วางแผ่นผลึกที่ปากท่อควอทซ์ 5 นาที แล้วเก็บขึ้น

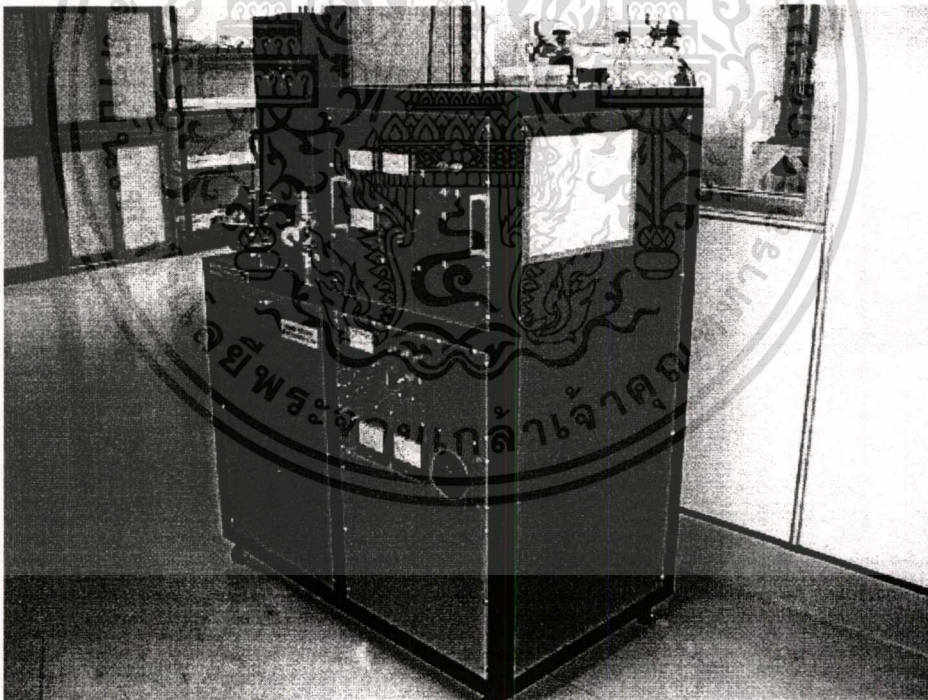


รูปที่ ข.7 แผนภาพแสดงการเลือกทำงานระหว่าง wet oxidation หรือ dry oxidation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

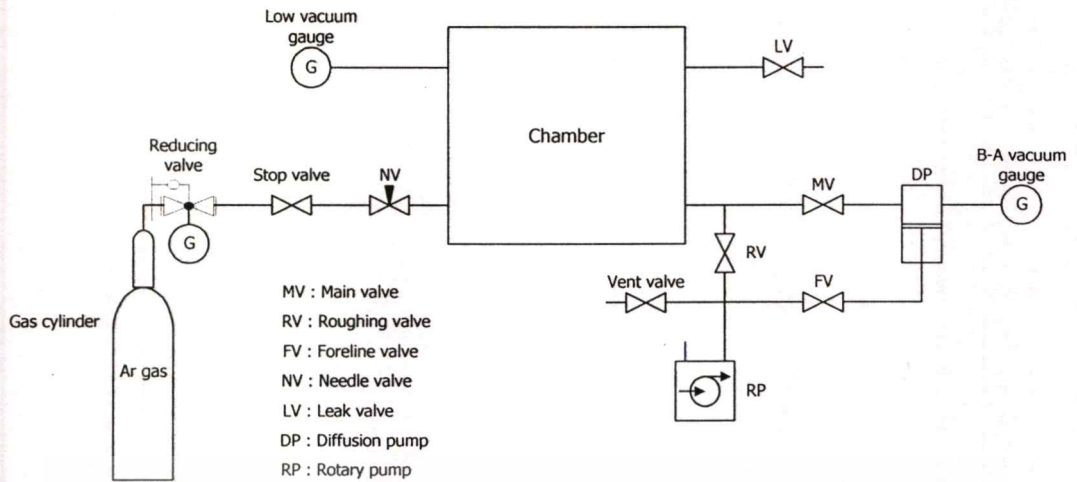
กระบวนการเคลือบฟิล์มโลหะ ด้วยเครื่องสปัตเตอร์ (Sputter)

1. นำแผ่นเวเฟอร์ วางลงบนหัววาโนด
2. ดูดอากาศออกจากห้องสปัตเตอร์จนกระทั่งเหลือความดันต่ำกว่า 5×10^{-7} บาร์ เพื่อทำความสะอาดห้องสปัตเตอร์
3. ปลดอยแก๊สอาร์กอนเข้าไปในห้องสปัตเตอร์จนกระทั่งถึงความดัน 2×10^{-1} มิลลิบาร์ โดยค่อยๆ เพิ่มกำลัง RF ขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเกิดพลาสมาขึ้นในห้องสปัตเตอร์ จากนั้น ปรับความดันให้ได้ 2×10^{-3} มิลลิบาร์ ปรับกำลัง RF จนได้ค่าที่จะทำการสปัตเตอร์
4. ทำการพรี-สปัตเตอร์ (pre-sputter) โดยปล่อยให้ระบบอยู่ในเงื่อนไขที่จะทำการสปัตเตอร์เป็นเวลา 5 นาที เพื่อทำความสะอาดผิวหน้าของ Al-Si
5. เปิดชัตเตอร์ออกเพื่อเริ่มทำการสปัตเตอร์



รูปที่ ข.8 เครื่องสปัตเตอร์ รุ่น SPE – 120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

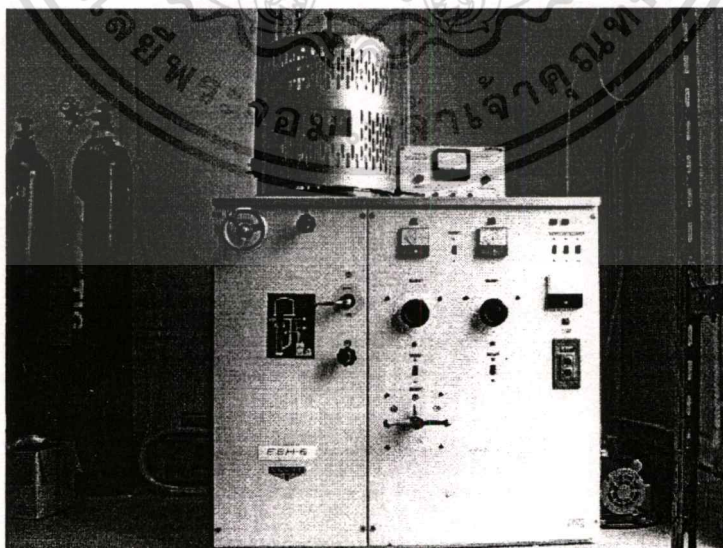


Sputtering system

รูปที่ ข.9 Sputtering System Diagram ของเครื่อง SPE-210 Diode Sputtering System

กระบวนการเคลือบฟิล์มโลหะแบบการระเหยในสุญญากาศ (Evaporation)

1. วางแผ่นเวเฟอร์ในchamber
2. ดูดอากาศออกจากchamber
3. เมื่อความดันลดต่ำลงจนถึง 2×10^{-6} บาร์ เริ่มให้กระแสเพื่อทำให้อลูมิเนียมละลาย เมื่อละลายแล้วรอให้ถึงสภาวะระเหยไปก่อน
4. เปิดชัตเตอร์เพื่อเริ่มทำการเคลือบอลูมิเนียม



รูปที่ ข.10 เครื่องเคลือบฟิล์มโลหะแบบระเหยในสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 คุณสมบัติของอลูมิเนียม

Name	Data
Symbol	Al
Atomic number	13
Atomic weight	26.981538
Discoverer	Hans Christian Oersted
Discovered at	Denmark
Discovery Date	1825
Origin of name	From the Latin word alumen meaning "alum"
Density of solid	2.70 g/cm ³
Molar volume	10.00 cm ³
Velocity of sound	5100 m/sec
Hardness	2.75
Electrical resistivity	2.65 μΩ . cm
Reflectivity	71%
Melting point	660 °C
Boiling point	2519 °C
Thermal conductivity	235 W m ⁻¹ K ⁻¹
Coefficient of linear thermal expansion	23.1 X 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Etchants (wet)	H ₃ PO ₄ , HNO ₄ , CH ₃ COOH
Etchants (dry)	Cl ₂ BCl ₃
CVD Precursor	Al(CH ₃) ₂ H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 คุณสมบัติของซิลิคอนไดออกไซด์

Name	Data
น้ำหนักอะตอม	60.8
ความหนาแน่นอะตอม	$2.3 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$
ความต้านทาน ที่ 300 K	$> 10^{16} \Omega\text{-cm}$
ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_{ox})	3.9
จุดหลอมเหลว	$\approx 1700 \text{ }^{\circ}\text{C}$
ความร้อนจำเพาะ	$1.0 \text{ j/g }^{\circ}\text{C}$
การนำความร้อน	$0.014 \text{ W/cm }^{\circ}\text{C}$
การขยายตัวเนื่องจากความร้อน	$0.5 \times 10^{-6} \text{ (}^{\circ}\text{C)}^{-1}$

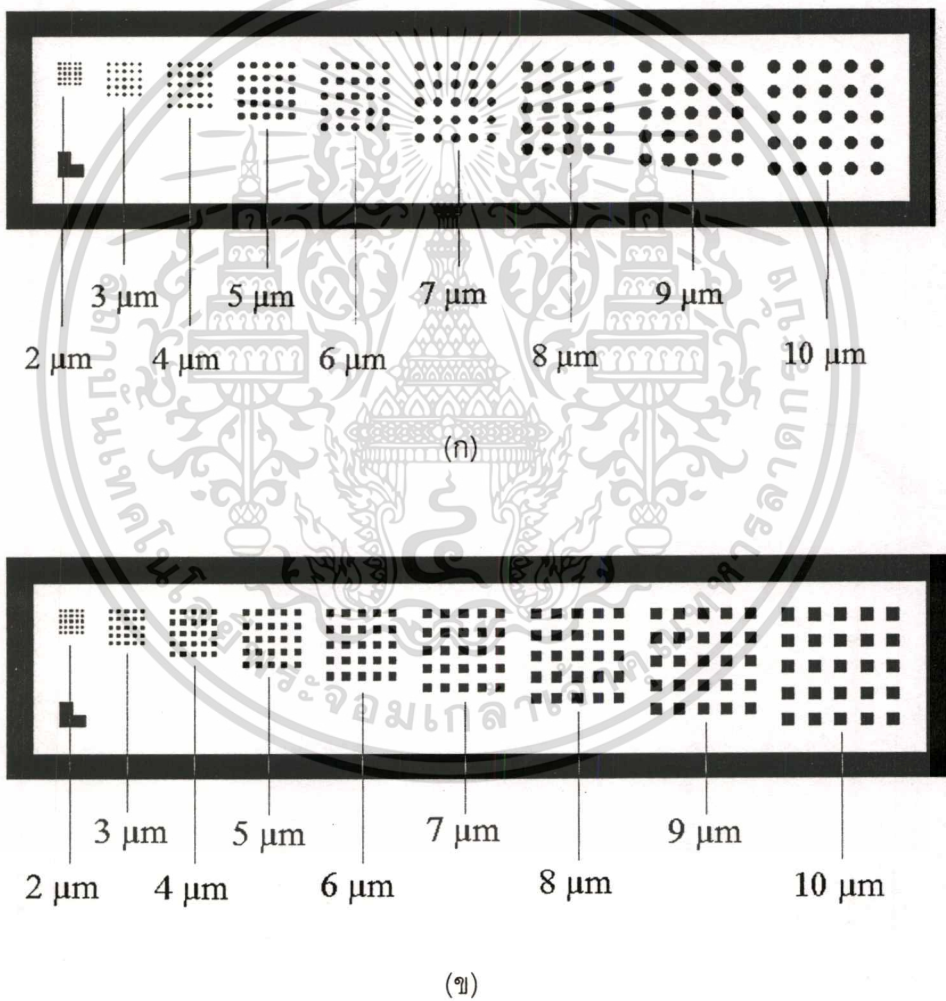


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ภาคผนวก ค จะกล่าวถึง รายละเอียดของลวดลายภายในโฟโตมาสก์ทดสอบ ที่ใช้ใน งานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วย โฟโตมาสก์ที่ใช้ทดสอบขนาด รูปร่าง และความคมชัดของลวดลาย และ โฟโตมาสก์ที่ใช้ทดสอบการปรับชั้นของลวดลายวงจร ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ลวดลาย ของ NMOS

โฟโตมาสก์ทดสอบขนาด รูปร่าง และความคมชัด

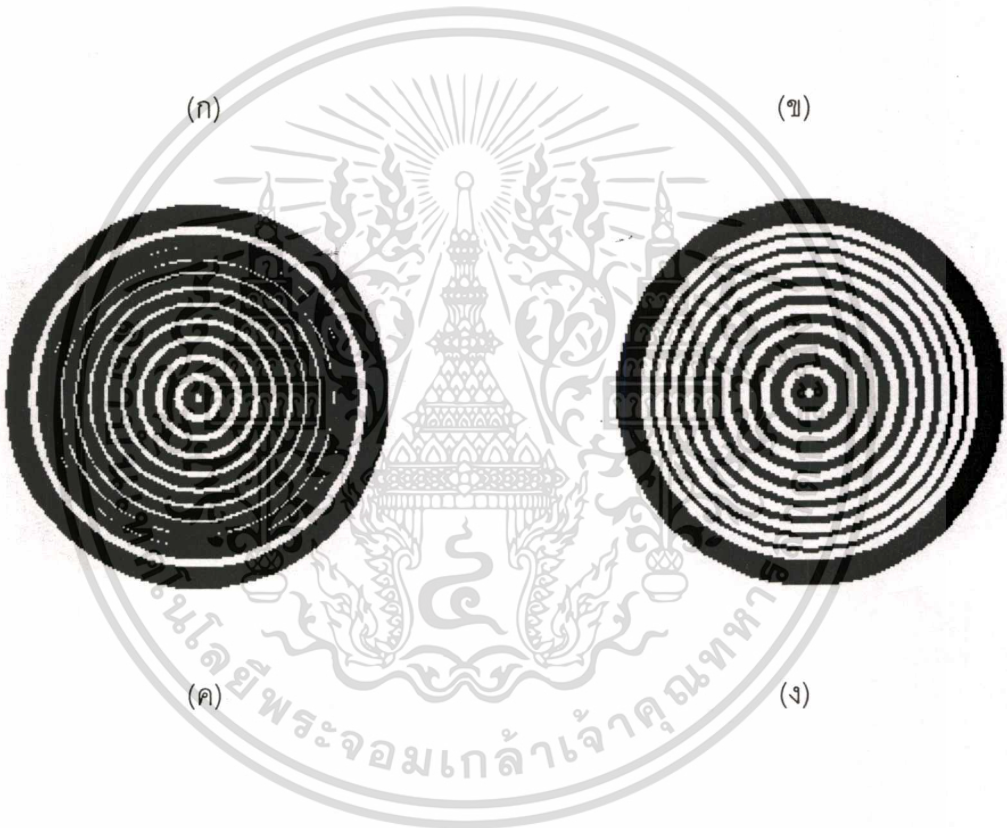
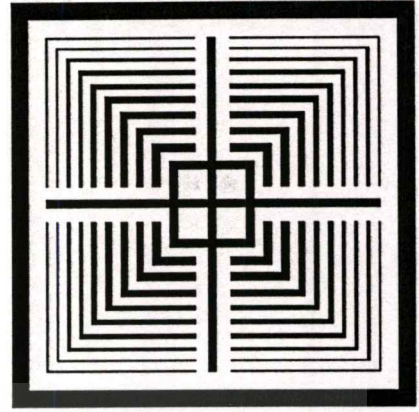
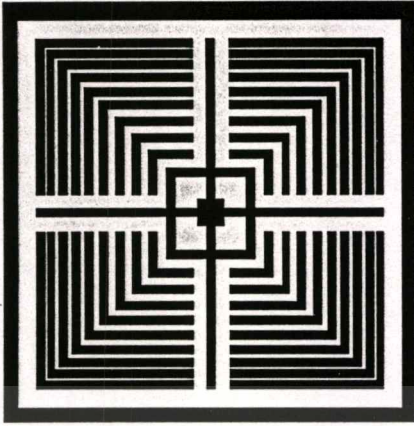


รูปที่ ค.1 ลวดลายสำหรับตรวจสอบขนาดและช่องว่างของหน้าสัมผัส (contact)

(ก) ลวดลายตรวจสอบลักษณะวงกลม

(ข) ลวดลายตรวจสอบลักษณะสี่เหลี่ยม

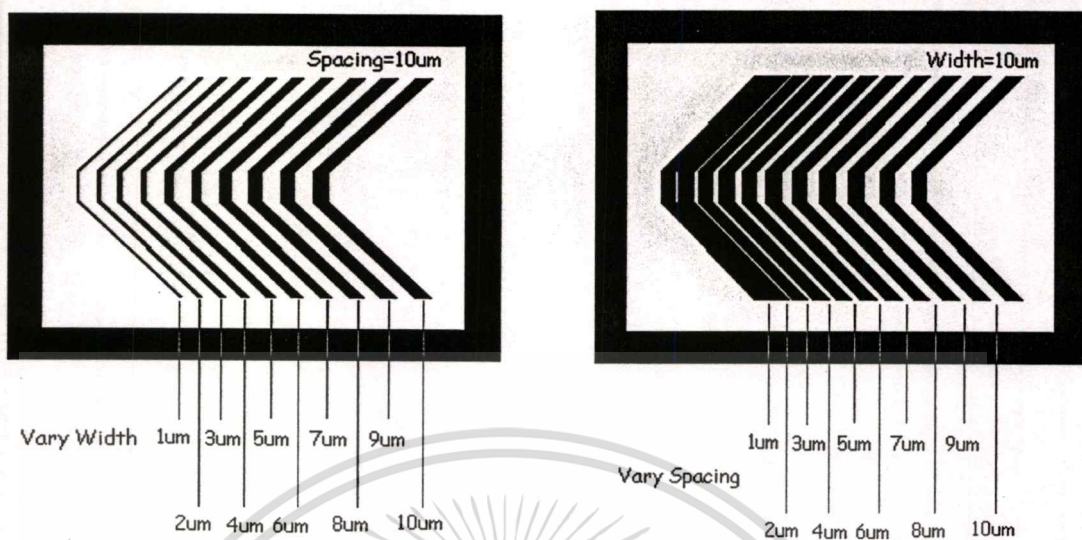
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.2 ลวดลายสำหรับตรวจสอบการตั้งฉาก และความโค้ง แบบต่างๆ

- (ก) เส้นตรงมุมฉากมีลวดลายขนาด $10\ \mu\text{m}$ ขนาดช่องว่างแปรค่า $2\text{-}10\ \mu\text{m}$
- (ข) เส้นตรงมุมฉากมีช่องว่างขนาด $10\ \mu\text{m}$ ขนาดลวดลายแปรค่า $2\text{-}10\ \mu\text{m}$
- (ค) เส้นโค้งวงกลมมีลวดลายขนาด $10\ \mu\text{m}$ ขนาดช่องว่างแปรค่า $2\text{-}10\ \mu\text{m}$
- (ง) เส้นโค้งวงกลมมีช่องว่างขนาด $10\ \mu\text{m}$ ขนาดลวดลายแปรค่า $2\text{-}10\ \mu\text{m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)

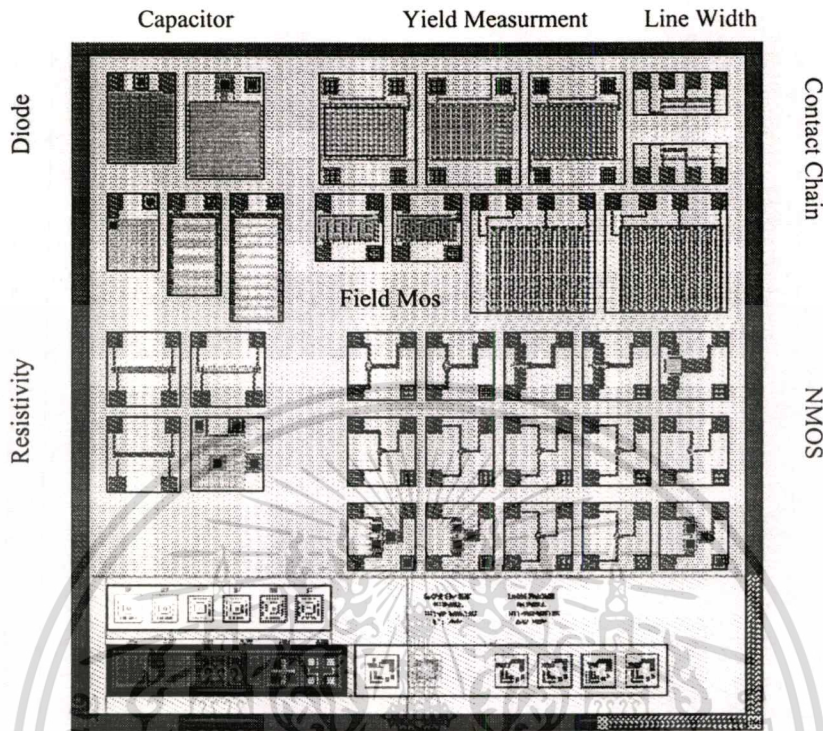
รูปที่ ค.4 ลวดลายตรวจสอบขนาดและช่องว่างของเส้นตรงเฉียง

(ก) ขนาดของลวดลายแปรค่าตั้งแต่ 2-10 μm ช่องว่างขนาดคงที่ 10 μm

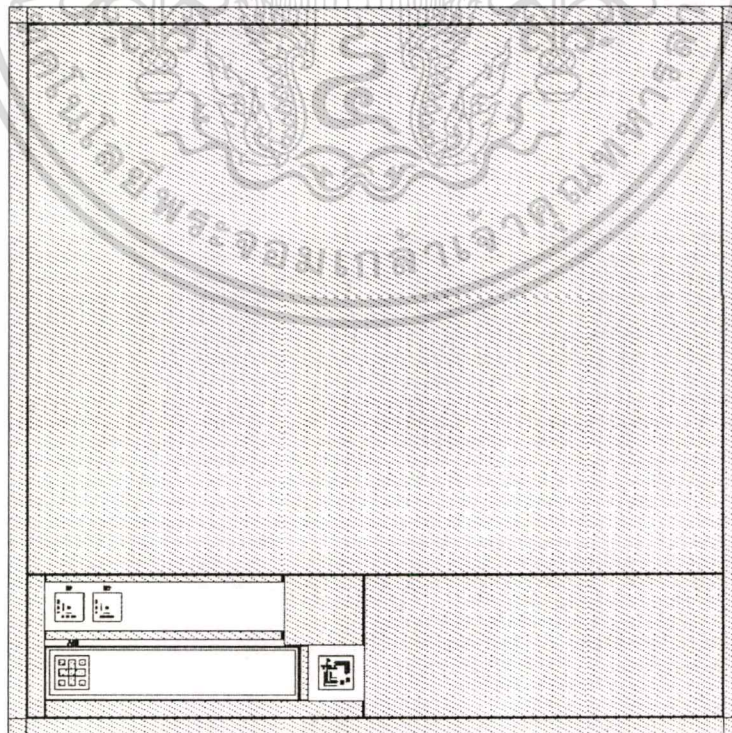
(ข) ขนาดของช่องว่างแปรค่าตั้งแต่ 2-10 μm ลวดลายขนาดคงที่ 10 μm

โฟโตมาส์กทดสอบการปรับชั้นมาส์ก

NMOS



รูปที่ ค.5 ลวดลายทั้งหมดของโฟโตมาส์กที่ใช้ทดสอบ



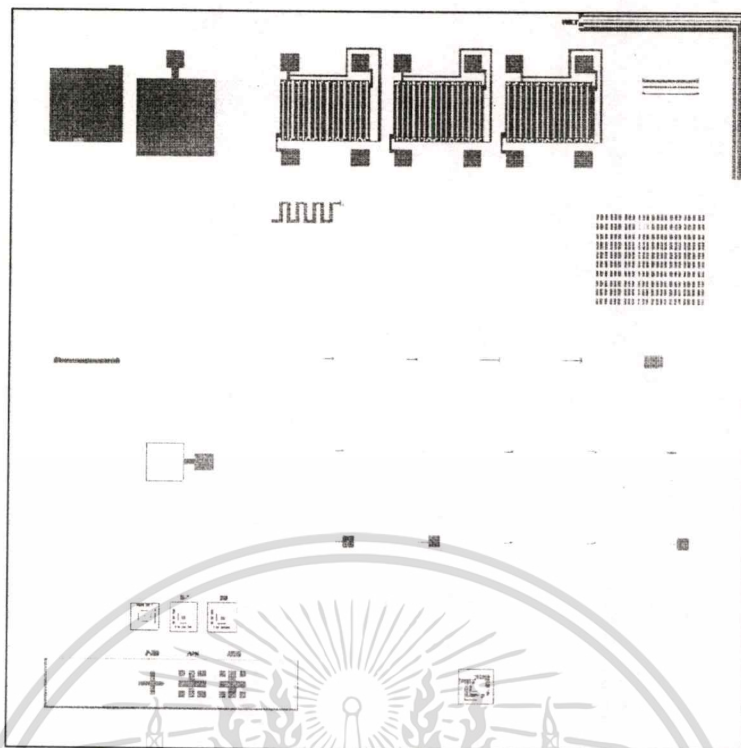
รูปที่ ค.6 ลวดลายของโฟโตมาส์กที่ 1 P-Well

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

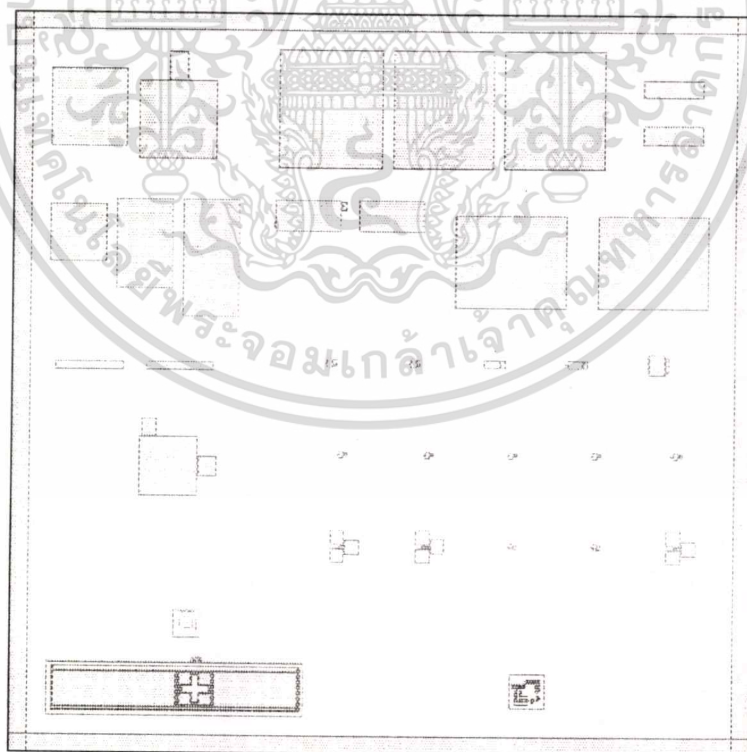


รูปที่ ค.8 ลวดลายของไฟโตมาร์ทที่ 3 P-CH Stop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

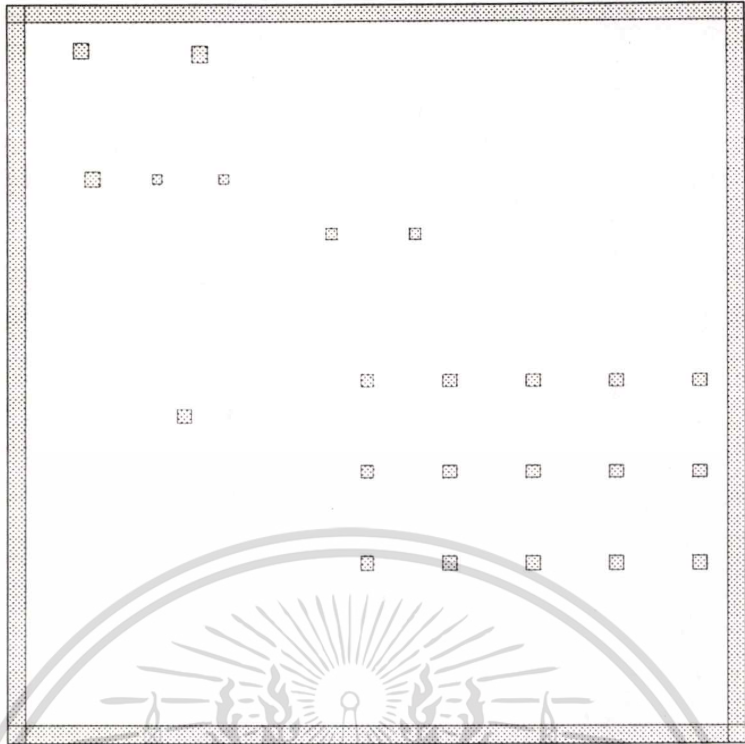


รูปที่ ค.9 ลวดลายของไฟโตมาส์กที่ 4 Poly Gate



รูปที่ ค.10 ลวดลายของไฟโตมาส์กที่ 5 NSD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

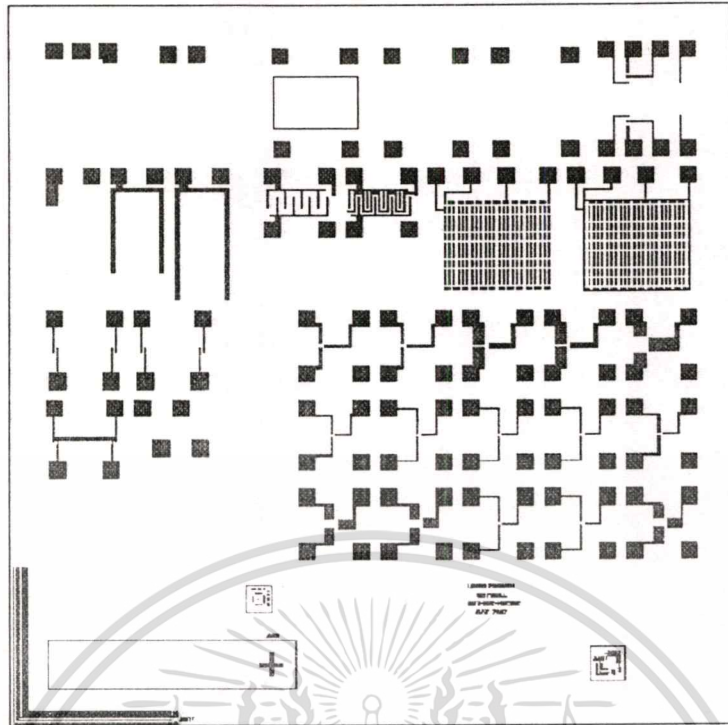


รูปที่ ค.11 ลวดลายของไฟโตมาร์สกีที่ 6 PSD



รูปที่ ค.12 ลวดลายของไฟโตมาร์สกีที่ 7 Contact

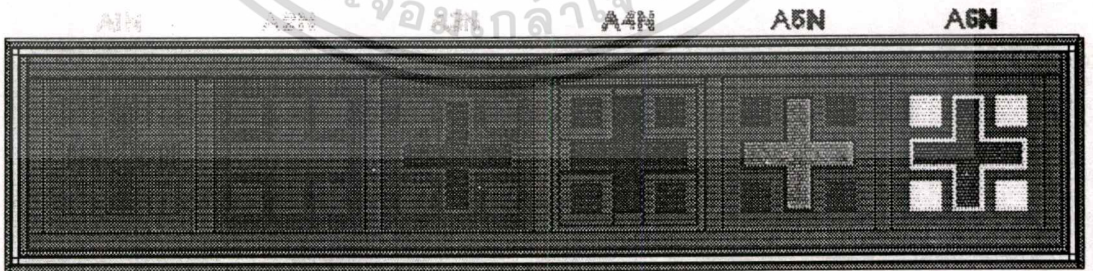
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.13 ลวดลายของโฟโตมาสก์ที่ 8 Metal

ลวดลายของเครื่องหมายปรับชั้นในโฟโตมาสก์ทดสอบ

nMOS



รูปที่ ค.14 ลวดลายเครื่องหมายปรับชั้นมาสก์ทั้งหมดของโฟโตมาสก์ทดสอบ

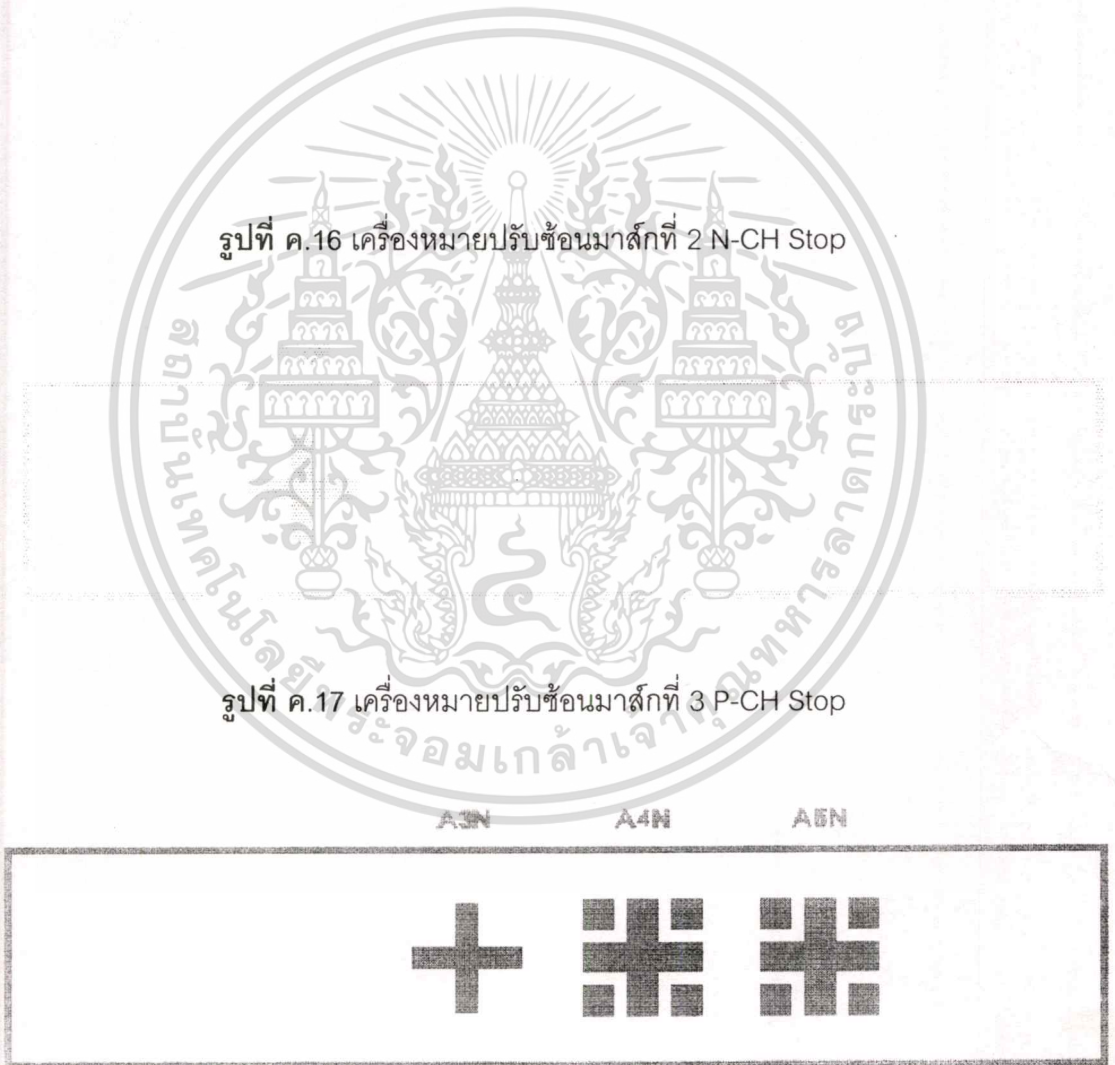
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.15 เครื่องหมายปรับชั้นมาตรฐานที่ 1P-Well

รูปที่ ค.16 เครื่องหมายปรับชั้นมาตรฐานที่ 2 N-CH Stop

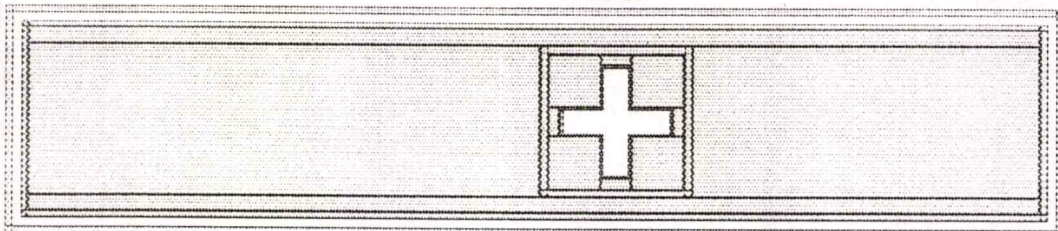
รูปที่ ค.17 เครื่องหมายปรับชั้นมาตรฐานที่ 3 P-CH Stop



รูปที่ ค.18 เครื่องหมายปรับชั้นมาตรฐานที่ 4 Poly gate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A455



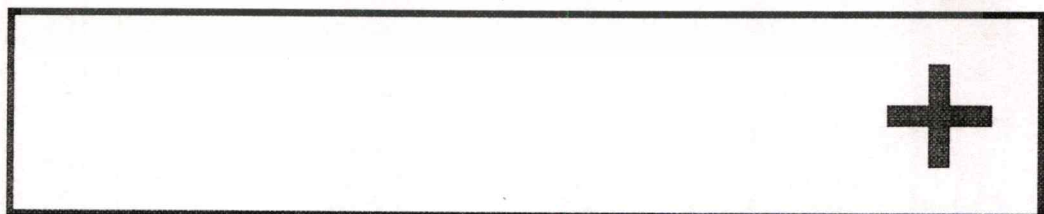
รูปที่ ค.19 เครื่องหมายปรับชั้นมาตรฐานที่ 5 NSD



รูปที่ ค.20 เครื่องหมายปรับชั้นมาตรฐานที่ 6 PSD



รูปที่ ค.21 เครื่องหมายปรับชั้นมาตรฐานที่ 7 Contact



รูปที่ ค.22 เครื่องหมายปรับชั้นมาตรฐานที่ 8 Metal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาว ชลิดา คูหาเรือง
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 22 สิงหาคม 2522 ที่กรุงเทพฯ
 ประวัติการศึกษา 2541 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี
 2544 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ความชำนาญเฉพาะด้าน 1.) วงจรอิเล็กทรอนิกส์

2.) กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] ชลิดา คูหาเรือง, เสกสรร ธิมากุล, วีระ เพ็งจันทร์, สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, สมเกียรติ ศุภเดช. กระบวนการสร้างโฟโตมาส์สำหรับวงจรรวมซีมอส ขนาด 5 ไมครอน." การประชุมวิชาการทางไฟฟ้า ครั้งที่ 26. ปีที่ 26, พฤศจิกายน 2546. หน้า 1365-1370.
- [2] ชลิดา คูหาเรือง, วีระ เพ็งจันทร์, สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, สมเกียรติ ศุภเดช. "กระบวนการโฟโตลิโธกราฟีบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ สำหรับสร้างลวดลายวงจรรวม แบบเทคโนโลยีซีมอส ขนาด 5 ไมครอน." วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 21, ฉบับที่ 1, มีนาคม 2547 . หน้า 1-6.

